

MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS ESTRUTURAS

Ações e carregamentos

Geometria:

Largura = 1254 cm

Comprimento = 2980 cm

Espessura da laje = 20 cm

Módulo de elasticidade longitudinal (Laje): $E_c = 26838 \text{ MPa}$

Nº de vigas = 5

Tabela: Propriedades das vigas

VIGA	x)cm	$A_c \text{ (m}^2\text{)}$	I_c ({{UNINERCI A}})*	$E_c \text{MPa}$	$G_c \text{MPa}$
V1	147,00	0,68125	0,53828	34279	13712
V2	387,00	0,68125	0,52013	34279	13712
V3	627,00	0,68125	0,52013	34279	13712
V4	867,00	0,68125	0,52013	34279	13712
V5	1107,00	0,68125	0,53828	34279	13712

* Inércia da viga com a consideração da laje do tabuleiro

Ações consideradas

Carga permanente:

Peso próprio viga pré-moldada: $g_{1,k} = A_c \cdot \text{peso específico} = 0,681 \cdot 25 = 17,03 \text{ kN/m}$

Peso próprio da laje do tabuleiro: $g_{2,k} = h_{\text{Laje}} \cdot \text{peso específico} = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ kN/m}^2$

Revestimento: $g_{3,k} = h_{\text{rev}} \cdot \gamma_c + g_{sc} = \{\{\text{PESOREV}\}\}$

Guarda-Rodas: $g_{4,k} = A_c \cdot \gamma_c = 0,53 \cdot 25 = 13,25 \text{ kN/m}$

Carga móvel:

Como carregamento móvel foi considerado o veículo tipo , de acordo com a NBR 7188:2012 (Carga rodoviária e de pedestres em pontes, passarelas e outras estruturas):TB450

$$Q = P.CIV.CNF.CIA \quad q = p.CIV.CNF.CIA$$

Sendo:

$P =$, é a carga concentrada por roda; 75 kN

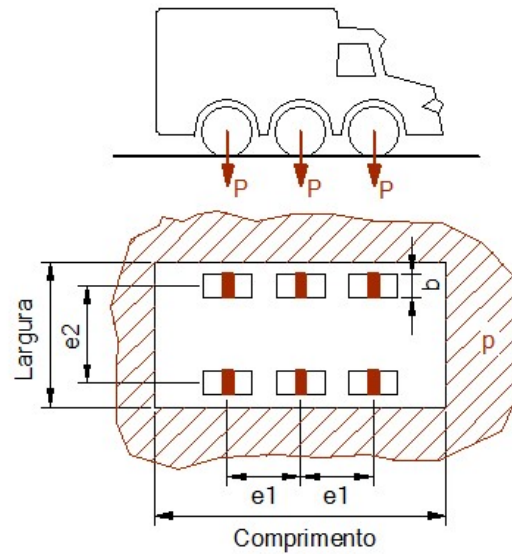
$p =$, é a carga de multidão, uniformemente distribuída; 3 kN/m²

$p' =$, é a carga de pedestres, uniformemente distribuída; 5 kN/m²

CIV o coeficiente de impacto vertical;

CNF o coeficiente de número de faixas;

CIA o coeficiente de impacto adicional, aplicável somente para o dimensionamento de elementos de juntas estruturais e extremidade da obra.



- Coeficientes CIV e CNF:

O coeficiente de impacto vertical é dado por:

$CIV = 1,35$, para estruturas com vão menor que 10 m;

$CIV = 1 + 1,06[20/(L_{iv}+50)]$, para estruturas com vão entre 10 e 200 m.

Sendo L_{iv} o comprimento da longarina.

O coeficiente de número de faixas é dado por:

$$CNF = 1 - 0,005 (n-2)$$

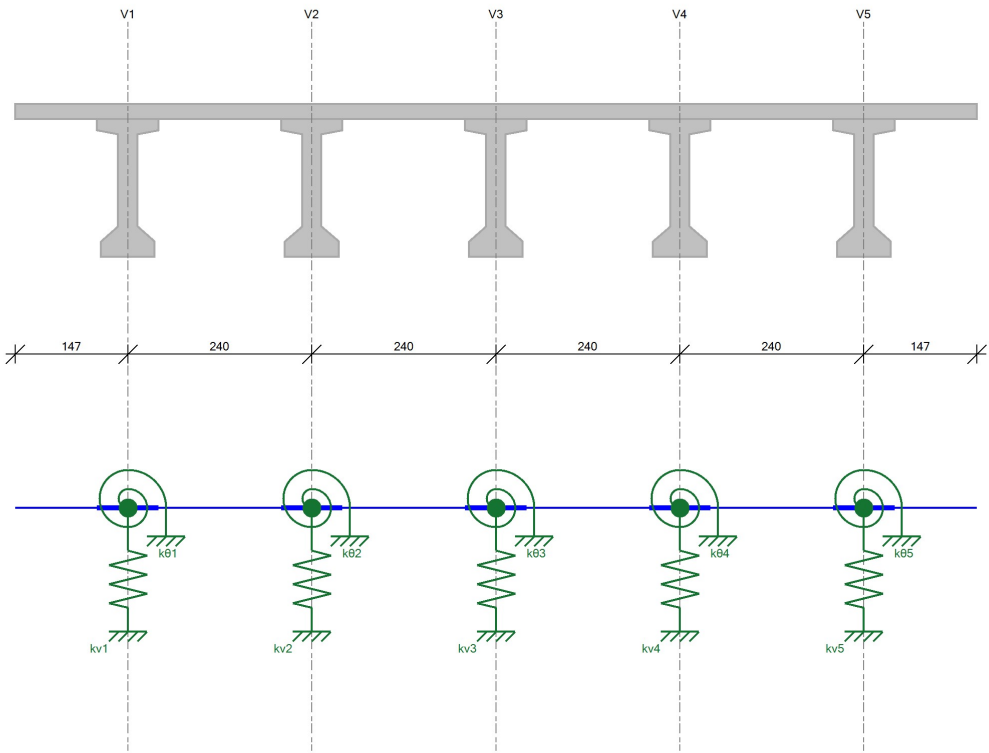
Sendo:

n é a parte inteira da razão $B/3,5$;

B é a largura do tabuleiro rodoviário transversalmente contínuo em metros, a ser carregado para uma determinada hipótese de carga.

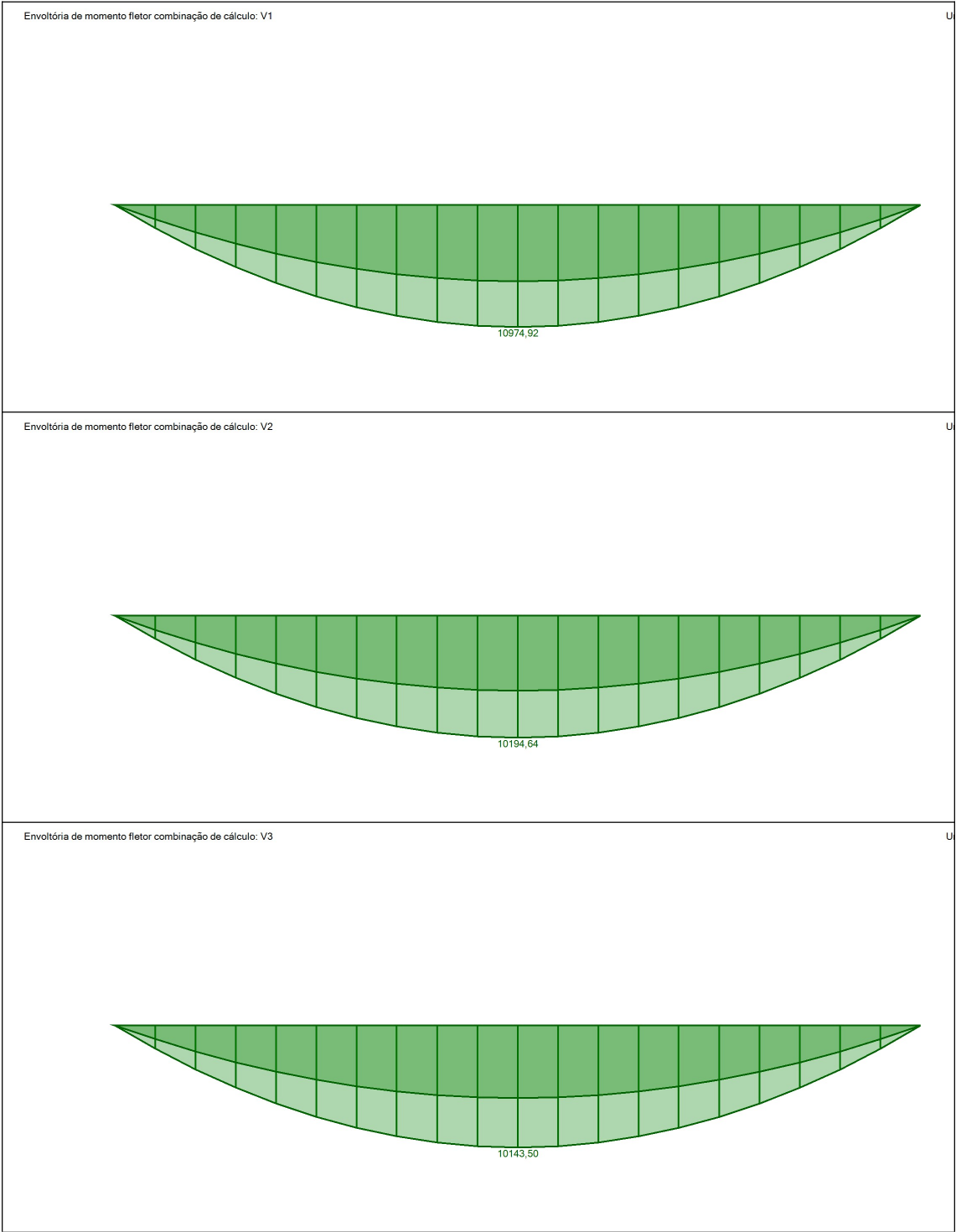
Modelo estrutural

Modelo para distribuição transversal de cargas: Processo Fauchart



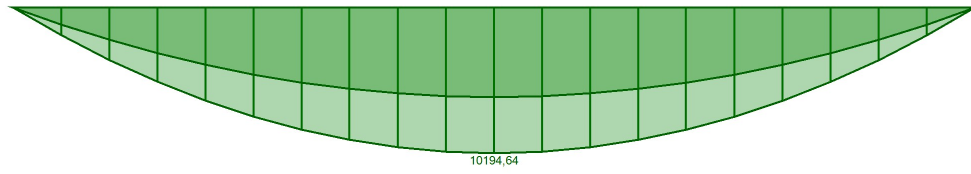
<u>Apoio elástico:</u> K _{v1} = 2279 kN/m; K _{θ1} = 2279 kN/m K _{v2} = 2202 kN/m; K _{θ2} = 2202 kN/m K _{v3} = 2202 kN/m; K _{θ3} = 2202 kN/m K _{v4} = 2202 kN/m; K _{θ4} = 2202 kN/m K _{v5} = 2279 kN/m; K _{θ5} = 2279 kN/m	<u>Propriedades das barras:</u> I _{c,laje} =0,00067 m ⁴ ; (h _{laje} =20,00 cm) I _{c,v1} =0,00158 m ⁴ ; (h _{v1} =26,67 cm) I _{c,v2} =0,00158 m ⁴ ; (h _{v2} =26,67 cm) I _{c,v3} =0,00158 m ⁴ ; (h _{v3} =26,67 cm) I _{c,v4} =0,00158 m ⁴ ; (h _{v4} =26,67 cm) I _{c,v5} =0,00158 m ⁴ ; (h _{v5} =26,67 cm)
--	---

Esforços solicitantes nas longarinas



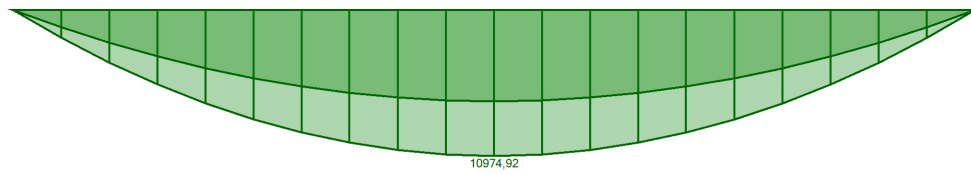
Envolvória de momento fletor combinação de cálculo: V4

U

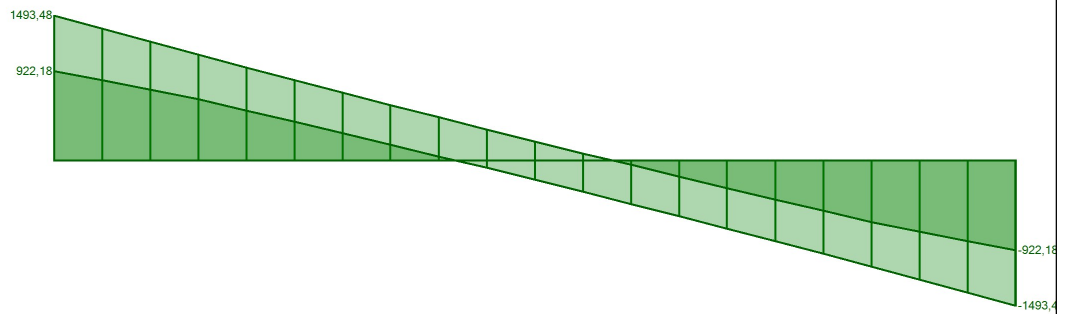


Envolvória de momento fletor combinação de cálculo: V5

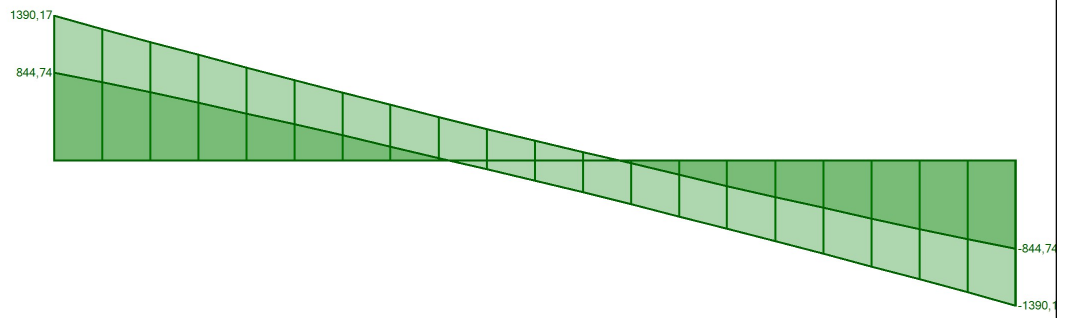
U



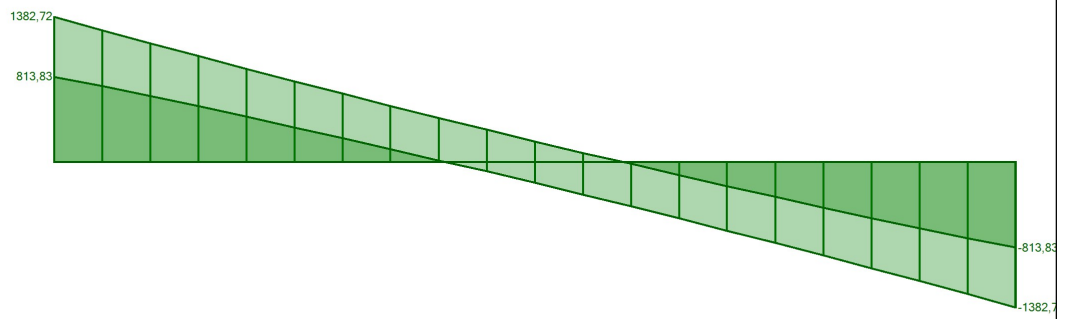
Envolvória de esforço cortante combinação de cálculo: V1



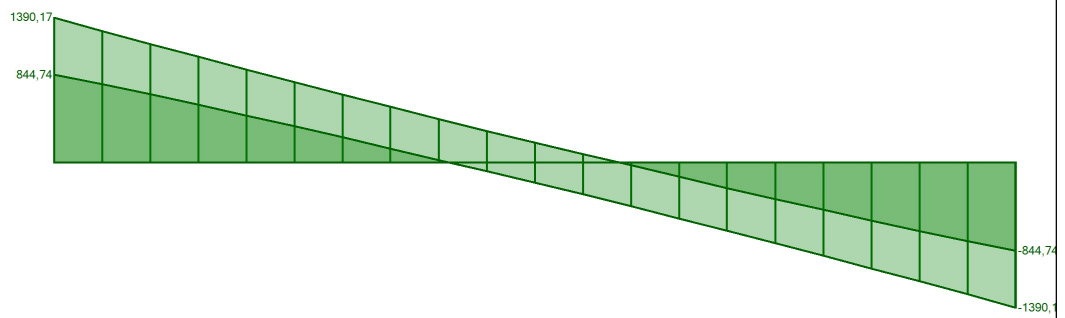
Envolvória de esforço cortante combinação de cálculo: V2



Envolvória de esforço cortante combinação de cálculo: V3



Envolvória de esforço cortante combinação de cálculo: V4



Envolvória de esforço cortante combinação de cálculo: V5

Envolória de momento torção combinação de cálculo: V1

67,77

75,66

-75,66

-67,77

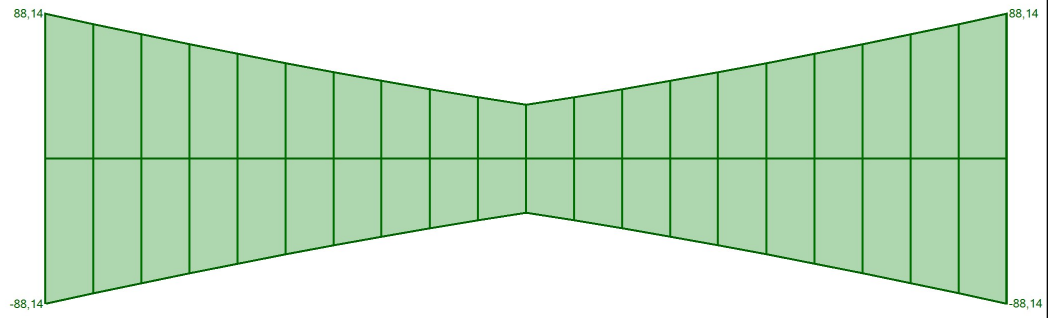
Envolória de momento torçor combinação de cálculo: V2

Diagrama de Envolória de Momento Torçor (Twisting Moment Envelope) for a continuous beam with three spans. The beam has a total length of 12.00m, with spans of 4.00m, 4.00m, and 4.00m. The maximum twisting moment is 83.45 kNm at the left support, and the minimum is -83.45 kNm at the right support. The diagram is divided into 20 segments by vertical lines.

Position (m)	Maximum Twisting Moment (kNm)	Minimum Twisting Moment (kNm)
0.00	83.45	-79.17
4.00	79.17	-79.17
8.00	79.17	-79.17
12.00	79.17	-83.45

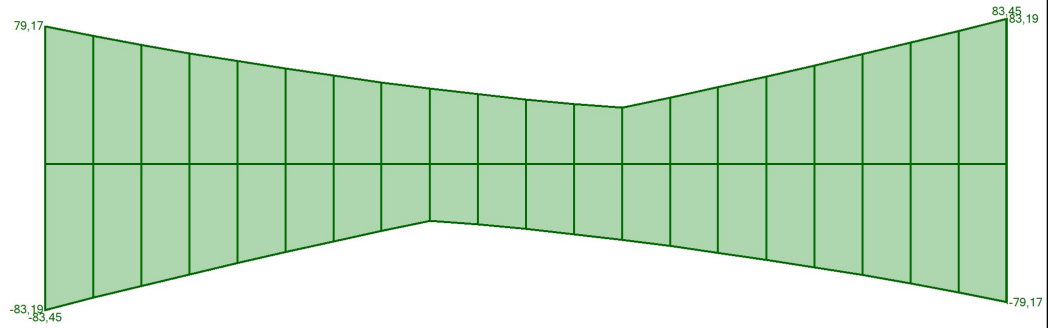
Envoltória de momento torçor combinação de cálculo: V3

U



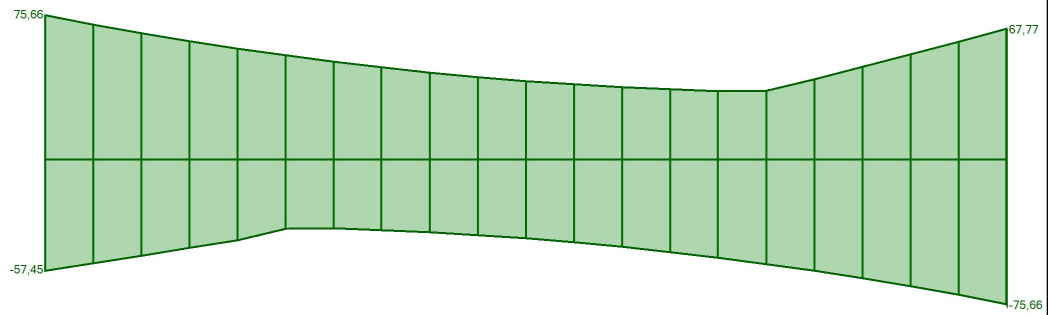
Envoltória de momento torçor combinação de cálculo: V4

U



Envoltória de momento torçor combinação de cálculo: V5

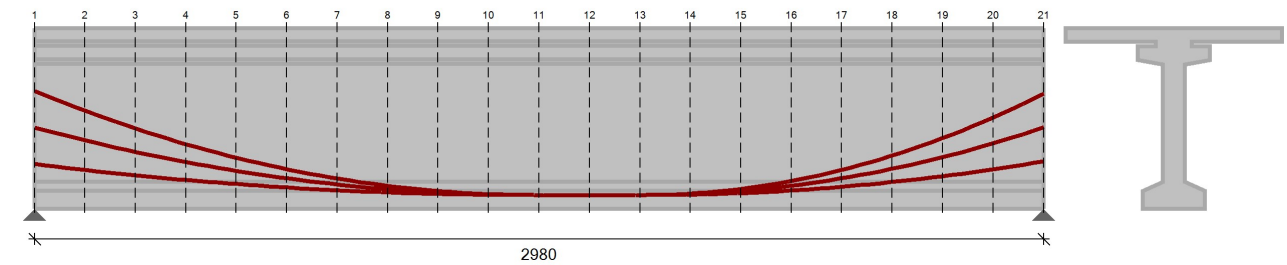
U



LONGARINA 01 = LONGARINA 05

Dados iniciais

Geometria:



Concreto:

$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$
 $f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa}$
 $E_c = 33 \text{ GPa}$
 $f_{cj} = 36,84 \text{ MPa}$
 $f_{ctmj} = 3,32 \text{ MPa}$
 $E_{cj} = 34 \text{ GPa}$
 $\gamma_c = 1,40$

Armadura ativa:

$f_{ptk} = 1900,00$
 $f_{pyk} = 1710,00$
 $E_p = 200 \text{ GPa}$
 $\gamma_p = 1,15$

Armadura passiva:

$f_{yk} = 500,00$
 $E_s = 210 \text{ GPa}$
 $\gamma_s = 1,15$

Seção transversal

Tabela 1: Propriedades geométricas seção transversal (ATO de protensão)

Seção	x (m)	h (m)	y _i (m)	y _s (m)	A _c (m ²)	I _c (m ⁴)	W _i (m ³)	W _s (m ³)
1	0	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
2	1,49	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
3	2,98	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
4	4,47	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
5	5,96	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
6	7,45	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
7	8,94	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
8	10,43	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
9	11,92	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
10	13,41	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
11	14,9	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
12	16,39	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
13	17,88	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
14	19,37	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
15	20,86	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
16	22,35	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
17	23,84	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
18	25,33	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
19	26,82	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697

20	28,31	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
21	29,8	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697

x - abscissa da seção

h - altura da seção transversal

y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

A_c - área da seção transversal

I_c - momento de inércia seção transversal

W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Tabela 2: Propriedades geométricas seção transversal (FASE FINAL)

Seção	x (m)	h (m)	y_i (m)	y_s (m)	A_c (m ²)	I_c (m ⁴)	W_i (m ³)	W_s (m ³)
1	0	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
2	1,49	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
3	2,98	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
4	4,47	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
5	5,96	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
6	7,45	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
7	8,94	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
8	10,43	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
9	11,92	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
10	13,41	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
11	14,9	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
12	16,39	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
13	17,88	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
14	19,37	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
15	20,86	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
16	22,35	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
17	23,84	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
18	25,33	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
19	26,82	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
20	28,31	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
21	29,8	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263

x - abscissa da seção

h - altura da seção transversal

y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

A_c - área da seção transversal

I_c - momento de inércia seção transversal

W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Ações consideradas

A tabela 1 apresenta os casos de carregamentos considerados, bem com os correspondentes coeficientes de ponderação e fatores de combinações das cargas variáveis.

Tabela 2: Casos de carregamentos considerados

Caso	γ_f	γ_f (fav.)	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Peso próprio (G0)	1,4	1	-	-	-
Protensão (HP)	1,1	1	-	-	-
Permanente (G1)	1,4	1	-	-	-
Acidental (Q)	1,4	-	0,7	0,5	0,3

γ_f - coeficiente de ponderação para as ações
 ψ_0 - fator de redução de combinação para ELU
 ψ_1 - fator de redução de combinação frequente para ELS
 ψ_2 - fator de redução de combinação quase permanente para ELS

Combinações

A seguir são apresentadas as combinações de esforços solicitantes para os estados limites último e de serviço, obtidas de acordo com a NBR 8681.

Combinações últimas das ações (ELU)

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g F_{Gi,k} + \gamma_q \left(F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right)$$

Onde:

$F_{G,k}$ é o valor característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ é o valor característicos da ação variável admitida como principal;

$F_{Qj,k}$ é o valor característicos das ações variáveis secundárias.

Combinações de serviço das ações

A seguir são definidas as combinações em serviço:

- Combinação quase permanente (CQPERM): $F_{CQP} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação frequente (CFREQ): $F_{CF} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação rara (CRARA): $F_{CR} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$

Protensão

Tabela 3: Força e momento de protensão nos instantes T_0 e T_∞

Seção	x (m)	P _i (kN)	P _o (kN)	MP _o (kN.m)	P _∞ (kN)	MP _∞ (kN.m)
1	0	7056,00	6173,67	59,85	5060,29	49,06
2	149	7056,00	6205,73	-817,99	5025,92	-662,47
3	298	7056,00	6232,51	-1611,20	4982,20	-1287,98
4	447	7056,00	6255,66	-2317,06	4935,01	-1827,90
5	596	7056,00	6276,67	-2933,86	4889,11	-2285,28
6	745	7056,00	6296,91	-3460,65	4848,20	-2664,47
7	894	7056,00	6317,56	-3896,93	4815,08	-2970,14
8	1043	7056,00	6339,62	-4242,41	4791,82	-3206,64
9	1192	7056,00	6363,92	-4496,78	4779,91	-3377,51
10	1341	7056,00	6391,10	-4659,55	4780,41	-3485,24
11	1490	7056,00	6428,64	-4735,07	4798,50	-3534,38
12	1639	7056,00	6432,55	-4737,95	4798,56	-3534,42

13	1788	7056,00	6413,34	-4723,81	4779,18	-3520,15
14	1937	7056,00	6374,70	-4620,69	4755,35	-3446,91
15	2086	7056,00	6341,90	-4374,25	4755,48	-3280,04
16	2235	7056,00	6313,97	-3985,82	4778,08	-3016,26
17	2384	7056,00	6289,36	-3455,90	4820,38	-2648,72
18	2533	7056,00	6265,96	-2784,71	4877,97	-2167,86
19	2682	7056,00	6241,07	-1972,95	4944,13	-1562,96
20	2831	7056,00	6211,53	-1022,69	5009,27	-824,74
21	2980	7056,00	6173,67	61,57	5060,42	50,47

x - abscissa da seção

P_i – força máxima aplicada à armadura de protensão pelo equipamento de tração

P₀ – força de protensão após as perdas imediatas (t=0)

MP₀ – momento isostático após as perdas imediatas (t=0)

P_∞ – força de protensão após todas as perdas ao longo do tempo (t=∞)

MP_∞ – momento isostático de protensão após todas as perdas ao longo do tempo (t=∞)

Esforços solicitantes

Tabela 4: Momento fletor combinações ELS e ELU (kN.m)

Seção	x (m)	M _{CQP,max}	M _{CQP,min}	M _{CF,max}	M _{CF,min}	M _{CR,max}	M _{CR,min}	M _{Sd,max}	M _{Sd,min}
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
2	1,49	1333,37	1070,76	1508,45	1070,76	1946,13	1070,76	2724,58	1070,76
3	2,98	2522,49	2028,81	2851,60	2028,81	3674,39	2028,81	5144,15	2028,81
4	4,47	3570,90	2874,15	4035,40	2874,15	5196,64	2874,15	7275,30	2874,15
5	5,96	4478,61	3606,77	5059,83	3606,77	6512,89	3606,77	9118,04	3606,77
6	7,45	5245,62	4226,69	5924,90	4226,69	7623,12	4226,69	10672,36	4226,69
7	8,94	5871,93	4733,89	6630,61	4733,89	8527,34	4733,89	11938,27	4733,89
8	10,43	6361,00	5128,38	7182,75	5128,38	9237,11	5128,38	12931,95	5128,38
9	11,92	6712,75	5410,16	7581,15	5410,16	9752,13	5410,16	13652,99	5410,16
10	13,41	6923,80	5579,23	7820,19	5579,23	10061,15	5579,23	14085,61	5579,23
11	14,9	6994,16	5635,59	7899,87	5635,59	10164,15	5635,59	14229,81	5635,59
12	16,39	6923,80	5579,23	7820,19	5579,23	10061,15	5579,23	14085,61	5579,23
13	17,88	6712,75	5410,16	7581,15	5410,16	9752,13	5410,16	13652,99	5410,16
14	19,37	6361,00	5128,38	7182,75	5128,38	9237,11	5128,38	12931,95	5128,38
15	20,86	5871,93	4733,89	6630,61	4733,89	8527,34	4733,89	11938,27	4733,89
16	22,35	5245,62	4226,69	5924,90	4226,69	7623,12	4226,69	10672,36	4226,69
17	23,84	4478,61	3606,77	5059,83	3606,77	6512,89	3606,77	9118,04	3606,77
18	25,33	3570,90	2874,15	4035,40	2874,15	5196,64	2874,15	7275,30	2874,15
19	26,82	2522,49	2028,81	2851,60	2028,81	3674,39	2028,81	5144,15	2028,81

20	28,31	1333,37	1070,76	1508,45	1070,76	1946,13	1070,76	2724,58	1070,76
21	29,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00

x - abscissa da seção

$M_{CQP,max}$ – Momento fletor máximo para combinação quase permanente

$M_{CQP,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação quase permanente

$M_{CF,max}$ – Momento fletor máximo para combinação frequente

$M_{CF,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação frequente

$M_{CR,max}$ – Momento fletor máximo para combinação rara

$M_{CR,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação rara

$M_{Sd,max}$ – Momento fletor máximo para combinação ELU

$M_{Sd,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação ELU

Tabela 5: Esforço cortante combinações ELS e ELU (kN)

Seção	x (m)	$V_{CQP,max}$	$V_{CQP,min}$	$V_{CF,max}$	$V_{CF,min}$	$V_{CR,max}$	$V_{CR,min}$	$V_{Sd,max}$	$V_{Sd,min}$
1	0	944,57	756,45	1069,98	756,45	1383,51	756,45	1936,91	756,45
2	1,49	854,66	678,90	970,56	677,62	1260,31	674,43	1764,44	671,88
3	2,98	765,14	599,36	871,79	595,49	1138,41	585,82	1593,77	578,08
4	4,47	676,00	517,85	773,66	510,07	1017,80	490,62	1424,91	475,06
5	5,96	587,25	436,05	676,17	424,17	898,47	394,46	1257,86	370,69
6	7,45	498,89	353,86	579,33	337,62	780,43	297,01	1092,61	264,52
7	8,94	410,91	271,29	483,13	250,42	663,69	198,27	929,16	156,54
8	10,43	323,32	188,33	387,58	162,59	548,23	98,24	767,52	46,76
9	11,92	236,12	104,98	292,67	74,10	434,06	-3,08	607,68	-64,83
10	13,41	149,30	21,25	198,41	-15,02	321,18	-105,69	449,65	-178,22
11	14,9	62,88	-62,88	104,79	-104,79	209,58	-209,58	293,42	-293,42
12	16,39	-21,25	-149,30	15,02	-198,41	105,69	-321,18	178,22	-449,65
13	17,88	-104,98	-236,12	-74,10	-292,67	3,08	-434,06	64,83	-607,68
14	19,37	-188,33	-323,32	-162,59	-387,58	-98,24	-548,23	-46,76	-767,52
15	20,86	-271,29	-410,91	-250,42	-483,13	-198,27	-663,69	-156,54	-929,16
16	22,35	-353,86	-498,89	-337,62	-579,33	-297,01	-780,43	-264,52	-
17	23,84	-436,05	-587,25	-424,17	-676,17	-394,46	-898,47	-370,69	-
18	25,33	-517,85	-676,00	-510,07	-773,66	-490,62	-	-475,06	-
19	26,82	-599,36	-765,14	-595,49	-871,79	-585,82	-	-578,08	-
20	28,31	-678,90	-854,66	-677,62	-970,56	-674,43	-	-671,88	-
21	29,8	-756,45	-944,57	-756,45	-	-756,45	-	-756,45	-
					1069,98		1383,51		1936,91

x - abscissa da seção

$V_{CQP,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação quase permanente

$V_{CQP,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação quase permanente

$V_{CF,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação frequente

$V_{CF,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação frequente

$V_{CR,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação rara

$V_{CR,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação rara

$V_{Sd,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação ELU

$V_{Sd,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação ELU

Estado limite de formação de fissura (ELS-F)

Tabela 6: Verificação ELS-F ($\sigma_c \leq 3,19$ MPa)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-7,86	-7,51

2	1,49	-7,90	-5,78
3	2,98	-7,95	-4,20
4	4,47	-8,03	-2,74
5	5,96	-8,12	-1,44
6	7,45	-8,22	-0,32
7	8,94	-8,32	0,61
8	10,43	-8,41	1,35
9	11,92	-8,48	1,87
10	13,41	-8,51	2,15
11	14,9	-8,50	2,17
12	16,39	-8,36	1,95
13	17,88	-7,96	1,37
14	19,37	-7,49	0,56
15	20,86	-7,11	-0,38
16	22,35	-6,85	-1,44
17	23,84	-6,70	-2,61
18	25,33	-6,80	-3,85
19	26,82	-7,19	-5,10
20	28,31	-7,44	-6,33
21	29,8	-7,86	-7,51

x - abcissa da seção

$\sigma_{c,min}$ – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Estado limite de descompressão (ELS-D)

Tabela 7: Verificação ELS-D ($\sigma_c \leq 0$)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-7,86	-7,51
2	1,49	-7,69	-6,23
3	2,98	-7,55	-5,03
4	4,47	-7,46	-3,92
5	5,96	-7,41	-2,92
6	7,45	-7,40	-2,04
7	8,94	-7,40	-1,32
8	10,43	-7,41	-0,74
9	11,92	-7,42	-0,34
10	13,41	-7,42	-0,13
11	14,9	-7,40	-0,13
12	16,39	-7,27	-0,33
13	17,88	-6,91	-0,84
14	19,37	-6,49	-1,53
15	20,86	-6,19	-2,31
16	22,35	-6,02	-3,17
17	23,84	-6,31	-4,09
18	25,33	-6,80	-5,03
19	26,82	-7,19	-5,90
20	28,31	-7,44	-6,76
21	29,8	-7,86	-7,51

x - abcissa da seção

$\sigma_{c,min}$ – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO)

Tabela 8: Verificação ELU-ATO ($-25,79 \text{ MPa} \leq \sigma_c \leq 3,98 \text{ MPa}$)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-10,55	-10,08
2	1,49	-12,30	-8,37
3	2,98	-14,31	-6,38
4	4,47	-16,11	-4,61
5	5,96	-17,69	-3,05
6	7,45	-19,05	-1,72
7	8,94	-20,19	-0,62
8	10,43	-21,11	0,26
9	11,92	-21,81	0,90
10	13,41	-22,29	1,30
11	14,9	-22,58	1,47
12	16,39	-22,66	1,54
13	17,88	-22,77	1,72
14	19,37	-22,63	1,70
15	20,86	-22,07	1,24
16	22,35	-21,10	0,34
17	23,84	-19,72	-1,00
18	25,33	-17,93	-2,77
19	26,82	-15,72	-4,96
20	28,31	-13,10	-7,56
21	29,8	-10,55	-10,07

x - abcissa da seção

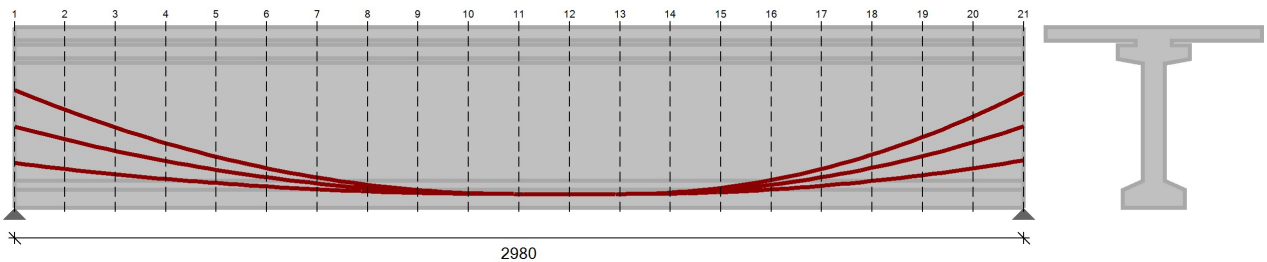
$\sigma_{c,min}$ - Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ - Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

LONGARINA 02 = LONGARINA 04

Dados iniciais

Geometria:



Concreto:

$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$
 $f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa}$
 $E_c = 33 \text{ GPa}$

$f_{cj} = 36,84 \text{ MPa}$
 $f_{ctm,j} = 3,32 \text{ MPa}$
 $E_{c,j} = 34 \text{ GPa}$

$\gamma_c = 1,40$

Armadura ativa:

$f_{ptk} = 1900,00$
 $f_{pyk} = 1710,00$
 $E_p = 200 \text{ GPa}$

$\gamma_p = 1,15$

Armadura passiva:

$f_{yk} = 500,00$
 $E_s = 210 \text{ GPa}$

$\gamma_s = 1,15$

Seção transversal

Tabela 1: Propriedades geométricas seção transversal (ATO de protensão)

Seção	x (m)	h (m)	y_i (m)	y_s (m)	A_c (m ²)	I_c (m ⁴)	W_i (m ³)	W_s (m ³)
1	0	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
2	1,49	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
3	2,98	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
4	4,47	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
5	5,96	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
6	7,45	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
7	8,94	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
8	10,43	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
9	11,92	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
10	13,41	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
11	14,9	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
12	16,39	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
13	17,88	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
14	19,37	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
15	20,86	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
16	22,35	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
17	23,84	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
18	25,33	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
19	26,82	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
20	28,31	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
21	29,8	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697

x - abcissa da seção

h - altura da seção transversal

y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

A_c - área da seção transversal

I_c - momento de inércia seção transversal

W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Tabela 2: Propriedades geométricas seção transversal (FASE FINAL)

Seção	x (m)	h (m)	y_i (m)	y_s (m)	A_c (m ²)	I_c (m ⁴)	W_i (m ³)	W_s (m ³)
1	0	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
2	1,49	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
3	2,98	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
4	4,47	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263

5	5,96	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
6	7,45	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
7	8,94	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
8	10,43	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
9	11,92	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
10	13,41	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
11	14,9	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
12	16,39	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
13	17,88	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
14	19,37	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
15	20,86	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
16	22,35	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
17	23,84	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
18	25,33	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
19	26,82	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
20	28,31	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
21	29,8	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263

x - abscissa da seção

h - altura da seção transversal

y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

A_c - área da seção transversal

I_c - momento de inércia seção transversal

W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Ações consideradas

A tabela 1 apresenta os casos de carregamentos considerados, bem com os correspondentes coeficientes de ponderação e fatores de combinações das cargas variáveis.

Tabela 2: Casos de carregamentos considerados

Caso	γ_f	γ_f (fav.)	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Peso próprio (G0)	1,4	1	-	-	-
Protensão (HP)	1,1	1	-	-	-
Permanente (G1)	1,4	1	-	-	-
Acidental (Q)	1,4	-	0,7	0,5	0,3

γ_f - coeficiente de ponderação para as ações

ψ_0 - fator de redução de combinação para ELU

ψ_1 - fator de redução de combinação frequente para ELS

ψ_2 - fator de redução de combinação quase permanente para ELS

Combinações

A seguir são apresentadas as combinações de esforços solicitantes para os estados limites último e de serviço, obtidas de acordo com a NBR 8681.

Combinações últimas das ações (ELU)

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g F_{Gi,k} + \gamma_q \left(F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right)$$

Onde:

$F_{G,k}$ é o valor característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ é o valor característicos da ação variável admitida como principal;

$F_{Qj,k}$ é o valor característicos das ações variáveis secundárias.

Combinações de serviço das ações

A seguir são definidas as combinações em serviço:

- Combinação quase permanente (CQPERM): $F_{CQP} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação frequente (CFREQ): $F_{CF} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação rara (CRARA): $F_{CR} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$

Protensão

Tabela 3: Força e momento de protensão nos instantes T_0 e T_∞

Seção	x (m)	P _i (kN)	P _o (kN)	MP _o (kN.m)	P _∞ (kN)	MP _∞ (kN.m)
1	0	7056,00	6173,67	59,85	5060,29	49,06
2	149	7056,00	6205,73	-817,99	5025,92	-662,47
3	298	7056,00	6232,51	-1611,20	4982,20	-1287,98
4	447	7056,00	6255,66	-2317,06	4935,01	-1827,90
5	596	7056,00	6276,67	-2933,86	4889,11	-2285,28
6	745	7056,00	6296,91	-3460,65	4848,20	-2664,47
7	894	7056,00	6317,56	-3896,93	4815,08	-2970,14
8	1043	7056,00	6339,62	-4242,41	4791,82	-3206,64
9	1192	7056,00	6363,92	-4496,78	4779,91	-3377,51
10	1341	7056,00	6391,10	-4659,55	4780,41	-3485,24
11	1490	7056,00	6428,64	-4735,07	4798,50	-3534,38
12	1639	7056,00	6432,55	-4737,95	4798,56	-3534,42
13	1788	7056,00	6413,34	-4723,81	4779,18	-3520,15
14	1937	7056,00	6374,70	-4620,69	4755,35	-3446,91
15	2086	7056,00	6341,90	-4374,25	4755,48	-3280,04
16	2235	7056,00	6313,97	-3985,82	4778,08	-3016,26
17	2384	7056,00	6289,36	-3455,90	4820,38	-2648,72
18	2533	7056,00	6265,96	-2784,71	4877,97	-2167,86
19	2682	7056,00	6241,07	-1972,95	4944,13	-1562,96
20	2831	7056,00	6211,53	-1022,69	5009,27	-824,74
21	2980	7056,00	6173,67	61,57	5060,42	50,47

x - abscissa da seção

P_i – força máxima aplicada à armadura de protensão pelo equipamento de tração

P_o – força de protensão após as perdas imediatas (t=0)

MP_o – momento isostático após as perdas imediatas (t=0)

P_∞ – força de protensão após todas as perdas ao longo do tempo (t=∞)

MP_∞ – momento isostático de protensão após todas as perdas ao longo do tempo (t=∞)

Esforços solicitantes

Tabela 4: Momento fletor combinações ELS e ELU (kN.m)

Seção	x (m)	M _{CQP,max}	M _{CQP,min}	M _{CF,max}	M _{CF,min}	M _{CR,max}	M _{CR,min}	M _{Sd,max}	M _{Sd,min}
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
2	1,49	1338,00	1070,76	1516,16	1070,76	1961,55	1070,76	2746,17	1070,76
3	2,98	2531,05	2028,81	2865,88	2028,81	3702,95	2028,81	5184,12	2028,81
4	4,47	3583,06	2874,15	4055,67	2874,15	5237,20	2874,15	7332,07	2874,15
5	5,96	4494,03	3606,77	5085,54	3606,77	6564,30	3606,77	9190,03	3606,77
6	7,45	5263,96	4226,69	5955,48	4226,69	7684,27	4226,69	10757,98	4226,69
7	8,94	5892,85	4733,89	6665,49	4733,89	8597,10	4733,89	12035,93	4733,89
8	10,43	6383,93	5128,38	7220,97	5128,38	9313,55	5128,38	13038,98	5128,38
9	11,92	6736,54	5410,16	7620,79	5410,16	9831,41	5410,16	13763,97	5410,16
10	13,41	6948,10	5579,23	7860,68	5579,23	10142,12	5579,23	14198,97	5579,23
11	14,9	7018,62	5635,59	7940,64	5635,59	10245,69	5635,59	14343,97	5635,59
12	16,39	6948,10	5579,23	7860,68	5579,23	10142,12	5579,23	14198,97	5579,23
13	17,88	6736,54	5410,16	7620,79	5410,16	9831,41	5410,16	13763,97	5410,16
14	19,37	6383,93	5128,38	7220,97	5128,38	9313,55	5128,38	13038,98	5128,38
15	20,86	5892,85	4733,89	6665,49	4733,89	8597,10	4733,89	12035,93	4733,89
16	22,35	5263,96	4226,69	5955,48	4226,69	7684,27	4226,69	10757,98	4226,69
17	23,84	4494,03	3606,77	5085,54	3606,77	6564,30	3606,77	9190,03	3606,77
18	25,33	3583,06	2874,15	4055,67	2874,15	5237,20	2874,15	7332,07	2874,15
19	26,82	2531,05	2028,81	2865,88	2028,81	3702,95	2028,81	5184,12	2028,81
20	28,31	1338,00	1070,76	1516,16	1070,76	1961,55	1070,76	2746,17	1070,76
21	29,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00

x - abscissa da seção

$M_{CQP,max}$ – Momento fletor máximo para combinação quase permanente

$M_{CQP,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação quase permanente

$M_{CF,max}$ – Momento fletor máximo para combinação frequente

$M_{CF,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação frequente

$M_{CR,max}$ – Momento fletor máximo para combinação rara

$M_{CR,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação rara

$M_{Sd,max}$ – Momento fletor máximo para combinação ELU

$M_{Sd,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação ELU

Tabela 5: Esforço cortante combinações ELS e ELU (kN)

Seção	x (m)	$V_{CQP,max}$	$V_{CQP,min}$	$V_{CF,max}$	$V_{CF,min}$	$V_{CR,max}$	$V_{CR,min}$	$V_{Sd,max}$	$V_{Sd,min}$
1	0	948,03	756,45	1075,75	756,45	1395,04	756,45	1953,05	756,45
2	1,49	857,21	679,07	974,81	677,91	1268,81	675,01	1776,33	672,69
3	2,98	766,85	599,85	874,65	596,31	1144,13	587,46	1601,79	580,37
4	4,47	676,97	518,80	775,27	511,65	1021,02	493,79	1429,43	479,50
5	5,96	587,55	437,39	676,67	426,40	899,47	398,94	1259,26	376,96
6	7,45	498,60	355,52	578,86	340,38	779,48	302,52	1091,28	272,24
7	8,94	410,12	273,17	481,82	253,57	661,06	204,55	925,48	165,34
8	10,43	322,11	190,36	385,56	165,98	544,19	105,02	761,86	56,25
9	11,92	234,57	107,08	290,09	77,61	428,88	3,92	600,44	-55,03
10	13,41	147,49	23,33	195,39	-11,54	315,14	-98,74	441,19	-168,49
11	14,9	60,89	-60,89	101,48	-101,48	202,95	-202,95	284,13	-284,13
12	16,39	-23,33	-147,49	11,54	-195,39	98,74	-315,14	168,49	-441,19
13	17,88	-107,08	-234,57	-77,61	-290,09	-3,92	-428,88	55,03	-600,44
14	19,37	-190,36	-322,11	-165,98	-385,56	-105,02	-544,19	-56,25	-761,86
15	20,86	-273,17	-410,12	-253,57	-481,82	-204,55	-661,06	-165,34	-925,48
16	22,35	-355,52	-498,60	-340,38	-578,86	-302,52	-779,48	-272,24	-
17	23,84	-437,39	-587,55	-426,40	-676,67	-398,94	-899,47	-376,96	-
18	25,33	-518,80	-676,97	-511,65	-775,27	-493,79	-	-479,50	-
19	26,82	-599,85	-766,85	-596,31	-874,65	-587,46	-	-580,37	-
20	28,31	-679,07	-857,21	-677,91	-974,81	-675,01	-	-672,69	-
21	29,8	-756,45	-948,03	-756,45	-	-756,45	-	-756,45	-
					1075,75		1395,04		1953,05

x - abscissa da seção

$V_{CQP,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação quase permanente

$V_{CQP,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação quase permanente

$V_{CF,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação frequente

$V_{CF,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação frequente

$V_{CR,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação rara

$V_{CR,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação rara

$V_{Sd,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação ELU

$V_{Sd,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação ELU

Estado limite de formação de fissura (ELS-F)

Tabela 6: Verificação ELS-F ($\sigma_c \leq 3,19$ MPa)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-7,86	-7,51
2	1,49	-7,91	-5,76
3	2,98	-7,97	-4,16

4	4,47	-8,05	-2,69
5	5,96	-8,15	-1,38
6	7,45	-8,26	-0,24
7	8,94	-8,36	0,70
8	10,43	-8,45	1,44
9	11,92	-8,52	1,97
10	13,41	-8,56	2,25
11	14,9	-8,55	2,27
12	16,39	-8,41	2,05
13	17,88	-8,01	1,47
14	19,37	-7,53	0,66
15	20,86	-7,15	-0,29
16	22,35	-6,88	-1,37
17	23,84	-6,74	-2,55
18	25,33	-6,80	-3,80
19	26,82	-7,19	-5,07
20	28,31	-7,44	-6,31
21	29,8	-7,86	-7,51

x - abcissa da seção

$\sigma_{c,min}$ – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Estado limite de descompressão (ELS-D)

Tabela 7: Verificação ELS-D ($\sigma_c \leq 0$)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-7,86	-7,51
2	1,49	-7,70	-6,22
3	2,98	-7,56	-5,01
4	4,47	-7,48	-3,89
5	5,96	-7,43	-2,88
6	7,45	-7,42	-2,00
7	8,94	-7,42	-1,26
8	10,43	-7,44	-0,68
9	11,92	-7,45	-0,28
10	13,41	-7,45	-0,07
11	14,9	-7,43	-0,07
12	16,39	-7,30	-0,27
13	17,88	-6,93	-0,78
14	19,37	-6,51	-1,47
15	20,86	-6,21	-2,26
16	22,35	-6,04	-3,12
17	23,84	-6,31	-4,05
18	25,33	-6,80	-5,00
19	26,82	-7,19	-5,90
20	28,31	-7,44	-6,76
21	29,8	-7,86	-7,51

x - abcissa da seção

$\sigma_{c,min}$ – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO)

Tabela 8: Verificação ELU-ATO ($-25,79 \text{ MPa} \leq \sigma_c \leq 3,98 \text{ MPa}$)

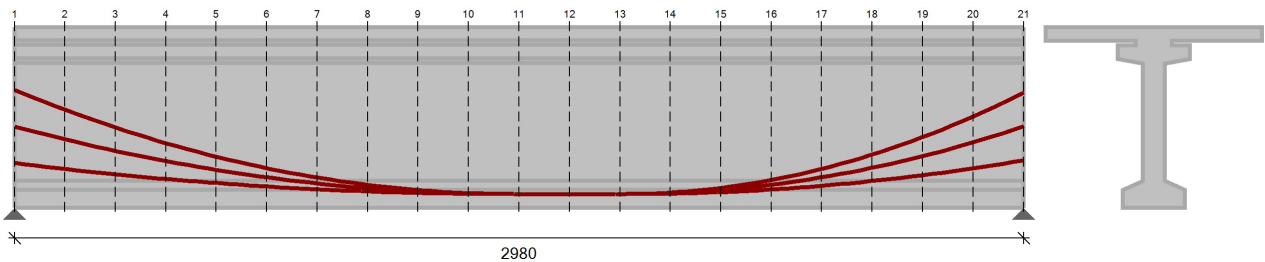
Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-10,55	-10,08
2	1,49	-12,30	-8,37
3	2,98	-14,31	-6,38
4	4,47	-16,11	-4,61
5	5,96	-17,69	-3,05
6	7,45	-19,05	-1,72
7	8,94	-20,19	-0,62
8	10,43	-21,11	0,26
9	11,92	-21,81	0,90
10	13,41	-22,29	1,30
11	14,9	-22,58	1,47
12	16,39	-22,66	1,54
13	17,88	-22,77	1,72
14	19,37	-22,63	1,70
15	20,86	-22,07	1,24
16	22,35	-21,10	0,34
17	23,84	-19,72	-1,00
18	25,33	-17,93	-2,77
19	26,82	-15,72	-4,96
20	28,31	-13,10	-7,56
21	29,8	-10,55	-10,07

x - abscissa da seção
 $\sigma_{c,min}$ – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)
 $\sigma_{c,max}$ – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

LONGARINA 03

Dados iniciais

Geometria:



Concreto:

$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$
 $f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa}$
 $E_c = 33 \text{ GPa}$

$f_{cj} = 36,84 \text{ MPa}$
 $f_{ctm,j} = 3,32 \text{ MPa}$
 $E_{c,j} = 34 \text{ GPa}$

$\gamma_c = 1,40$

Armadura ativa:

$f_{ptk} = 1900,00$
 $f_{pyk} = 1710,00$
 $E_p = 200 \text{ GPa}$

$\gamma_p = 1,15$

Armadura passiva:

$f_{yk} = 500,00$
 $E_s = 210 \text{ GPa}$

$\gamma_s = 1,15$

Seção transversal

Tabela 1: Propriedades geométricas seção transversal (ATO de protensão)

Seção	x (m)	h (m)	y _i (m)	y _s (m)	A _c (m²)	I _c (m⁴)	W _i (m³)	W _s (m³)
1	0	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
2	1,49	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
3	2,98	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
4	4,47	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
5	5,96	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
6	7,45	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
7	8,94	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
8	10,43	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
9	11,92	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
10	13,41	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
11	14,9	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
12	16,39	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
13	17,88	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
14	19,37	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
15	20,86	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
16	22,35	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
17	23,84	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
18	25,33	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
19	26,82	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
20	28,31	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
21	29,8	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697

x - abcissa da seção

h - altura da seção transversal

y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

A_c - área da seção transversal

I_c - momento de inércia seção transversal

W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Tabela 2: Propriedades geométricas seção transversal (FASE FINAL)

Seção	x (m)	h (m)	y _i (m)	y _s (m)	A _c (m²)	I _c (m⁴)	W _i (m³)	W _s (m³)
1	0	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
2	1,49	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
3	2,98	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
4	4,47	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263

5	5,96	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
6	7,45	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
7	8,94	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
8	10,43	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
9	11,92	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
10	13,41	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
11	14,9	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
12	16,39	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
13	17,88	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
14	19,37	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
15	20,86	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
16	22,35	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
17	23,84	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
18	25,33	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
19	26,82	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
20	28,31	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
21	29,8	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263

x - abscissa da seção

h - altura da seção transversal

y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

A_c - área da seção transversal

I_c - momento de inércia seção transversal

W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Ações consideradas

A tabela 1 apresenta os casos de carregamentos considerados, bem com os correspondentes coeficientes de ponderação e fatores de combinações das cargas variáveis.

Tabela 2: Casos de carregamentos considerados

Caso	γ_f	γ_f (fav.)	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Peso próprio (G0)	1,4	1	-	-	-
Protensão (HP)	1,1	1	-	-	-
Permanente (G1)	1,4	1	-	-	-
Acidental (Q)	1,4	-	0,7	0,5	0,3

γ_f - coeficiente de ponderação para as ações

ψ_0 - fator de redução de combinação para ELU

ψ_1 - fator de redução de combinação frequente para ELS

ψ_2 - fator de redução de combinação quase permanente para ELS

Combinações

A seguir são apresentadas as combinações de esforços solicitantes para os estados limites último e de serviço, obtidas de acordo com a NBR 8681.

Combinações últimas das ações (ELU)

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g F_{Gi,k} + \gamma_q \left(F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right)$$

Onde:

$F_{G,k}$ é o valor característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ é o valor característicos da ação variável admitida como principal;

$F_{Qj,k}$ é o valor característicos das ações variáveis secundárias.

Combinações de serviço das ações

A seguir são definidas as combinações em serviço:

- Combinação quase permanente (CQPERM): $F_{CQP} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação frequente (CFREQ): $F_{CF} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação rara (CRARA): $F_{CR} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$

Protensão

Tabela 3: Força e momento de protensão nos instantes T_0 e T_∞

Seção	x (m)	P _i (kN)	P _o (kN)	MP _o (kN.m)	P _∞ (kN)	MP _∞ (kN.m)
1	0	7056,00	6173,67	59,85	5060,29	49,06
2	149	7056,00	6205,73	-817,99	5025,92	-662,47
3	298	7056,00	6232,51	-1611,20	4982,20	-1287,98
4	447	7056,00	6255,66	-2317,06	4935,01	-1827,90
5	596	7056,00	6276,67	-2933,86	4889,11	-2285,28
6	745	7056,00	6296,91	-3460,65	4848,20	-2664,47
7	894	7056,00	6317,56	-3896,93	4815,08	-2970,14
8	1043	7056,00	6339,62	-4242,41	4791,82	-3206,64
9	1192	7056,00	6363,92	-4496,78	4779,91	-3377,51
10	1341	7056,00	6391,10	-4659,55	4780,41	-3485,24
11	1490	7056,00	6428,64	-4735,07	4798,50	-3534,38
12	1639	7056,00	6432,55	-4737,95	4798,56	-3534,42
13	1788	7056,00	6413,34	-4723,81	4779,18	-3520,15
14	1937	7056,00	6374,70	-4620,69	4755,35	-3446,91
15	2086	7056,00	6341,90	-4374,25	4755,48	-3280,04
16	2235	7056,00	6313,97	-3985,82	4778,08	-3016,26
17	2384	7056,00	6289,36	-3455,90	4820,38	-2648,72
18	2533	7056,00	6265,96	-2784,71	4877,97	-2167,86
19	2682	7056,00	6241,07	-1972,95	4944,13	-1562,96
20	2831	7056,00	6211,53	-1022,69	5009,27	-824,74
21	2980	7056,00	6173,67	61,57	5060,42	50,47

x - abscissa da seção

P_i – força máxima aplicada à armadura de protensão pelo equipamento de tração

P_o – força de protensão após as perdas imediatas (t=0)

MP_o – momento isostático após as perdas imediatas (t=0)

P_∞ – força de protensão após todas as perdas ao longo do tempo (t=∞)

MP_∞ – momento isostático de protensão após todas as perdas ao longo do tempo (t=∞)

Esforços solicitantes

Tabela 4: Momento fletor combinações ELS e ELU (kN.m)

Seção	x (m)	M _{CQP,max}	M _{CQP,min}	M _{CF,max}	M _{CF,min}	M _{CR,max}	M _{CR,min}	M _{Sd,max}	M _{Sd,min}
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
2	1,49	1348,72	1070,76	1534,02	1070,76	1997,28	1070,76	2796,20	1070,76
3	2,98	2551,57	2028,81	2900,08	2028,81	3771,34	2028,81	5279,88	2028,81
4	4,47	3612,23	2874,15	4104,29	2874,15	5334,43	2874,15	7468,20	2874,15
5	5,96	4530,71	3606,77	5146,66	3606,77	6686,55	3606,77	9361,17	3606,77
6	7,45	5306,99	4226,69	6027,19	4226,69	7827,69	4226,69	10958,77	4226,69
7	8,94	5941,08	4733,89	6745,88	4733,89	8757,87	4733,89	12261,02	4733,89
8	10,43	6436,13	5128,38	7307,97	5128,38	9487,55	5128,38	13282,58	5128,38
9	11,92	6791,61	5410,16	7712,57	5410,16	10014,98	5410,16	14020,97	5410,16
10	13,41	7004,89	5579,23	7955,33	5579,23	10331,44	5579,23	14464,01	5579,23
11	14,9	7075,99	5635,59	8036,25	5635,59	10436,92	5635,59	14611,69	5635,59
12	16,39	7004,89	5579,23	7955,33	5579,23	10331,44	5579,23	14464,01	5579,23
13	17,88	6791,61	5410,16	7712,57	5410,16	10014,98	5410,16	14020,97	5410,16
14	19,37	6436,13	5128,38	7307,97	5128,38	9487,55	5128,38	13282,58	5128,38
15	20,86	5941,08	4733,89	6745,88	4733,89	8757,87	4733,89	12261,02	4733,89
16	22,35	5306,99	4226,69	6027,19	4226,69	7827,69	4226,69	10958,77	4226,69
17	23,84	4530,71	3606,77	5146,66	3606,77	6686,55	3606,77	9361,17	3606,77
18	25,33	3612,23	2874,15	4104,29	2874,15	5334,43	2874,15	7468,20	2874,15
19	26,82	2551,57	2028,81	2900,08	2028,81	3771,34	2028,81	5279,88	2028,81
20	28,31	1348,72	1070,76	1534,02	1070,76	1997,28	1070,76	2796,20	1070,76
21	29,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00

x - abscissa da seção

$M_{CQP,max}$ – Momento fletor máximo para combinação quase permanente

$M_{CQP,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação quase permanente

$M_{CF,max}$ – Momento fletor máximo para combinação frequente

$M_{CF,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação frequente

$M_{CR,max}$ – Momento fletor máximo para combinação rara

$M_{CR,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação rara

$M_{Sd,max}$ – Momento fletor máximo para combinação ELU

$M_{Sd,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação ELU

Tabela 5: Esforço cortante combinações ELS e ELU (kN)

Seção	x (m)	$V_{CQP,max}$	$V_{CQP,min}$	$V_{CF,max}$	$V_{CF,min}$	$V_{CR,max}$	$V_{CR,min}$	$V_{Sd,max}$	$V_{Sd,min}$
1	0	955,45	756,45	1088,11	756,45	1419,77	756,45	1987,68	756,45
2	1,49	863,87	679,07	985,91	677,91	1291,01	675,01	1807,41	672,69
3	2,98	772,80	599,82	884,55	596,26	1163,94	587,37	1629,52	580,25
4	4,47	682,23	518,72	784,05	511,52	1038,57	493,51	1454,00	479,11
5	5,96	592,18	437,21	684,39	426,09	914,90	398,32	1280,86	376,09
6	7,45	502,64	355,18	585,58	339,82	792,93	301,42	1110,10	270,70
7	8,94	413,60	272,66	487,62	252,70	672,65	202,83	941,71	162,92
8	10,43	325,08	189,62	390,50	164,74	554,07	102,54	775,70	52,78
9	11,92	237,06	106,07	294,24	75,92	437,19	0,55	612,07	-59,75
10	13,41	149,55	22,01	198,83	-13,75	322,01	-103,14	450,81	-174,65
11	14,9	62,56	-62,56	104,26	-104,26	208,52	-208,52	291,93	-291,93
12	16,39	-22,01	-149,55	13,75	-198,83	103,14	-322,01	174,65	-450,81
13	17,88	-106,07	-237,06	-75,92	-294,24	-0,55	-437,19	59,75	-612,07
14	19,37	-189,62	-325,08	-164,74	-390,50	-102,54	-554,07	-52,78	-775,70
15	20,86	-272,66	-413,60	-252,70	-487,62	-202,83	-672,65	-162,92	-941,71
16	22,35	-355,18	-502,64	-339,82	-585,58	-301,42	-792,93	-270,70	-
17	23,84	-437,21	-592,18	-426,09	-684,39	-398,32	-914,90	-376,09	-
18	25,33	-518,72	-682,23	-511,52	-784,05	-493,51	-	-479,11	-
19	26,82	-599,82	-772,80	-596,26	-884,55	-587,37	1038,57	-580,25	-
20	28,31	-679,07	-863,87	-677,91	-985,91	-675,01	1163,94	-672,69	-
21	29,8	-756,45	-955,45	-756,45	-	-756,45	1291,01	-756,45	-
					1088,11		1419,77		1987,68

x - abscissa da seção

$V_{CQP,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação quase permanente

$V_{CQP,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação quase permanente

$V_{CF,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação frequente

$V_{CF,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação frequente

$V_{CR,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação rara

$V_{CR,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação rara

$V_{Sd,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação ELU

$V_{Sd,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação ELU

Estado limite de formação de fissura (ELS-F)

Tabela 6: Verificação ELS-F ($\sigma_c \leq 3,19$ MPa)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-7,86	-7,51
2	1,49	-7,93	-5,72
3	2,98	-8,01	-4,07

4	4,47	-8,11	-2,57
5	5,96	-8,23	-1,22
6	7,45	-8,35	-0,06
7	8,94	-8,46	0,91
8	10,43	-8,56	1,66
9	11,92	-8,64	2,20
10	13,41	-8,67	2,49
11	14,9	-8,67	2,51
12	16,39	-8,52	2,29
13	17,88	-8,12	1,70
14	19,37	-7,64	0,88
15	20,86	-7,25	-0,09
16	22,35	-6,97	-1,18
17	23,84	-6,81	-2,39
18	25,33	-6,80	-3,67
19	26,82	-7,19	-4,98
20	28,31	-7,44	-6,26
21	29,8	-7,86	-7,51

x - abcissa da seção

$\sigma_{c,min}$ – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Estado limite de descompressão (ELS-D)

Tabela 7: Verificação ELS-D ($\sigma_c \leq 0$)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-7,86	-7,51
2	1,49	-7,71	-6,19
3	2,98	-7,59	-4,96
4	4,47	-7,51	-3,82
5	5,96	-7,48	-2,79
6	7,45	-7,47	-1,89
7	8,94	-7,48	-1,14
8	10,43	-7,50	-0,55
9	11,92	-7,52	-0,14
10	13,41	-7,52	0,08
11	14,9	-7,50	0,07
12	16,39	-7,37	-0,12
13	17,88	-7,00	-0,64
14	19,37	-6,58	-1,34
15	20,86	-6,27	-2,14
16	22,35	-6,10	-3,02
17	23,84	-6,31	-3,96
18	25,33	-6,80	-4,92
19	26,82	-7,19	-5,86
20	28,31	-7,44	-6,73
21	29,8	-7,86	-7,51

x - abcissa da seção

$\sigma_{c,min}$ – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO)

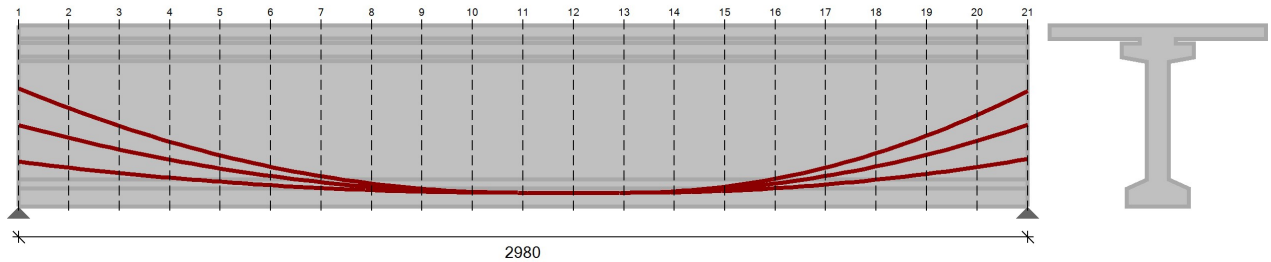
Tabela 8: Verificação ELU-ATO ($-25,79 \text{ MPa} \leq \sigma_c \leq 3,98 \text{ MPa}$)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-10,55	-10,08
2	1,49	-12,30	-8,37
3	2,98	-14,31	-6,38
4	4,47	-16,11	-4,61
5	5,96	-17,69	-3,05
6	7,45	-19,05	-1,72
7	8,94	-20,19	-0,62
8	10,43	-21,11	0,26
9	11,92	-21,81	0,90
10	13,41	-22,29	1,30
11	14,9	-22,58	1,47
12	16,39	-22,66	1,54
13	17,88	-22,77	1,72
14	19,37	-22,63	1,70
15	20,86	-22,07	1,24
16	22,35	-21,10	0,34
17	23,84	-19,72	-1,00
18	25,33	-17,93	-2,77
19	26,82	-15,72	-4,96
20	28,31	-13,10	-7,56
21	29,8	-10,55	-10,07

x - abscissa da seção
 $\sigma_{c,min}$ - Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)
 $\sigma_{c,max}$ - Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Dados iniciais

Geometria:



Concreto:

$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$
 $f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa}$
 $E_c = 33 \text{ GPa}$

$f_{cj} = 36,84 \text{ MPa}$
 $f_{ctm,j} = 3,32 \text{ MPa}$
 $E_{c,j} = 34 \text{ GPa}$

$\gamma_c = 1,40$

Armadura ativa:

$f_{ptk} = 1900,00$
 $f_{pyk} = 1710,00$
 $E_p = 200 \text{ GPa}$

$\gamma_p = 1,15$

Armadura passiva:

$f_{yk} = 500,00$
 $E_s = 210 \text{ GPa}$

$\gamma_s = 1,15$

Seção transversal

Tabela 1: Propriedades geométricas seção transversal (ATO de protensão)

Seção	x (m)	h (m)	y_i (m)	y_s (m)	A_c (m ²)	I_c (m ⁴)	W_i (m ³)	W_s (m ³)
1	0	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
2	1,49	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
3	2,98	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
4	4,47	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
5	5,96	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
6	7,45	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
7	8,94	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
8	10,43	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
9	11,92	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
10	13,41	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
11	14,9	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
12	16,39	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
13	17,88	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
14	19,37	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
15	20,86	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
16	22,35	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
17	23,84	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
18	25,33	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
19	26,82	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
20	28,31	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697
21	29,8	1,8	0,88656	0,91344	0,65875	0,253	0,28537	0,27697

x - abcissa da seção

h - altura da seção transversal

y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

A_c - área da seção transversal

I_c - momento de inércia seção transversal

W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Tabela 2: Propriedades geométricas seção transversal (FASE FINAL)

Seção	x (m)	h (m)	y_i (m)	y_s (m)	A_c (m ²)	I_c (m ⁴)	W_i (m ³)	W_s (m ³)
1	0	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
2	1,49	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
3	2,98	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
4	4,47	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263

5	5,96	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
6	7,45	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
7	8,94	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
8	10,43	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
9	11,92	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
10	13,41	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
11	14,9	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
12	16,39	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
13	17,88	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
14	19,37	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
15	20,86	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
16	22,35	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
17	23,84	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
18	25,33	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
19	26,82	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
20	28,31	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263
21	29,8	2	1,21783	0,78217	0,96966	0,47917	0,39346	0,61263

x - abscissa da seção

h - altura da seção transversal

y_i - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

y_s - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

A_c - área da seção transversal

I_c - momento de inércia seção transversal

W_i - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

W_s - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Ações consideradas

A tabela 1 apresenta os casos de carregamentos considerados, bem com os correspondentes coeficientes de ponderação e fatores de combinações das cargas variáveis.

Tabela 2: Casos de carregamentos considerados

Caso	γ_f	γ_f (fav.)	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Peso próprio (G0)	1,4	1	-	-	-
Protensão (HP)	1,1	1	-	-	-
Permanente (G1)	1,4	1	-	-	-
Acidental (Q)	1,4	-	0,7	0,5	0,3

γ_f - coeficiente de ponderação para as ações

ψ_0 - fator de redução de combinação para ELU

ψ_1 - fator de redução de combinação frequente para ELS

ψ_2 - fator de redução de combinação quase permanente para ELS

Combinações

A seguir são apresentadas as combinações de esforços solicitantes para os estados limites último e de serviço, obtidas de acordo com a NBR 8681.

Combinações últimas das ações (ELU)

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g F_{Gi,k} + \gamma_q \left(F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right)$$

Onde:

$F_{G,k}$ é o valor característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ é o valor característicos da ação variável admitida como principal;

$F_{Qj,k}$ é o valor característicos das ações variáveis secundárias.

Combinações de serviço das ações

A seguir são definidas as combinações em serviço:

- Combinação quase permanente (CQPERM): $F_{CQP} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação frequente (CFREQ): $F_{CF} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação rara (CRARA): $F_{CR} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$

Protensão

Tabela 3: Força e momento de protensão nos instantes T_0 e T_∞

Seção	x (m)	P _i (kN)	P _o (kN)	MP _o (kN.m)	P _∞ (kN)	MP _∞ (kN.m)
1	0	7056,00	6173,67	59,85	5060,29	49,06
2	149	7056,00	6205,73	-817,99	5025,92	-662,47
3	298	7056,00	6232,51	-1611,20	4982,20	-1287,98
4	447	7056,00	6255,66	-2317,06	4935,01	-1827,90
5	596	7056,00	6276,67	-2933,86	4889,11	-2285,28
6	745	7056,00	6296,91	-3460,65	4848,20	-2664,47
7	894	7056,00	6317,56	-3896,93	4815,08	-2970,14
8	1043	7056,00	6339,62	-4242,41	4791,82	-3206,64
9	1192	7056,00	6363,92	-4496,78	4779,91	-3377,51
10	1341	7056,00	6391,10	-4659,55	4780,41	-3485,24
11	1490	7056,00	6428,64	-4735,07	4798,50	-3534,38
12	1639	7056,00	6432,55	-4737,95	4798,56	-3534,42
13	1788	7056,00	6413,34	-4723,81	4779,18	-3520,15
14	1937	7056,00	6374,70	-4620,69	4755,35	-3446,91
15	2086	7056,00	6341,90	-4374,25	4755,48	-3280,04
16	2235	7056,00	6313,97	-3985,82	4778,08	-3016,26
17	2384	7056,00	6289,36	-3455,90	4820,38	-2648,72
18	2533	7056,00	6265,96	-2784,71	4877,97	-2167,86
19	2682	7056,00	6241,07	-1972,95	4944,13	-1562,96
20	2831	7056,00	6211,53	-1022,69	5009,27	-824,74
21	2980	7056,00	6173,67	61,57	5060,42	50,47

x - abscissa da seção

P_i – força máxima aplicada à armadura de protensão pelo equipamento de tração

P_o – força de protensão após as perdas imediatas (t=0)

MP_o – momento isostático após as perdas imediatas (t=0)

P_∞ – força de protensão após todas as perdas ao longo do tempo (t=∞)

MP_∞ – momento isostático de protensão após todas as perdas ao longo do tempo (t=∞)

Esforços solicitantes

Tabela 4: Momento fletor combinações ELS e ELU (kN.m)

Seção	x (m)	M _{CQP,max}	M _{CQP,min}	M _{CF,max}	M _{CF,min}	M _{CR,max}	M _{CR,min}	M _{Sd,max}	M _{Sd,min}
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
2	1,49	1348,72	1070,76	1534,02	1070,76	1997,28	1070,76	2796,20	1070,76
3	2,98	2551,57	2028,81	2900,08	2028,81	3771,34	2028,81	5279,88	2028,81
4	4,47	3612,23	2874,15	4104,29	2874,15	5334,43	2874,15	7468,20	2874,15
5	5,96	4530,71	3606,77	5146,66	3606,77	6686,55	3606,77	9361,17	3606,77
6	7,45	5306,99	4226,69	6027,19	4226,69	7827,69	4226,69	10958,77	4226,69
7	8,94	5941,08	4733,89	6745,88	4733,89	8757,87	4733,89	12261,02	4733,89
8	10,43	6436,13	5128,38	7307,97	5128,38	9487,55	5128,38	13282,58	5128,38
9	11,92	6791,61	5410,16	7712,57	5410,16	10014,98	5410,16	14020,97	5410,16
10	13,41	7004,89	5579,23	7955,33	5579,23	10331,44	5579,23	14464,01	5579,23
11	14,9	7075,99	5635,59	8036,25	5635,59	10436,92	5635,59	14611,69	5635,59
12	16,39	7004,89	5579,23	7955,33	5579,23	10331,44	5579,23	14464,01	5579,23
13	17,88	6791,61	5410,16	7712,57	5410,16	10014,98	5410,16	14020,97	5410,16
14	19,37	6436,13	5128,38	7307,97	5128,38	9487,55	5128,38	13282,58	5128,38
15	20,86	5941,08	4733,89	6745,88	4733,89	8757,87	4733,89	12261,02	4733,89
16	22,35	5306,99	4226,69	6027,19	4226,69	7827,69	4226,69	10958,77	4226,69
17	23,84	4530,71	3606,77	5146,66	3606,77	6686,55	3606,77	9361,17	3606,77
18	25,33	3612,23	2874,15	4104,29	2874,15	5334,43	2874,15	7468,20	2874,15
19	26,82	2551,57	2028,81	2900,08	2028,81	3771,34	2028,81	5279,88	2028,81
20	28,31	1348,72	1070,76	1534,02	1070,76	1997,28	1070,76	2796,20	1070,76
21	29,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00

x - abscissa da seção

$M_{CQP,max}$ – Momento fletor máximo para combinação quase permanente

$M_{CQP,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação quase permanente

$M_{CF,max}$ – Momento fletor máximo para combinação frequente

$M_{CF,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação frequente

$M_{CR,max}$ – Momento fletor máximo para combinação rara

$M_{CR,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação rara

$M_{Sd,max}$ – Momento fletor máximo para combinação ELU

$M_{Sd,min}$ – Momento fletor mínimo para combinação ELU

Tabela 5: Esforço cortante combinações ELS e ELU (kN)

Seção	x (m)	$V_{CQP,max}$	$V_{CQP,min}$	$V_{CF,max}$	$V_{CF,min}$	$V_{CR,max}$	$V_{CR,min}$	$V_{Sd,max}$	$V_{Sd,min}$
1	0	955,45	756,45	1088,11	756,45	1419,77	756,45	1987,68	756,45
2	1,49	863,87	679,07	985,91	677,91	1291,01	675,01	1807,41	672,69
3	2,98	772,80	599,82	884,55	596,26	1163,94	587,37	1629,52	580,25
4	4,47	682,23	518,72	784,05	511,52	1038,57	493,51	1454,00	479,11
5	5,96	592,18	437,21	684,39	426,09	914,90	398,32	1280,86	376,09
6	7,45	502,64	355,18	585,58	339,82	792,93	301,42	1110,10	270,70
7	8,94	413,60	272,66	487,62	252,70	672,65	202,83	941,71	162,92
8	10,43	325,08	189,62	390,50	164,74	554,07	102,54	775,70	52,78
9	11,92	237,06	106,07	294,24	75,92	437,19	0,55	612,07	-59,75
10	13,41	149,55	22,01	198,83	-13,75	322,01	-103,14	450,81	-174,65
11	14,9	62,56	-62,56	104,26	-104,26	208,52	-208,52	291,93	-291,93
12	16,39	-22,01	-149,55	13,75	-198,83	103,14	-322,01	174,65	-450,81
13	17,88	-106,07	-237,06	-75,92	-294,24	-0,55	-437,19	59,75	-612,07
14	19,37	-189,62	-325,08	-164,74	-390,50	-102,54	-554,07	-52,78	-775,70
15	20,86	-272,66	-413,60	-252,70	-487,62	-202,83	-672,65	-162,92	-941,71
16	22,35	-355,18	-502,64	-339,82	-585,58	-301,42	-792,93	-270,70	-
17	23,84	-437,21	-592,18	-426,09	-684,39	-398,32	-914,90	-376,09	-
18	25,33	-518,72	-682,23	-511,52	-784,05	-493,51	-	-479,11	-
19	26,82	-599,82	-772,80	-596,26	-884,55	-587,37	1038,57	-580,25	-
20	28,31	-679,07	-863,87	-677,91	-985,91	-675,01	1163,94	-672,69	-
21	29,8	-756,45	-955,45	-756,45	-	-756,45	1291,01	-756,45	-
					1088,11		1419,77		1987,68

x - abscissa da seção

$V_{CQP,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação quase permanente

$V_{CQP,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação quase permanente

$V_{CF,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação frequente

$V_{CF,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação frequente

$V_{CR,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação rara

$V_{CR,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação rara

$V_{Sd,max}$ – Esforço cortante máximo para combinação ELU

$V_{Sd,min}$ – Esforço cortante mínimo para combinação ELU

Estado limite de formação de fissura (ELS-F)

Tabela 6: Verificação ELS-F ($\sigma_c \leq 3,19$ MPa)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-7,86	-7,51
2	1,49	-7,93	-5,72
3	2,98	-8,01	-4,07

4	4,47	-8,11	-2,57
5	5,96	-8,23	-1,22
6	7,45	-8,35	-0,06
7	8,94	-8,46	0,91
8	10,43	-8,56	1,66
9	11,92	-8,64	2,20
10	13,41	-8,67	2,49
11	14,9	-8,67	2,51
12	16,39	-8,52	2,29
13	17,88	-8,12	1,70
14	19,37	-7,64	0,88
15	20,86	-7,25	-0,09
16	22,35	-6,97	-1,18
17	23,84	-6,81	-2,39
18	25,33	-6,80	-3,67
19	26,82	-7,19	-4,98
20	28,31	-7,44	-6,26
21	29,8	-7,86	-7,51

x - abcissa da seção

$\sigma_{c,min}$ – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Estado limite de descompressão (ELS-D)

Tabela 7: Verificação ELS-D ($\sigma_c \leq 0$)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-7,86	-7,51
2	1,49	-7,71	-6,19
3	2,98	-7,59	-4,96
4	4,47	-7,51	-3,82
5	5,96	-7,48	-2,79
6	7,45	-7,47	-1,89
7	8,94	-7,48	-1,14
8	10,43	-7,50	-0,55
9	11,92	-7,52	-0,14
10	13,41	-7,52	0,08
11	14,9	-7,50	0,07
12	16,39	-7,37	-0,12
13	17,88	-7,00	-0,64
14	19,37	-6,58	-1,34
15	20,86	-6,27	-2,14
16	22,35	-6,10	-3,02
17	23,84	-6,31	-3,96
18	25,33	-6,80	-4,92
19	26,82	-7,19	-5,86
20	28,31	-7,44	-6,73
21	29,8	-7,86	-7,51

x - abcissa da seção

$\sigma_{c,min}$ – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO)

Tabela 8: Verificação ELU-ATO ($-25,79 \text{ MPa} \leq \sigma_c \leq 3,98 \text{ MPa}$)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-10,55	-10,08
2	1,49	-12,30	-8,37
3	2,98	-14,31	-6,38
4	4,47	-16,11	-4,61
5	5,96	-17,69	-3,05
6	7,45	-19,05	-1,72
7	8,94	-20,19	-0,62
8	10,43	-21,11	0,26
9	11,92	-21,81	0,90
10	13,41	-22,29	1,30
11	14,9	-22,58	1,47
12	16,39	-22,66	1,54
13	17,88	-22,77	1,72
14	19,37	-22,63	1,70
15	20,86	-22,07	1,24
16	22,35	-21,10	0,34
17	23,84	-19,72	-1,00
18	25,33	-17,93	-2,77
19	26,82	-15,72	-4,96
20	28,31	-13,10	-7,56
21	29,8	-10,55	-10,07

x - abcissa da seção

$\sigma_{c,min}$ – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$ – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO - RUSCH

$$l_x := 240 \text{ cm}$$

$$a := 50 \text{ cm}$$

$$ha := 10 \text{ cm}$$

$$l_y := 2980 \text{ cm}$$

$$b := 20 \text{ cm}$$

$$hL := 20 \text{ cm}$$

$$\lambda := \frac{l_y}{l_x} = 12,4167$$

$$a1 := a + (2 \cdot ha) + hL = 90$$

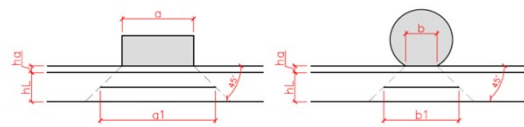
$$b1 := b + (2 \cdot ha) + hL = 60$$

$$t := (a1 \cdot b1)^{0,5} = 73,4847$$

$$a_{dist, rodas} := 200 \text{ cm}$$

$$\frac{t}{a_{dist, rodas}} = 0,3674$$

Roda em Planta



Determinação dos esforços

$$h_{lj} := 0,20 \text{ m}$$

$$h_{pav} := 0,06 \text{ m}$$

$$\gamma_{concreto} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_{pav} := 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$Recap := 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g1 := h_{lj} \cdot \gamma_{concreto} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g2 := (h_{pav} \cdot \gamma_{pav}) + Recap = 3,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g := g1 + g2 = 8,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

L2 (Estudo 01)

$$I_{y/_{I_x}} = \infty$$

Condições de apoio:

Direção do tráfego:



Tabela:1

$$I_{x/_{a}} = 1,20$$

$$t/_{a} = 0,36$$



Esforços devido às cargas móveis

M_{xm} (Tabela 1.1)

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0		
	L	L	L	L	p	p'
0,50	0,2	0,17	0,112	0,065	0,0	0,0
1,0	0,351	0,3	0,237	0,176	0,0	0,15
1,5	0,431	0,4	0,351	0,305	0,1	0,23
2,0	0,52	0,491	0,461	0,421	0,25	0,4
2,5	0,62	0,59	0,56	0,53	0,58	0,96
3,0	0,72	0,69	0,67	0,63	1,0	1,35
4,0	0,87	0,85	0,82	0,8	2,2	2,85
5,0	0,99	0,98	0,95	0,93	3,46	5,65
6,0	1,08	1,07	1,04	1,02	4,7	8,0
7,0	1,15	1,14	1,11	1,1	5,75	11,8
8,0	1,2	1,19	1,17	1,15	6,9	16,4
9,0	1,24	1,23	1,21	1,2	8,0	22,1
10,0	1,27	1,26	1,24	1,23	9,12	28,7

$$M_L=0,31$$

$$M_p=0,04$$

$$M_{p'}=0,18$$

$$M_{xm} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

$$M_{xm} = 1 \times (75,0 \times 0,31 + 5,0 \times 0,04 + 5,0 \times 0,18)$$

$$M_{xm} = 24,63 \text{ kN.m/m}$$

M_{ym} (Tabela 1.2)

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0		
	L	L	L	L	p	p'
0,50	0,155	0,095	0,069	0,028	0,0	0,0
1,0	0,223	0,158	0,11	0,063	0,0	0,03
1,5	0,267	0,22	0,16	0,118	0,02	0,07
2,0	0,322	0,263	0,228	0,179	0,04	0,12
2,5	0,382	0,338	0,29	0,253	0,1	0,24
3,0	0,457	0,408	0,361	0,323	0,17	0,4
4,0	0,58	0,53	0,472	0,433	0,37	1,03
5,0	0,69	0,64	0,58	0,53	0,58	2,03
6,0	0,77	0,73	0,66	0,62	0,78	3,06
7,0	0,84	0,8	0,73	0,7	0,92	4,54
8,0	0,9	0,86	0,8	0,76	1,29	6,28
9,0	0,96	0,91	0,85	0,82	1,3	8,25
10,0	1,02	0,95	0,9	0,87	1,46	10,67

$$M_L=0,16$$

$$M_p=0,01$$

$$M_{p'}=0,05$$

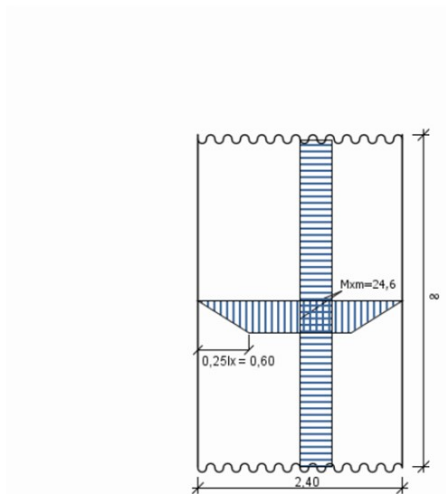
$$M_{ym} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

$$M_{ym} = 1 \times (75,0 \times 0,16 + 5,0 \times 0,01 + 5,0 \times 0,05)$$

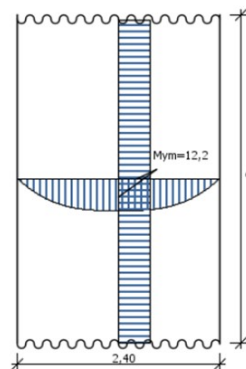
$$M_{ym} = 12,16 \text{ kN.m/m}$$

Diagramas Envolvórios

M_x devido à p



M_y devido à p



Esforços devido às cargas permanentes

M_{xm}

$k=0,12$

$$M_{xm}=k \times g \times l_x^2$$

$$M_{xm}=0,12 \times 8,44 \times 5,76$$

$$M_{xm}=6,08 \text{ kN.m/m}$$

M_{ym}

$k=0,02$

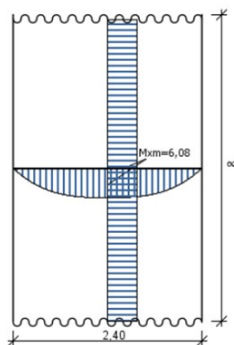
$$M_{ym}=k \times g \times l_x^2$$

$$M_{ym}=0,02 \times 8,44 \times 5,76$$

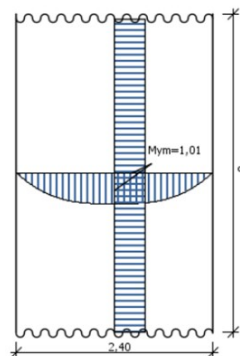
$$M_{ym}=1,01 \text{ kN.m/m}$$

Diagramas Envolvórios

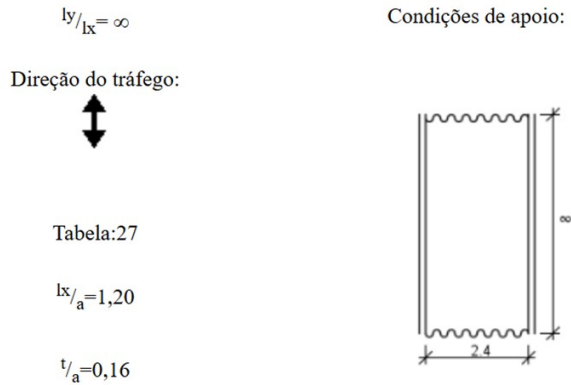
M_x devido à g



M_y devido à g



L2 (Estudo 02)



Esforços devido às cargas móveis

M_{xm} (Tabela 27.1)

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0		
	L	L	L	L	p	p'
0,50	0,118	0,083	0,041	0,02	0,0	0,0
1,0	0,171	0,129	0,078	0,061	0,0	0,0
1,5	0,266	0,216	0,175	0,12	0,0	0,05
2,0	0,332	0,29	0,25	0,195	0,0	0,1
2,5	0,399	0,357	0,318	0,264	0,0	0,27
3,0	0,452	0,415	0,37	0,33	0,3	0,53
4,0	0,56	0,52	0,485	0,44	0,8	1,11
5,0	0,65	0,62	0,58	0,53	1,25	1,79
6,0	0,74	0,71	0,67	0,63	1,65	2,9
7,0	0,82	0,79	0,75	0,7	2,0	4,5
8,0	0,87	0,85	0,81	0,76	2,4	6,3
9,0	0,91	0,89	0,85	0,8	2,75	8,4
10,0	0,94	0,91	0,87	0,82	3,12	10,55

$$M_L = 0,20$$

$$M_p = 0,0$$

$$M_{p'} = 0,02$$

$$M_{xm} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

$$M_{xm} = 1 \times (75,0 \times 0,20 + 5,0 \times 0,0 + 5,0 \times 0,02)$$

$$M_{xm} = 14,83 \text{ kN.m/m}$$

M_{ym} (Tabela 27.2)

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0		
	L	L	L	L	p	p'
0,50	0,097	0,051	0,031	0,008	0,0	0,01
1,0	0,149	0,091	0,051	0,023	0,0	0,01
1,5	0,187	0,134	0,08	0,038	0,0	0,03
2,0	0,215	0,168	0,096	0,064	0,0	0,05
2,5	0,248	0,198	0,137	0,096	0,0	0,13
3,0	0,287	0,239	0,179	0,141	0,05	0,24
4,0	0,361	0,315	0,262	0,222	0,13	0,57
5,0	0,43	0,389	0,338	0,295	0,21	0,83
6,0	0,498	0,457	0,412	0,37	0,28	1,33
7,0	0,56	0,52	0,479	0,433	0,33	2,03
8,0	0,61	0,58	0,54	0,49	0,42	2,89
9,0	0,66	0,63	0,59	0,54	0,48	3,82
10,0	0,71	0,67	0,63	0,58	0,56	4,85

$$M_L = 0,15$$

$$M_p = 0,0$$

$$M_{p'} = 0,02$$

$$M_{ym} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

$$M_{ym} = 1 \times (75,0 \times 0,15 + 5,0 \times 0,0 + 5,0 \times 0,02)$$

$$M_{ym} = 11,23 \text{ kN.m/m}$$

M_{xe} (Tabela 27.3)

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0		
	L	L	L	L	p	p'
0,50	0,25	0,19	0,12	0,05	0,0	0,1
1,0	0,32	0,26	0,18	0,09	0,0	0,28
1,5	0,42	0,4	0,34	0,25	0,0	0,35
2,0	0,58	0,56	0,51	0,4	0,03	0,35
2,5	0,72	0,7	0,66	0,55	0,08	0,37
3,0	0,85	0,84	0,8	0,78	0,2	0,8
4,0	1,06	1,06	1,01	0,98	0,55	2,2
5,0	1,21	1,21	1,18	1,14	1,0	4,25
6,0	1,32	1,32	1,3	1,26	1,4	7,6
7,0	1,41	1,41	1,4	1,36	2,0	11,8
8,0	1,47	1,47	1,47	1,44	2,4	16,2
9,0	1,52	1,52	1,52	1,5	3,0	21,6
10,0	1,54	1,54	1,54	1,53	3,5	26,3

$$M_L = 0,35$$

$$M_p = 0,0$$

$$M_{p'} = 0,31$$

$$M_{xe} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

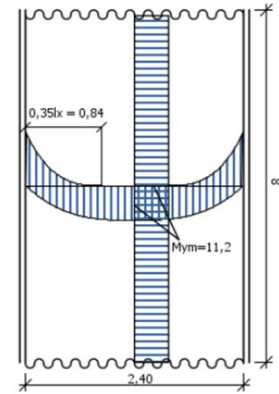
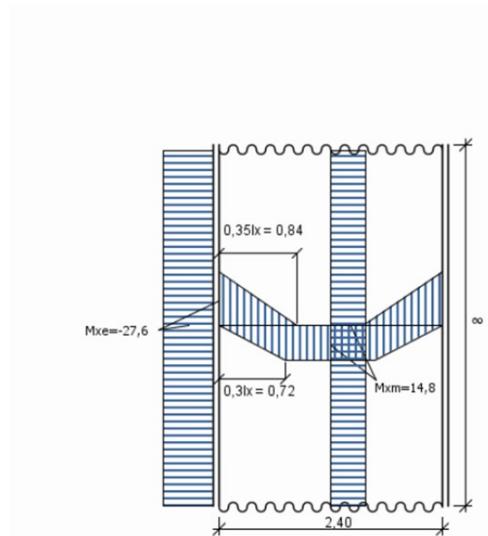
$$M_{xe} = 1 \times (75,0 \times 0,35 + 5,0 \times 0,0 + 5,0 \times 0,31)$$

$$M_{xe} = -27,62 \text{ kN.m/m}$$

Diagramas Envoltórios

M_y devido à p

M_x devido à p



Esforços devido às cargas permanentes

M_{xm}

$$k=0,04$$

$$M_{xm}=k \times g \times l_x^2$$

$$M_{xm}=0,04 \times 8,44 \times 5,76$$

$$M_{xm}=2,03 \text{ kN.m/m}$$

M_{ym}

$$k=0,01$$

$$M_{ym}=k \times g \times l_x^2$$

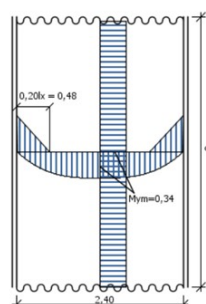
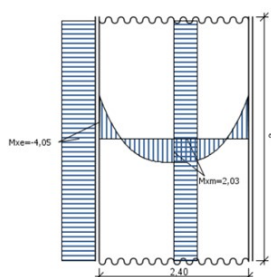
$$M_{ym}=0,01 \times 8,44 \times 5,76$$

$$M_{ym}=0,34 \text{ kN.m/m}$$

Diagramas Envoltórios

M_y devido à g

M_x devido à g



Lajes dos balanços(L1 e L6)

Determinação dos esforços

$$h_{lj} := 0,20 \text{ m}$$

$$Rev := 1 \frac{kN}{m^2}$$

$$L_{balanço} := 1,47 \text{ m}$$

$$\gamma_{concreto} := 25 \frac{kN}{m^3}$$

$$Acidental := 3 \frac{kN}{m^2}$$

$$L_{apoio} := 0,60$$

$$g1 := h_{lj} \cdot \gamma_{concreto} = 5 \frac{kN}{m^2}$$

$$PP_{apoio,ilum} := 7,57 \text{ kN}$$

$$g2 := Rev = 1 \frac{kN}{m^2}$$

$$PP_{postes} := 7850 \cdot 3 \cdot 3,1415 \cdot (0,02)^2 \cdot \left(\frac{1}{100} \right) = 0,2959 \text{ kN}$$

$$g := g1 + g2 = 6 \frac{kN}{m^2}$$

$$PP_{mureta} := 2,25 \frac{kN}{m}$$

$$M1_{balanço} := g \cdot L_{balanço}^2 \cdot \left(\frac{1}{2} \right) = 6,4827 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$D_{postes} := 40 \text{ mm}$$

$$M2_{balanço} := \left(PP_{apoio,ilum} + PP_{postes} \right) \cdot 5 \cdot \left(L_{balanço} + \left(\frac{L_{apoio}}{2} \right) \right) \cdot \left(\frac{1}{29,8} \right) = 2,336 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$M3_{balanço} := PP_{mureta} \cdot L_{balanço} = 3,3075 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$M_{g,balanço} := M1_{balanço} + M2_{balanço} + M3_{balanço} = 12,1262 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$M_{q,balanço} := Acidental \cdot \left(L_{balanço} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{2} \right) = 3,2414 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$M_{total} := M_{g,balanço} + M_{q,balanço} = 15,3676 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

Determinação dos momentos fletores de cálculo

$$\gamma_g := 1,30$$

$$\gamma_q := 1,50$$

$$CIV := 1,27$$

$$CIA := 1,25$$

MOMENTOS FLETORES POSITIVOS - (kN.m/m) - ESTUDOS 01 E 02							
LAJES	X				Y		
	Mxm	Mgx	Mdxm		Mym	Mgy	Mdym
			0				0
L2-E1	24,63	6,08	66,5541875		12,16	1,01	30,269
L2-E2	14,83	2,03	37,9529375		11,23	0,34	27,1834375
			0				
L3-E1	24,63	6,08	66,5541875		12,16	1,01	30,269
L3-E2	14,83	2,03	37,9529375		11,23	0,34	27,1834375
			0				
L4-E1	24,63	6,08	66,5541875		12,16	1,01	30,269
L4-E2	14,83	2,03	37,9529375		11,23	0,34	27,1834375
			0				
L5-E1	24,63	6,08	66,5541875		12,16	1,01	30,269
L5-E2	14,83	2,03	37,9529375		11,23	0,34	27,1834375
			0				
L6	0	12,63	16,419		0	0	0

MOMENTOS FLETORES NEGATIVOS - (kN.m/m) - 02			
LAJES	X		
	Mxe	Mgx	Mdxe
L1	0	-15,37	-19,981
			0
L2-E2	-27,62	-4,05	-71,035125
			0
L3-E2	-27,62	-4,05	-71,035125
			0
L4-E2	-27,62	-4,05	-71,035125
			0
L5-E2	-27,62	-4,05	-71,035125
			0
L6	0	-12,63	-16,419

$$M_{dxm} := 66,55 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$M_{dym} := 30,69 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$M_{dxe} := -71,03 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

Cálculo das armaduras positivas na direção x

Materiais:

Concreto $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ | $E_{cs} = 26838.41 \text{ MPa}$

$f_{ct,m} = 2.90 \text{ MPa}$ | $f_{ctk,inf} = 2.03 \text{ MPa}$

Aço CA-50 (f_{yk} e $f_{ywk} = 500 \text{ MPa}$; $f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$)

>>> Flexão Simples

M_r : momento de fissuração = $(1.5 * f_{ctk,inf} * I_x) / Y_{cg}$

$M_r = 20.28 \text{ kN.m}$ | $M_{sd} = 66.54 \text{ kN.m}$

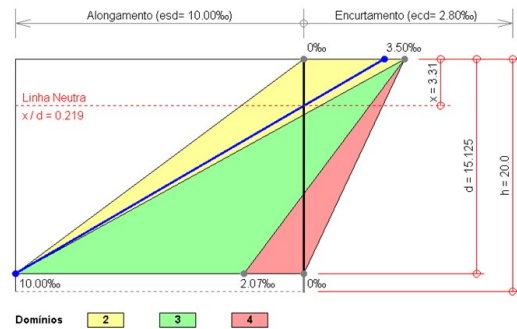
$x/d(\text{calc}) = 0.219$ | $x/d(\text{limite}) = 0.450$

$x_{LN}(\text{calc}) = 3.31 \text{ cm}$ | $x_{LN}(\text{limite}) = 6.81 \text{ cm}$

Domínio [2] | $esd = 10.00\text{‰}$ | $ecd = 2.80\text{‰}$

$A_{s,min}(M_{d,min}) = 3.13 \text{ cm}^2$ ($M_{d,min} = 20.08 \text{ kN.m}$)

$A_{s,min}(f_{ck}) = 3.00 \text{ cm}^2$ ($= 0.150\% * b * h$)



$$A_{sx} := 14,35 \text{ cm}^2 \quad \text{Ø16 c/ 14}$$

Cálculo das armaduras positivas na direção y

Materiais:

Concreto $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ | $E_{cs} = 26838.41 \text{ MPa}$

$f_{ct,m} = 2.90 \text{ MPa}$ | $f_{ctk,inf} = 2.03 \text{ MPa}$

Aço CA-50 (f_{yk} e $f_{ywk} = 500 \text{ MPa}$; $f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$)

>>> Flexão Simples

M_r : momento de fissuração = $(1.5 * f_{ctk,inf} * I_x) / Y_{cg}$

$M_r = 20.28 \text{ kN.m}$ | $M_{sd} = 30.27 \text{ kN.m}$

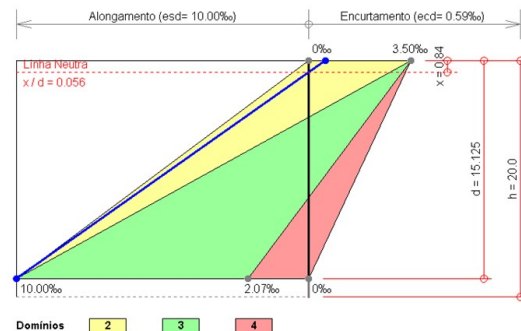
$x/d(\text{calc}) = 0.056$ | $x/d(\text{limite}) = 0.450$

$x_{LN}(\text{calc}) = 0.84 \text{ cm}$ | $x_{LN}(\text{limite}) = 6.81 \text{ cm}$

Domínio [2] | $esd = 10.00\text{‰}$ | $ecd = 0.59\text{‰}$

$A_{s,min}(M_{d,min}) = 3.13 \text{ cm}^2$ ($M_{d,min} = 20.08 \text{ kN.m}$)

$A_{s,min}(f_{ck}) = 3.00 \text{ cm}^2$ ($= 0.150\% * b * h$)



$$A_{sy} := 4,78 \text{ cm}^2 \quad \text{Ø12.5c/20}$$

Cálculo das armaduras negativas na direção x

Materiais:

Concreto $f_{ck}= 30 \text{ MPa}$ | $E_{cs}= 26838.41 \text{ MPa}$

$f_{ct,m}= 2.90 \text{ MPa}$ | $f_{ctk,inf}= 2.03 \text{ MPa}$

Aço CA-50 (f_yk e $f_{ywk}= 500 \text{ MPa}$; $f_{ywd}= 435 \text{ MPa}$)

>>> Flexão Simples

M_r : momento de fissuração= $(1.5 \cdot f_{ctk,inf} \cdot I_x) / Y_{cg}$

$M_r= 20.28 \text{ kN.m}$ | $M_{sd}= 71.04 \text{ kN.m}$

$x/d(\text{calc})= 0.235$ | $x/d(\text{limite})= 0.450$

$x_{LN}(\text{calc})= 3.56 \text{ cm}$ | $x_{LN}(\text{limite})= 6.81 \text{ cm}$

Domínio [2] | $esd= 10.00\%$ | $ecd= 3.08\%$

$A_{s,min}(M_{d,min})= 3.13 \text{ cm}^2$ ($M_{d,min}= 20.08 \text{ kN.m}$)

$A_{s,min}(f_{ck})= 3.00 \text{ cm}^2$ ($= 0.150\% \cdot b \cdot h$)

$$A_{sx} := 15,25 \text{ cm}^2 \quad \emptyset 12.5c/8$$

Verificação de fadiga - A, sx+

$$\psi_1 := 0,8$$

MOMENTOS FLETORES POSITIVOS - (kN.m/m) - FADIGA							
LAJES	X				Y		
	Mxm	Mgx	Mdxm,max	Mdxm,min	Myx	Mgy	Mdym,máx
L2-E1	24,63	6,08	37,3601	6,08	12,16	1,01	16,4532
L2-E2	14,83	2,03	20,8641	2,03	11,23	0,34	14,6021
L3-E1	24,63	6,08	37,3601	6,08	12,16	1,01	16,4532
L3-E2	14,83	2,03	20,8641	2,03	11,23	0,34	14,6021
L4-E1	24,63	6,08	37,3601	6,08	12,16	1,01	16,4532
L4-E2	14,83	2,03	20,8641	2,03	11,23	0,34	14,6021
L5-E1	24,63	6,08	37,3601	6,08	12,16	1,01	16,4532
L5-E2	14,83	2,03	20,8641	2,03	11,23	0,34	14,6021
L6	0	12,63	12,63	12,63	0	0	0

uni CALCO - Características da Seção

Dados de Entrada

Seção Retangular

b [m] 1 h [m] 0,2 d [m] 0,15

fck [MPa] 30 γ_c 1,4

E+ [MPa] 200000

Simplex

As [cm²] 14,36

Momento de Fissuração

M_r (kN.m) 20,96

Características da Seção

	Estado I	Estado I homog.	Estado II
Áreas [cm²]	2000	2095,8	585,33
LN+ [cm]	10	10,23	4,75
LN- [cm]	10	9,77	15,25
Índices [cm⁴]	68666,67	68952,15	15145,89

$$M_{d,freq,max} := 37,36 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$I_{II} := \frac{15145,89}{100^4} = 0,0002 \text{ m}^4$$

$$M_{d,freq,min} := 2,03 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$x_{II} := \frac{4,75}{100} = 0,0475 \text{ m}$$

$$F_{ck} := 30 \text{ MPa}$$

$$d := 0,15 \text{ m}$$

$$E_{cs} := 26838,40 \text{ MPa}$$

$$E_s := 200000 \text{ MPa}$$

$$\alpha_e := \frac{E_s}{E_{cs}} = 7,452$$

$$\Delta_{\sigma s} := \alpha_e \cdot \frac{\left((M_{d, freq, max} - M_{d, freq, min}) \cdot (d - x_{II}) \right)}{I_{II}} = 1,7817 \cdot 10^5 \frac{kN}{m^2}$$

$$\frac{\Delta_{\sigma s}}{1000} = 178,1747 \text{ Mpa}$$

$$\Delta_{fsd, fad, min} := 190 \text{ Mpa}$$

Ok !

Verificação de fadiga - A,sy+

$$\psi_1 := 0,8$$

MOMENTOS FLETORES POSITIVOS - (kN.m/m) - FADIGA								
LAIES	X				Y			
	Mxm	Mgx	Mdxm,max	Mdxm,min	Mym	Mgy	Mdym,máx	Mdym,min
L2-E1	24,63	6,08	37,3601	6,08	12,16	1,01	16,4532	1,01
L2-E2	14,83	2,03	20,8641	2,03	11,23	0,34	14,6021	0,34
L3-E1	24,63	6,08	37,3601	6,08	12,16	1,01	16,4532	1,01
L3-E2	14,83	2,03	20,8641	2,03	11,23	0,34	14,6021	0,34
L4-E1	24,63	6,08	37,3601	6,08	12,16	1,01	16,4532	1,01
L4-E2	14,83	2,03	20,8641	2,03	11,23	0,34	14,6021	0,34
L5-E1	24,63	6,08	37,3601	6,08	12,16	1,01	16,4532	1,01
L5-E2	14,83	2,03	20,8641	2,03	11,23	0,34	14,6021	0,34
L6	0	12,63	12,63	12,63	0	0	0	0

UNI CALCUL - Características da Seção

Dados de Entrada

Seção Retangular

bw (m) | h (m) | d (m)

1 | 0,2 | 0,15

d' (m)

0,05

Momento de Fissuração

Me (kN.m) | 58,36

Características

da Seção	Estado I	Estado I homog.	Estado II
Áreas (cm²)	2000	2095,8	565,23
LN s (cm)	10	10,23	4,75
LN i (cm)	10	9,77	15,25
Inércias (cm⁴)	68866,67	68952,15	15145,89

fc (MPa) | 30

γc | 1,4

E (MPa) | 200000

Simplex

As (cm²) | 14,36

$$M_{d, freq, max} := 16,45 \frac{kN \cdot m}{m}$$

$$I_{II} := \frac{67451,37}{100^4} = 0,0007 \text{ m}^4$$

$$M_{d, freq, min} := 0,34 \frac{kN \cdot m}{m}$$

$$x_{II} := \frac{10,08}{100} = 0,100 \text{ m}$$

$$F_{ck} := 30 \text{ Mpa}$$

$$d := 0,15$$

$$E_{cs} := 26838,40 \text{ Mpa}$$

$$E_s := 200000 \text{ Mpa}$$

$$\alpha_e := \frac{E_s}{E_{cs}} = 7,452$$

$$\Delta_{\sigma s} := \alpha_e \cdot \frac{\left((M_{d, freq, max} - M_{d, freq, min}) \cdot (d - x_{II}) \right)}{I_{II}} = 8756,7559 \frac{kN}{m^2}$$

$$\frac{\Delta_{\sigma s}}{1000} = 8,7568 \text{ Mpa}$$

$$\Delta_{fsd, fad, min} := 190 \text{ Mpa}$$

Ok !

Verificação de fadiga - A,sx-

$$\psi I := 0,8$$

MOMENTOS FLETORES NEGATIVOS - (kN.m/m) - FADIGA				
LAJES	X			
	Mxe	Mgxe	Mdx,máx	Mdxm,mín
L1	0	-15,37	-15,37	-15,37
L2-E2	-27,62	-4,05	-39,1274	-4,05
L3-E2	-27,62	-4,05	-39,1274	-4,05
L4-E2	-27,62	-4,05	-39,1274	-4,05
L5-E2	-27,62	-4,05	-39,1274	-4,05
L6	0	-15,37	-15,37	-15,37

uni CALCO - Características da Seção

Dados de Entrada

Seção Retangular

bw (m) 1 h (m) 0,2 d (m) 0,15

d' (m) 0,05

fc (MPa) 30 γ_c 1,4

E (MPa) 200000

Simplex

As (cm²) 15,25

Momento de Fissuração

M_f (kN.m) 28,96

Características da Seção

	Estádio I	Estádio I homolog	Estádio II
Áreas (cm²)	2000	2101,74	603,86
LN.s (cm)	10	10,24	4,87
LN.I (cm)	10	9,76	15,13
Inércias (cm⁴)	66666,67	63086,95	15854,74

$$M_{d,freq,max} := 39,13 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m} \quad I_{II} := \frac{15854,74}{100^4} = 0,0002 \text{ m}^4$$

$$M_{d,freq,min} := 4,05 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m} \quad x_{II} := \frac{4,87}{100} = 0,0487 \text{ m} \quad F_{ck} := 30 \text{ Mpa} \quad d := 0,15$$

$$E_{cs} := 26838,40 \text{ Mpa} \quad E_s := 200000 \text{ Mpa} \quad \alpha_e := \frac{E_s}{E_{cs}} = 7,452$$

$$\Delta_{\sigma s} := \alpha_e \cdot \frac{\left((M_{d,freq,max} - M_{d,freq,min}) \cdot (d - x_{II}) \right)}{I_{II}} = 1,6703 \cdot 10^5 \frac{kN}{m^2}$$

$$\frac{\Delta_{\sigma s}}{1000} = 167,0257 \text{ Mpa}$$

$$\Delta_{fsd,fad,min} := 190 \text{ Mpa}$$

Ok !

DIMENSIONAMENTO DA LAJE DE APROXIMAÇÃO - RUSCH

$$l_x := 1254 \text{ cm}$$

$$a := 50 \text{ cm}$$

$$h_a := 10 \text{ cm}$$

$$h_s := 25 \text{ cm}$$

$$l_y := 430 \text{ cm}$$

$$b := 20 \text{ cm}$$

$$h_L := 20 \text{ cm}$$

$$\lambda := \frac{l_y}{l_x} = 0,3429$$

$$a1 := 150 \text{ cm}$$

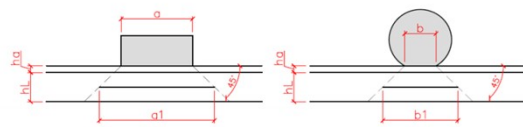
$$b1 := 120 \text{ cm}$$

$$t := (a1 \cdot b1)^{0,5} = 134,1641 \text{ cm}$$

$$a_{dist, rodas} := 200 \text{ cm}$$

$$\frac{t}{a_{dist, rodas}} = 0,6708$$

Roda em Planta



Determinação dos esforços

$$h_{lj} := 0,25 \text{ m}$$

$$h_{pav} := 0,06 \text{ m}$$

$$\gamma_{concreto} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_{pav} := 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$Recap := 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g1 := h_{lj} \cdot \gamma_{concreto} = 6,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g2 := (h_{pav} \cdot \gamma_{pav}) + Recap = 3,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g := g1 + g2 = 9,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

(Laje de aproximação)

Parâmetros de entrada

$$l_y/l_x = 2,91$$

Condições de apoio:

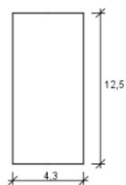
Direção do tráfego:



Tabela: 76

$$l_x/a = 2,15$$

$$l_y/a = 0,67$$



Esforços devido às cargas móveis

M_{xm} (Tabela 76.1)

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0		
	L	L	L	L	p	p'
0,50	0,185	0,135	0,085	0,06	0,0	0,1
1,0	0,25	0,21	0,155	0,115	0,0	0,2
1,5	0,38	0,304	0,29	0,215	0,0	0,5
2,0	0,52	0,487	0,438	0,376	0,0	1,0
2,5	0,63	0,6	0,55	0,5	0,0	1,78
3,0	0,71	0,69	0,64	0,59	0,1	2,8
4,0	0,85	0,83	0,79	0,75	0,25	5,6
5,0	0,96	0,94	0,91	0,87	0,54	9,6
6,0	1,04	1,03	1,0	0,96	0,8	14,6
7,0	1,11	1,1	1,08	1,03	1,1	20,6
8,0	1,17	1,15	1,13	1,09	1,5	27,5
9,0	1,22	1,2	1,18	1,13	1,8	35,4
10,0	1,25	1,24	1,22	1,17	2,16	44,0

$$M_L = 0,45$$

$$M_p = 0,0$$

$$M_p = 1,23$$

$$M_{xm} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

$$M_{xm} = 1 \times (75,0 \times 0,45 + 5,0 \times 0,0 + 5,0 \times 1,23)$$

$$M_{xm} = 40,05 \text{ kN.m/m}$$

M_{ym} (Tabela 76.2)

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0		
	L	L	L	L	p	p'
0,50	0,148	0,089	0,064	0,02	0,0	0,0
1,0	0,2	0,143	0,086	0,053	0,0	0,0
1,5	0,262	0,206	0,138	0,103	0,0	0,09
2,0	0,338	0,288	0,205	0,172	0,0	0,19
2,5	0,415	0,366	0,272	0,238	0,0	0,32
3,0	0,495	0,441	0,342	0,314	0,04	0,55
4,0	0,63	0,57	0,47	0,444	0,17	1,23
5,0	0,72	0,67	0,58	0,55	0,4	2,26
6,0	0,81	0,76	0,66	0,64	0,64	3,57
7,0	0,88	0,83	0,74	0,71	0,93	5,18
8,0	0,95	0,88	0,8	0,78	1,26	7,08
9,0	0,98	0,94	0,86	0,84	1,57	9,23
10,0	1,02	0,98	0,9	0,88	1,92	11,63

$$M_L = 0,21$$

$$M_p = 0,0$$

$$M_p = 0,23$$

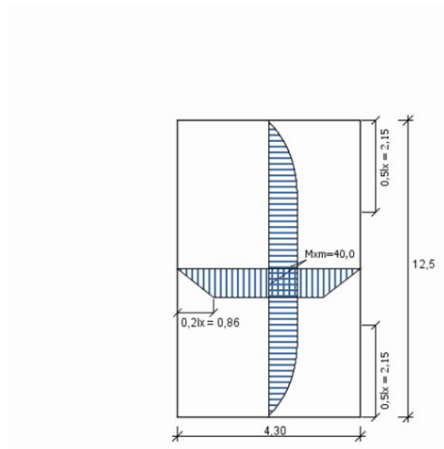
$$M_{ym} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

$$M_{ym} = 1 \times (75,0 \times 0,21 + 5,0 \times 0,0 + 5,0 \times 0,23)$$

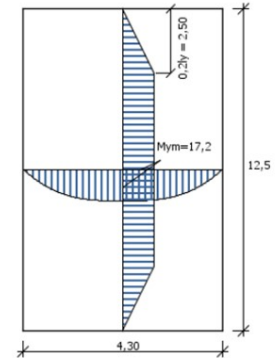
$$M_{ym} = 17,18 \text{ kN.m/m}$$

Diagramas Envoltores

M_x devido à p



M_y devido à p



Esforços devido às cargas permanentes

M_{xm}

$$k=0,01$$

$$M_{xm}=k \times g \times l_x^2$$

$$M_{xm}=0,01 \times 9,70 \times 18,49$$

$$M_{xm}=1,79 \text{ kN.m/m}$$

M_{ym}

$$k=0,03$$

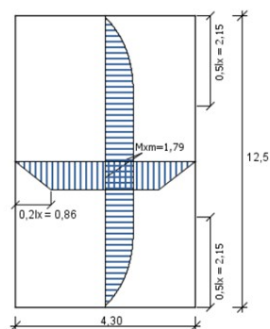
$$M_{ym}=k \times g \times l_x^2$$

$$M_{ym}=0,03 \times 9,70 \times 18,49$$

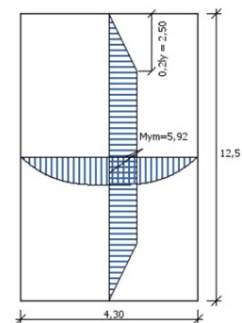
$$M_{ym}=5,92 \text{ kN.m/m}$$

Diagramas Envoltores

M_x devido à g



M_y devido à g



Determinação dos momentos fletores de cálculo

$$Y_g := 1,30$$

$$Y_q := 1,50$$

$$CIV := 1,27$$

$$CIA := 1,25$$

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO- (kN.m/m)							
LAJES	X				Y		
	Mxm	Mgx	Mdxm		Mym	Mgy	Mdym
			0				0
Transição	40,05	1,79	97,6960625		17,18	5,92	48,605875

$$M_{dxm} := 97,96 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$M_{dym} := 48,60 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Cálculo das armaduras positivas na direção x

Materiais:

Concreto $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ | $E_{cs} = 26838.41 \text{ MPa}$

$f_{ct,m} = 2.90 \text{ MPa}$ | $f_{ctk,inf} = 2.03 \text{ MPa}$

Aço CA-50 (f_{yk} e $f_{yw} = 500 \text{ MPa}$; $f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$)

>>> Flexão Simples

M_r : momento de fissuração= $(1.5 \cdot f_{ctk,inf} \cdot I_x) / Y_{cg}$

$M_r = 45.62 \text{ kN.m}$ | $M_s = 69.97 \text{ kN.m}$ | $M_{sd} = 97.96 \text{ kN.m}$

$x/d(\text{calc}) = 0.100$ | $x/d(\text{limite}) = 0.450$

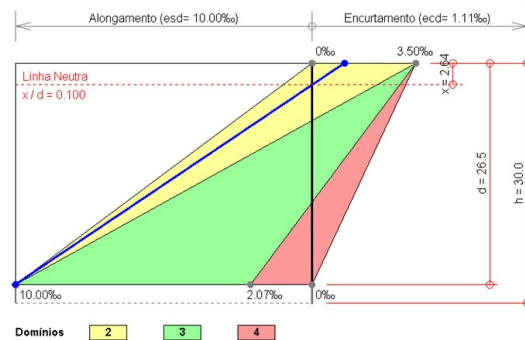
$x_{LN}(\text{calc}) = 2.64 \text{ cm}$ | $x_{LN}(\text{limite}) = 11.93 \text{ cm}$

Domínio [2] | $esd = 10.00\text{‰}$ | $ecd = 1.11\text{‰}$

$A_{s,min}(M_{d,min}) = 3.99 \text{ cm}^2$ ($M_{d,min} = 45.18 \text{ kN.m}$)

$A_{s,min}(f_{ck}) = 4.50 \text{ cm}^2$ ($= 0.150\% \cdot b \cdot h$)

$A_{s,t} = 8.86 \text{ cm}^2$: Ø12.5c/13 (Não passa na fadiga)



$$A_{sx} := 12 \text{ cm}^2 \quad \text{Ø12.5 c/ 10}$$

Cálculo das armaduras positivas na direção y

Materiais:

Concreto $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ | $E_{cs} = 26838.41 \text{ MPa}$

$f_{ct,m} = 2.90 \text{ MPa}$ | $f_{ctk,inf} = 2.03 \text{ MPa}$

Aço CA-50 (f_{yk} e $f_{ywk} = 500 \text{ MPa}$; $f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$)

>>> Flexão Simples

M_r : momento de fissuração = $(1.5 \cdot f_{ctk,inf} \cdot I_x) / Y_{cg}$

$M_r = 45.62 \text{ kN.m}$ | $M_s = 34.71 \text{ kN.m}$ | $M_{sd} = 48.59 \text{ kN.m}$

$x/d(\text{calc}) = 0.048$ | $x/d(\text{limite}) = 0.450$

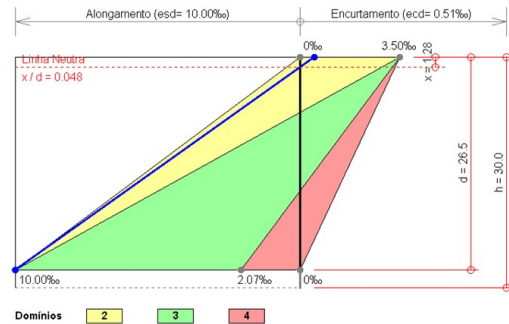
$x_{LN}(\text{calc}) = 1.28 \text{ cm}$ | $x_{LN}(\text{limite}) = 11.93 \text{ cm}$

Domínio [2] | $esd = 10.00\text{‰}$ | $ecd = 0.51\text{‰}$

$A_{s,min}(M_{d,min}) = 3.99 \text{ cm}^2$ ($M_{d,min} = 45.18 \text{ kN.m}$)

$A_{s,min}(f_{ck}) = 4.50 \text{ cm}^2$ ($= 0.150\% \cdot b \cdot h$)

$A_s, t = 4.50 \text{ cm}^2$: Ø12.5c/20



Verificação de fadiga - A,sx+

$$\psi_1 := 0,8$$

MOMENTOS FLETORES POSITIVOS - (kN.m/m) - FADIGA							
LAJES	X				Y		
	Mxm	Mgx	Mdxm,max	Mdxm,min	Mym	Mgy	Mdym,máx
Transição	40,05	1,79	52,6535	1,79	17,18	5,92	27,7386

uni CALCO - Características da Seção

Dados de Entrada

Seção Retangular

bw [m] 1 h [m] 0,30 d [m] 0,25

d [m] 0,05

Momento de Fissuração

M_i (kN.m) 65,17

Características da Seção

f_{ck} (MPa) 30 γ_c 1,4

E_s (MPa) 200000

Simplex

A_s [cm²] 12

Características da Seção	Estado I homog.	Estado II
Áreas [cm²]	3000	3080,05
LN_i [cm]	15	15,26
LN_i [cm]	15	14,74
Índices [cm⁴]	225000	232797,35

$$M_{d,freq,max} := 52,65 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$I_{II} := \frac{40427,8}{100} = 0,0004 \text{ m}^4$$

$$M_{d,freq,min} := 1,79 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$x_{II} := \frac{5,93}{100} = 0,0593 \text{ m}$$

$$F_{ck} := 30 \text{ MPa}$$

$$d := 0,25$$

$$E_{cs} := 26838,40 \text{ MPa}$$

$$E_s := 200000 \text{ MPa}$$

$$\alpha_e := \frac{E_s}{E_{cs}} = 7,452$$

$$\Delta_{\sigma s} := \alpha_e \cdot \frac{\left((M_{d, freq, max} - M_{d, freq, min}) \cdot (d - x_{II}) \right)}{I_{II}} = 1,7878 \cdot 10^5 \frac{kN}{m^2}$$

$$\frac{\Delta_{\sigma s}}{1000} = 178,7806 \text{ Mpa}$$

$$\Delta_{fsd, fad, min} := 190 \text{ Mpa}$$

Ok !

Verificação de fadiga - A, sy+

$$\psi_1 := 0,8$$

MOMENTOS FLETORES POSITIVOS - (kN.m/m) - FADIGA								
LAJES	X				Y			
	Mxm	Mgx	Mdxm,max	Mdxm,min	Mym	Mgy	Mdym, máx	Mdym, min
Transição	40,05	1,79	52,6535	1,79	17,18	5,92	27,7386	5,92

ui CALCO - Características da Seção

Dados de Entrada

Seção Retangular

bw [m] 1 h [m] 0,2 d [m] 0,15

d [m] 0,05

fyk [MPa] 50 Yc 1,4

Ei [MPa] 200000

Simplex

As [cm²] 14,36

Momento de Fissuração

Mi [kN.m] 28,36

Características da Seção

	Estado I	Estado I homolog.	Estado II
Área [cm²]	2000	2095,8	595,33
LN.s [cm]	10	10,23	4,75
LN.i [cm]	10	9,77	15,25
Inércia [cm⁴]	66666,67	68952,15	15145,89

$$M_{d, freq, max} := 27,74 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$I_I := \frac{227972,29}{100^4} = 0,0023 \text{ m}^4$$

$$M_{d, freq, min} := 5,92 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$x_I := \frac{3,82}{100} = 0,0382 \text{ m}$$

$$F_{ck} := 30 \text{ Mpa}$$

$$d := 0,25$$

$$E_{cs} := 26838,40 \text{ Mpa}$$

$$E_s := 200000 \text{ Mpa}$$

$$\alpha_e := \frac{E_s}{E_{cs}} = 7,452$$

$$\Delta_{\sigma s} := \alpha_e \cdot \frac{\left((M_{d, freq, max} - M_{d, freq, min}) \cdot (d - x_{II}) \right)}{I_{II}} = 76700,5901 \frac{kN}{m^2}$$

$$\frac{\Delta_{\sigma s}}{1000} = 76,7006 \text{ Mpa}$$

$$\Delta_{fsd, fad, min} := 190 \text{ Mpa}$$

Ok !



SCAPE

Software para Cálculo de
Aparelhos de Apoio Elastoméricos

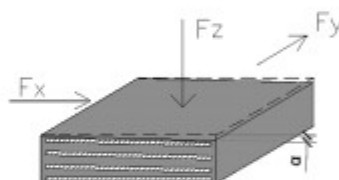
Aparelho de Apoio Retangular Fretado - Memorial de Cálculo - BS EN 1337-3

Tipo de verificação	Resultado	Limite	Situação
Máxima deformação total de cálculo	5.99	7 mm	OK
Verificação da espessura das chapas de aço	1.74	3.0mm	OK
Máxima rotação permitida	4.76	≥ 0	OK
Estabilidade a flambagem	17.60	≤ 34.8	OK
Estabilidade ao deslizamento	-	-	OK

Variáveis de entrada

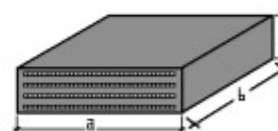
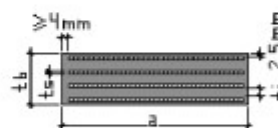
$F_{zk} = 2140.00 \text{ kN}$
 $F_{zd} = 1322.00 \text{ kN}$
 $F_{xd} = 10.51 \text{ kN}$
 $v_{xd} = 4.94 \text{ mm}$
 $\alpha_{a,d} = 0.0 \text{ rad}$

$F_{zd,min} = 802.30 \text{ kN}$
 $F_{yd} = 52.44 \text{ kN}$
 $v_{yd} = 24.64 \text{ mm}$
 $\alpha_{b,d} = 0.0 \text{ rad}$



Aparelho de apoio escolhido

$a = 250.0 \text{ mm}$
 $b = 350.0 \text{ mm}$
 $n = 4.0 \text{ camadas}$
 $t_s = 3.0 \text{ mm}$
 $t_i = 8.0 \text{ mm}$
 $t_b = 52.0 \text{ mm}$



Configurações

$*K_f = 0.6$
 $G = 0.9 \text{ MPa}$
 $E_b = 2000.0 \text{ MPa}$
 $f_y = 210.0 \text{ MPa}$
 $ch = 4.0 \text{ mm}$
 $cv = 2.5 \text{ mm}$
 $**K_h = 1.0$

*Para aparelhos de apoio em contato com o concreto $K_f = 0.6$ e, para quais quer outros materiais $K_f = 0.2$.

**Para aparelhos de apoio com presença de furos $K_h = 2.0$, caso contrário, $K_h = 1.0$.

Verificação 1: Máxima deformação total de cálculo

$$K_L(\varepsilon_{c,d} + \varepsilon_{q,d} + \varepsilon_{a,d}) \leq \varepsilon_{u,d} = 1.5 \cdot (3.31 + 0.68 + 0.00) \leq 7 = 5.99 < 7 \rightarrow \text{OK}$$

$$\varepsilon_{q,d} = \frac{v_{xy,d}}{T_q} \leq 1,0 = 0.68 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

Verificação 2: Verificação de espessura das chapas de aço

$$t_s' = \frac{K_p \cdot F_{z,d} \cdot (t_1 + t_2) \cdot K_h \cdot \gamma_m}{A_r \cdot f_y} \leq t_s = 1.74 \leq 3.00 \rightarrow \text{OK}$$

Verificação 3: Condição limite - rotação

$$\sum v_{z,d} - \frac{(a' \cdot \alpha_{a,d} + b' \cdot \alpha_{b,d})}{K_{r,d}} \geq 0 = 4.76 \geq 0 \rightarrow \text{OK}$$

Verificação 4: Condição limite - estabilidade à flambagem

$$\frac{F_{z,d}}{A_r} < \frac{2 \cdot a' \cdot G \cdot S_1}{3 \cdot T_e} = 17.60 \leq 34.76 \rightarrow \text{OK}$$

Verificação 5: Condição limite - estabilidade ao deslizamento

Sob Cargas permanentes:

$$\sigma_{cd,min} = \frac{F_{z,d} \min}{A_r} \geq 3 = 10.68 \geq 3 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Sob Cargas totais:

$$F_{xy,d} - \mu_e \cdot F_{z,d} \min \leq 0 = -94348.58 \leq 0 \rightarrow \text{OK}$$

Dimensionamento das alas

Empuxo lateral

$$K_a := 0,36 \quad P_{TB450} := \frac{450}{4 \cdot 12,54} = 8,9713 \frac{kN}{m^2}$$

$$\gamma_{solo} := 20 \frac{kN}{m^3}$$

$$q := 5 + 8,97 = 13,97 \frac{kN}{m^2}$$

$$h_1 := 0,75 \text{ m}$$

$$L_1 := 4,15 \text{ m}$$

$$h_2 := 2,045 \text{ m}$$

$$L_2 := 3,04 \text{ m}$$

$$h_3 := 3,09 \text{ m}$$

$$L_3 := 1,05 \text{ m}$$

$$d := 0,25 \text{ m}$$

$$F_{ck} := 30 \text{ MPa}$$

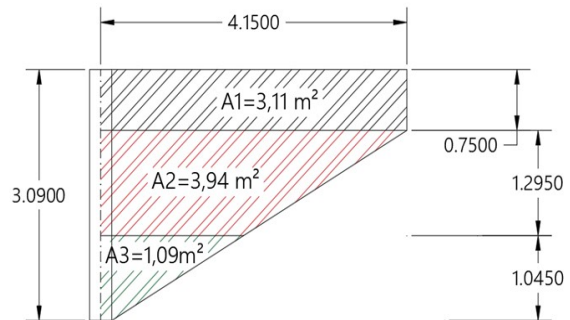
$$F_{yk} := 50 \frac{kN}{cm^2}$$

$$F_{yd} := \frac{F_{yk}}{1,15} = 43,4783 \frac{kN}{cm^2}$$

$$P_{a1} := K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot h_1 + (q \cdot K_a) = 10,4292 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{a2} := K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot h_2 + (q \cdot K_a) = 19,7532 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{a3} := K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot h_3 + (q \cdot K_a) = 27,2772 \frac{kN}{m^2}$$



$$M_1 := P_{a1} \cdot L_1^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 89,8084 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$M_2 := P_{a2} \cdot L_2^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 91,2756 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

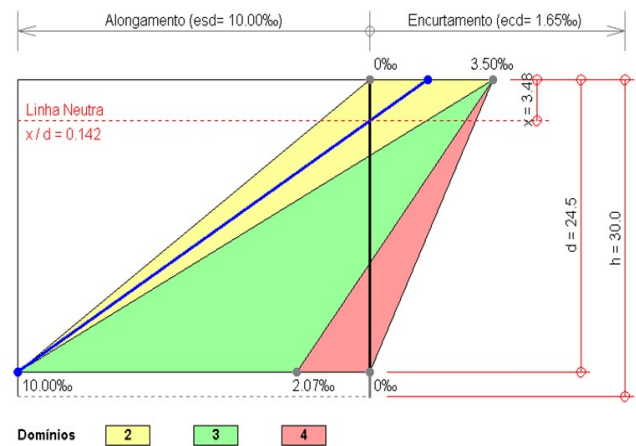
$$M_3 := P_{a3} \cdot L_3^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 15,0366 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$KMD_2 := M_2 \cdot 1,4 \cdot \left(\frac{1}{d^2 \cdot \frac{F_{ck}}{1,4} \cdot 1000} \right) = 0,0954$$

$$Kz := 0,954$$

$$Kx := 0,1403$$

$$x := Kx \cdot d = 0,0351 \text{ m}$$



$$A_s := M_2 \cdot 1,4 \cdot \left(\frac{1}{Kz \cdot d \cdot \frac{F_{yk}}{1,15}} \right) = 12,3232 \frac{cm^2}{m} \quad \phi 12,5 \text{ c} / 10$$

Carregamentos verticais (Consolo)

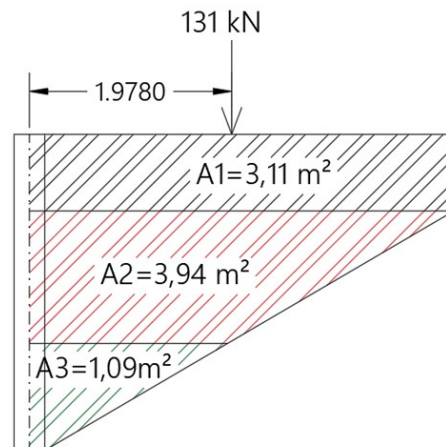
$$PP_{ala,max} := 23,175 \frac{kN}{m}$$

$$PP_{ala,min} := 5,625 \frac{kN}{m}$$

$$PP_{NJ} := 13,25 \frac{kN}{m}$$

$$P_{total} := 131 \text{ kN}$$

$$X_{cg} := 1,978 \text{ m}$$



$$f_{cdr} := 0,6 \cdot \left(1 - \left(\frac{F_{ck}}{250} \right) \right) \cdot \frac{F_{ck}}{1,4} = 11,3143 \text{ MPa}$$

$$d' := 0,05 \text{ m}$$

$$\theta := 0,95058 \text{ rad}$$

$$d_{ef} := d' + (1,4 \cdot X_{cg}) = 2,8192 \text{ m}$$

$$\tan(\theta) = 1,4001 \quad c := 4 \text{ m}$$

$$\sin(\theta) = 0,8138 \quad \cot(\theta) = 0,7142$$

$$\cos(\theta) = 0,5812$$

Largura da biela

$$u := 2 \cdot d' = 0,1 \text{ m}$$

$$c_2 := (c + (u \cdot \cot(\theta) \cdot \sin(\theta))) \cdot 100 = 405,8121 \text{ cm}$$

Tensão na biela de compressão

$$P_{d,ef} := P_{total} \cdot 1,4 = 183,4 \text{ kN}$$

$$\sigma_{2d} := \frac{P_{d,ef}}{b \cdot 10 \cdot c_2 \cdot \sin(\theta)} = 0,1851 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{2d} \cdot 10 = 1,8512 \text{ MPa}$$

Ok !

$$f_{cdr} = 11,3143 \text{ MPa}$$

Armadura do tirante

$$z := X_{cg} \cdot \tan(\theta) = 2,7694 \text{ m}$$

$$z \cdot 100 = 276,9394 \text{ cm}$$

$$R_{sd} := P_{d,ef} \cdot X_{cg} \cdot \left(\frac{1}{z \cdot 100} \right) \cdot 100 = 130,9908 \text{ kN}$$

$$A_{s,tirante} := \frac{R_{sd}}{F_{yd}} = 3,0128 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min,tirante} := h_3 \cdot b \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{0,15}{100} \right) = 13,905 \text{ (Adotado)}$$

5φ20

Armadura de costura (Estribos)

$$A_{s,c} := A_{s,min,tirante} \cdot \left(\frac{1}{2} \right) = 6,9525 \text{ cm}^2$$

5φ10

Verificação ao cisalhamento

Materiais:

Concreto fck= 30 MPa | Ecs= 26838.41 MPa

fct,m= 2.90 MPa | fctk,inf= 2.03 MPa

Aço CA-50 (fyk e fywk= 500 MPa; fywd= 435 MPa)

>>> Cisalhamento (Modelo de cálculo I ==> bielas: teta=45°)

Vs= 131.00 kN | Vsd= 183.40 kN

Vsd= (Vc= 178.59 kN) + (Vsw= 4.81 kN)

VRd2: força cortante resistente de cálculo (NBR 6118-2014, item 17.4.2.2)

$$VRd2 = 0.27 \cdot (1 - f_{ck}/250) \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d$$

$$VRd2 = 1046.29 \text{ kN} \quad | \quad Vsd/VRd2 = 0.18$$

Armadura Transversal:

Asw,min: NBR 6118:2014, item 17.4.1.1.1

psw,min >= 0.2 * (fct,m / fywk) --> psw,min= 0.1159%

Asw,min= 3.48 cm²/m (= b * psw,min)

$$Asw(calc) = [Vsw / (0.9 \cdot d \cdot fywd) \cdot 100] = 0.18 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Asw(adot)= 3.48 cm²/m

Opções de armadura considerando estribo com 2 ramos:

Ø6.3c/17

* Espaçamento máximo entre estribos (NBR 6118:2014, item 18.3.3.2):

Como Vsd <= 0.67 * VRd2 --> Smax= 30 cm (= 0.6.d <= 30 cm)

CONSOLO DA CORTINA

$$d_{\text{consolo}} := 35 \text{ cm}$$

$$d'_{\text{consolo}} := 5 \text{ cm}$$

$$a_{\text{consolo}} := 25 \text{ cm}$$

$$b_{\text{consolo}} := 1 \text{ m}$$

Carga da laje de aproximação

$$\text{espessura} := 0,30 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{concreto}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$PP_{\text{laje}} := \text{espessura} \cdot \gamma_{\text{concreto}} = 7,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Carga móvel

$$p := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Dimensões da laje de aproximação

$$a := 4 \text{ m}$$

$$L := 12,5 \text{ m}$$

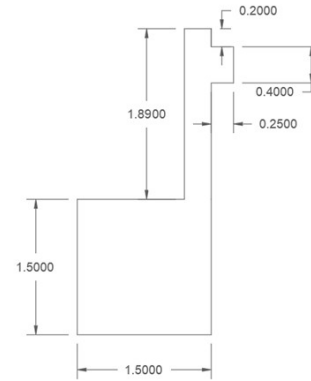
$$P := \frac{450}{a \cdot L} = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q := P \cdot 1,4 \cdot \left(a \cdot \frac{L}{2} \right) \cdot \left(\frac{1}{L} \right) = 25,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{Reação da laje de aproximação sobre o consolo da cortina})$$

$$f_{\text{cdr}} := 0,6 \cdot \left(1 - \left(\frac{F_{\text{ck}}}{250} \right) \right) \cdot \frac{F_{\text{ck}}}{1,4} = 11,3143 \text{ MPa}$$

$$\tan(\alpha) := \frac{(d_{\text{consolo}} - d'_{\text{consolo}})}{a_{\text{consolo}}} = 1,2$$

$$\alpha := 50,19 \cdot ^\circ$$



$$d' := 0,05 \text{ m}$$

$$\alpha_{rad} := 0,876$$

$$d_{ef} := d' + \left(1,4 \cdot \frac{a_{consolo}}{100} \right) = 0,4 \text{ m}$$

$$\tan(\alpha_{rad}) = 1,2 \quad c := 0,2 \text{ m}$$

$$\sin(\alpha_{rad}) = 0,7682$$

$$\cot(\alpha_{rad}) = 0,8334$$

$$\cos(\alpha_{rad}) = 0,6402$$

Largura da biela

$$u := 2 \cdot d' = 0,1 \text{ m}$$

$$c_2 := \left(c + \left(u \cdot \cot(\alpha_{rad}) \cdot \sin(\alpha_{rad}) \right) \right) \cdot 100 = 26,4023 \text{ cm}$$

Tensão na biela de compressão

$$P_{d,ef} := Q \cdot 1,4 = 35,28 \text{ kN}$$

$$\sigma_{2d} := \frac{P_{d,ef}}{b_{consolo} \cdot 10 \cdot c_2 \cdot \sin(\alpha_{rad})} = 0,1739 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{2d} \cdot 10 = 1,7395 \text{ MPa}$$

Ok !

$$f_{cdr} = 11,3143 \text{ MPa}$$

Armadura do tirante

$$z := \frac{a_{consolo}}{100} \cdot \tan(\alpha_{rad}) = 0,3 \text{ m}$$

$$z \cdot 100 = 30 \text{ cm}$$

$$R_{sd} := P_{d,ef} \cdot \left(\frac{a_{consolo}}{100} \right) \cdot \left(\frac{1}{z \cdot 100} \right) \cdot 100 = 29,4 \text{ kN}$$

$$A_{s,tirante} := \frac{R_{sd}}{F_{yd}} = 0,6762 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s,min} := a_{consolo} \cdot b_{consolo} \cdot \left(\frac{0,15}{100} \right) \cdot 100 = 3,75 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \text{ (Adotado)}$$

φ10 c/ 13

Armadura de costura (Estribos)

$$A_{s,c} := A_{s,min} \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 1,875 \frac{cm^2}{m}$$

2φ8

DIMENSIONAMENTO DA CORTINA

$$K_a = 0,36$$

$$h := 1,90 \text{ m}$$

$$q = 13,97 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_a := \gamma_{solo} \cdot K_a \cdot h + (q \cdot K_a) = 18,7092 \frac{kN}{m^2}$$

$$\gamma_{solo} = 20 \frac{kN}{m^3}$$

$$F_{x,1} := (q \cdot K_a) \cdot h = 9,5555 \frac{kN}{m}$$

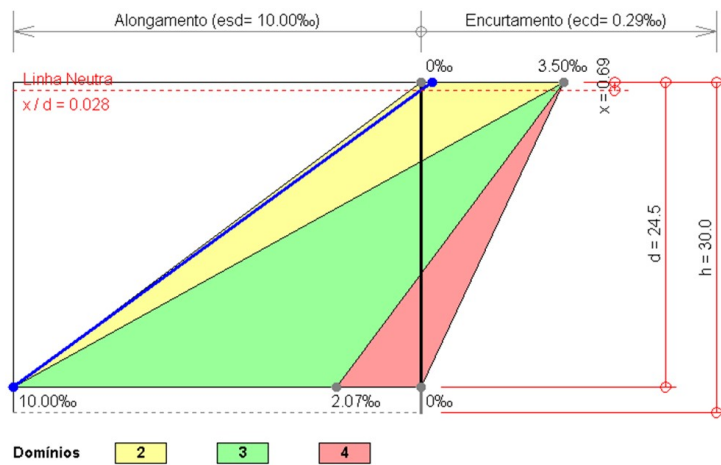
$$M_{1,retangular} := (q \cdot K_a) \cdot h^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 9,0777 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$F_{x,2} := \gamma_{solo} \cdot K_a \cdot h^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 12,996 \frac{kN}{m}$$

$$M_{2,triangular} := \gamma_{solo} \cdot K_a \cdot h^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot (0,333 \cdot h) = 8,2226 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$

$$F_{x,total} := F_{x,1} + F_{x,2} = 22,5515 \frac{kN}{m}$$

$$M_{total,base} := M_{1,retangular} + M_{2,triangular} = 17,3003 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$



Seção transversal:

b= 100 h= 30 bf= 0 hf= 0 (d= 24.5 cm | Cn= 5.0 | ad= 0.500)

Ac= 3000 cm² | Ix= 225000.00 cm⁴ | Ycg= 15.00 cm

Materiais:

Concreto fck= 30 MPa | Ecs= 26838.41 MPa

fct,m= 2.90 MPa | fctk,inf= 2.03 MPa

Aço CA-50 (fyk e fywk= 500 MPa; fywd= 435 MPa)

>>> Flexão Simples

Mr: momento de fissuração= (1.5 * fctk,inf * Ix) / Ycg

Mr= 45.62 kN.m | Ms= 17.30 kN.m | Msd= 24.22 kN.m

x/d(calc)= 0.028 | x/d(limite)= 0.450

x_LN(calc)= 0.69 cm | x_LN(limite)= 11.03 cm

Domínio [2] | esd= 10.00‰ | ecd= 0.29‰

As,min(Md,min)= 4.33 cm² (Md,min= 45.18 kN.m)

As,min(fck)= 4.50 cm² (= 0.150% * b * h)

As,t= 4.50 cm²: Ø12.5c/20

DIMENSIONAMENTO DA VIGA TRAVESSA

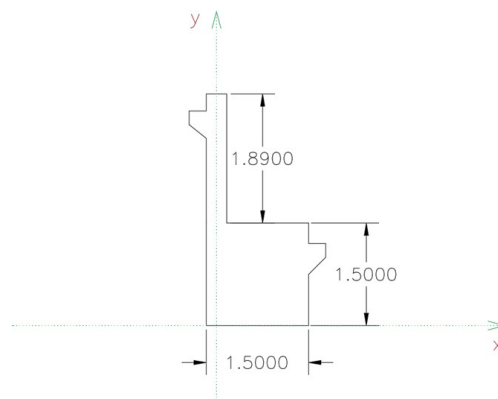
$B_{w_{travessa}} := 1,50 \text{ m}$

$h_{travessa} := 1,50 \text{ m}$

Esforços e cargas que provocam torção

Torção proveniente da laje de aproximação sobre consolo

$$T_{sk, Laprox} := Q \cdot \frac{B_{w_{travessa}}}{2} = 18,9 \text{ kN} \cdot \frac{m}{m}$$



Torção proveniente do peso próprio da cortina

$$Esp_{cortina} := 0,30 \text{ m}$$

$$h_{cortina} := 1,89 \text{ m}$$

$$T_{sk,cortina} := Esp_{cortina} \cdot h_{cortina} \cdot \gamma_{concreto} \cdot \left(\frac{B_{w_{travessa}}}{2} \right) = 10,6312 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Torção proveniente do momento fletor provocado pelo empuxo do solo na base da cortina

$$T_{sk,cortina,empuxo} := M_{total,base} = 17,3003 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

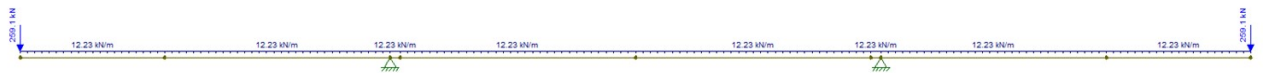
Torção concentrada proveniente do momento fletor provocado pelo engaste das alas na viga travessa

$$T_{sk,ala} := P_{total} \cdot X_{cg} = 259,118 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Modelo de cálculo para verificação da torção

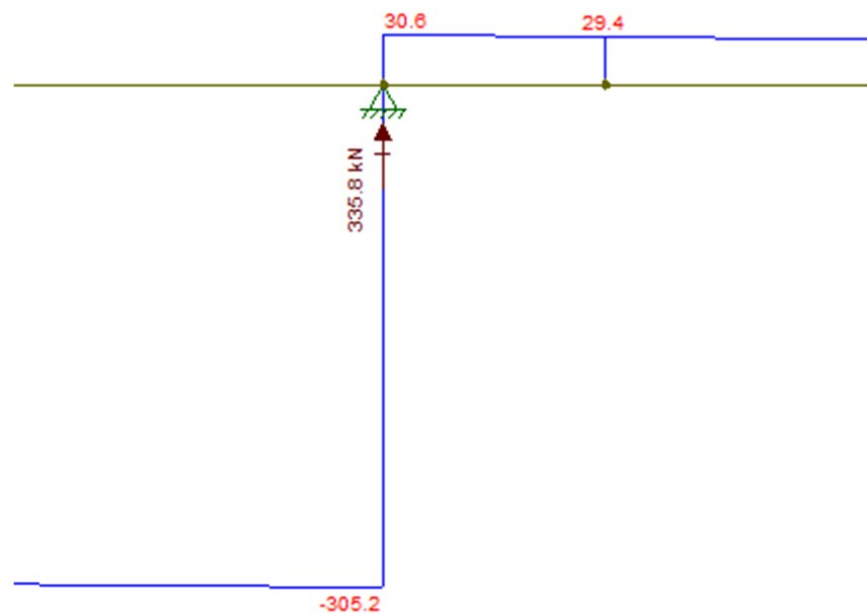
$$T_{sk,distribuído,total} := T_{sk,Laprox} - T_{sk,cortina,empuxo} + T_{sk,cortina} = 12,231 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$T_{sk,concentrado} := T_{sk,ala} = 259,118 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



$$T_{sk,m\acute{a}x} := 305,2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$T_{sd,m\acute{a}x} := T_{sk,m\acute{a}x} \cdot 1,4 = 427,28 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Esforços que provocam flexão em torno do eixo x

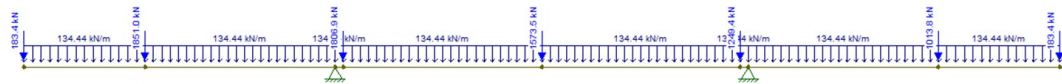
$$PP_{travessa} := Bw_{travessa} \cdot h_{travessa} \cdot \gamma_{concreto} = 56,25 \frac{\text{Kn}}{\text{m}}$$

$$PP_{cortina} := Esp_{cortina} \cdot h_{cortina} \cdot \gamma_{concreto} = 14,175 \frac{\text{Kn}}{\text{m}}$$

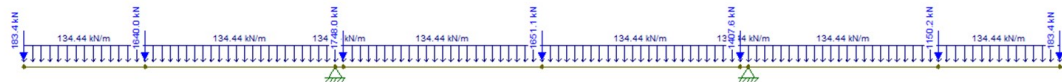
$$Q = 25,2 \frac{\text{Kn}}{\text{m}}$$

$$q_{permanente,travessa} := PP_{travessa} + PP_{cortina} + Q = 95,625 \frac{\text{Kn}}{\text{m}}$$

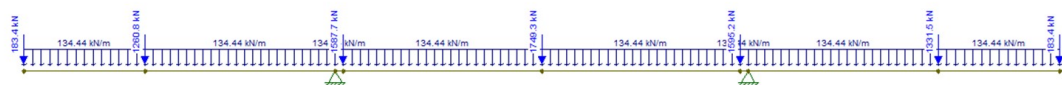
$$q_{permanente,travessa,majorado} := q_{permanente,travessa} \cdot 1,4 = 133,875 \frac{\text{Kn}}{\text{m}}$$



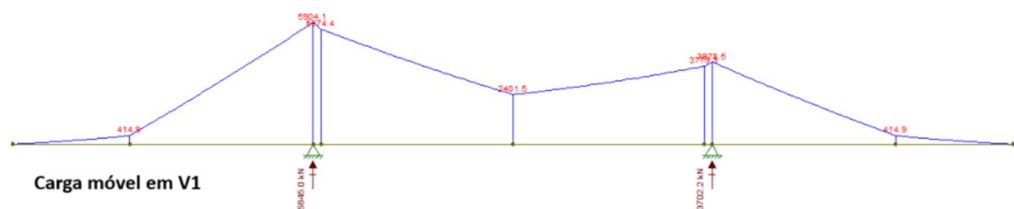
Carga móvel em V1



Carga móvel em V2



Carga móvel em V3



Carga móvel em V1



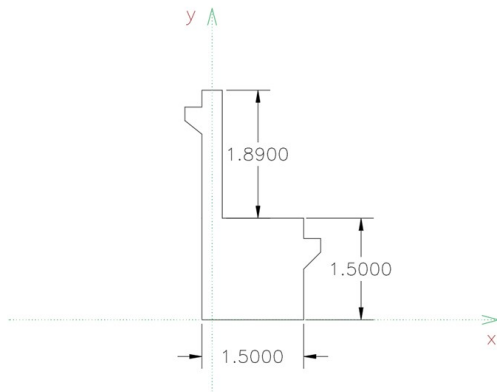
Carga móvel em V2



Carga móvel em V3

$$M_{dx, travessa, máx} := 5904,1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Esforços que provocam flexão em torno do eixo y



O único esforço que provoca flexão em torno do eixo y na viga travessa é o momento fletor proveniente do empuxo do solo sobre as alas, portanto, são flexões concentradas nas duas extremidades que provocam o giro da viga travessa em torno do eixo y:

$$h_1 := 0,75 \text{ m}$$

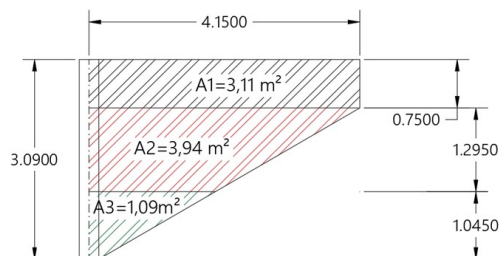
$$M_1 := P_{a1} \cdot L_1^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 89,8084 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$h_2 := 2,045 \text{ m}$$

$$M_2 := P_{a2} \cdot L_2^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 91,2756 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$h_3 := 3,09 \text{ m}$$

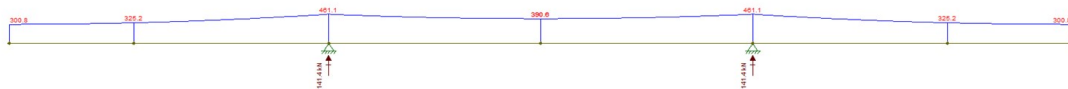
$$M_3 := P_{a3} \cdot L_3^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 15,0366 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$



$$M_{\text{concentrado, empuxo, alas}} := (M_1 \cdot h_1) + (M_2 \cdot h_2) + (M_3 \cdot h_3) = 300,4779$$

$$Mk_{fy, travessa} := 461,1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

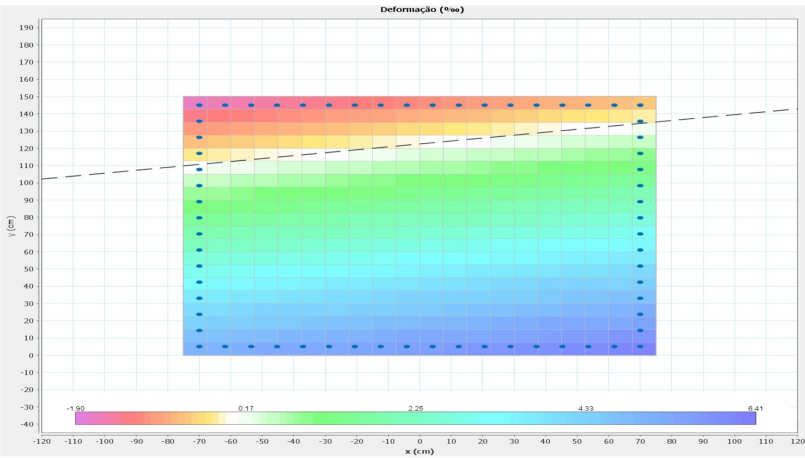
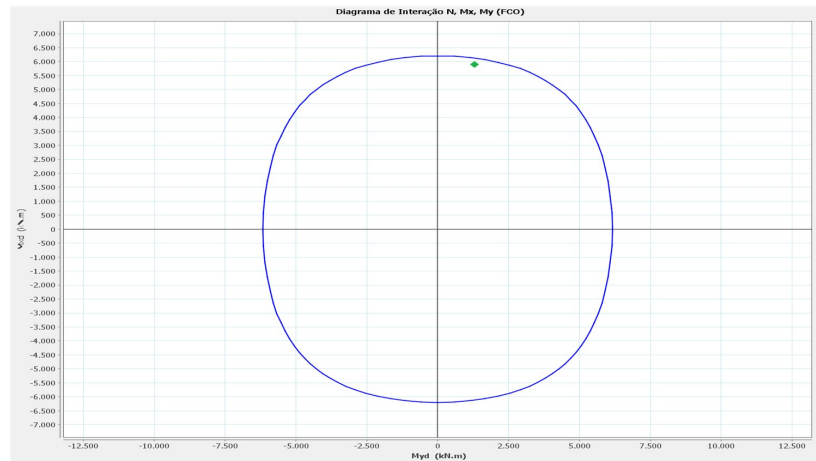
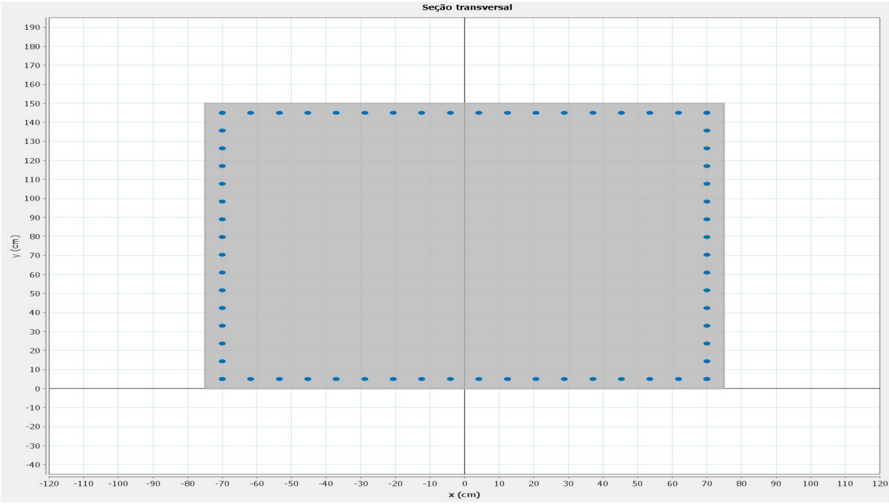
$$Md_{fy, travessa} := 461,1 \cdot 1,4 = 645,54 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

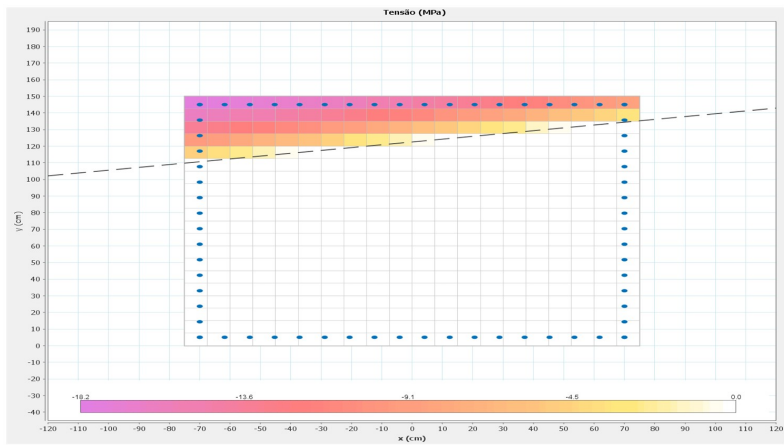


$$W_0 := Bw_{travessa} \cdot \frac{(h_{travessa})^2}{6} = 0,5625 \text{ m}^3$$

$$F_{ctm} := 0,30 \cdot (F_{ck})^{0,666} \cdot 1000 = 2889,908 \frac{\text{kN}}{\text{M}^2}$$

$$M_{\text{mínimo}} := 0,8 \cdot W_0 \cdot F_{ctm} = 1300,4586 \text{ kN} \cdot \text{m}$$





Propriedades:

$A_c = 22500 \text{ cm}^2$
 $I_{x,cg} = 42187500 \text{ cm}^4$
 $I_{y,cg} = 42187500 \text{ cm}^4$
 $x_{cg} = 0 \text{ cm}$
 $y_{cg} = 75 \text{ cm}$
 $EI_{sec,x} = 1246523.8 \text{ kNm}^2$
 $EI_{sec,y} = 7356663.4 \text{ kNm}^2$

Concreto: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Aço: $A_s = 213.63 \text{ cm}^2$ (0.95%)

Momentos resistentes:

$M_{rd,x(max)} = 6208.7 \text{ kN.m}$
 $M_{rd,x(min)} = -6208.7 \text{ kN.m}$
 $M_{rd,y(max)} = 6163.4 \text{ kN.m}$
 $M_{rd,y(min)} = -6163.4 \text{ kN.m}$

Esforços:

Unidades: [kN, kN.m]

Comb.	Nsd	Msd,x	Msd,y	Mr/Ms
1	0	5904	1300.5	1.03

Dimensionamento ao cisalhamento (Seção sobre o apoio)

Seção transversal:

$b = 150$ $h = 150$ $b_f = 0$ $h_f = 0$ ($d = 143.5$ cm | $C_n = 5.0$ | $a_d = 1.500$)

$A_c = 22500$ cm² | $I_x = 42187500.00$ cm⁴ | $Y_{cg} = 75.00$ cm

Materiais:

Concreto $f_{ck} = 45$ MPa | $E_{cs} = 34278.92$ MPa

$f_{ct,m} = 3.80$ MPa | $f_{ctk,inf} = 2.66$ MPa

Aço CA-50 (f_{yk} e $f_{ywk} = 500$ MPa; $f_{ywd} = 435$ MPa)

>>> Cisalhamento (Modelo de cálculo I ==> bielas: $\theta = 45^\circ$)

$V_s = 2361.32$ kN | $V_{sd} = 3305.85$ kN

$V_{sd} = (V_c = 2451.22$ kN) + ($V_{sw} = 854.63$ kN)

VRd2: força cortante resistente de cálculo (NBR 6118-2014, item 17.4.2.2)

$VR_{d2} = 0.27 * (1 - f_{ck}/250) * f_{cd} * b * d$

$VR_{d2} = 15318.11$ kN | $V_{sd}/VR_{d2} = 0.22$

Armadura Transversal:

$A_{sw,min}$: NBR 6118:2014, item 17.4.1.1.1

$\rho_{sw,min} \geq 0.2 * (f_{ct,m} / f_{ywk}) \rightarrow \rho_{sw,min} = 0.1518\%$

$A_{sw,min} = 22.78$ cm²/m (= $b * \rho_{sw,min}$)

$A_{sw(calc)} = [V_{sw} / (0.9 * d * f_{ywd}) * 100] = 15.21$ cm²/m

$A_{sw(adot)} = 22.78$ cm²/m

Dimensionamento à torção (Seção sobre o apoio)

$$T_{sd,max} = 427,28 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,min} := 5904,1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{sd,y} := 85 \cdot 1,4 = 119 \text{ kN}$$

$$V_{sd,x} := 3303,7 \text{ kN}$$

$$t := Bw_{travessa} \cdot h_{travessa} \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot (Bw_{travessa} + h_{travessa})} \right) \cdot 100 = 37,5 \text{ cm}$$

$$C1 := 5 \text{ cm}$$

$$t_{min} := 2 \cdot C1 = 10 \text{ cm}$$

$$t_{adotado} := 37,5 \text{ cm}$$

$$A_e := \left((Bw_{travessa} \cdot 100) - t_{adotado} \right) \cdot \left((h_{travessa} \cdot 100) - t_{adotado} \right) = 12656,25$$

Verificação das tensões no concreto:

$$F_{cd} := \frac{F_{ck}}{1,4} = 21,4286 \text{ MPa}$$

$$\alpha_v := 1 - \left(\frac{F_{ck}}{250} \right) = 0,88$$

$$\tau_{wu} := 0,27 \cdot \alpha_v \cdot F_{cd} = 5,0914 \text{ MPa}$$

$$\tau_{tu} := 0,25 \cdot \alpha_v \cdot F_{cd} = 4,7143 \text{ MPa}$$

$$\tau_{td} := \left(\frac{T_{sd,max}}{2 \cdot A_e \cdot t_{adotado}} \right) \cdot 10 = 0,0045 \text{ MPa}$$

$$V_{sd} := \sqrt{\left(V_{sd,x} \right)^2 + \left(V_{sd,y} \right)^2} = 3305,8425 \text{ kN}$$

$$\tau_{wd} := \left(\frac{V_{sd}}{\left((Bw_{travessa} \cdot 100) \right) \cdot \left(h_{travessa} \cdot 100 \right)} \right) \cdot 10 = 1,4693 \text{ MPa}$$

Verificação :

$$\left(\frac{\tau_{td}}{\tau_{tu}} \right) + \left(\frac{\tau_{wd}}{\tau_{wu}} \right) = 0,2895$$

Ok !

$$Limite := 1$$

Cálculo das armaduras

$$u_{torção} := 2 \cdot \left((Bw_{travessa} \cdot 100) + (h_{travessa} \cdot 100) - (2 \cdot t_{adotado}) \right) = 450 \text{ cm}$$

$$A_{sw} := \left(100 \cdot \frac{T_{sd,máx}}{2 \cdot A_e \cdot F_{yd}} \right) = 0,0388 \frac{cm^2}{m}$$

$$\rho_{w,min} := 0,12 \%$$

$$A_{sl} := T_{sd,máx} \cdot u_{torção} \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot A_e \cdot F_{yd}} \right) = 0,1747 \text{ cm}^2$$

$$A_{sw,min} := \frac{\rho_{w,min}}{100} \cdot Bw_{travessa} \cdot 100 \cdot 100 = 18$$

$$A_{sl,min} := \left(\frac{\rho_{w,min}}{100} \right) \cdot u_{torção} \cdot (Bw_{travessa} \cdot 100) = 40,5 \text{ cm}^2$$

Tabela 1.4.1 - Valores de $\rho_{w,min}$ (%) para o aço CA-50

f_{ck} (MPa)	20	25	30	35	40	45	50
$\rho_{w,min}$	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16

$$A_{s,flexão} := 213,63 \text{ cm}^2$$

Superposição das armaduras

$$A_{sw,v} := 0 \frac{cm^2}{m}$$

$$2 \cdot A_{sw} = 0,0776 \text{ cm}^2$$

$$A_{sw,total} := A_{sw,v} + A_{sw,min} = 18 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{sw,minimo} := \left(\frac{\rho_{w,min}}{100} \right) \cdot 100 \cdot Bw_{travessa} \cdot 100 = 18 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{sw, adotado} := 18 \frac{cm^2}{m}$$

Armadura de pele

$$A_{p,min} := \left(\frac{0,10}{100} \right) \cdot (Bw_{travessa} \cdot 100) \cdot (h_{travessa} \cdot 100) = 22,5 \text{ cm}^2$$

Verificação da flecha

$$\alpha_i := 0,80 + \left(0,20 \cdot \left(\frac{F_{ck}}{82} \right) \right) = 0,8732$$

$$n := 4$$

$$\alpha_E := 1$$

$$Mr := 2443,9 \text{ kN} \cdot m$$

$$E_{cs} := \alpha_i \cdot \alpha_E \cdot 5600 \cdot (F_{ck})^{0,5} = 26782,2972 \text{ MPa}$$

$$M_{at} := 4181,2 \text{ kN} \cdot m$$

$$I_I := Bw_{travessa} \cdot h_{travessa}^3 \cdot \left(\frac{1}{12} \right) = 0,4219 \text{ m}^4 \quad E_{cs} \cdot 1000 = 2,6782 \cdot 10^7 \frac{kN}{m^2}$$

$$I_{II} := 0,154 \text{ m}^4$$

$$\psi I := 0,5$$

$$I_m := \left(\frac{Mr}{M_{at}} \right)^n \cdot I_I + \left(1 - \left(\frac{Mr}{M_{at}} \right)^n \right) \cdot I_{II} = 0,1853 \text{ m}^4$$

$$E_{cs} \cdot I_m = 4961,8294$$

$$M_{permanente} := 1173,4 \text{ kN} \cdot m$$

$$I_{m,permanente} := I_I = 0,4219 \text{ m}^4$$

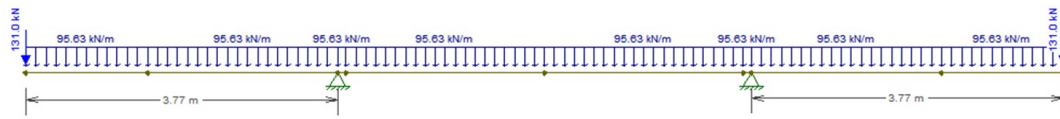
$$M_{qp} := 3525,2 \text{ kN} \cdot m$$

$$I_{m,qp} := \left(\frac{Mr}{M_{qp}} \right)^n \cdot I_I + \left(1 - \left(\frac{Mr}{M_{qp}} \right)^n \right) \cdot I_{II} = 0,2159 \text{ m}^4$$

$$M_{rara} := 4181,2 \text{ kN} \cdot m$$

$$I_{m,rara} := \left(\frac{Mr}{M_{rara}} \right)^n \cdot I_I + \left(1 - \left(\frac{Mr}{M_{rara}} \right)^n \right) \cdot I_{II} = 0,1853 \text{ m}^4$$

Flecha na combinação permanente



$$q_1 := 131 \text{ kN}$$

$$L_{\text{balanço}} := 3,77 \text{ m}$$

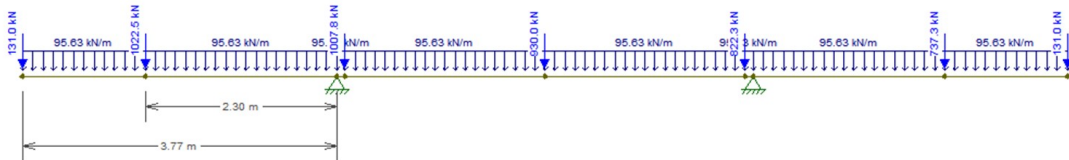
$$q_2 := 95,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{cp, \text{parte1}} := \frac{\left(q_1 \cdot L_{\text{balanço}}^3 \right)}{E_{cs} \cdot I_{m, \text{permanente}} \cdot 1000} \cdot \left(\frac{1}{3} \right) \cdot 100 = 0,0207 \text{ cm}$$

$$F_{cp, \text{parte2}} := \frac{\left(q_2 \cdot L_{\text{balanço}}^4 \right)}{E_{cs} \cdot I_{m, \text{permanente}} \cdot 1000} \cdot \left(\frac{1}{8} \right) \cdot 100 = 0,0214 \text{ cm}$$

$$F_{cp, \text{total}} := F_{cp, \text{parte1}} + F_{cp, \text{parte2}} = 0,0421 \text{ cm}$$

Flecha na combinação quase permanente



$$q_1 := 131 \text{ kN}$$

$$L_{\text{balanço}} := 3,77 \text{ m}$$

$$q_2 := 95,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$L_{\text{balanço}, q3} := 2,30 \text{ m}$$

$$q_3 := 1022,5 \text{ kN}$$

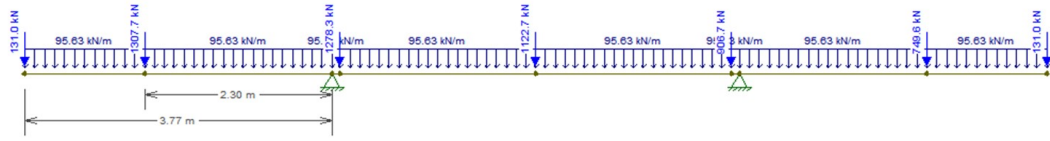
$$F_{qp, \text{parte1}} := \frac{\left(q_1 \cdot L_{\text{balanço}}^3 \right)}{E_{cs} \cdot I_{m, \text{permanente}} \cdot 1000} \cdot \left(\frac{1}{3} \right) \cdot 100 = 0,0207 \text{ cm}$$

$$F_{qp, \text{parte2}} := \frac{\left(q_3 \cdot L_{\text{balanço}}^3 \right)}{E_{cs} \cdot I_{m, \text{permanente}} \cdot 1000} \cdot \left(\frac{1}{3} \right) \cdot 100 = 0,1616 \text{ cm}$$

$$F_{qp, \text{parte3}} := \frac{\left(q_2 \cdot L_{\text{balanço}}^4 \right)}{E_{cs} \cdot I_{m, \text{permanente}} \cdot 1000} \cdot \left(\frac{1}{8} \right) \cdot 100 = 0,0214 \text{ cm}$$

$$F_{qp, \text{total}} := F_{qp, \text{parte1}} + F_{qp, \text{parte2}} + F_{qp, \text{parte3}} = 0,2037 \text{ cm}$$

Flecha na combinação rara



$$q_1 := 131 \text{ kN}$$

$$q_2 := 95,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_3 := 1307,7 \text{ kN}$$

$$L_{\text{balanço}} := 3,77 \text{ m}$$

$$L_{\text{balanço},q3} := 2,30 \text{ m}$$

$$F_{qp,parte1} := \frac{\left(q_1 \cdot L_{\text{balanço}}^3 \right)}{E_{cs} \cdot I_{m,permanente} \cdot 1000} \cdot \left(\frac{1}{3} \right) \cdot 100 = 0,0207 \text{ cm}$$

$$F_{qp,parte2} := \frac{\left(q_3 \cdot L_{\text{balanço}}^3 \right)}{E_{cs} \cdot I_{m,permanente} \cdot 1000} \cdot \left(\frac{1}{3} \right) \cdot 100 = 0,2067 \text{ cm}$$

$$F_{qp,parte3} := \frac{\left(q_2 \cdot L_{\text{balanço}}^4 \right)}{E_{cs} \cdot I_{m,permanente} \cdot 1000} \cdot \left(\frac{1}{8} \right) \cdot 100 = 0,0214 \text{ cm}$$

$$F_{qp,total} := F_{qp,parte1} + F_{qp,parte2} + F_{qp,parte3} = 0,2488 \text{ cm}$$

Determinação do efeito da fluência

Tempo de aplicação da carga de longa duração

$$t := 14 \text{ dias}$$

$$t_0 := \frac{t}{30} = 0,4667$$

$$\xi(t_0) := 0,68 \cdot \left(0,996^{t_0} \right) \cdot t_0^{0,32} = 0,5318$$

$$\xi_{\infty} := 2$$

$$\alpha_f := \xi - \xi(t_0) = 1,4682$$

$$f_{total,infinito} := F_{qp,total} \cdot (1 + \alpha_f) = 0,6141 \text{ cm}$$

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE FRETAGEM

$$F_{yk} := 50 \frac{kN}{cm^2} \quad \gamma_g := 1,35$$

$$F_{yd} := \frac{F_{yk}}{1,15} = 43,4783 \frac{kN}{cm^2} \quad \gamma_q := 1,5$$

$$G := 737,29 \text{ kN}$$

$$Q := 359,32 \text{ kN}$$

$$F_{sd} := (G \cdot \gamma_g) + (Q \cdot \gamma_q) = 1534,3215 \text{ kN}$$

$$Z_d := 0,25 \cdot F_{sd} = 383,5804 \text{ kN}$$

$$A_s := \frac{Z_d}{F_{yd}} = 8,8223 \text{ cm}^2$$

DETERMINAÇÃO DAS CARGAS HORIZONTAIS

Cargas horizontais na direção x

Vento

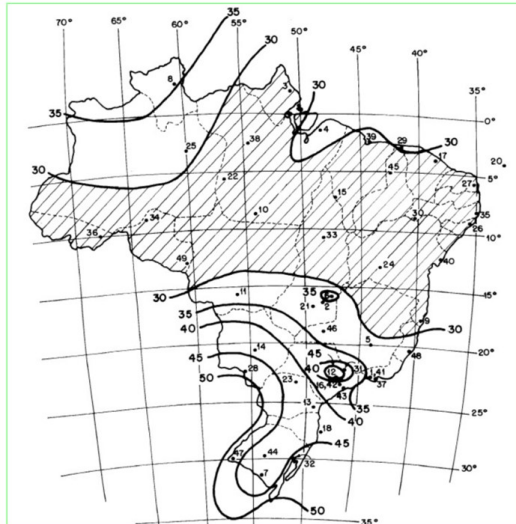


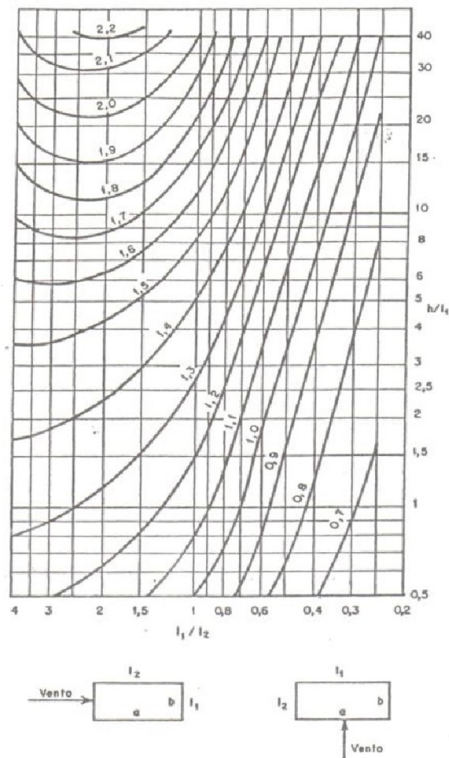
Tabela 1 – Parâmetros meteorológicos

Categoria	Zg (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b_m	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b_m	1,00	1,00	1,00
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b_m	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b_m	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b_m	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Tabela 2 – Fator de rajada

F_r	Classes		
	A	B	C
	1,00	0,98	0,95

$$\begin{aligned}
 b_m &:= 1 & \text{Classe} &:= B & h_{\text{longarina}} &:= 1,80 \text{ m} & L_{\text{pilar}} &:= 1,60 \text{ m} \\
 p &:= 0,09 & \text{Categoria} &:= III & h_{\text{veiculo}} &:= 2 \text{ m} & h_{\text{defensa}} &:= 1,50 \text{ m} \\
 f_r &:= 0,98 & & & Esp_{\text{laje}} &:= 0,20 \text{ m} & & \\
 V_0 &:= 35 \frac{\text{m}}{\text{s}} & & & Revestimento_{\text{total}} &:= 0,20 \text{ m} & L_1 &:= 29,8 \text{ m} \\
 & & & & h_{\text{travessa}} &:= 1,50 \text{ m} & L_2 &:= 12,54 \text{ m} \\
 S1 &:= 1 & z &:= h_{\text{longarina}} + h_{\text{veiculo}} + Esp_{\text{laje}} + Revestimento_{\text{total}} + h_{\text{travessa}} + L_{\text{pilar}} = 7,3 \\
 S2 &:= b_m \cdot f_r \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^P = 0,9526 \\
 S3 &:= 1,11 \\
 V_K &:= S1 \cdot S2 \cdot S3 \cdot V_0 = 37,0098 \frac{\text{m}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$



$$q := 0,613 \cdot V_K^2 \cdot \left(\frac{1}{1000} \right) = 0,8396 \frac{kN}{m^2}$$

Força de arrasto

$$h := z$$

$$\frac{h}{L_1} = 0,245 \quad \frac{L_1}{L_2} = 2,3764$$

$$ca := 1,20$$

$$A_e := L_1 \cdot (h_{longarina} + Esp_{laje} + h_{defensa}) = 104,3 \text{ m}^2$$

$$F_a := q \cdot ca \cdot A_e = 105,0893 \text{ kN}$$

$$F_X := F_a = 105,0893$$

$$F_{x,p\acute{o}rtico} := \frac{F_a}{2} = 52,5446 \text{ kN}$$

Cargas horizontais na direo y

Frenagem

$$B := 12,54 \text{ m}$$

$$L := 30 \text{ m}$$

$$CNF := 1$$

$$H_f := B \cdot L \cdot CNF \cdot 0,25 = 94,05 \text{ kN}$$

$$Hf_{min} := 135 \text{ kN} \quad (\text{Adotado})$$

$$H_{f,pilar} := \frac{Hf_{min}}{4} = 33,75 \text{ kN}$$

Variação térmica

Observação : Considerou-se 3% do peso total da superestrutura para o cálculo da força horizontal proveniente da variação térmica.

$$PP_{longarinas} := 2714,41 \text{ kN}$$

$$PP_{laje} := 1881 \text{ kN}$$

$$PP_{defensas} := 795 \text{ kN}$$

$$PP_{transversinas} := 235,12 \text{ kN}$$

$$PP_{travessa} := 1410,75 \text{ kN}$$

$$PP_{cortina} := 355,51 \text{ kN}$$

$$PP_{alas} := 230,4 \text{ kN}$$

$$PP_{pilares} := 136,85 \text{ kN}$$

$$PP_{base,ilum} := 90,87 \text{ kN}$$

$$PP_{mureta} := 135 \text{ kN}$$

$$PP_{total} := 7984,91 \text{ kN}$$

$$\frac{PP_{total}}{10} = 798,491 \text{ Tf}$$

$$H_{temperatura} := PP_{total} \cdot 0,03 = 239,5473 \text{ kN}$$

$$H_{temperatura,pilar} := \frac{H_{temperatura}}{4} = 59,8868 \text{ kN}$$

Dimensionamento dos consolos das vigas travessas

$$P_k := 735 \text{ kN}$$

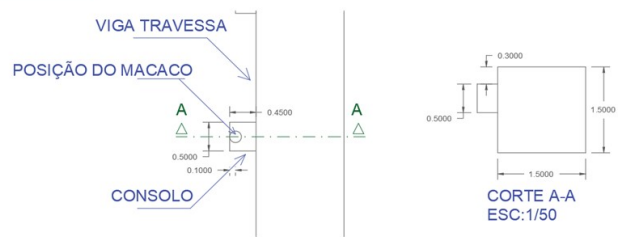
$$P_d := P_k \cdot 1,4 = 1029 \text{ kN}$$

$$F_{ck} := 30 \text{ MPa}$$

$$F_{cdr} := 0,60 \cdot \left(1 - \left(\frac{F_{ck}}{250} \right) \right) \cdot \frac{F_{ck}}{1,4} = 11,3143 \text{ MPa}$$

$$F_{yk} := 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{yd} := \frac{F_{yk}}{1,15} = 43,4783 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$



$$Largura_{consolo} := 0,60 \text{ m}$$

$$Profundidade_{consolo} := 0,45 \text{ m}$$

$$Excentricidade_{macaco} := 0,10 \text{ m}$$

$$a := Profundidade_{consolo} - Excentricidade_{macaco} = 0,35$$

$$d_{consolo} := 0,45 \text{ m}$$

$$d' := 0,05 \text{ m}$$

$$c := 0,20 \text{ m} \text{ (Diâmetro do macaco)}$$

Inclinação da biela de compressão

$$\text{Tang } \theta := \frac{(d_{consolo} - d')}{a} = 1,1429$$

$$\alpha := 48,815^\circ$$

$$\theta_{rad} := \alpha \cdot 3,1415 \cdot \left(\frac{1}{180} \right) = 0,852$$

$$\tan(\theta_{rad}) = 1,1428 \quad \cos(\theta_{rad}) = 0,6585 \quad \sin(\theta_{rad}) = 0,7526 \quad \cot(\theta_{rad}) = 0,875$$

$$d_{ef} := d_{consolo} = 0,45m$$

Largura da biela

$$u := 2 \cdot d' = 0,1m$$

$$c2 := \left(\left(c + \left(u \cdot \cot(\theta_{rad}) \right) \right) \cdot \sin(\theta_{rad}) \right) = 0,2164m$$

Tensão na biela de compressão

$$\sigma_{2d} := \frac{P_d}{Largura_{consolo} \cdot c2 \cdot \sin(\theta_{rad})} = 10532,4444 \frac{kN}{m^2}$$

$$\frac{\sigma_{2d}}{1000} = 10,5324 MPa$$

Ok !

$$F_{cdr} = 11,3143 MPa$$

Armadura do tirante

$$Z := a \cdot \tan(\theta_{rad}) = 0,4m \quad a \cdot 100 = 35cm$$

$$Z \cdot 100 = 39,9993cm$$

$$R_{sd} := P_d \cdot a \cdot \left(\frac{1}{Z \cdot 100} \right) \cdot 100 = 900,3913 kN$$

$$A_{s,tirante} := \frac{R_{sd}}{F_{yd}} = 20,709 cm^2$$

5 ϕ 25 mm

Armadura de costura

$$A_{s,c} := \frac{A_{s,tirante}}{2} = 10,3545 cm^2$$

4 ϕ 20 mm

VERIFICAÇÃO DA ARMADURA LONGITUDINAL ATIVA À FADIGA (S5)

$$\gamma_f \cdot \Delta \sigma_s \leq \Delta f_{sd,fad} \quad \gamma_f = 1,0$$

Estado limite de formação de fissura (ELS-F)

Tabela 6: Verificação ELS-F ($\alpha_c \leq 3,19$ MPa)

Seção	x (m)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)
1	0	-7,02	-6,71
2	1,49	-7,25	-5,32
3	2,98	-7,46	-4,04
4	4,47	-7,66	-2,89

$$Fck := 45$$

$$\alpha_i := 0,8 + 0,2 \cdot \frac{Fck}{80} = 0,9125 \text{ MPa}$$

$$\alpha E := 1$$

$$E_{cs} := \alpha_i \cdot \alpha E \cdot 5600 \cdot Fck^{0,5} = 34278,9221 \text{ MPa}$$

$$E_p := 200000 \text{ MPa}$$

$$\alpha_e := \frac{E_p}{E_{cs}} = 5,8345$$

$$\sigma_{c,min} := 8,29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,max} := 0,32 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_s := (\sigma_{c,min} - \sigma_{c,max}) \cdot \alpha_e = 46,5009 \text{ MPa}$$

5	5,96	-7,84	-1,86
6	7,45	-8,02	-0,98
7	8,94	-8,17	-0,25
8	10,43	-8,29	0,32
9	11,92	-8,39	0,72
10	13,41	-8,44	0,93
11	14,9	-8,43	0,94
12	16,39	-8,30	0,74
13	17,88	-7,92	0,24
14	19,37	-7,46	-0,44
15	20,86	-7,08	-1,20
16	22,35	-6,78	-2,05
17	23,84	-6,57	-2,97
18	25,33	-6,48	-3,94
19	26,82	-6,59	-4,91
20	28,31	-6,75	-5,86
21	29,8	-7,01	-6,77

Armadura ativa		
Caso	Valores de $\Delta f_{pd,fad,min}$, para 2×10^6 ciclos MPa	
Pré-tração, fio ou cordoalha reto	150	T ₁
Pós-tração, cabos curvos	110	T ₂
Cabos retos	150	T ₁
Conectores mecânicos e ancoragens (caso de cordoalha engraxada)	70	T ₃

$$\Delta f_{sd,fad} := 110 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_s < \Delta f_{sd,fad}$$

Atendido !

VERIFICAÇÃO DA ARMADURA TRANSVERSAL À FADIGA

$V_{CF,max} := 1159,62 \text{ kN}$

$V_{CF,min} := 782,53 \text{ kN}$

$b_w := 0,25 \text{ m}$

$d := 1,95 \text{ m}$

Esforço cortante combinações ELS e ELU (kN)									
Seção	x (m)	V _{CQP,max}	V _{CQP,min}	V _{CF,max}	V _{CF,min}	V _{CR,max}	V _{CR,min}	V _{Sd,max}	V _{Sd,min}
1	0	1033,92	782,53	1159,62	782,53	1411,01	782,53	1975,41	782,53
2	1,49	937,28	701,49	1053,78	700,1	1286,77	697,31	1801,48	694,53
3	2,98	841,07	617,63	948,6	613,43	1163,64	605,03	1629,1	596,63
4	4,47	745,31	530,93	844,08	522,51	1041,62	505,68	1458,27	488,84
5	5,96	649,99	443,93	740,23	431,14	920,7	405,55	1288,99	379,96
6	7,45	555,12	356,49	637,04	339,1	800,89	304,32	1121,25	269,54
7	8,94	460,68	268,6	534,52	246,39	682,19	201,98	955,07	157,57
8	10,43	366,69	180,27	432,66	153,02	564,59	98,54	790,43	44,05
9	11,92	273,14	91,5	331,46	58,99	448,1	-6,02	627,34	-71,03
10	13,41	180,04	2,28	230,93	-35,7	332,72	-111,67	465,8	-187,65
11	14,9	87,38	-87,38	131,06	-131,06	218,44	-218,44	305,81	-305,81
12	16,39	-2,28	-180,04	35,7	-230,93	111,67	-332,72	187,65	-465,8
13	17,88	-91,5	-273,14	-58,99	-331,46	6,02	-448,1	71,03	-627,34
14	19,37	-180,27	-366,69	-153,02	-432,66	-98,54	-564,59	-44,05	-790,43
15	20,86	-268,6	-460,68	-246,39	-534,52	-201,98	-682,19	-157,57	-955,07
16	22,35	-356,49	-555,12	-339,1	-637,04	-304,32	-800,89	-269,54	-1121,25
17	23,84	-443,93	-649,99	-431,14	-740,23	-405,55	-920,7	-379,96	-1288,99
18	25,33	-530,93	-745,31	-522,51	-844,08	-505,68	-1041,62	-488,84	-1458,27
19	26,82	-617,63	-841,07	-613,43	-948,6	-605,03	-1163,64	-596,63	-1629,1
20	28,31	-701,49	-937,28	-700,1	-1053,78	-697,31	-1286,77	-694,53	-1801,48
21	29,8	-782,53	-1033,92	-782,53	-1159,62	-782,53	-1411,01	-782,53	-1975,41

Seção (cm)	D _{u,min} (cm)	D _{u,med} (cm)	d (cm)	V _{Sd} (kN)	V _{pd} (kN)	V _{Rd2} (kN)	V _c (kN)	A _{sw,cal} (cm ² /m)	A _{sw,min} (cm ² /m)	A _{sw,req} (cm ² /m)	k (fadiga)
0	21,8	40,5	195	1975,41	-488,03	3018,26	665,11	10,776	6,147	22,727	2,109
149	21,8	40,5	195	1801,48	-435,65	3018,26	665,11	9,183	6,147	19,143	2,085
298	21,8	40,5	195	1629,10	-383,46	3018,26	665,11	7,606	6,147	15,591	2,049
447	21,8	40,5	195	1458,27	-332,08	3018,26	665,11	6,043	6,147	12,029	1,991
596	21,8	40,5	195	1288,99	-281,82	3018,26	665,11	4,463	6,147	8,436	1,882
745	21,8	40,5	195	1121,25	-232,78	3018,26	665,11	2,927	6,147	6,147	1,642
894	21,8	40,5	195	955,07	-184,90	3018,26	665,11	1,377	6,147	6,147	0,831
1043	21,8	40,5	195	790,43	-137,97	3018,26	665,11	0,000	6,147	6,147	0,000
1192	21,8	40,5	195	627,34	-91,74	3018,26	665,11	0,000	6,147	6,147	0,000
1341	21,8	40,5	195	465,80	-45,87	3018,26	665,11	0,000	6,147	6,147	0,000
1490	21,8	40,5	195	-305,81	0,00	3018,26	665,11	0,000	6,147	6,147	0,000
1639	21,8	40,5	195	-465,80	0,00	3018,26	665,11	0,000	6,147	6,147	0,000
1788	21,8	40,5	195	-627,34	0,00	3018,26	665,11	0,000	6,147	6,147	0,000
1937	21,8	40,5	195	-790,43	71,37	3018,26	665,11	0,707	6,147	6,147	2,725
2086	21,8	40,5	195	-955,07	142,75	3018,26	665,11	1,929	6,147	6,147	2,057
2235	21,8	40,5	195	-1121,25	215,21	3018,26	665,11	3,157	6,147	6,147	1,895
2384	21,8	40,5	195	-1288,99	289,64	3018,26	665,11	4,380	6,147	7,912	1,806
2533	21,8	40,5	195	-1458,27	366,68	3018,26	665,11	5,589	6,147	9,709	1,737
2682	21,8	40,5	195	-1629,10	446,54	3018,26	665,11	6,781	6,147	11,363	1,676
2831	21,8	40,5	195	-1801,48	528,73	3018,26	665,11	7,963	6,147	12,903	1,620
2980	21,8	40,5	195	-1975,41	611,83	3018,26	665,11	9,154	6,147	14,428	1,576

Onde:

D_{u,min} - menor largura da seção transversal. No caso de elementos estruturais protendidos a largura resistente a considerar deve ser (D_u - 1/2Z₀)

D_{u,med} - largura média da seção transversal

d - altura útil da seção transversal

V_{Sd} - esforço cortante solicitante de cálculo

V_{pd} - componente tangencial da força de protensão

V_{Rd2} - força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto

V_c - força cortante absorvida por mecanismos complementares

A_{sw,cal} - armadura transversal calculada

A_{sw,min} - armadura transversal mínima

A_{sw,req} - armadura transversal necessária

k - fator de correção para o efeito de fadiga

VERIFICAÇÃO DE ESMAGAMENTO DO CONCRETO

Características geométricas	Simplex	Composta
Área (m²)	0,7287	1,0887
Inércia (m4)	0,2963	0,52
yi (m)	0,9658	1,2747
wi (m³)	0,306792297	0,407939123
ys (m)	0,8342	0,7253
ws (m³)	0,355190602	0,716944713
e (m)	0,8158	1,1247

Tensão de compressão (σ_c)

Seção (cm)	P ₁ (kN)	P _{1x} (kN)	P _{1y} (kN)	P ₂ (kN)	P _{2x} (kN)	M _{1x} (kN.m)	M _{1y} (kN.m)	ΔP ₁ (kN)	ΔP ₂ (kN)
0.0	7506.00	7506.00	6708.85	6608.28	5395.57	-453.80	-370.52	11.96	28.12
149.0	7506.00	7468.62	6746.24	6638.32	5349.87	-1396.67	-1125.59	11.56	28.73
298.0	7506.00	7431.42	6783.43	6663.73	5296.11	-2247.53	-1786.26	11.22	29.44
447.0	7506.00	7394.42	6820.44	6686.06	5240.31	-3004.06	-2354.48	10.92	30.19
596.0	7506.00	7357.60	6857.25	6706.77	5187.27	-3664.89	-2834.57	10.65	30.89
745.0	7506.00	7320.98	6893.88	6727.14	5140.66	-4229.31	-3231.90	10.38	31.51
894.0	7506.00	7284.54	6930.31	6748.33	5103.20	-4896.99	-3551.95	10.09	32.01
1043.0	7506.00	7248.29	6966.57	6771.29	5076.88	-5567.76	-3799.63	9.79	32.36
1192.0	7506.00	7212.22	7002.83	6796.83	5063.10	-6241.38	-3978.91	9.45	32.55
1341.0	7506.00	7176.34	7038.52	6825.56	5062.89	-6917.38	-4092.54	9.07	32.55
1490.0	7506.00	7132.98	7081.22	6864.62	5081.12	-7600.41	-4145.37	8.54	32.31
1639.0	7506.00	7096.98	7090.54	6872.97	5083.54	-8287.23	-4147.34	8.43	32.27
1788.0	7506.00	7077.86	7077.86	6858.98	5066.45	-8985.82	-4133.40	8.62	32.50
1937.0	7506.00	7034.70	7034.70	6818.57	5041.31	-9685.19	-4054.00	9.16	32.84
2086.0	7506.00	6991.81	6991.81	6785.05	5042.67	-10386.61	-3878.49	9.60	32.82
2235.0	7506.00	6949.20	6949.20	6757.53	5069.17	-11089.31	-3603.21	9.97	32.47
2384.0	7506.00	6906.85	6906.85	6734.50	5118.23	-11793.47	-3220.48	10.28	31.81
2533.0	7506.00	6864.78	6864.78	6713.94	5185.63	-12500.79	-2719.34	10.55	30.91
2682.0	7506.00	6822.97	6822.97	6693.30	5264.84	-13211.14	-2086.92	10.83	29.86
2831.0	7506.00	6781.43	6781.43	6669.50	5346.24	-13925.50	-1311.01	11.14	28.77
2980.0	7506.00	6740.15	6740.15	6639.03	5416.51	-14644.94	-384.22	11.55	27.84

$N_p := 5081,12 \text{ kN}$

$\psi_1 := 0,5$

$\gamma_F := 1,0$

Tabela 6 - Valores dos fatores de combinação (ψ_0) e de redução (ψ_1 e ψ_2) para as ações variáveis

Ações	ψ_0	ψ_1	$\psi_2^{3), 4)}$
Cargas acidentais de edifícios			
Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ¹⁾	0,5	0,4	0,3
Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ²⁾	0,7	0,6	0,4
Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento			
Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura			
Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos			
Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
Pontes rodoviárias	0,7	0,5	0,3
Pontes ferroviárias não especializadas	0,8	0,7	0,5
Pontes ferroviárias especializadas	1,0	1,0	0,6
Vigas de rolamentos de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5

$$A := 0,7287 \text{ m}^2$$

$$y_{s,com} := 0,7253 \text{ m}$$

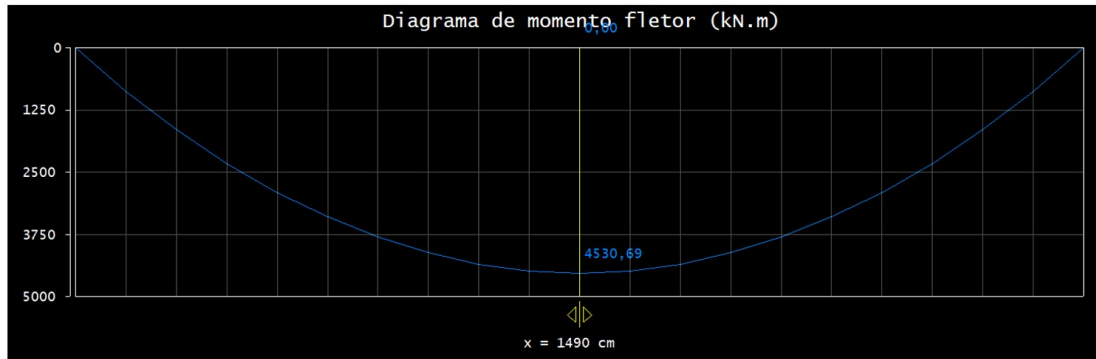
$$exc := 0,8158 \text{ m}$$

$$W_s := 0,355 \text{ m}^3$$

$$W_{s,comp} := 0,7169 \text{ m}^3$$

$$M_{g,vg} := 2022,23 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{g1g2g3} := 3807,5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



$$M_q := 4530,69 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{c2} := \left(\frac{Np}{A} \right) - \left(\frac{Np \cdot exc}{W_s} \right) + \left(\frac{M_{g,vg}}{W_s} \right) + \left(\frac{M_{g1g2g3}}{W_{s,comp}} \right) + \left(\psi 1 \cdot \frac{M_q}{W_{s,comp}} \right) = 9463,7006 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{c1} := \left(\left(\frac{\sigma_{c2} \cdot (y_{s,com} - 0,3)}{y_{s,com}} \right) \right) = 5549,3063 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$


$$\eta_c := \frac{1}{1,5 - \left(1,5 \cdot \frac{\sigma_{c1}}{\sigma_{c2}} \right)} = 1,6118$$

$$\sigma_{c,max} > \begin{cases} \sigma_{c2} \\ \sigma_{c1} \end{cases}$$

$$\sigma_{c,max} := 9463,70 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\eta_c \cdot \gamma f \cdot \sigma_{c,max} = 15253,3814$$

PILAR P2 E P4 (-1M À 3 M)

Dados do pilar		
	Geometria	
	Dimensões	: 150x50 cm
	Tramo	: -1.000/3.000 m
	Altura livre	: 2.50 m
	Cobrimento	: 5.0 cm
	Tamanho máximo agregado	: 19 mm
	Materiais	Comprimento de flambagem
	Concret : C30, em o : geral	Plano ZX : 3.78 m Plano ZY : 7.55 m
	Aço : CA-50 e CA 60	
	Armadura longitudinal	Armadura transversal

Disposições relativas às armaduras (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 13.2.3, 18.2.4 e 18.4)

Dimensões mínimas

A dimensão mínima do apoio (b_{\min}) deve cumprir a seguinte condição:

$$b_{\min} \geq 140 \text{ mm}$$

500.00 mm \geq 140.00 mm ✓

Não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360.00 cm² (Artigo 13.2.3).

$$A_c \geq 360 \text{ cm}^2$$

7500.00 cm² ≥ 360.00 cm² ✓

A maior dimensão da seção do pilar, h , não deve ser maior que 5 vezes a menor dimensão, b (Artigo 18.4.1).

$$h \leq 5 \cdot b$$

1500 mm ≤ 2500 mm ✓

Onde:

h: Maior dimensão da seção do pilar.

h : 1500.00 mm

b: Menor dimensão da seção do pilar.

b : 500.00 mm

Armadura longitudinal

O espaçamento mínimo livre (s_b) entre as faces das barras longitudinais, medido no plano da seção transversal, deve ser igual ou superior ao maior dos seguintes valores (s_{min} (Artigo 18.4.2.2)):

$$S_b \geq S_{\min}$$

138 mm \geq 23 mm ✓

Onde:

s_{min}: Valor máximo de s₁, s₂, s₃.

s_{min} : 23 mm

$$s_1 = 20 \text{ mm}$$

s₁ : 20 mm

$$s_2 = \varnothing_{\max}$$

s₂ : 16.0 mm

$$s_3 = 1.2 \cdot d_g$$

s₃ : 23 mm

Sendo:

∅_{max}: Diâmetro máximo das barras longitudinais.

∅_{max} : 16.0 mm

d_g: Tamanho máximo agregado.

d_g : 19 mm

O espaçamento máximo entre eixos das barras, ou de centros de feixes de barras, deve ser menor ou igual a s_{max} (Artigo 18.4.2.2).

$$s \leq s_{\max}$$

186 mm ≤ 400 mm ✓

Onde:

$$s_{\max} = 2 \cdot b \leq 400 \text{ mm}$$

s_{max} : 400 mm

Sendo:

b: Menor dimensão da seção do pilar.

b : 500 mm

As barras longitudinais deverão ter um diâmetro não inferior a 10 mm (Artigo 18.4.2.1):

$$\varnothing_{\min} \geq 10 \text{ mm}$$

12.5 mm ≥ 10.0 mm ✓

O diâmetro das barras longitudinais não deve ser superior a 1/8·b (Artigo 18.4.2.1).

$$\varnothing_{\max} \leq 1/8 \cdot b$$

16.0 mm ≤ 62.5 mm ✓

Onde:

b: Menor dimensão da seção do pilar.

b : 500 mm

Estribos

O espaçamento longitudinal entre estribos, (s), medido na direção do eixo do pilar, para garantir o posicionamento, impedir a flambagem das barras longitudinais e garantir a costura das emendas de barras longitudinais nos pilares usuais, deve ser igual ou inferior ao menor dos seguintes valores (Artigo 18.4.3).

$$s \leq s_{\max}$$

150 mm ≤ 150 mm ✓

Onde:

s_{max}: Valor mínimo de s₁, s₂, s₃.

s_{max} : 150 mm

s₁ = 200 mm

s₁ : 200 mm

s₂ = b_{min}

s₂ : 500 mm

s₃ = 12 · Ø_{min}

s₃ : 150.0 mm

Sendo:

b_{min}: Menor dimensão da seção do pilar.

b_{min} : 500 mm

Ø_{min}: Diâmetro mínimo das barras longitudinais.

Ø_{min} : 12.5 mm

O diâmetro dos estribos em pilares não deve ser inferior a 5.0 mm nem a 1/4 do diâmetro da barra isolada ou do diâmetro equivalente do feixe que constitui a armadura longitudinal (Artigo 18.4.3).

Ø_t ≥ 5 mm

6.3 mm ≥ 5.0 mm ✓

Ø_t ≥ 1/4 · Ø_{max}

6.3 mm ≥ 4.0 mm ✓

Onde:

Ø_{max}: Diâmetro máximo das barras longitudinais.

Ø_{max} : 16.0 mm

Armadura mínima e máxima (ABNT NBR 6118:2014, Artigo 17.3.5.3)

A área total de armadura longitudinal A_s não deverá ser inferior a A_{s,min} (Artigo 17.3.5.3.1):

A_s ≥ A_{s,min}

30.13 cm² ≥ 30.00 cm² ✓

Onde:

A_s: Área da armadura longitudinal.

A_s : 30.13 cm²

A_{s,min} = 0.004 · A_c

A_{s,min} : 30.00 cm²

Sendo:

A_c: Área total da seção de concreto.

A_c : 7500.00 cm²

A área da armadura longitudinal A_s não deverá ser superior a A_{s,max} (Artigo 17.3.5.3.2):

A_s ≤ A_{s,max}

30.13 cm² ≤ 300.00 cm² ✓

Onde:

A_s: Área da armadura longitudinal.

A_s : 30.13 cm²

A_{s,max} = 0.04 · A_c

A_{s,max} : 300.00 cm²

Sendo:

A_c: Área total da seção de concreto.

A_c : 7500.00 cm²

A área total de armadura longitudinal A_s não deverá ser inferior a A_{s,min} (Artigo 17.3.5.3.1):

$$A_s \geq A_{s,min}$$

$$30.13 \text{ cm}^2 \geq 12.95 \text{ cm}^2 \quad \checkmark$$

Onde:

A_s: Área total de armadura comprimida.

A_s : 30.13 cm²

$$A_{s,min} = 0.15 \cdot N_d / f_{yd}$$

A_{s,min} : 12.95 cm²

Sendo:

N_d: Esforço axial de compressão de cálculo.

N_d : 382.503 t

f_{yd}: Resistência ao escoamento do aço da armadura longitudinal.

f_{yd} : 4432.03 kgf/cm²

Estado limite de ruptura relativo ao esforço cortante (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 17.4.1.1, 17.4.2.2 e 18.3.3.2)

Deve satisfazer:

$$\eta_1 = \sqrt{\left(\frac{V_{Sd,x}}{V_{Rd2,Vx}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd,y}}{V_{Rd2,Vy}}\right)^2} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.071} \quad \checkmark$$

Onde:

V_{Sd}: Esforço cortante efetivo de cálculo.

V_{Sd,x} : 9.973 t

: 18.68

V_{Sd,y} : 3 t

V_{Rd2}: Esforço cortante de ruptura por compressão oblíqua na alma.

V_{Rd2,vx} : 251.4 t

V_{Rd2,vy} : 42 t

V_{Rd2,vy} : 318.2 t

V_{Rd2,vy} : 40 t

$$\eta_2 = \sqrt{\left(\frac{V_{Sd,x}}{V_{Rd3,Vx}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd,y}}{V_{Rd3,Vy}}\right)^2} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.357} \quad \checkmark$$

Onde:

V_{Sd}: Esforço cortante efetivo de cálculo.

V_{Sd,x} : 9.973 t

: 18.68

V_{Sd,y} : 3 t

V_{Rd3}: Esforço cortante de ruptura por tração na alma.

V_{Rd3,vx} : 50.80 t

V_{Rd3,vy} : 3 t

V_{Rd3,vy} : 62.64 t

V_{Rd3,vy} : 4 t

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos em 'Ext.Inferior', para a combinação de hipóteses "1.4·PP+1.4·CP+Empuxo+0.98·Qa+0.98·Frenagem+1.2·Variação térmica".

Esforço cortante de ruptura por compressão oblíqua na alma.

O esforço cortante de ruptura por compressão oblíqua da alma deduz-se da seguinte expressão:

Esforço Cortante na direção X:

$$V_{Rd2} = 0.27 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd2} : \frac{251.4}{42} \text{ t}$$

Onde:

$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck} / 250)$$

$$\alpha_{v2} : \frac{0.88}{}$$

f_{cd}: Resistência de cálculo à compressão do concreto.

$$f_{cd} : \frac{218.4}{4} \text{ kgf/cm}^2$$

b_w: A menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil d.

$$b_w : \frac{500.0}{0} \text{ mm}$$

d: Altura útil da seção, igual à distância entre a fibra mais comprimida e o centro de gravidade da armadura tracionada.

$$d : \frac{968.9}{4} \text{ mm}$$

Esforço Cortante na direção Y:

$$V_{Rd2} = 0.27 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd2} : \frac{318.2}{40} \text{ t}$$

Onde:

$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck} / 250)$$

$$\alpha_{v2} : \frac{0.88}{}$$

f_{cd}: Resistência de cálculo à compressão do concreto.

$$f_{cd} : \frac{218.4}{4} \text{ kgf/cm}^2$$

b_w: A menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil d.

$$b_w : \frac{1500.0}{00} \text{ mm}$$

d: Altura útil da seção, igual à distância entre a fibra mais comprimida e o centro de gravidade da armadura tracionada.

$$d : \frac{408.7}{8} \text{ mm}$$

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos em 'Ext.Inferior', para a combinação de hipóteses "1.4·PP+1.4·CP+Empuxo+0.98·Qa+0.98·Frenagem+1.2·Variação térmica".

Esforço cortante de ruptura por tração na alma.

Esforço Cortante na direção X:

O esforço cortante de ruptura por tração na alma em peças sem armadura de esforço cortante obtém-se como:

$$V_{Rd3} = V_r$$

$$V_{Rd3} = \frac{50.80}{3} \text{ t}$$

Onde:

$$V_c = V_{c0} \cdot (1 + M_0 / M_{sd}) \leq 2 \cdot V_{c0} \quad V_c = \frac{50.80}{3} \text{ t}$$

Sendo:

$$V_{c0} = 0.6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \quad V_{c0} = \frac{42.91}{3} \text{ t}$$

Onde:

f_{ctd}: Resistência de cálculo à tração do concreto. $f_{ctd} = \frac{14.76}{1} \text{ kgf/cm}^2$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c$$

Sendo:

$$f_{ctk,inf} = 0.7 \cdot f_{ct,m} \quad f_{ctk,inf} = \frac{20.67}{1} \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad f_{ctm} = \frac{29.53}{1} \text{ kgf/cm}^2$$

f_{ck}: Resistência característica à compressão do concreto. $f_{ck} = \frac{305.8}{1} \text{ kgf/cm}^2$

γ_c: Coeficiente parcial de segurança para o concreto. $\gamma_c = \frac{1.4}{1}$

b_w: A menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil d. $b_w = \frac{500.0}{0} \text{ mm}$

d: Altura útil da seção, igual à distância entre a fibra mais comprimida e o centro de gravidade da armadura tracionada. $d = \frac{968.9}{4} \text{ mm}$

M₀: Valor do momento fletor que anula a tensão normal de compressão na borda da seção tracionada por M_{sd}. $M_0 = \frac{14.69}{7} \text{ t}\cdot\text{m}$

M_{sd}: Momento fletor de cálculo. $M_{sd} = \frac{79.93}{9} \text{ t}\cdot\text{m}$

Esforço Cortante na direção Y:

O esforço cortante de ruptura por tração na alma em peças sem armadura de esforço cortante obtém-se como:

$$V_{Rd3} = V_c \quad V_{Rd3} = \frac{62.64}{4} \text{ t}$$

Onde:

$$V_c = V_{c0} \cdot (1 + M_0 / M_{sd}) \leq 2 \cdot V_{c0} \quad V_c = \frac{62.64}{4} \text{ t}$$

Sendo:

$$V_{c0} = 0.6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{c0} : \frac{54.31}{3} \text{ t}$$

Onde:

f_{ctd}: Resistência de cálculo à tração do concreto.

$$f_{ctd} : \frac{14.76}{1} \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c$$

Sendo:

$$f_{ctk,inf} = 0.7 \cdot f_{ct,m}$$

$$f_{ctk,inf} : \frac{20.67}{1} \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

$$f_{ctm} : \frac{29.53}{1} \text{ kgf/cm}^2$$

f_{ck}: Resistência característica à compressão do concreto.

$$f_{ck} : \frac{305.8}{1} \text{ kgf/cm}^2$$

γ_c: Coeficiente parcial de segurança para o concreto.

$$\gamma_c : \frac{1.4}{1}$$

b_w: A menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil d.

$$b_w : \frac{1500}{00} \text{ mm}$$

d: Altura útil da seção, igual à distância entre a fibra mais comprimida e o centro de gravidade da armadura tracionada.

$$d : \frac{408.7}{8} \text{ mm}$$

M₀: Valor do momento fletor que anula a tensão normal de compressão na borda da seção tracionada por M_{Sd}.

$$M_0 : \frac{-4.195}{-} \text{ t} \cdot \text{m}$$

M_{Sd}: Momento fletor de cálculo.

$$M_{Sd} : \frac{27.35}{0} \text{ t} \cdot \text{m}$$

Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 11.3.3.4.3, 15.8 e 17)

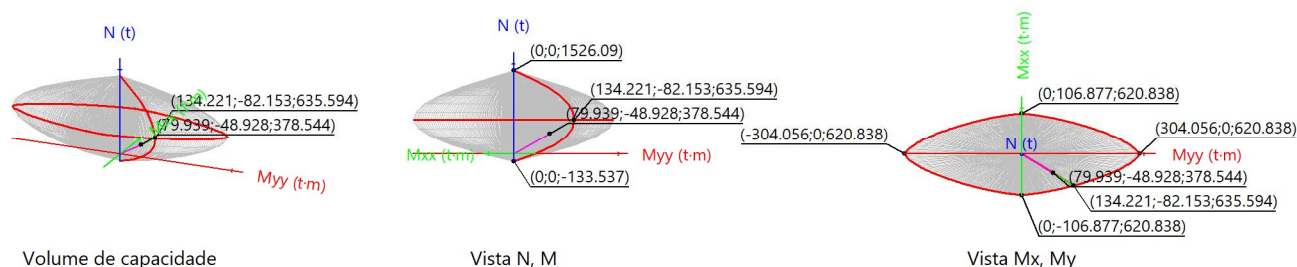
Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos em 'Ext.Inferior', para a combinação de hipóteses "1.4·PP+1.4·CP+Empuxo+0.98·Qa+0.98·Frenagem+1.2·Variação térmica".
Deve satisfazer:

$$\eta_1 = \sqrt{\frac{N_{1d}^2 + M_{1d,x}^2 + M_{1d,y}^2}{N_{Rd}^2 + M_{Rd,x}^2 + M_{Rd,y}^2}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.445} \checkmark$$

$$\eta_2 = \sqrt{\frac{N_{Sd}^2 + M_{Sd,x}^2 + M_{Sd,y}^2}{N_{Rd}^2 + M_{Rd,x}^2 + M_{Rd,y}^2}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.596} \checkmark$$



Verificação de resistência da seção (η_1)

N_{1d}, M_{1d} são os esforços de cálculo de primeira ordem, incluindo, no seu caso, a excentricidade mínima segundo 11.3.3.4.3:

N_{1d} : Esforço normal de cálculo.

M_{1d} : Momento de cálculo de primeira ordem.

$$\begin{array}{rcl} \mathbf{N_{1d}} : & 378.544 & \text{t} \\ \mathbf{M_{1d,x}} : & -27.350 & \text{t}\cdot\text{m} \\ \mathbf{M_{1d,y}} : & 79.939 & \text{t}\cdot\text{m} \end{array}$$

N_{Rd}, M_{Rd} são os esforços resistentes da seção com as mesmas excentricidades que os esforços atuantes de cálculo, desfavoráveis.

N_{Rd} : Esforço normal resistente.

M_{Rd} : Momento resistente

$$\begin{array}{rcl} \mathbf{N_{Rd}} : & 850.408 & \text{t} \\ \mathbf{M_{Rd,x}} : & -61.443 & \text{t}\cdot\text{m} \\ \mathbf{M_{Rd,y}} : & 179.586 & \text{t}\cdot\text{m} \end{array}$$

Onde:

$$N_{1d} = N_d$$

$$M_{1d} = N_{1d} \cdot e_e$$

Sendo:

e_e : Excentricidade de primeira ordem. Calcula-se levando em conta a excentricidade mínima e_a segundo o ponto 11.3.3.4.3.

$$\mathbf{e_{e,x}} : 211.17 \text{ mm}$$

$$\mathbf{e_{e,y}} : -72.25 \text{ mm}$$

Neste caso, as excentricidades $e_{0,x}$ e $e_{0,y}$ são superiores à mínima.

$$e_{e,x} = e_{0,x}$$

$$e_{e,y} = e_{0,y}$$

Onde:

No eixo x:

$$e_a = 0,015 + 0.03 \cdot h$$

$$\mathbf{e_a} : 30.00 \text{ mm}$$

Sendo:

h : Altura da seção no plano de flexão considerado.

$$\mathbf{h} : 500.00 \text{ mm}$$

$$e_1 = \frac{M_d}{N_d} \quad e_1 : \underline{-72.25} \text{ mm}$$

Onde:

M_d: Momento de cálculo de primeira ordem.

$$M_d : \underline{-27.350} \text{ t}\cdot\text{m}$$

N_d: Esforço normal de cálculo.

$$N_d : \underline{378.544} \text{ t}$$

No eixo y:

$$e_a = 0,015 + 0,03 \cdot h \quad e_a : \underline{60.00} \text{ mm}$$

Sendo:

h: Altura da seção no plano de flexão considerado.

$$h : \underline{1500.00} \text{ mm}$$

$$e_1 = \frac{M_d}{N_d} \quad e_1 : \underline{211.17} \text{ mm}$$

Onde:

M_d: Momento de cálculo de primeira ordem.

$$M_d : \underline{79.939} \text{ t}\cdot\text{m}$$

N_d: Esforço normal de cálculo.

$$N_d : \underline{378.544} \text{ t}$$

Verificação do estado limite de instabilidade (η_2)

N_{Sd}, **M_{Sd}** esforços atuantes de cálculo desfavoráveis, obtidos a partir dos esforços de primeira ordem incrementados para levar em conta os efeitos de segunda ordem, em função da esbeltez.

N_{Sd}: Esforço axial atuante de cálculo desfavorável.

$$N_{Sd} : \underline{378.544} \text{ t}$$

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{Sd,x} : \underline{-48.928} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Sd,y} : \underline{79.939} \text{ t}\cdot\text{m}$$

N_{Rd}, **M_{Rd}** são os esforços resistentes da seção com as mesmas excentricidades que os esforços atuantes de cálculo, desfavoráveis.

N_{Rd}: Esforço normal resistente.

$$N_{Rd} : \underline{635.594} \text{ t}$$

M_{Rd}: Momento resistente

$$M_{Rd,x} : \underline{-82.153} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd,y} : \underline{134.221} \text{ t}\cdot\text{m}$$

No eixo x:

Os efeitos de segunda ordem não podem ser desprezados, já que a esbeltez mecânica do pilar λ é maior que a esbeltez limite inferior λ_1 indicada em 15.8.2.

$$\lambda = \frac{l_e}{i} = \frac{l_e}{\sqrt{I_c / A_c}} \quad \lambda : \underline{52.31}$$

Onde:

$$l_e = \text{MAX}(l + h, l_0) \quad l_e : \underline{7.550} \text{ m}$$

Sendo:

l₀: Comprimento de flambagem.

l₀ : 7.550 m

h: Altura da seção no plano de flexão considerado.

h : 500.00 mm

l: Distância entre as faces internas dos elementos estruturais que vinculam o pilar.

l : 2.500 m

A_c: Área total da seção de concreto.

A_c : 7500.00 cm²

I_c: Inércia.

I_c : 1562500.00 cm⁴

$$\lambda_1 = 25 + 12.5 \cdot e_1 / h \geq 35$$

λ₁ : 35.00

Onde:

e₁: Excentricidade relativa de primeira ordem.

e₁ : -72.25 mm

A verificação do estado limite de instabilidade realiza-se segundo os critérios do artigo 15.8.3.3.2, somando à excentricidade de primeira ordem uma excentricidade fictícia, que representa os efeitos de segunda ordem, como se detalha em seguida:

$$N_{Sd} = N_{1d}$$

N_{Sd} : 378.544 t

$$M_{Sd} = N_{1d} \cdot e_{tot}$$

M_{Sd} : -48.928 t·m

Onde:

$$e_{tot} = e_e + e_2$$

e_{tot} : -129.25 mm

Sendo:

e_e: Excentricidade de primeira ordem.

Calcula-se levando em conta a excentricidade mínima e_a segundo o ponto 15.8.2.

e_e : -72.25 mm

e₂: Excentricidade para levar em conta os efeitos de segunda ordem (Artigo 15.8.3.3.2).

e₂ : -57.00 mm

$$e_2 = \frac{l_e^2}{10} \cdot \frac{1}{r}$$

Onde:

$$l_e = l_0 + h \leq l$$

l_e : 7.550 m

Sendo:

l₀: Comprimento de flambagem.

l₀ : 7.550 m

h: Altura da seção no plano de flexão considerado.

h : 500.00 mm

l: Distância entre as faces internas dos elementos estruturais que vinculam o pilar.

l : 2.500 m

$$1/r = \frac{0.005}{h \cdot (v + 0.5)} \leq \frac{0.005}{h}$$

$$1/r : \underline{0.010} \text{ m}$$

Sendo:

$$v = \frac{N_{Sd}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

$$v : \underline{0.23}$$

Onde:

A_c: Área total da seção de concreto.

$$A_c : \underline{7500.00} \text{ cm}^2$$

f_{cd}: Resistência de cálculo à compressão do concreto.

$$f_{cd} : \underline{218.44} \text{ kgf/cm}^2$$

No eixo y:

Os efeitos de segunda ordem podem ser desprezados, já que a esbeltez mecânica do pilar λ é menor que a esbeltez limite inferior λ_1 indicada em 15.8.2.

$$\lambda = \frac{l_e}{i} = \frac{l_e}{\sqrt{I_c / A_c}}$$

$$\lambda : \underline{9.24}$$

Onde:

$$l_e = \text{MAX}(l + h, l_0)$$

$$l_e : \underline{4.000} \text{ m}$$

Sendo:

l₀: Comprimento de flambagem.

$$l_0 : \underline{3.775} \text{ m}$$

h: Altura da seção no plano de flexão considerado.

$$h : \underline{1500.00} \text{ mm}$$

I: Distância entre as faces internas dos elementos estruturais que vinculam o pilar.

$$I : \underline{2.500} \text{ m}$$

A_c: Área total da seção de concreto.

$$A_c : \underline{7500.00} \text{ cm}^2$$

I_c: Inércia.

$$I_c : \underline{14062500.00} \text{ cm}^4$$

$$\lambda_1 = 25 + 12.5 \cdot e_1 / h \geq 35$$

$$\lambda_1 : \underline{35.00}$$

Onde:

e₁: Excentricidade relativa de primeira ordem.

$$e_1 : \underline{211.17} \text{ mm}$$

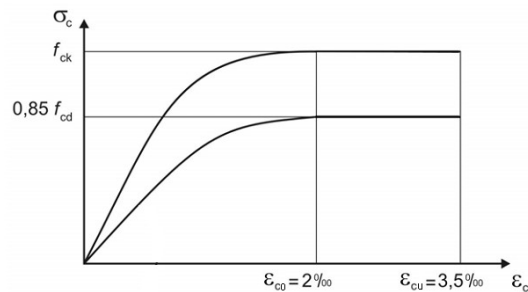
Cálculo da capacidade resistente

O cálculo da capacidade resistente última das seções é efetuado a partir das hipóteses gerais seguintes (Artigo 17):

- A ruptura caracteriza-se pelo valor da deformação em determinadas fibras da seção, definidas pelos domínios de deformação de ruptura.
- As seções transversais se mantêm planas após deformação.
- A deformação ε_s das barras passivas aderentes deve ser o mesmo do concreto em seu entorno.

- (d) A distribuição de tensões no concreto se faz de acordo com o diagrama parábola-retângulo, definido em 8.2.10.

O diagrama de cálculo tensão-deformação do concreto é do tipo parábola retângulo. Não se considera a resistência do concreto à tração.



ϵ_{cu} : Deformação de ruptura do concreto em flexão.

$$\epsilon_{cu} : \underline{0.0035}$$

ϵ_{c0} : Deformação de ruptura do concreto em compressão simples.

$$\epsilon_{c0} : \underline{0.0020}$$

$0.85 \cdot f_{cd}$: Resistência de cálculo à compressão do concreto.

$$0.85 \cdot f_{cd} : \underline{185.67 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Sendo:

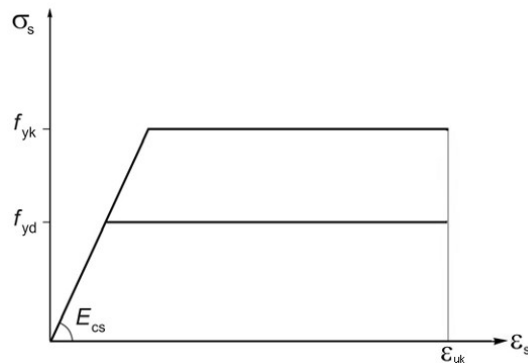
f_{ck} : Resistência característica à compressão do concreto.

$$f_{ck} : \underline{305.81 \text{ kgf/cm}^2}$$

γ_c : Coeficiente parcial de segurança para o concreto.

$$\gamma_c : \underline{1.4}$$

- (e) A tensão nas armaduras deve ser obtida a partir dos diagramas tensão-deformação, com valores de cálculo, definidos em 8.3.6.



ϵ_{uk} : Deformação de ruptura do concreto em flexão.

$$\epsilon_{uk} : \underline{0.0200}$$

f_{yd} : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_{yd} : \underline{4432.03 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

Sendo:

f_{yk} : Resistência característica do aço.

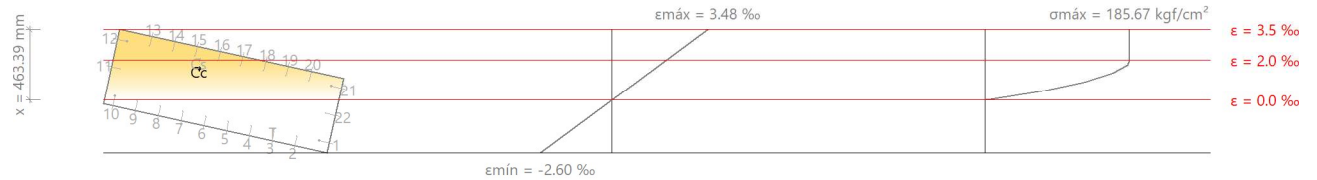
$$f_{yk} : \underline{5096.84 \text{ kgf/cm}^2}$$

γ_s : Coeficiente parcial de segurança para o aço.

$$\gamma_s : \underline{1.15}$$

- (f) Aplicam-se às resultantes de tensões na seção as equações gerais de equilíbrio de forças e de momentos.

Equilíbrio da seção para os esforços de ruptura, calculados com as mesmas excentricidades que os esforços de cálculo desfavoráveis:



Barra	Designação	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (kgf/cm ²)	ϵ
1	Ø16	-685.70	185.70	-4330.28	-0.002023
2	Ø12.5	-533.32	187.45	-3833.71	-0.001791
3	Ø12.5	-380.94	187.45	-3309.64	-0.001546
4	Ø12.5	-228.57	187.45	-2785.56	-0.001301
5	Ø12.5	-76.19	187.45	-2261.49	-0.001056
6	Ø12.5	76.19	187.45	-1737.42	-0.000812
7	Ø12.5	228.57	187.45	-1213.35	-0.000567
8	Ø12.5	380.94	187.45	-689.28	-0.000322
9	Ø12.5	533.32	187.45	-165.20	-0.000077
10	Ø16	685.70	185.70	+386.37	+0.000180
11	Ø12.5	687.45	0.00	+3310.81	+0.001547
12	Ø16	685.70	-185.70	+4432.04	+0.002907
13	Ø12.5	533.32	-187.45	+4432.04	+0.002675
14	Ø12.5	380.94	-187.45	+4432.04	+0.002430
15	Ø12.5	228.57	-187.45	+4432.03	+0.002186
16	Ø12.5	76.19	-187.45	+4154.43	+0.001941
17	Ø12.5	-76.19	-187.45	+3630.36	+0.001696
18	Ø12.5	-228.57	-187.45	+3106.29	+0.001451
19	Ø12.5	-380.94	-187.45	+2582.22	+0.001206
20	Ø12.5	-533.32	-187.45	+2058.15	+0.000961
21	Ø16	-685.70	-185.70	+1506.57	+0.000704
22	Ø12.5	-687.45	0.00	-1417.87	-0.000662

	Resultante (t)	e.x (mm)	e.y (mm)
Cc	613.515	183.76	-111.09
Cs	52.153	195.55	-166.89
T	30.075	-375.15	176.10

$$N_{Rd} = C_c + C_s - T$$

$$N_{Rd} : 635.594 \text{ t}$$

$$M_{Rd,x} = C_c \cdot e_{cc,y} + C_s \cdot e_{cs,y} - T \cdot e_{T,y}$$

$$M_{Rd,x} : \underline{-82.153 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$M_{Rd,y} = C_c \cdot e_{cc,x} + C_s \cdot e_{cs,x} - T \cdot e_{T,x}$$

$$M_{Rd,y} : \underline{134.221 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

Onde:

C_c: Resultante de compressões no concreto.

$$C_c : \underline{613.515 \text{ t}}$$

C_s: Resultante de compressões no aço.

$$C_s : \underline{52.153 \text{ t}}$$

T: Resultante de tração no aço.

$$T : \underline{30.075 \text{ t}}$$

e_{cc}: Excentricidade da resultante de compressão no concreto na direção dos eixos X e Y.

$$e_{cc,x} : \underline{183.76 \text{ mm}}$$

$$e_{cc,y} : \underline{-111.09 \text{ mm}}$$

e_{cs}: Excentricidade da resultante de compressão no aço na direção dos eixos X e Y.

$$e_{cs,x} : \underline{195.55 \text{ mm}}$$

$$e_{cs,y} : \underline{-166.89 \text{ mm}}$$

e_T: Excentricidade da resultante de tração no aço na direção dos eixos X e Y.

$$e_{T,x} : \underline{-375.15 \text{ mm}}$$

$$e_{T,y} : \underline{176.10 \text{ mm}}$$

ε_{cmax}: Deformação na fibra de concreto mais comprimida.

$$\epsilon_{cmax} : \underline{0.0035}$$

ε_{smax}: Deformação da barra de aço mais tracionada.

$$\epsilon_{smax} : \underline{0.0020}$$

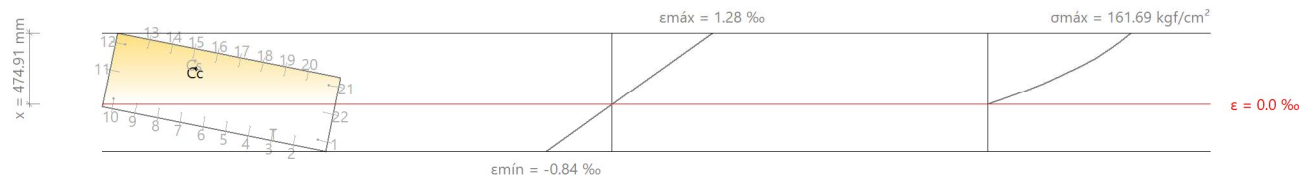
σ_{cmax}: Tensão na fibra de concreto mais comprimida.

$$\sigma_{cmax} : \underline{185.67 \text{ kgf/cm}^2}$$

σ_{smax}: Tensão da barra de aço mais tracionada.

$$\sigma_{smax} : \underline{4330.28 \text{ kgf/cm}^2}$$

Equilíbrio da seção para os esforços atuantes de cálculo, desfavoráveis:



Barra	Designação	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ _s (kgf/cm ²)	ε
1	Ø16	-685.70	185.70	-1364.32	-0.000637
2	Ø12.5	-533.32	187.45	-1200.11	-0.000561
3	Ø12.5	-380.94	187.45	-1026.00	-0.000479
4	Ø12.5	-228.57	187.45	-851.88	-0.000398
5	Ø12.5	-76.19	187.45	-677.76	-0.000317
6	Ø12.5	76.19	187.45	-503.65	-0.000235
7	Ø12.5	228.57	187.45	-329.53	-0.000154
8	Ø12.5	380.94	187.45	-155.42	-0.000073
9	Ø12.5	533.32	187.45	+18.70	+0.000009

Barra	Designação	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (kgf/cm ²)	ϵ
10	Ø16	685.70	185.70	+202.72	+0.000095
11	Ø12.5	687.45	0.00	+1255.99	+0.000587
12	Ø16	685.70	-185.70	+2305.26	+0.001077
13	Ø12.5	533.32	-187.45	+2141.05	+0.001000
14	Ø12.5	380.94	-187.45	+1966.94	+0.000919
15	Ø12.5	228.57	-187.45	+1792.82	+0.000838
16	Ø12.5	76.19	-187.45	+1618.71	+0.000756
17	Ø12.5	-76.19	-187.45	+1444.59	+0.000675
18	Ø12.5	-228.57	-187.45	+1270.48	+0.000593
19	Ø12.5	-380.94	-187.45	+1096.36	+0.000512
20	Ø12.5	-533.32	-187.45	+922.25	+0.000431
21	Ø16	-685.70	-185.70	+738.22	+0.000345
22	Ø12.5	-687.45	0.00	-315.05	-0.000147

	Resultante (t)	e.x (mm)	e.y (mm)
Cc	364.368	196.39	-119.25
Cs	23.127	210.98	-167.55
T	8.952	-391.23	178.82

$$N_{Sd} = C_c + C_s - T$$

$$N_{Sd} : \underline{378.544 \text{ t}}$$

$$M_{Sd,x} = C_c \cdot e_{cc,y} + C_s \cdot e_{cs,y} + T \cdot e_{T,y}$$

$$M_{Sd,x} : \underline{-48.928 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$M_{Sd,y} = C_c \cdot e_{cc,x} + C_s \cdot e_{cs,x} + T \cdot e_{T,x}$$

$$M_{Sd,y} : \underline{79.939 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

Onde:

C_c: Resultante de compressões no concreto.

$$C_c : \underline{364.368 \text{ t}}$$

C_s: Resultante de compressões no aço.

$$C_s : \underline{23.127 \text{ t}}$$

T: Resultante de tração no aço.

$$T : \underline{8.952 \text{ t}}$$

e_{cc}: Excentricidade da resultante de compressão no concreto na direção dos eixos X e Y.

$$e_{cc,x} : \underline{196.39 \text{ mm}}$$

$$e_{cc,y} : \underline{-119.25 \text{ mm}}$$

e_{cs}: Excentricidade da resultante de compressão no aço na direção dos eixos X e Y.

$$e_{cs,x} : \underline{210.98 \text{ mm}}$$

$$e_{cs,y} : \underline{-167.55 \text{ mm}}$$

e_T: Excentricidade da resultante de tração no aço na direção dos eixos X e Y.

$$e_{T,x} : \underline{-391.23 \text{ mm}}$$

$$e_{T,y} : \underline{178.82 \text{ mm}}$$

ε_{cmax}: Deformação na fibra de concreto mais comprimida.

$$\epsilon_{cmax} : \underline{0.0013}$$

ε_{smax}: Deformação da barra de aço mais tracionada.

$$\epsilon_{smax} : \underline{0.0006}$$

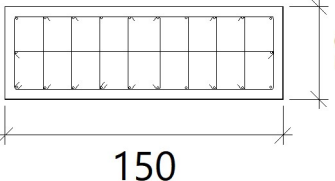
σ_{cmax}: Tensão na fibra de concreto mais comprimida.

$$\sigma_{cmax} : \underline{161.69 \text{ kgf/cm}^2}$$

σ_{smax}: Tensão da barra de aço mais tracionada.

$$\sigma_{smax} : \underline{1364.32 \text{ kgf/cm}^2}$$

PILAR 01 E 03 (0 À 3 M)

Dados do pilar	
	Geometria
	Dimensões : 150x50 cm
	Tramo : 0.000/3.000 m
	Altura livre : 1.50 m
	Cobrimento : 5.0 cm
	Tamanho máximo agregado : 19 mm
	Materiais
	Concreto : C30, em geral
	Aço : CA-50 e CA-60
	Armadura longitudinal
	Cantos : 4Ø16 Face X : 16Ø12.5 Face Y : 2Ø12.5 Taxa : 0.40 %
	Comprimento de flambagem
	Plano ZX : 2.78 m Plano ZY : 5.55 m
	Armadura transversal
	Estribos : 2eØ6.3+X1rØ6.3+Y6rØ6.3
	Espaçamento : 15 cm

Disposições relativas às armaduras (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 13.2.3, 18.2.4 e 18.4)

Dimensões mínimas

A dimensão mínima do apoio (b_{\min}) deve cumprir a seguinte condição:

$$b_{\min} \geq 140 \text{ mm}$$

$$500.00 \text{ mm} \geq 140.00 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360.00 cm² (Artigo 13.2.3).

$$A_c \geq 360 \text{ cm}^2$$

$$7500.00 \text{ cm}^2 \geq 360.00 \text{ cm}^2 \quad \checkmark$$

A maior dimensão da seção do pilar, h , não deve ser maior que 5 vezes a menor dimensão, b (Artigo 18.4.1).

$$h \leq 5 \cdot b$$

$$1500 \text{ mm} \leq 2500 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Onde:

h: Maior dimensão da seção do pilar.

$$h : \frac{1500.00}{\text{mm}}$$

b: Menor dimensão da seção do pilar.

$$b : \frac{500.00}{\text{mm}}$$

Armadura longitudinal

O espaçamento mínimo livre (s_b) entre as faces das barras longitudinais, medido no plano da seção transversal, deve ser igual ou superior ao maior dos seguintes valores (s_{\min} (Artigo 18.4.2.2)):

$$s_b \geq s_{\min}$$

$$138 \text{ mm} \geq 23 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Onde:

s_{\min} : Valor máximo de s_1, s_2, s_3 .

s_{\min} : 23 mm

$s_1 = 20$ mm

s_1 : 20 mm

$s_2 = \varnothing_{\max}$

s_2 : 16.0 mm

$s_3 = 1.2 \cdot d_g$

s_3 : 23 mm

Sendo:

\varnothing_{\max} : Diâmetro máximo das barras longitudinais.

\varnothing_{\max} : 16.0 mm

d_g : Tamanho máximo agregado.

d_g : 19 mm

O espaçamento máximo entre eixos das barras, ou de centros de feixes de barras, deve ser menor ou igual a s_{\max} (Artigo 18.4.2.2).

$s \leq s_{\max}$

186 mm \leq 400 mm ✓

Onde:

$s_{\max} = 2 \cdot b \leq 400$ mm

s_{\max} : 400 mm

Sendo:

b : Menor dimensão da seção do pilar.

b : 500 mm

As barras longitudinais deverão ter um diâmetro não inferior a 10 mm (Artigo 18.4.2.1):

$\varnothing_{\min} \geq 10$ mm

12.5 mm \geq 10.0 mm ✓

O diâmetro das barras longitudinais não deve ser superior a $1/8 \cdot b$ (Artigo 18.4.2.1).

$\varnothing_{\max} \leq 1/8 \cdot b$

16.0 mm \leq 62.5 mm ✓

Onde:

b : Menor dimensão da seção do pilar.

b : 500 mm

Estribos

O espaçamento longitudinal entre estribos, (s), medido na direção do eixo do pilar, para garantir o posicionamento, impedir a flambagem das barras longitudinais e garantir a costura das emendas de barras longitudinais nos pilares usuais, deve ser igual ou inferior ao menor dos seguintes valores (Artigo 18.4.3).

$s \leq s_{\max}$

150 mm \leq 150 mm ✓

Onde:

s_{max}: Valor mínimo de s₁, s₂, s₃.

s_{max} : 150 mm

s₁ = 200 mm

s₁ : 200 mm

s₂ = b_{min}

s₂ : 500 mm

s₃ = 12 · Ø_{min}

s₃ : 150.0 mm

Sendo:

b_{min}: Menor dimensão da seção do pilar.

b_{min} : 500 mm

Ø_{min}: Diâmetro mínimo das barras longitudinais.

Ø_{min} : 12.5 mm

O diâmetro dos estribos em pilares não deve ser inferior a 5.0 mm nem a 1/4 do diâmetro da barra isolada ou do diâmetro equivalente do feixe que constitui a armadura longitudinal (Artigo 18.4.3).

Ø_t ≥ 5 mm

6.3 mm ≥ 5.0 mm ✓

Ø_t ≥ 1/4 · Ø_{max}

6.3 mm ≥ 4.0 mm ✓

Onde:

Ø_{max}: Diâmetro máximo das barras longitudinais.

Ø_{max} : 16.0 mm

Armadura mínima e máxima (ABNT NBR 6118:2014, Artigo 17.3.5.3)

A área total de armadura longitudinal A_s não deverá ser inferior a A_{s,min} (Artigo 17.3.5.3.1):

A_s ≥ A_{s,min}

30.13 cm² ≥ 30.00 cm² ✓

Onde:

A_s: Área da armadura longitudinal.

A_s : 30.13 cm²

A_{s,min} = 0.004 · A_c

A_{s,min} : 30.00 cm²

Sendo:

A_c: Área total da seção de concreto.

A_c : 7500.00 cm²

A área da armadura longitudinal A_s não deverá ser superior a A_{s,max} (Artigo 17.3.5.3.2):

A_s ≤ A_{s,max}

30.13 cm² ≤ 300.00 cm² ✓

Onde:

A_s: Área da armadura longitudinal.

A_s : 30.13 cm²

A_{s,max} = 0.04 · A_c

A_{s,max} : 300.00 cm²

Sendo:

A_c: Área total da seção de concreto.

A_c : 7500.00 cm²

A área total de armadura longitudinal A_s não deverá ser inferior a $A_{s,min}$ (Artigo 17.3.5.3.1):

$$A_s \geq A_{s,min}$$

$$30.13 \text{ cm}^2 \geq 12.86 \text{ cm}^2 \quad \checkmark$$

Onde:

A_s : Área total de armadura comprimida.

$$A_s : \underline{30.13} \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0.15 \cdot N_d / f_{yd}$$

$$A_{s,min} : \underline{12.86} \text{ cm}^2$$

Sendo:

N_d : Esforço axial de compressão de cálculo.

$$N_d : \underline{379.992} \text{ t}$$

f_{yd} : Resistência ao escoamento do aço da armadura longitudinal.

$$f_{yd} : \underline{4432.03} \text{ kgf/cm}^2$$

Estado limite de ruptura relativo ao esforço cortante (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 17.4.1.1, 17.4.2.2 e 18.3.3.2)

Deve satisfazer:

$$\eta_1 = \sqrt{\left(\frac{V_{Sd,x}}{V_{Rd2,Vx}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd,y}}{V_{Rd2,Vy}}\right)^2} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.168} \quad \checkmark$$

Onde:

V_{Sd} : Esforço cortante efetivo de cálculo.

$$V_{Sd,x} : \underline{10.51} \text{ t}$$

$$V_{Sd,y} : \underline{51.71} \text{ t}$$

V_{Rd2} : Esforço cortante de ruptura por compressão oblíqua na alma.

$$V_{Rd2,Vx} : \underline{251.4} \text{ t}$$

$$V_{Rd2,Vy} : \underline{42} \text{ t}$$

$$\eta_2 = \sqrt{\left(\frac{V_{Sd,x}}{V_{Rd3,Vx}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd,y}}{V_{Rd3,Vy}}\right)^2} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.982} \quad \checkmark$$

Onde:

V_{Sd} : Esforço cortante efetivo de cálculo.

$$V_{Sd,x} : \underline{10.51} \text{ t}$$

$$V_{Sd,y} : \underline{51.71} \text{ t}$$

V_{Rd3} : Esforço cortante de ruptura por tração na alma.

$$V_{Rd3,Vx} : \underline{43.47} \text{ t}$$

$$V_{Rd3,Vy} : \underline{54.31} \text{ t}$$

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos em 'Ext.Inferior', para a combinação de hipóteses "1.4·PP+1.4·CP+Empuxo+0.98·Qa+0.98·Frenagem+1.2·Variação térmica".

Esforço cortante de ruptura por compressão oblíqua na alma.

O esforço cortante de ruptura por compressão oblíqua da alma deduz-se da seguinte expressão:

Esforço Cortante na direção X:

$$V_{Rd2} = 0.27 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

V_{Rd2}	:	251.4	
		42	t

Onde:

$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck} / 250)$$

α_{v2}	:	0.88
---------------	---	------

f_{cd}: Resistência de cálculo à compressão do concreto.

f_{cd}	:	218.4	kgf/c
		4	m ²

b_w: A menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil d.

b_w	:	500.0	
		0	mm

d: Altura útil da seção, igual à distância entre a fibra mais comprimida e o centro de gravidade da armadura tracionada.

d	:	968.9	
		4	mm

Esforço Cortante na direção Y:

$$V_{Rd2} = 0.27 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

V_{Rd2}	:	318.2	
		40	t

Onde:

$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck} / 250)$$

α_{v2}	:	0.88
---------------	---	------

f_{cd}: Resistência de cálculo à compressão do concreto.

f_{cd}	:	218.4	kgf/c
		4	m ²

b_w: A menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil d.

b_w	:	1500.	
		00	mm

d: Altura útil da seção, igual à distância entre a fibra mais comprimida e o centro de gravidade da armadura tracionada.

d	:	408.7	
		8	mm

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos em 'Ext.Inferior', para a combinação de hipóteses "1.4·PP+1.4·CP+Empuxo+0.98·Qa+0.98·Frenagem+1.2·Variação térmica".

Esforço cortante de ruptura por tração na alma.

Esforço Cortante na direção X:

O esforço cortante de ruptura por tração na alma em peças sem armadura de esforço cortante obtém-se como:

$$V_{Rd3} = V_r$$

$$V_{Rd3} = \frac{43.47}{2} \text{ t}$$

Onde:

$$V_c = V_{c0} \cdot (1 + M_0 / M_{sd}) \leq 2 \cdot V_{c0} \quad V_c = \frac{43.47}{2} \text{ t}$$

Sendo:

$$V_{c0} = 0.6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \quad V_{c0} = \frac{42.91}{3} \text{ t}$$

Onde:

f_{ctd}: Resistência de cálculo à tração do concreto. $f_{ctd} = \frac{14.76}{1} \text{ kgf/cm}^2$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c$$

Sendo:

$$f_{ctk,inf} = 0.7 \cdot f_{ct,m} \quad f_{ctk,inf} = \frac{20.67}{1} \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad f_{ct,m} = \frac{29.53}{1} \text{ kgf/cm}^2$$

f_{ck}: Resistência característica à compressão do concreto. $f_{ck} = \frac{305.8}{1} \text{ kgf/cm}^2$

γ_c: Coeficiente parcial de segurança para o concreto. $\gamma_c = \frac{1.4}{1}$

b_w: A menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil d. $b_w = \frac{500.0}{0} \text{ mm}$

d: Altura útil da seção, igual à distância entre a fibra mais comprimida e o centro de gravidade da armadura tracionada. $d = \frac{968.9}{4} \text{ mm}$

M₀: Valor do momento fletor que anula a tensão normal de compressão na borda da seção tracionada por M_{sd}. $M_0 = \frac{1.210}{1} \text{ t}\cdot\text{m}$

M_{sd}: Momento fletor de cálculo. $M_{sd} = \frac{92.92}{1} \text{ t}\cdot\text{m}$

Esforço Cortante na direção Y:

O esforço cortante de ruptura por tração na alma em peças sem armadura de esforço cortante obtém-se como:

$$V_{Rd3} = V_c \quad V_{Rd3} = \frac{54.31}{3} \text{ t}$$

Onde:

$$V_c = V_{c0} \quad V_c = \frac{54.31}{3} \text{ t}$$

Sendo:

$$V_{c0} = 0.6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{c0} : \frac{54.31}{3} \text{ t}$$

Onde:

f_{ctd}: Resistência de cálculo à tração do concreto.

$$f_{ctd} : \frac{\text{kgf/c}}{14.76 \text{ m}^2}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c$$

Sendo:

$$f_{ctk,inf} = 0.7 \cdot f_{ct,m}$$

$$f_{ctk,inf} : \frac{\text{kgf/c}}{20.67 \text{ m}^2}$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

$$f_{ctm} : \frac{\text{kgf/c}}{29.53 \text{ m}^2}$$

f_{ck}: Resistência característica à compressão do concreto.

$$f_{ck} : \frac{305.8 \text{ kgf/c}}{1 \text{ m}^2}$$

γ_c: Coeficiente parcial de segurança para o concreto.

$$\gamma_c : \frac{1.4}{1.4}$$

b_w: A menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil d.

$$b_w : \frac{1500.}{00} \text{ mm}$$

d: Altura útil da seção, igual à distância entre a fibra mais comprimida e o centro de gravidade da armadura tracionada.

$$d : \frac{408.7}{8} \text{ mm}$$

Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 11.3.3.4.3, 15.8 e 17)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos em 'Ext.Inferior', para a combinação de hipóteses

"1.4·PP+1.4·CP+Empuxo+0.98·Qa+0.98·Frenagem+1.2·Variação térmica".

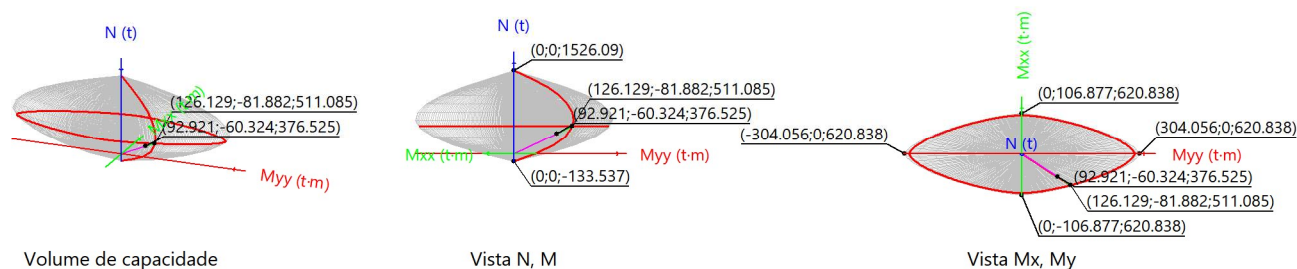
Deve satisfazer:

$$\eta_1 = \sqrt{\frac{N_{1d}^2 + M_{1d,x}^2 + M_{1d,y}^2}{N_{Rd}^2 + M_{Rd,x}^2 + M_{Rd,y}^2}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.625} \checkmark$$

$$\eta_2 = \sqrt{\frac{N_{sd}^2 + M_{sd,x}^2 + M_{sd,y}^2}{N_{Rd}^2 + M_{Rd,x}^2 + M_{Rd,y}^2}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.737} \checkmark$$



Verificação de resistência da seção (η_1)

N_{1d}, M_{1d} são os esforços de cálculo de primeira ordem, incluindo, no seu caso, a excentricidade mínima segundo 11.3.3.4.3:

N_{1d} : Esforço normal de cálculo.

M_{1d} : Momento de cálculo de primeira ordem.

$$\begin{aligned} N_{1d} &: 376.525 \text{ t} \\ M_{1d,x} &: -48.726 \text{ t}\cdot\text{m} \\ M_{1d,y} &: 92.921 \text{ t}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

N_{Rd}, M_{Rd} são os esforços resistentes da seção com as mesmas excentricidades que os esforços atuantes de cálculo, desfavoráveis.

N_{Rd} : Esforço normal resistente.

M_{Rd} : Momento resistente

$$\begin{aligned} N_{Rd} &: 602.694 \text{ t} \\ M_{Rd,x} &: -77.995 \text{ t}\cdot\text{m} \\ M_{Rd,y} &: 148.737 \text{ t}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

Onde:

$$N_{1d} = N_d$$

$$M_{1d} = N_{1d} \cdot e_e$$

Sendo:

e_e : Excentricidade de primeira ordem. Calcula-se levando em conta a excentricidade mínima e_a segundo o ponto 11.3.3.4.3.

$$\begin{aligned} e_{e,x} &: 246.79 \text{ mm} \\ e_{e,y} &: -129.41 \text{ mm} \end{aligned}$$

Neste caso, as excentricidades $e_{0,x}$ e $e_{0,y}$ são superiores à mínima.

$$e_{e,x} = e_{0,x}$$

$$e_{e,y} = e_{0,y}$$

Onde:

No eixo x:

$$e_a = 0,015 + 0,03 \cdot h$$

$$e_a : 30.00 \text{ mm}$$

Sendo:

h : Altura da seção no plano de flexão considerado.

$$h : 500.00 \text{ mm}$$

$$e_1 = \frac{M_d}{N_d} \quad e_1 : \underline{-129.41} \text{ mm}$$

Onde:

M_d: Momento de cálculo de primeira ordem.

$$M_d : \underline{-48.726} \text{ t}\cdot\text{m}$$

N_d: Esforço normal de cálculo.

$$N_d : \underline{376.525} \text{ t}$$

No eixo y:

$$e_a = 0,015 + 0,03 \cdot h \quad e_a : \underline{60.00} \text{ mm}$$

Sendo:

h: Altura da seção no plano de flexão considerado.

$$h : \underline{1500.00} \text{ mm}$$

$$e_1 = \frac{M_d}{N_d} \quad e_1 : \underline{246.79} \text{ mm}$$

Onde:

M_d: Momento de cálculo de primeira ordem.

$$M_d : \underline{92.921} \text{ t}\cdot\text{m}$$

N_d: Esforço normal de cálculo.

$$N_d : \underline{376.525} \text{ t}$$

Verificação do estado limite de instabilidade (η_2)

N_{Sd}, M_{Sd} esforços atuantes de cálculo desfavoráveis, obtidos a partir dos esforços de primeira ordem incrementados para levar em conta os efeitos de segunda ordem, em função da esbeltez.

N_{Sd}: Esforço axial atuante de cálculo desfavorável.

$$N_{Sd} : \underline{376.525} \text{ t}$$

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{Sd,x} : \underline{-60.324} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Sd,y} : \underline{92.921} \text{ t}\cdot\text{m}$$

N_{Rd}, M_{Rd} são os esforços resistentes da seção com as mesmas excentricidades que os esforços atuantes de cálculo, desfavoráveis.

N_{Rd}: Esforço normal resistente.

$$N_{Rd} : \underline{511.085} \text{ t}$$

M_{Rd}: Momento resistente

$$M_{Rd,x} : \underline{-81.882} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd,y} : \underline{126.129} \text{ t}\cdot\text{m}$$

No eixo x:

Os efeitos de segunda ordem não podem ser desprezados, já que a esbeltez mecânica do pilar λ é maior que a esbeltez limite inferior λ_1 indicada em 15.8.2.

$$\lambda = \frac{l_e}{i} = \frac{l_e}{\sqrt{I_c / A_c}} \quad \lambda : \underline{38.45}$$

Onde:

$$l_e = \text{MAX}(l + h, l_0) \quad l_e : \underline{5.550} \text{ m}$$

Sendo:

l₀: Comprimento de flambagem.

l₀ : 5.550 m

h: Altura da seção no plano de flexão considerado.

h : 500.00 mm

l: Distância entre as faces internas dos elementos estruturais que vinculam o pilar.

l : 1.500 m

A_c: Área total da seção de concreto.

A_c : 7500.00 cm²

I_c: Inércia.

I_c : 1562500.00 cm⁴

$$\lambda_1 = 25 + 12.5 \cdot e_1 / h \geq 35$$

λ₁ : 35.00

Onde:

e₁: Excentricidade relativa de primeira ordem.

e₁ : -129.41 mm

A verificação do estado limite de instabilidade realiza-se segundo os critérios do artigo 15.8.3.3.2, somando à excentricidade de primeira ordem uma excentricidade fictícia, que representa os efeitos de segunda ordem, como se detalha em seguida:

$$N_{Sd} = N_{1d}$$

N_{Sd} : 376.525 t

$$M_{Sd} = N_{1d} \cdot e_{tot}$$

M_{Sd} : -60.324 t·m

Onde:

$$e_{tot} = e_e + e_2$$

e_{tot} : -160.21 mm

Sendo:

e_e: Excentricidade de primeira ordem.

Calcula-se levando em conta a excentricidade mínima e_a segundo o ponto 15.8.2.

e_e : -129.41 mm

e₂: Excentricidade para levar em conta os efeitos de segunda ordem (Artigo 15.8.3.3.2).

e₂ : -30.80 mm

$$e_2 = \frac{l_e^2}{10} \cdot \frac{1}{r}$$

Onde:

$$l_e = l_0 + h \leq l$$

l_e : 5.550 m

Sendo:

l₀: Comprimento de flambagem.

l₀ : 5.550 m

h: Altura da seção no plano de flexão considerado.

h : 500.00 mm

l: Distância entre as faces internas dos elementos estruturais que vinculam o pilar.

l : 1.500 m

$$1/r = \frac{0.005}{h \cdot (v + 0.5)} \leq \frac{0.005}{h}$$

$$1/r : \underline{0.010} \text{ m}$$

Sendo:

$$v = \frac{N_{Sd}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

$$v : \underline{0.23}$$

Onde:

A_c: Área total da seção de concreto.

$$A_c : \underline{7500.00} \text{ cm}^2$$

f_{cd}: Resistência de cálculo à compressão do concreto.

$$f_{cd} : \underline{218.44} \text{ kgf/cm}^2$$

No eixo y:

Os efeitos de segunda ordem podem ser desprezados, já que a esbeltez mecânica do pilar λ é menor que a esbeltez limite inferior λ_1 indicada em 15.8.2.

$$\lambda = \frac{l_e}{i} = \frac{l_e}{\sqrt{I_c / A_c}}$$

$$\lambda : \underline{6.93}$$

Onde:

$$l_e = \text{MAX}(l + h, l_0)$$

$$l_e : \underline{3.000} \text{ m}$$

Sendo:

l₀: Comprimento de flambagem.

$$l_0 : \underline{2.775} \text{ m}$$

h: Altura da seção no plano de flexão considerado.

$$h : \underline{1500.00} \text{ mm}$$

I: Distância entre as faces internas dos elementos estruturais que vinculam o pilar.

$$I : \underline{1.500} \text{ m}$$

A_c: Área total da seção de concreto.

$$A_c : \underline{7500.00} \text{ cm}^2$$

I_c: Inércia.

$$I_c : \underline{14062500.00} \text{ cm}^4$$

$$\lambda_1 = 25 + 12.5 \cdot e_1 / h \geq 35$$

$$\lambda_1 : \underline{35.00}$$

Onde:

e₁: Excentricidade relativa de primeira ordem.

$$e_1 : \underline{246.79} \text{ mm}$$

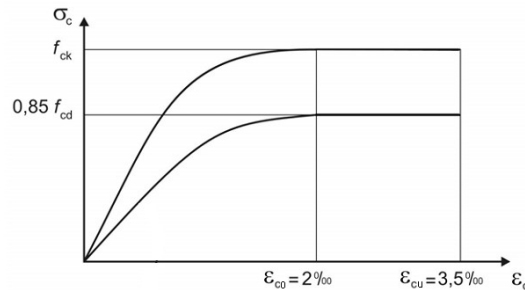
Cálculo da capacidade resistente

O cálculo da capacidade resistente última das seções é efetuado a partir das hipóteses gerais seguintes (Artigo 17):

- A ruptura caracteriza-se pelo valor da deformação em determinadas fibras da seção, definidas pelos domínios de deformação de ruptura.
- As seções transversais se mantêm planas após deformação.
- A deformação ε_s das barras passivas aderentes deve ser o mesmo do concreto em seu entorno.

- (d) A distribuição de tensões no concreto se faz de acordo com o diagrama parábola-retângulo, definido em 8.2.10.

O diagrama de cálculo tensão-deformação do concreto é do tipo parábola retângulo. Não se considera a resistência do concreto à tração.



ϵ_{cu} : Deformação de ruptura do concreto em flexão.

$$\epsilon_{cu} : \underline{0.0035}$$

ϵ_{c0} : Deformação de ruptura do concreto em compressão simples.

$$\epsilon_{c0} : \underline{0.0020}$$

$0.85 \cdot f_{cd}$: Resistência de cálculo à compressão do concreto.

$$0.85 \cdot f_{cd} : \underline{185.67 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Sendo:

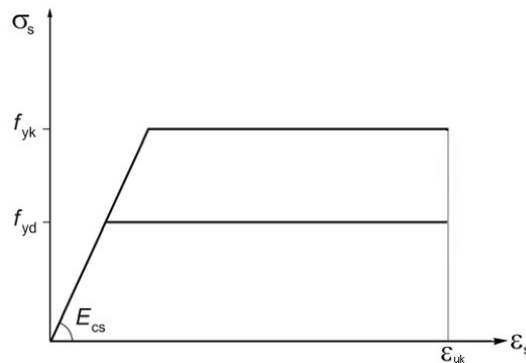
f_{ck} : Resistência característica à compressão do concreto.

$$f_{ck} : \underline{305.81 \text{ kgf/cm}^2}$$

γ_c : Coeficiente parcial de segurança para o concreto.

$$\gamma_c : \underline{1.4}$$

- (e) A tensão nas armaduras deve ser obtida a partir dos diagramas tensão-deformação, com valores de cálculo, definidos em 8.3.6.



ϵ_{uk} : Deformação de ruptura do concreto em flexão.

$$\epsilon_{uk} : \underline{0.0200}$$

f_{yd} : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_{yd} : \underline{4432.03 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

Sendo:

f_{yk} : Resistência característica do aço.

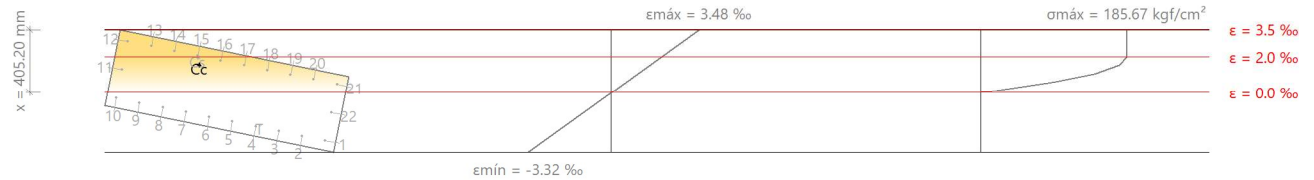
$$f_{yk} : \underline{5096.84 \text{ kgf/cm}^2}$$

γ_s : Coeficiente parcial de segurança para o aço.

$$\gamma_s : \underline{1.15}$$

- (f) Aplicam-se às resultantes de tensões na seção as equações gerais de equilíbrio de forças e de momentos.

Equilíbrio da seção para os esforços de ruptura, calculados com as mesmas excentricidades que os esforços de cálculo desfavoráveis:



Barra	Designação	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (kgf/cm ²)	ϵ
1	Ø16	-685.70	185.70	-4432.03	-0.002663
2	Ø12.5	-533.32	187.45	-4432.03	-0.002415
3	Ø12.5	-380.94	187.45	-4432.03	-0.002152
4	Ø12.5	-228.57	187.45	-4044.35	-0.001889
5	Ø12.5	-76.19	187.45	-3481.45	-0.001626
6	Ø12.5	76.19	187.45	-2918.54	-0.001363
7	Ø12.5	228.57	187.45	-2355.63	-0.001100
8	Ø12.5	380.94	187.45	-1792.73	-0.000837
9	Ø12.5	533.32	187.45	-1229.82	-0.000575
10	Ø16	685.70	185.70	-635.37	-0.000297
11	Ø12.5	687.45	0.00	+2718.01	+0.001270
12	Ø16	685.70	-185.70	+4432.04	+0.002830
13	Ø12.5	533.32	-187.45	+4432.04	+0.002582
14	Ø12.5	380.94	-187.45	+4432.04	+0.002319
15	Ø12.5	228.57	-187.45	+4401.29	+0.002056
16	Ø12.5	76.19	-187.45	+3838.38	+0.001793
17	Ø12.5	-76.19	-187.45	+3275.47	+0.001530
18	Ø12.5	-228.57	-187.45	+2712.57	+0.001267
19	Ø12.5	-380.94	-187.45	+2149.66	+0.001004
20	Ø12.5	-533.32	-187.45	+1586.76	+0.000741
21	Ø16	-685.70	-185.70	+992.31	+0.000464
22	Ø12.5	-687.45	0.00	-2361.07	-0.001103

	Resultante (t)	e.x (mm)	e.y (mm)
Cc	507.301	206.10	-130.33
Cs	47.162	222.44	-173.79
T	43.378	-255.48	174.52

$$N_{Rd} = C_c + C_s - T$$

$$N_{Rd} : 511.085 \text{ t}$$

$$M_{Rd,x} = C_c \cdot e_{cc,y} + C_s \cdot e_{cs,y} - T \cdot e_{T,y}$$

$$M_{Rd,x} : -81.882 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd,y} = C_c \cdot e_{cc,x} + C_s \cdot e_{cs,x} - T \cdot e_{T,x}$$

$$M_{Rd,y} : 126.129 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

C_c: Resultante de compressões no concreto.

$$C_c : 507.301 \text{ t}$$

C_s: Resultante de compressões no aço.

$$C_s : 47.162 \text{ t}$$

T: Resultante de tração no aço.

$$T : 43.378 \text{ t}$$

e_{cc}: Excentricidade da resultante de compressão no concreto na direção dos eixos X e Y.

$$e_{cc,x} : 206.10 \text{ mm}$$

$$e_{cc,y} : -130.33 \text{ mm}$$

e_{cs}: Excentricidade da resultante de compressão no aço na direção dos eixos X e Y.

$$e_{cs,x} : 222.44 \text{ mm}$$

$$e_{cs,y} : -173.79 \text{ mm}$$

e_T: Excentricidade da resultante de tração no aço na direção dos eixos X e Y.

$$e_{T,x} : -255.48 \text{ mm}$$

$$e_{T,y} : 174.52 \text{ mm}$$

ε_{cmax}: Deformação na fibra de concreto mais comprimida.

$$\epsilon_{cmax} : 0.0035$$

ε_{smax}: Deformação da barra de aço mais tracionada.

$$\epsilon_{smax} : 0.0027$$

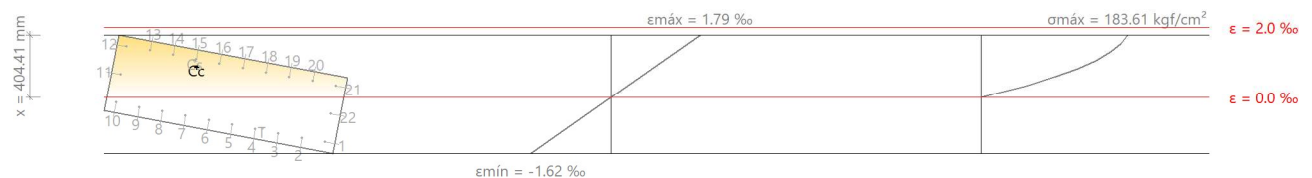
σ_{cmax}: Tensão na fibra de concreto mais comprimida.

$$\sigma_{cmax} : 185.67 \text{ kgf/cm}^2$$

σ_{smax}: Tensão da barra de aço mais tracionada.

$$\sigma_{smax} : 4432.03 \text{ kgf/cm}^2$$

Equilíbrio da seção para os esforços atuantes de cálculo, desfavoráveis:



Barra	Designação	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ _s (kgf/cm ²)	ε
1	Ø16	-685.70	185.70	-2752.39	-0.001286
2	Ø12.5	-533.32	187.45	-2500.37	-0.001168
3	Ø12.5	-380.94	187.45	-2232.06	-0.001043
4	Ø12.5	-228.57	187.45	-1963.75	-0.000917
5	Ø12.5	-76.19	187.45	-1695.44	-0.000792
6	Ø12.5	76.19	187.45	-1427.13	-0.000667
7	Ø12.5	228.57	187.45	-1158.83	-0.000541
8	Ø12.5	380.94	187.45	-890.52	-0.000416
9	Ø12.5	533.32	187.45	-622.21	-0.000291

Barra	Designação	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (kgf/cm ²)	ϵ
10	Ø16	685.70	185.70	-337.62	-0.000158
11	Ø12.5	687.45	0.00	+1393.47	+0.000651
12	Ø16	685.70	-185.70	+3118.40	+0.001457
13	Ø12.5	533.32	-187.45	+2866.38	+0.001339
14	Ø12.5	380.94	-187.45	+2598.07	+0.001214
15	Ø12.5	228.57	-187.45	+2329.76	+0.001088
16	Ø12.5	76.19	-187.45	+2061.45	+0.000963
17	Ø12.5	-76.19	-187.45	+1793.14	+0.000838
18	Ø12.5	-228.57	-187.45	+1524.83	+0.000712
19	Ø12.5	-380.94	-187.45	+1256.53	+0.000587
20	Ø12.5	-533.32	-187.45	+988.22	+0.000462
21	Ø16	-685.70	-185.70	+703.62	+0.000329
22	Ø12.5	-687.45	0.00	-1027.47	-0.000480

	Resultante (t)	e.x (mm)	e.y (mm)
Cc	371.011	215.64	-138.34
Cs	28.314	233.53	-175.66
T	22.800	-276.46	176.61

$$N_{Sd} = C_c + C_s - T$$

$$N_{Sd} : \underline{376.525 \text{ t}}$$

$$M_{Sd,x} = C_c \cdot e_{cc,y} + C_s \cdot e_{cs,y} + T \cdot e_{T,y}$$

$$M_{Sd,x} : \underline{-60.324 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$M_{Sd,y} = C_c \cdot e_{cc,x} + C_s \cdot e_{cs,x} + T \cdot e_{T,x}$$

$$M_{Sd,y} : \underline{92.921 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

Onde:

C_c: Resultante de compressões no concreto.

$$C_c : \underline{371.011 \text{ t}}$$

C_s: Resultante de compressões no aço.

$$C_s : \underline{28.314 \text{ t}}$$

T: Resultante de tração no aço.

$$T : \underline{22.800 \text{ t}}$$

e_{cc}: Excentricidade da resultante de compressão no concreto na direção dos eixos X e Y.

$$e_{cc,x} : \underline{215.64 \text{ mm}}$$

$$e_{cc,y} : \underline{-138.34 \text{ mm}}$$

e_{cs}: Excentricidade da resultante de compressão no aço na direção dos eixos X e Y.

$$e_{cs,x} : \underline{233.53 \text{ mm}}$$

$$e_{cs,y} : \underline{-175.66 \text{ mm}}$$

e_T: Excentricidade da resultante de tração no aço na direção dos eixos X e Y.

$$e_{T,x} : \underline{-276.46 \text{ mm}}$$

$$e_{T,y} : \underline{176.61 \text{ mm}}$$

ε_{cmax}: Deformação na fibra de concreto mais comprimida.

$$\epsilon_{cmax} : \underline{0.0018}$$

ε_{smax}: Deformação da barra de aço mais tracionada.

$$\epsilon_{smax} : \underline{0.0013}$$

σ_{cmax}: Tensão na fibra de concreto mais comprimida.

$$\sigma_{cmax} : \underline{183.61 \text{ kgf/cm}^2}$$

σ_{smax}: Tensão da barra de aço mais tracionada.

$$\sigma_{smax} : \underline{2752.39 \text{ kgf/cm}^2}$$

VERIFICAÇÃO DA SAPATA DE APOIO DO PILAR P4

Referência: P4 Dimensões: 460 x 310 x 105 Soldados: Xi:Ø25c/30 Yi:Ø20c/29		
Verificação	Valores	Estado
Tensões sobre o terreno: <i>Critério da CYPE</i> - Tensão média em combinações fundamentais: - Tensão máxima em combinações permanentes sem vento: - Tensão máxima em combinações permanentes com vento:	Máximo: 4.00 kgf/cm ² Calculado: 3.22 kgf/cm ² Máximo: 5.00 kgf/cm ² Calculado: 3.89 kgf/cm ² Máximo: 5.00 kgf/cm ² Calculado: 3.97 kgf/cm ²	Passa Passa Passa
Tombamento da sapata: <i>Se o % de reserva de segurança é maior que zero, pode ser dito que os coeficientes de segurança ao tombamento são maiores que os valores exatos exigidos para todas as combinações de equilíbrio.</i> - Na direção X: - Na direção Y:	Reserva segurança: 3308.6 % Reserva segurança: 1561.1 %	Passa Passa
Deslizamento da sapata: - Combinações fundamentais: <i>Recomendação do livro 'Cálculo de estructuras de cimentación', J. Calavera. 4ª edición, ed. INTEMAC, 2000..</i>	Mínimo: 1.5 Calculado: 45.04	Passa
Flexão na sapata: - Na direção X: - Na direção Y:	Momento: 201.50 t·m Momento: 194.80 t·m	Passa Passa
Cortante na sapata: - Na direção X: - Na direção Y:	Cortante: 78.39 t Cortante: 71.35 t	Passa Passa
Compressão oblíqua na sapata: - Combinações fundamentais: <i>Critério da CYPE</i>	Máximo: 655.3 t/m ² Calculado: 174.12 t/m ²	Passa
Altura mínima: <i>Critério da CYPE</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 105 cm	Passa
Espaço para ancorar arranques na fundação: - P4:	Mínimo: 16 cm Calculado: 96 cm	Passa
Quantidade geométrica mínima: <i>Critério da CYPE</i> - Armadura inferior direção X: - Armadura inferior direção Y:	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.0015 Calculado: 0.00104	Passa Passa
Quantia mínima necessária por flexão: <i>Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014. Artigo 17.3.5.2</i> - Armadura inferior direção X:	Mínimo: 0.0014 Calculado: 0.0016	Passa

Referência: P4		
Dimensões: 460 x 310 x 105		
Soldados: Xi:Ø25c/30 Yi:Ø20c/29		
Verificação	Valores	Estado
- Armadura inferior direção Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0011	Passa
Diâmetro mínimo das barras:		
- Malha inferior: <i>Critério da CYPE</i>	Mínimo: 10 mm Calculado: 20 mm	Passa
Espaçamento máximo entre barras: <i>Critério da CYPE</i>	Máximo: 30 cm	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 30 cm	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 29 cm	Passa
Espaçamento mínimo entre barras: <i>Critério da CYPE, baseado em: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 30 cm	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 29 cm	Passa
Comprimento de ancoragem: <i>Critério do livro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armadura inf. direção X para dir:	Mínimo: 75 cm Calculado: 117 cm	Passa
- Armadura inf. direção X para esq:	Mínimo: 73 cm Calculado: 117 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para cima:	Mínimo: 70 cm Calculado: 77 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 70 cm Calculado: 77 cm	Passa
Comprimento mínimo das dobras:	Calculado: 30 cm	
- Armadura inf. direção X para dir:	Mínimo: 28 cm	Passa
- Armadura inf. direção X para esq:	Mínimo: 28 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para cima:	Mínimo: 23 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 23 cm	Passa
Todas as verificações foram cumpridas		
Informação adicional:		
- Sapata do tipo rígido (Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014. Artigo 22.4) - Deslizamento da sapata - Combinações fundamentais: Resistência frente ao deslizamento: 823.68 t, Força que produz deslizamento: 18.29 t, Força Axial simultânea: 456.93 t, Área comprimida da sapata: 14.26 m² (100 %) - Relação ruptura desfavorável (Na direção X): 0.91 - Relação ruptura desfavorável (Na direção Y): 0.85 - Cortante de esgotamento (Na direção X): 141.05 t - Cortante de esgotamento (Na direção Y): 206.15 t		

VERIFICAÇÃO DA SAPATA DE APOIO DO PILAR P2

Referência: P2		
Dimensões: 460 x 310 x 105		
Soldados: Xi:Ø25c/30 Yi:Ø20c/29		
Verificação	Valores	Estado
Tensões sobre o terreno: <i>Critério da CYPE</i>		
- Tensão média em combinações fundamentais:	Máximo: 4.00 kgf/cm ² Calculado: 2.18 kgf/cm ²	Passa
- Tensão máxima em combinações permanentes sem vento:	Máximo: 5.00 kgf/cm ² Calculado: 3.29 kgf/cm ²	Passa
- Tensão máxima em combinações permanentes com vento:	Máximo: 5.00 kgf/cm ² Calculado: 3.21 kgf/cm ²	Passa
Tombamento da sapata: <i>Se o % de reserva de segurança é maior que zero, pode ser dito que os coeficientes de segurança ao tombamento são maiores que os valores exatos exigidos para todas as combinações de equilíbrio.</i>		
- Na direção X:	Reserva segurança: 783.7 %	Passa
- Na direção Y:	Reserva segurança: 1322.2 %	Passa
Deslizamento da sapata: - Combinações fundamentais: <i>Recomendação do livro 'Cálculo de estructuras de cimentación', J. Calavera. 4ª edición, ed. INTEMAC, 2000..</i>	Mínimo: 1.5 Calculado: 46.19	Passa
Flexão na sapata:		
- Na direção X:	Momento: 147.94 t·m	Passa
- Na direção Y:	Momento: 129.11 t·m	Passa
Cortante na sapata:		
- Na direção X:	Cortante: 60.39 t	Passa
- Na direção Y:	Cortante: 48.06 t	Passa
Compressão oblíqua na sapata: - Combinações fundamentais: <i>Critério da CYPE</i>	Máximo: 655.3 t/m ² Calculado: 112.64 t/m ²	Passa
Altura mínima: <i>Critério da CYPE</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 105 cm	Passa
Espaço para ancorar arranques na fundação: - P2:	Mínimo: 16 cm Calculado: 96 cm	Passa
Quantidade geométrica mínima: <i>Critério da CYPE</i>	Mínimo: 0.001	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 0.0015	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 0.00104	Passa
Quantia mínima necessária por flexão: <i>Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014. Artigo 17.3.5.2</i>		
- Armadura inferior direção X:	Mínimo: 0.0011 Calculado: 0.0016	Passa

Referência: P2		
Dimensões: 460 x 310 x 105		
Soldados: Xi:Ø25c/30 Yi:Ø20c/29		
Verificação	Valores	Estado
- Armadura inferior direção Y:	Mínimo: 0.0006 Calculado: 0.0011	Passa
Diâmetro mínimo das barras:		
- Malha inferior: <i>Critério da CYPE</i>	Mínimo: 10 mm Calculado: 20 mm	Passa
Espaçamento máximo entre barras: <i>Critério da CYPE</i>	Máximo: 30 cm	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 30 cm	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 29 cm	Passa
Espaçamento mínimo entre barras: <i>Critério da CYPE, baseado em: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 30 cm	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 29 cm	Passa
Comprimento de ancoragem: <i>Critério do livro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armadura inf. direção X para dir:	Mínimo: 55 cm Calculado: 117 cm	Passa
- Armadura inf. direção X para esq:	Mínimo: 42 cm Calculado: 117 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para cima:	Mínimo: 30 cm Calculado: 77 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 37 cm Calculado: 77 cm	Passa
Comprimento mínimo das dobras:	Calculado: 30 cm	
- Armadura inf. direção X para dir:	Mínimo: 28 cm	Passa
- Armadura inf. direção X para esq:	Mínimo: 28 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para cima:	Mínimo: 23 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 23 cm	Passa
Todas as verificações foram cumpridas		
Informação adicional:		
- Sapata do tipo rígido (Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014. Artigo 22.4) - Deslizamento da sapata - Combinações fundamentais: Resistência frente ao deslizamento: 741.10 t, Força que produz deslizamento: 16.05 t, Força Axial simultânea: 307.95 t, Área comprimida da sapata: 14.26 m² (100 %) - Relação ruptura desfavorável (Na direção X): 0.67 - Relação ruptura desfavorável (Na direção Y): 0.57 - Cortante de esgotamento (Na direção X): 141.05 t - Cortante de esgotamento (Na direção Y): 206.15 t		

VERIFICAÇÃO DA SAPATA DE APOIO DO PILAR P1

Referência: P1		
Dimensões: 460 x 310 x 105		
Soldados: Xi:Ø25c/30 Yi:Ø20c/29		
Verificação	Valores	Estado
Tensões sobre o terreno: <i>Critério da CYPE</i>		
- Tensão média em combinações fundamentais:	Máximo: 4.00 kgf/cm ² Calculado: 2.17 kgf/cm ²	Passa
- Tensão máxima em combinações permanentes sem vento:	Máximo: 5.00 kgf/cm ² Calculado: 3.90 kgf/cm ²	Passa
- Tensão máxima em combinações permanentes com vento:	Máximo: 5.00 kgf/cm ² Calculado: 3.85 kgf/cm ²	Passa
Tombamento da sapata: <i>Se o % de reserva de segurança é maior que zero, pode ser dito que os coeficientes de segurança ao tombamento são maiores que os valores exatos exigidos para todas as combinações de equilíbrio.</i>		
- Na direção X:	Reserva segurança: 702.7 %	Passa
- Na direção Y:	Reserva segurança: 545.3 %	Passa
Deslizamento da sapata:		
- Combinações fundamentais: <i>Recomendação do livro 'Cálculo de estructuras de cimentación', J. Calavera. 4ª edición, ed. INTEMAC, 2000..</i>	Mínimo: 1.5 Calculado: 19.42	Passa
Flexão na sapata:		
- Na direção X:	Momento: 150.84 t·m	Passa
- Na direção Y:	Momento: 145.50 t·m	Passa
Cortante na sapata:		
- Na direção X:	Cortante: 62.03 t	Passa
- Na direção Y:	Cortante: 58.00 t	Passa
Compressão oblíqua na sapata:		
- Combinações fundamentais: <i>Critério da CYPE</i>	Máximo: 655.3 t/m ² Calculado: 111.9 t/m ²	Passa
Altura mínima: <i>Critério da CYPE</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 105 cm	Passa
Espaço para ancorar arranques na fundação:		
- P1:	Mínimo: 16 cm Calculado: 96 cm	Passa
Quantidade geométrica mínima: <i>Critério da CYPE</i>	Mínimo: 0.001	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 0.0015	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 0.00104	Passa
Quantia mínima necessária por flexão: <i>Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014. Artigo 17.3.5.2</i>		
- Armadura inferior direção X:	Mínimo: 0.0011 Calculado: 0.0016	Passa

Referência: P1		
Dimensões: 460 x 310 x 105		
Soldados: Xi:Ø25c/30 Yi:Ø20c/29		
Verificação	Valores	Estado
- Armadura inferior direção Y:	Mínimo: 0.0007 Calculado: 0.0011	Passa
Diâmetro mínimo das barras:		
- Malha inferior: <i>Critério da CYPE</i>	Mínimo: 10 mm Calculado: 20 mm	Passa
Espaçamento máximo entre barras: <i>Critério da CYPE</i>	Máximo: 30 cm	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 30 cm	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 29 cm	Passa
Espaçamento mínimo entre barras: <i>Critério da CYPE, baseado em: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 30 cm	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 29 cm	Passa
Comprimento de ancoragem: <i>Critério do livro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armadura inf. direção X para dir:	Mínimo: 56 cm Calculado: 117 cm	Passa
- Armadura inf. direção X para esq:	Mínimo: 40 cm Calculado: 117 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para cima:	Mínimo: 24 cm Calculado: 77 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 42 cm Calculado: 77 cm	Passa
Comprimento mínimo das dobras:	Calculado: 30 cm	
- Armadura inf. direção X para dir:	Mínimo: 28 cm	Passa
- Armadura inf. direção X para esq:	Mínimo: 28 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para cima:	Mínimo: 23 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 23 cm	Passa
Todas as verificações foram cumpridas		
Informação adicional:		
- Sapata do tipo rígido (Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014. Artigo 22.4) - Deslizamento da sapata - Combinações fundamentais: Resistência frente ao deslizamento: 740.30 t, Força que produz deslizamento: 38.12 t, Força Axial simultânea: 306.51 t, Área comprimida da sapata: 14.26 m² (100 %) - Relação ruptura desfavorável (Na direção X): 0.68 - Relação ruptura desfavorável (Na direção Y): 0.64 - Cortante de esgotamento (Na direção X): 141.05 t - Cortante de esgotamento (Na direção Y): 206.15 t		

VERIFICAÇÃO DA SAPATA DE APOIO DO PILAR P3

Referência: P3 Dimensões: 460 x 310 x 105 Soldados: Xi:Ø25c/30 Yi:Ø20c/29		
Verificação	Valores	Estado
Tensões sobre o terreno: <i>Critério da CYPE</i> - Tensão média em combinações fundamentais: - Tensão máxima em combinações permanentes sem vento: - Tensão máxima em combinações permanentes com vento:	Máximo: 4.00 kgf/cm ² Calculado: 3.21 kgf/cm ² Máximo: 5.00 kgf/cm ² Calculado: 4.98 kgf/cm ² Máximo: 5.00 kgf/cm ² Calculado: 5.00 kgf/cm ²	Passa Passa Passa
Tombamento da sapata: <i>Se o % de reserva de segurança é maior que zero, pode ser dito que os coeficientes de segurança ao tombamento são maiores que os valores exatos exigidos para todas as combinações de equilíbrio.</i> - Na direção X: - Na direção Y:	Reserva segurança: 1037.9 % Reserva segurança: 783.8 %	Passa Passa
Deslizamento da sapata: - Combinações fundamentais: <i>Recomendação do livro 'Cálculo de estructuras de cimentación', J. Calavera. 4ª edición, ed. INTEMAC, 2000..</i>	Mínimo: 1.5 Calculado: 20.23	Passa
Flexão na sapata: - Na direção X: - Na direção Y:	Momento: 220.63 t·m Momento: 210.36 t·m	Passa Passa
Cortante na sapata: - Na direção X: - Na direção Y:	Cortante: 88.99 t Cortante: 80.65 t	Passa Passa
Compressão oblíqua na sapata: - Combinações fundamentais: <i>Critério da CYPE</i>	Máximo: 655.3 t/m ² Calculado: 173.19 t/m ²	Passa
Altura mínima: <i>Critério da CYPE</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 105 cm	Passa
Espaço para ancorar arranques na fundação: - P3:	Mínimo: 16 cm Calculado: 96 cm	Passa
Quantidade geométrica mínima: <i>Critério da CYPE</i> - Armadura inferior direção X: - Armadura inferior direção Y:	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.0015 Calculado: 0.00104	Passa Passa

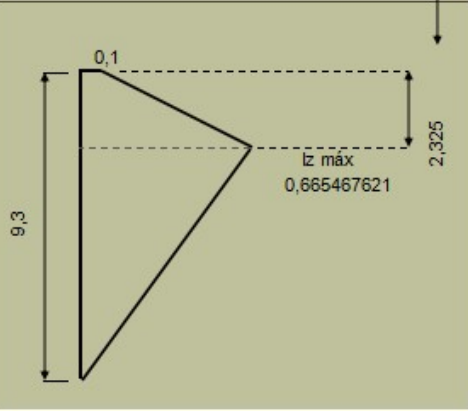
Referência: P3		
Dimensões: 460 x 310 x 105		
Soldados: Xi:Ø25c/30 Yi:Ø20c/29		
Verificação	Valores	Estado
Quantia mínima necessária por flexão: <i>Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014. Artigo 17.3.5.2</i>		
- Armadura inferior direção X:	Mínimo: 0.0015 Calculado: 0.0016	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.0011	Passa
Diâmetro mínimo das barras:		
- Malha inferior: <i>Critério da CYPE</i>	Mínimo: 10 mm Calculado: 20 mm	Passa
Espaçamento máximo entre barras: <i>Critério da CYPE</i>	Máximo: 30 cm	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 30 cm	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 29 cm	Passa
Espaçamento mínimo entre barras: <i>Critério da CYPE, baseado em: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armadura inferior direção X:	Calculado: 30 cm	Passa
- Armadura inferior direção Y:	Calculado: 29 cm	Passa
Comprimento de ancoragem: <i>Critério do livro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armadura inf. direção X para dir:	Mínimo: 82 cm Calculado: 117 cm	Passa
- Armadura inf. direção X para esq:	Mínimo: 65 cm Calculado: 117 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para cima:	Mínimo: 70 cm Calculado: 77 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 42 cm Calculado: 77 cm	Passa
Comprimento mínimo das dobras:	Calculado: 30 cm	
- Armadura inf. direção X para dir:	Mínimo: 28 cm	Passa
- Armadura inf. direção X para esq:	Mínimo: 28 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para cima:	Mínimo: 23 cm	Passa
- Armadura inf. direção Y para baixo:	Mínimo: 23 cm	Passa
Todas verificações foram cumpridas		
Informação adicional:		
- Sapata do tipo rígido (Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2014. Artigo 22.4)		

Referência: P3		
Dimensões: 460 x 310 x 105		
Soldados: Xi:Ø25c/30 Yi:Ø20c/29		
Verificação	Valores	Estado
- Deslizamento da sapata - Combinações fundamentais: Resistência frente ao deslizamento: 822.63 t, Força que produz deslizamento: 40.66 t, Força Axial simultânea: 455.03 t, Área comprimida da sapata: 14.26 m ² (100 %)		
- Relação ruptura desfavorável (Na direção X): 1.00		
- Relação ruptura desfavorável (Na direção Y): 0.92		
- Cortante de esgotamento (Na direção X): 141.05 t		
- Cortante de esgotamento (Na direção Y): 206.15 t		

VERIFICAÇÃO DE RECALQUE NA SAPATA MAIS CARREGADA

Planilha cálculo recalque admissível - Método - Schmertmann				05/02/2026 7:51																																																																																																																																																																																																																																																	
Cliente/emp.																																																																																																																																																																																																																																																					
Licença: JÔNATAS GONÇALVES DE SOUZA CREA-MT:037925																																																																																																																																																																																																																																																					
Forma da base <input type="radio"/> Corrida <input checked="" type="radio"/> Retangular <input type="radio"/> Circular <input type="radio"/> Quadrada				Valor tempo 20,00 anos																																																																																																																																																																																																																																																	
Lado maior <input type="text" value=""/> m 4,60 m Lado ou diâmetro <input type="text" value=""/> m Lado menor <input type="text" value=""/> m 3,10 m				Carga vertical 713,00 tf																																																																																																																																																																																																																																																	
<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; font-size: small;"> A tensão adm abaixo é a taxa do solo para o recalque admitido. Importante que todas as fundações de uma mesma construção tenham recalques iguais ou próximos. </div>																																																																																																																																																																																																																																																					
Sondagem <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>Cota (m)</th> <th>N° SPT</th> <th>Argila Siltsosa</th> <th>Argila Arenosa</th> <th>Silte Argiloso</th> <th>Silte Arenoso</th> <th>Areia Argilosa</th> <th>Areia Siltsosa</th> <th>Areia</th> <th>Areia com pedregulhos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>9</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>2</td><td>11</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>3</td><td>6</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>4</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>5</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>6</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>7</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>8</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>9</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>10</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>11</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>12</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>13</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>14</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>15</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>16</td><td>42</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </tbody> </table>				Cota (m)	N° SPT	Argila Siltsosa	Argila Arenosa	Silte Argiloso	Silte Arenoso	Areia Argilosa	Areia Siltsosa	Areia	Areia com pedregulhos	0	0									1	9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	16	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	17		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	18		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	19		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	21		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	22		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Altura da fundação 5,00 m	
Cota (m)	N° SPT	Argila Siltsosa	Argila Arenosa	Silte Argiloso	Silte Arenoso	Areia Argilosa	Areia Siltsosa	Areia	Areia com pedregulhos																																																																																																																																																																																																																																												
0	0																																																																																																																																																																																																																																																				
1	9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
2	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
3	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
4	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
5	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
6	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
7	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
8	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
9	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
10	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
11	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
12	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
13	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
14	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
15	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
16	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
17		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
18		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
19		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
20		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
21		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
22		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																												
Nível d'água 49,00 m				Tensão admissível 5,00 Kg/cm²																																																																																																																																																																																																																																																	
www.sitengenharia.com.br				Recalque por tempo (mm) Imediato (mm)																																																																																																																																																																																																																																																	
				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> 18,37 12,58 </div>																																																																																																																																																																																																																																																	

Legenda: "N" -dados inseridos errados ou insuficientes "S REC" -Recalque igual a zero			
JÔNATAS GONÇALVES DE SOUZA CREA-MT:037925			
Método Schmertmann		Recalque admissível para fundações diretas	
Para bases circulares e quadradas	B/2	0	<div>Obs:</div> <div>os valores obtidos para definir "Z" quando base reangular foram estipulados em 3/4B para "B/2"</div>
	2B	0	
Para bases retangulares	3/4B	2,325	
	3B	9,3	
Para bases corridas	B	0	
	4B	0	
Tensão líquida		4,02	Kg/cm ²
Área da sapata equivalente		14,26	m ²
Iz máx		0,66547	
C1		0,87811	
C2 imediato		1,00	
C2 por tempo		1,46021	
Tensão sobrecarga (q)		0,98	Kg/cm ²
Tensão vertical		1,46825	Kg/cm ²



Assinatura do Engenheiro responsável: