



[illegible]

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 2 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

ÍNDICE

ITEM	DESCRIÇÃO	PÁGINA
	APRESENTAÇÃO	
	CÁLCULO DA INFRAESTRUTURA RAMO 1000	
1.	Sistema Estrutural	5
2.	Características dos materiais	6
3.	Cálculo dos carregamentos atuantes	7
4.	Cálculo das rizezas das linhas de apoio	10
5.	Atrito interno dos aparelhos de apoio metálicos	11
6.	Resumo das características principais dos apoios	11
7.	Combinações	11
8.	Cálculo do Apoio de AP-1 e AP-16	13
9.	Cálculo do Apoio de AP-2	23
10.	Cálculo do Apoio de AP-3	41
11.	Cálculo do Apoio de AP-4	59
12.	Cálculo do Apoio de AP-5	77
13.	Cálculo do Apoio de AP-6	95
14.	Cálculo do Apoio de AP-7	113
15.	Cálculo do Apoio de AP-8 e AP-11	131
16.	Cálculo do Apoio de AP-12	151
17.	Cálculo do Apoio de AP-13	169
18.	Cálculo do Apoio de AP-14	187
19.	Cálculo do Apoio de AP-15	205
	CÁLCULO DA INFRAESTRUTURA RAMO 2000	
20.	Sistema Estrutural	223
21.	Características dos materiais	224
22.	Cálculo dos carregamentos atuantes	225
23.	Cálculo das rizezas das linhas de apoio	228
24.	Atrito interno dos aparelhos de apoio metálicos	229
25.	Resumo das características principais dos apoios	229
26.	Combinações	229
27.	Cálculo do Apoio de AP-2A	231
28.	Cálculo do Apoio de AP-3A	249
29.	Cálculo do Apoio de AP-4A	267
30.	Cálculo do Apoio de AP-5A	285
31.	Cálculo do Apoio de AP-5B	303

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 3 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

APRESENTAÇÃO

Apresenta-se a seguir a Memória de Cálculo da Infraestrutura da Ponte Joinville. Esse documento apresenta o cálculo dos seguintes elementos constituintes da estrutura:


- o Travessas
- o Pilares
- o Blocos
- o Estaqueamento

- Normas Utilizadas:

- o ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de concreto – Procedimento
- o ABNT NBR 6123:2013 – Forças Devidas ao Vento em Edificações – Procedimento
- o ABNT NBR 8681:2004 – Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimento
- o ABNT NBR 14931:2004 – Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento
- o ABNT NBR 7187:2003 – Projeto e Execução de Pontes de Concreto Armado e Protendido – Procedimento
- o ABNT NBR 6122:2010 – Projeto e Execução de Fundações
- o ABNT NBR 7188:2013 – Cargas Móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas
- o ABNT NBR 9062:2006 – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado
- o CEB-FIP Model Code 1990

- Documentos de Referência:

- I-OAE SV-S-R2/16-29-lv – ANTEPROJETO - OBRA DE ARTE ESPECIAL - MEMÓRIA DE CÁLCULO - SUPERESTRUTURA
- I-OAESV-R-R3/16-50-lv – ANTEPROJETO - OBRA DE ARTE ESPECIAL MEMORIAL DESCRITIVO
- I-OAESV-X-R0/16-77-lv – PROJETO EXECUTIVO - FORMAS - PARTE 3 - EIXOS 8 AO 12 - RAMO 1000 E RAMO 2000
- I-OAESV-X-R0/16-86-lv – PROJETO EXECUTIVO - FORMAS - SEÇÃO CELULAR EMBALANÇOS SUCESSIVOS - RAMO 1000 E RAMO 2000
- I-OAESV-X-R0/16-106-lv – PROJETO EXECUTIVO - FORMAS - APOIOS AP9 E AP11 - RAMO 1000 E RAMO 2000
- I-OAESV-X-R0/16-114-lv – PROJETO EXECUTIVO - FORMAS - SEQUENCIA CONSTRUTIVA DO TRECHO EM BALANÇO - PARTE 1
- I-OAESV-X-R0/16-115-lv – PROJETO EXECUTIVO - FORMAS - SEQUENCIA CONSTRUTIVA DO TRECHO EM BALANÇO - PARTE 2
- I-OAESV-X-R0/16-115-lv – PROJETO EXECUTIVO - FORMAS - SEQUENCIA CONSTRUTIVA DO TRECHO EM BALANÇO - PARTE 2
- I-OAESV-X-R0/16-158-lv – PROJETO EXECUTIVO - ARMADURA DE PROTENSÃO - TRECHO EM BALANÇO - ELEVAÇÃO - PARTE 1
- I-OAESV-X-R0/16-159-lv – PROJETO EXECUTIVO - ARMADURA DE PROTENSÃO - TRECHO EM BALANÇO - ELEVAÇÃO - PARTE 2
- I-OAESV-X-R0/16-160-lv – PROJETO EXECUTIVO - ARMADURA DE PROTENSÃO - TRECHO

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 4 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

EMBALANÇO - ELEVAÇÃO - PARTE 3

I-OAESV-X-R0/16-161-IV – PROJETO EXECUTIVO - ARMADURA DE PROTENSÃO - TRECHO

EM BALANÇO - ELEVAÇÃO - PARTE 4

I-OAESV-X-R0/16-162-IV – PROJETO EXECUTIVO - ARMADURA DE PROTENSÃO - TRECHO

EM BALANÇO - ELEVAÇÃO - PARTE 5

I-OAESV-X-R0/16-163-IV – PROJETO EXECUTIVO - ARMADURA DE PROTENSÃO - TRECHO

EM BALANÇO - SEÇÕES TRANSVERSAIS - PARTE 1

I-OAESV-X-R0/16-164-IV – PROJETO EXECUTIVO - ARMADURA DE PROTENSÃO - TRECHO

EM BALANÇO - SEÇÕES TRANSVERSAIS - PARTE 2

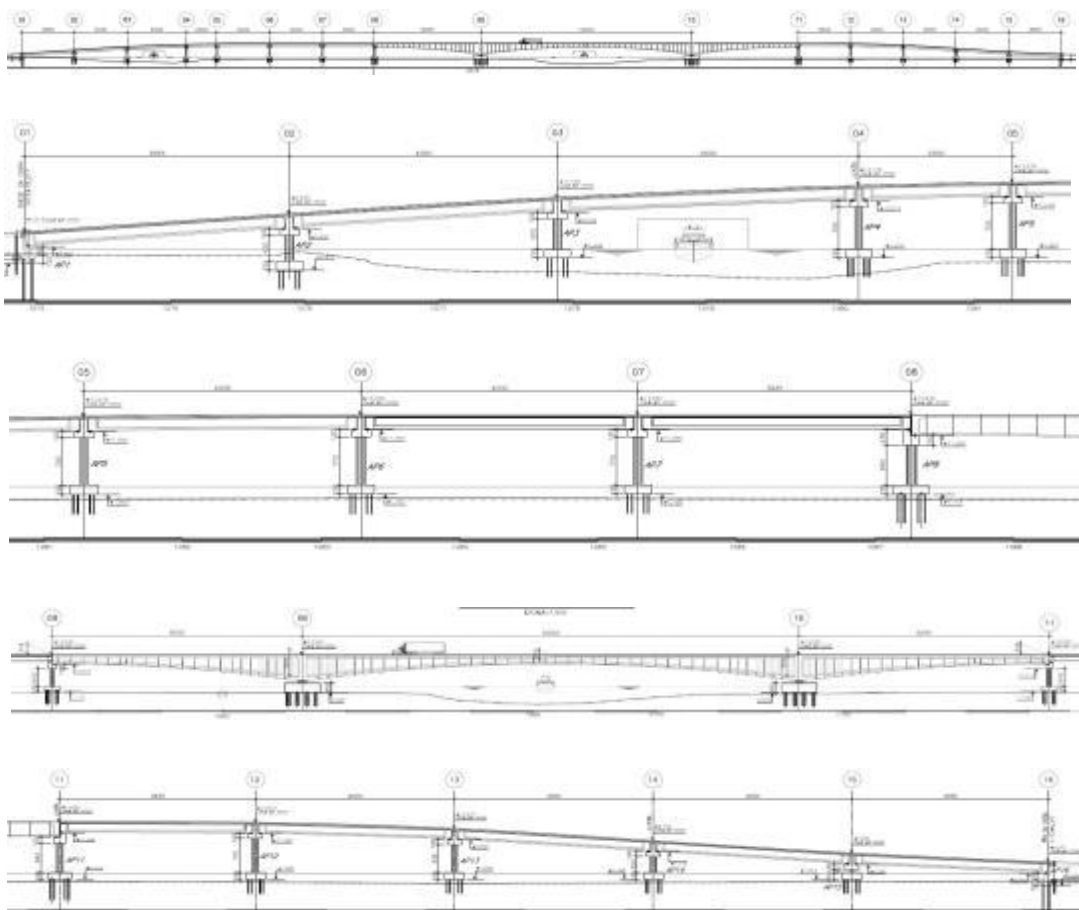
I-OAESV-X-R0/16-165-IV – PROJETO EXECUTIVO - ARMADURA DE PROTENSÃO - TRECHO

EM BALANÇO - SEÇÕES TRANSVERSAIS - PARTE 3

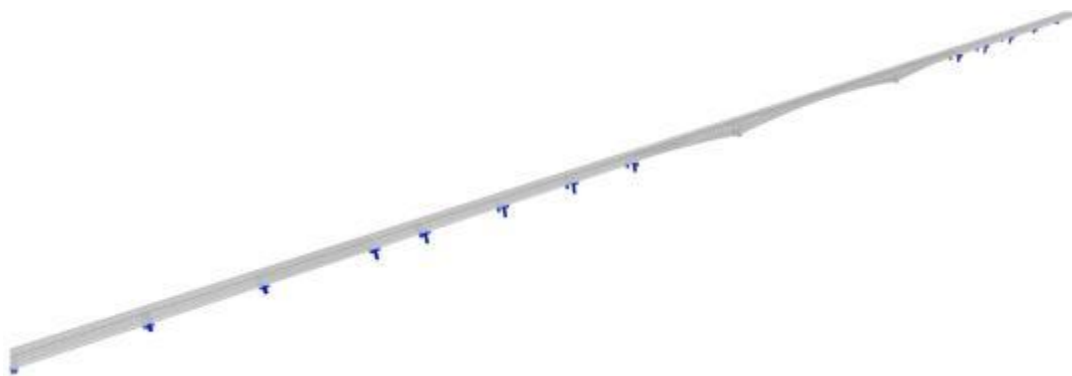
Cálculo da Infraestrutura - Ramo 1000

1. Sistema Estrutural

Elevação geral em vista



Para estudo da infraestrutura foi elaborado um modelo em elementos finitos no programa CSiBridge, onde foram aplicados os carregamentos verticais e horizontais, além de todas as características geométricas e dos materiais dos elementos estruturais. A figura a seguir ilustra o modelo global da estrutura analisada.



2. Características dos materiais

2. 1. Características dos materiais

Concreto Superestrutura:

$f_{ck} = 40$ MPa
 $\gamma = 25$ kN/m³
 $E_{ci} = 35417,5$ MPa
 $\alpha_i = 0,90$
 $E_{cs} = 31875,76$ MPa
 $\nu = 0,2$
 $\alpha = 1,0E-05$ /°C

Concreto Infraestrutura:

$f_{ck} = 30$ MPa
 $\gamma = 25$ kN/m³
 $E_{ci} = 30672,5$ MPa
 $\alpha_i = 0,88$
 $E_{cs} = 26838,41$ MPa
 $\nu = 0,2$
 $\alpha = 1,0E-05$ /°C

Concreto Estaqueamento:

$f_{ck} = 25$ MPa
 $\gamma = 25$ kN/m³
 $E_{ci} = 28000,0$ MPa
 $\alpha_i = 0,86$
 $E_{cs} = 24150$ MPa
 $\nu = 0,2$
 $\alpha = 1,0E-05$ /°C

Aço Estaqueamento (Tubos e Perfis):

ASTM 572 Gr. 50

$f_y = 345$ MPa
 $f_u = 450$ MPa
 $\sigma_{trab} = 175$ MPa
 $E_s = 200$ GPa
 $\nu = 0,3$
 $\alpha = 1,2E-06$ /°C
 $\gamma = 78,5$ kN/m³

3. Cálculo dos carregamentos atuantes

3.1. Carregamentos Verticais

Peso Próprio

O peso próprio dos elementos é calculado automaticamente pelo software.

Sobrecargas Permanentes

- Guarda Rodas: $Q_{GR} = 0,2337 \times 25 / 0,4 = 14,61 \text{ kN/m}^2$

- Guarda Corpo: $Q_{GC} = 0,50 \text{ kN/m}$

- Mureta do passeio: $Q_{MUR} = 0,15 \times 25 = 3,75 \text{ kN/m}^2$

- Pavimentação: $Q_{PAV} = 0,07 \times 24 = 1,68 \text{ kN/m}^2$

- Caimento da laje no balanço sucessivo:
 $Q_{CAIM.LAJE} = 0,09 \times 25 = 2,25 \text{ kN/m}^2$

- Caimento do passeio no balanço sucessivo:
 $Q_{CAIM.BAL} = 0,05 \times 25 = 1,25 \text{ kN/m}^2$

Carga Móvel

TB-450 NBR 7188:2013

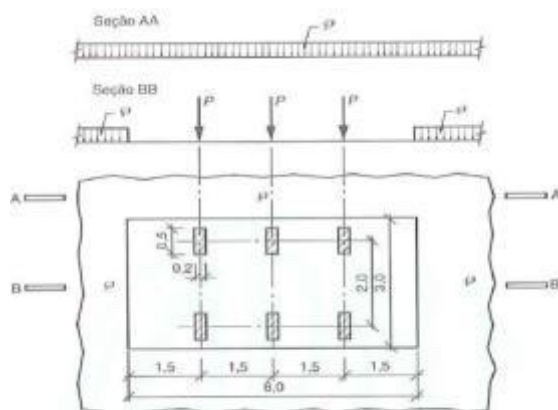


Figura 1 – Disposição das cargas estáticas

$P = 75 \text{ kN}$
 $q = 5 \text{ kN/m}^2$

Coefficiente de Impacto:

$j = CIV \times CNF$

$CIV = 1 + 1,06 \times \left(\frac{20}{Liv + 50} \right)$

$CNF = 1 - 0,05 \times (n - 2) > 0,9$

O Software calcula automaticamente o coeficiente de impacto através de interpolação linear do vão dada uma tabela de entrada para leitura dos dados. A seguir é apresentada a tabela do coeficiente de impacto para diversos vãos, inserida no software.

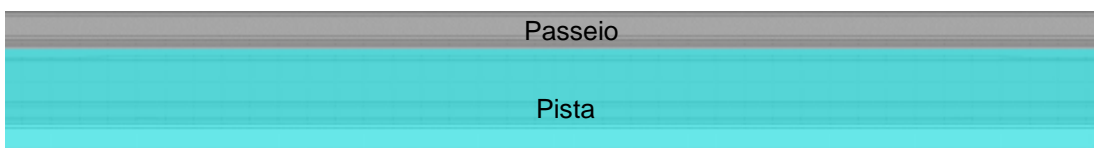
L_{iv} (m)	CIV	n	CNF	j
0,0	1,35	2	1,00	1,350
1,0	1,35	2	1,00	1,350
5,0	1,35	2	1,00	1,350
10,0	1,35	2	1,00	1,353
15,0	1,33	2	1,00	1,326
20,0	1,30	2	1,00	1,303
25,0	1,28	2	1,00	1,283
30,0	1,27	2	1,00	1,265
35,0	1,25	2	1,00	1,249
40,0	1,24	2	1,00	1,236
45,0	1,22	2	1,00	1,223
50,0	1,21	2	1,00	1,212
55,0	1,20	2	1,00	1,202
60,0	1,19	2	1,00	1,193
65,0	1,18	2	1,00	1,184
70,0	1,18	2	1,00	1,177
75,0	1,17	2	1,00	1,170
80,0	1,16	2	1,00	1,163
85,0	1,16	2	1,00	1,157
90,0	1,15	2	1,00	1,151
95,0	1,15	2	1,00	1,146
100,0	1,14	2	1,00	1,141
150,0	1,11	2	1,00	1,106
200,0	1,08	2	1,00	1,085

Nos passeios para pedestres foi adotada carga uniformemente distribuída de 5kN/m² sem ponderação dos coeficientes de impacto, conforme NBR 7188:2013.

O caminho de passagem dos veículos tipo nas pistas e da multidão nos passeios são definidos através das "lanes" no CSiBridge. A seguir são ilustradas as "lanes" modeladas no software.



Detalhe das "lanes" ao longo da ponte



Detalhe das "lanes" ao longo da ponte - Vista em planta aproximada

3. 2. Carregamentos Horizontais Longitudinais

- Frenagem e Aceleração:

$$H_f = 0,25 \cdot B \cdot L \cdot CNF \quad CNF = 1,00$$

A carga de frenagem e aceleração foi considerada distribuída ao longo da pista no nível do tabuleiro.

- Variação de temperatura, retração e deformação lenta do concreto:

Para simular os efeitos de retração do concreto, deformação lenta do concreto devidas à protensão e variação ambiental de temperatura será assumida uma queda de temperatura de:

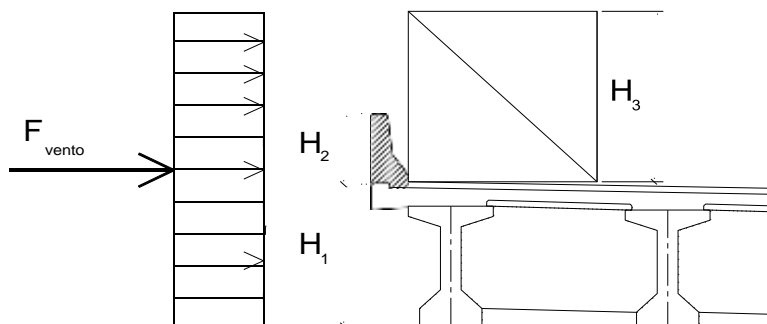
$$Dq (^{\circ}\text{C}) = -50 \quad a = 0,00001$$

- Gradiente térmico:

Considerando a diferença de temperatura na parte superior que recebe sol diretamente para a parte inferior, aplica-se um carregamento de gradiente de temperatura com variação uniforme de 5 °C entre a face superior e inferior do caixão.


3. 3. Carregamentos Horizontais Transversais

- Vento na Superestrutura:



$$H_2 \text{ (m)} = 0,87$$

$$H_3 \text{ (m)} = 2,00$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 10 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cálculo da Velocidade Característica do Vento:

$$V_k = V_o * S_1 * S_2 * S_3$$

$$V_o \text{ (m/s)} = 42,00 \quad (\text{máxima velocidade média retirada das isopletras da Figura 1 da NBR-6123:1988})$$

$$S_1 = 1,00 \quad (\text{Fator topográfico: terreno plano ou fracamente acidentado})$$

$$S_2 = 1,09 \quad (\text{Tabela 2: Rugosidade Cat. I, Dimensões Classe C, Altura } z=15\text{m})$$

$$S_3 = 1,10 \quad (\text{Fator estatístico})$$

$$V_k \text{ (m/s)} = 50,358$$

- Cálculo da Pressão de vento:

$$q = 0,613 * V_k^2 \quad q = 1554,5 \text{ N/m}^2 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

$$H_{1.1} \text{ (m)} = 2,23 \quad (\text{Altura da Viga + Laje no trecho pré-moldado})$$

$$H_{1.2} \text{ (m)} = 5,00 \quad (\text{Altura da seção do caixão considerada})$$

- Força Centrífuga:

A força horizontal provenientes da força centrífuga, aplicadas no nível da pista de rolamento é demonstrada a seguir.

$$H_{fc} = 2,4 * P \quad (\text{em kN, para curva com raio } < 200\text{m})$$

$$H_{fc} = (480/R) * P \quad (\text{em kN, para curva com raio } 200 < R < 1500\text{m})$$

$$H_{fc} = 0 \quad (\text{para raios superiores a } 1500\text{m})$$

$$R \text{ (m)} = 0,00$$

$$P \text{ (kN)} = 75$$

$$H_{fc} \text{ (kN)} = 0$$

4. Cálculo das rizezas das linhas de apoio

As rizezas das linhas de apoio são calculadas automaticamente no CSiBridge. As rizezas dos aparelhos de apoio são tratadas como elementos tipo "Bearings" no programa e seguem detalhadas a seguir.

- Neoprenes fretados:

$$a \text{ (m)} = 0,450$$

$$b \text{ (m)} = 0,300$$

$$h_{borr} \text{ (m)} = 0,048$$

$$K^{neop} = G * a * b / h_{borr}$$

$$G \text{ (kN/m}^2\text{)} = 1000 \quad (\text{módulo de elasticidade transversal do neoprene})$$

$$K^{neop} \text{ (kN/m)} = 2812,50$$

5. Atrito interno dos aparelhos de apoio metálicos

Para aplicação das cargas horizontais nos aparelhos de apoio com movimentação longitudinal e transversal livres, foi considerado 4% da reação de apoio vertical.

6. Resumo das características principais dos apoios

	H _{trav} (m)	H _{pil} (m)	Ø _{pil} (m)	C _{long.bloco} (m)	D _{trans.bloco} (m)	h _{bloco} (m)
AP-1	-	-	-	2,20	13,00	1,20
AP-2	3,00	4,30	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-3	3,00	5,00	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-4	3,00	7,00	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-5	3,00	7,50	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-6	3,00	7,70	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-7	3,00	7,70	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-8	1,50	6,40	1,40	5,00	5,00	1,50
AP-9	-	-	-	-	-	-
AP-10	-	-	-	-	-	-
AP-11	1,50	6,40	1,40	5,00	5,00	1,50
AP-12	3,00	7,70	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-13	3,00	6,30	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-14	3,00	3,50	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-15	3,00	0,80	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-16	-	-	-	2,20	13,00	1,20

7. Combinações

As ações são combinadas de acordo com a NBR 8681 para os Estados Limites de Serviço e para o Estado Limite Último. A seguir são apresentadas as combinações consideradas no modelo.

7. 1. Combinações de Serviço

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{G,i,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$$

Com:

Ação	ψ ₁
cargas permanentes	1,00
carga móvel e seus efeitos dinâmicos	1,00
deformações impostas	1,00
vento	1,00

7. 2. Combinações Últimas Normais

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right]$$

Ação	γ_{desfav}	γ_{fav}	ψ_0
cargas permanentes	1,35	1,00	-
carga móvel e seus efeitos dinâmicos	1,50	0,00	0,70
vento	1,40	0,00	0,60
deformações impostas	1,20	0,00	0,60

8. Cálculo do Apoio de AP-1 e AP-16

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

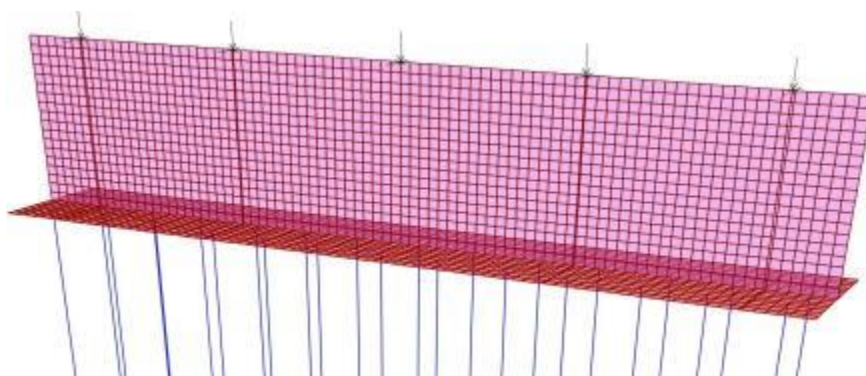
As rizezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Para a análise das fundações, as ações foram combinadas de acordo com a NBR 8681. Por simplificação, foram feitas duas hipóteses: uma Com a Carga móvel no vão, e outra Sem a carga móvel.

Perfil metálico das Estacas:
W530x109

As cargas foram aplicadas no modelo segundo o posicionamento das vigas, conforme ilustrado a seguir.



A seguir são apresentadas as reações da superestrutura para as duas hipóteses analisadas, para os dois apoios extremos AP1 e AP16.

Reações para AP1:

- Reações Verticais para Cargas de Projeto:

Com Carga Móvel

$R_{d,V1}$ (kN)= 1405,97
 $R_{d,V2}$ (kN)= 1760,01
 $R_{d,V3}$ (kN)= 1865,71
 $R_{d,V4}$ (kN)= 1875,22
 $R_{d,V5}$ (kN)= 1871,55

Sem Carga Móvel

$R_{d,V1}$ (kN)= 985,20
 $R_{d,V2}$ (kN)= 1044,23
 $R_{d,V3}$ (kN)= 1020,97
 $R_{d,V4}$ (kN)= 1008,70
 $R_{d,V5}$ (kN)= 1081,56

- Reações Horizontais Longitudinais para Cargas de Projeto:

Frenagem:

$R_{d,V1}$ (kN)= 15,80
 $R_{d,V2}$ (kN)= 15,87
 $R_{d,V3}$ (kN)= 15,96
 $R_{d,V4}$ (kN)= 16,04
 $R_{d,V5}$ (kN)= 16,11

Vento:

$R_{d,V1}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V2}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V3}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V4}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V5}$ (kN)= 0,00

Temperatura:

$R_{d,V1}$ (kN)= 61,52
 $R_{d,V2}$ (kN)= 61,52
 $R_{d,V3}$ (kN)= 61,52
 $R_{d,V4}$ (kN)= 61,52
 $R_{d,V5}$ (kN)= 61,52

Centrífuga:

$R_{d,V1}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V2}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V3}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V4}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V5}$ (kN)= 0,00

Total:

Com Carga Móvel

$R_{d,V1}$ (kN)= 77,32
 $R_{d,V2}$ (kN)= 77,39
 $R_{d,V3}$ (kN)= 77,48
 $R_{d,V4}$ (kN)= 77,56
 $R_{d,V5}$ (kN)= 77,63

Sem Carga Móvel

$R_{d,V1}$ (kN)= 61,52
 $R_{d,V2}$ (kN)= 61,52
 $R_{d,V3}$ (kN)= 61,52
 $R_{d,V4}$ (kN)= 61,52
 $R_{d,V5}$ (kN)= 61,52

- Reações Horizontais Transversais para Cargas de Projeto:

Frenagem:

$R_{d,V1}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V2}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V3}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V4}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V5}$ (kN)= 0,00

Vento:

$R_{d,V1}$ (kN)= 21,18
 $R_{d,V2}$ (kN)= 21,86
 $R_{d,V3}$ (kN)= 21,71
 $R_{d,V4}$ (kN)= 21,86
 $R_{d,V5}$ (kN)= 21,18

Temperatura:

$R_{d,V1}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V2}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V3}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V4}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V5}$ (kN)= 0,00

Centrífuga:

$R_{d,V1}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V2}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V3}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V4}$ (kN)= 0,00
 $R_{d,V5}$ (kN)= 0,00

Total:

Com Carga Móvel

$R_{d,V1}$ (kN)= 21,18

$R_{d,V2}$ (kN)= 21,86

$R_{d,V3}$ (kN)= 21,71

$R_{d,V4}$ (kN)= 21,86

$R_{d,V5}$ (kN)= 21,18

Sem Carga Móvel

$R_{d,V1}$ (kN)= 21,18

$R_{d,V2}$ (kN)= 21,86

$R_{d,V3}$ (kN)= 21,71

$R_{d,V4}$ (kN)= 21,86

$R_{d,V5}$ (kN)= 21,18

- Peso próprio da parede:

q_d (kN/m)= 25,86

- Resumo das Reações Aplicadas no Modelo:

Hipótese Com Carga Móvel:

Vertical:

$R_{d,V1}$ (kN)= 1405,97

$R_{d,V2}$ (kN)= 1760,01

$R_{d,V3}$ (kN)= 1865,71

$R_{d,V4}$ (kN)= 1875,22

$R_{d,V5}$ (kN)= 1871,55

Longitudinal:

$R_{d,V1}$ (kN)= 77,32

$R_{d,V2}$ (kN)= 77,39

$R_{d,V3}$ (kN)= 77,48

$R_{d,V4}$ (kN)= 77,56

$R_{d,V5}$ (kN)= 77,63

Transversal:

$R_{d,V1}$ (kN)= 21,18

$R_{d,V2}$ (kN)= 21,86

$R_{d,V3}$ (kN)= 21,71

$R_{d,V4}$ (kN)= 21,86

$R_{d,V5}$ (kN)= 21,18

Hipótese Sem Carga Móvel:

Vertical:

$R_{d,V1}$ (kN)= 985,20

$R_{d,V2}$ (kN)= 1044,23

$R_{d,V3}$ (kN)= 1020,97

$R_{d,V4}$ (kN)= 1008,70

$R_{d,V5}$ (kN)= 1081,56

Longitudinal:

$R_{d,V1}$ (kN)= 61,52

$R_{d,V2}$ (kN)= 61,52

$R_{d,V3}$ (kN)= 61,52

$R_{d,V4}$ (kN)= 61,52

$R_{d,V5}$ (kN)= 61,52

Transversal:

$R_{d,V1}$ (kN)= 21,18

$R_{d,V2}$ (kN)= 21,86

$R_{d,V3}$ (kN)= 21,71

$R_{d,V4}$ (kN)= 21,86

$R_{d,V5}$ (kN)= 21,18

Reações para AP16:

- Reações Verticais para Cargas de Projeto:

Com Carga Móvel

$R_{d,V1}$ (kN)= 1405,99

$R_{d,V2}$ (kN)= 1760,02

$R_{d,V3}$ (kN)= 1865,73

$R_{d,V4}$ (kN)= 1875,23

$R_{d,V5}$ (kN)= 1878,37

Sem Carga Móvel

$R_{d,V1}$ (kN)= 985,21

$R_{d,V2}$ (kN)= 1044,23

$R_{d,V3}$ (kN)= 1020,99

$R_{d,V4}$ (kN)= 1007,71

$R_{d,V5}$ (kN)= 1081,52

- Reações Horizontais Longitudinais para Cargas de Projeto:

Frenagem:

$R_{d,V1}$ (kN)= 14,06

$R_{d,V2}$ (kN)= 14,15

$R_{d,V3}$ (kN)= 14,22

$R_{d,V4}$ (kN)= 14,30

$R_{d,V5}$ (kN)= 14,37

Vento:

$R_{d,V1}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V2}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V3}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V4}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V5}$ (kN)= 0,00

Temperatura:

$R_{d,V1}$ (kN)= 39,38

$R_{d,V2}$ (kN)= 39,38

$R_{d,V3}$ (kN)= 39,38

$R_{d,V4}$ (kN)= 39,38

$R_{d,V5}$ (kN)= 39,38

Centrífuga:

$R_{d,V1}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V2}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V3}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V4}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V5}$ (kN)= 0,00

Total:

Com Carga Móvel

$R_{d,V1}$ (kN)= 53,44

$R_{d,V2}$ (kN)= 53,53

$R_{d,V3}$ (kN)= 53,60

$R_{d,V4}$ (kN)= 53,68

$R_{d,V5}$ (kN)= 53,75

Sem Carga Móvel

$R_{d,V1}$ (kN)= 39,38

$R_{d,V2}$ (kN)= 39,38

$R_{d,V3}$ (kN)= 39,38

$R_{d,V4}$ (kN)= 39,38

$R_{d,V5}$ (kN)= 39,38

- Reações Horizontais Transversais para Cargas de Projeto:

Frenagem:

$R_{d,V1}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V2}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V3}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V4}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V5}$ (kN)= 0,00

Vento:

$R_{d,V1}$ (kN)= 21,13

$R_{d,V2}$ (kN)= 21,81

$R_{d,V3}$ (kN)= 21,66

$R_{d,V4}$ (kN)= 21,81

$R_{d,V5}$ (kN)= 21,13

Temperatura:

$R_{d,V1}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V2}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V3}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V4}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V5}$ (kN)= 0,00

Centrífuga:

$R_{d,V1}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V2}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V3}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V4}$ (kN)= 0,00

$R_{d,V5}$ (kN)= 0,00

Total:

Com Carga Móvel

$R_{d,V1}$ (kN)= 21,13

$R_{d,V2}$ (kN)= 21,81

$R_{d,V3}$ (kN)= 21,66

$R_{d,V4}$ (kN)= 21,81

$R_{d,V5}$ (kN)= 21,13

Sem Carga Móvel

$R_{d,V1}$ (kN)= 21,13

$R_{d,V2}$ (kN)= 21,81

$R_{d,V3}$ (kN)= 21,66

$R_{d,V4}$ (kN)= 21,81

$R_{d,V5}$ (kN)= 21,13

- Peso próprio da parede:

q_d (kN/m)= 25,86

- Resumo das Reações Aplicadas no Modelo:

Hipótese Com Carga Móvel:

Vertical:

$R_{d,V1}$ (kN)= 1405,99

$R_{d,V2}$ (kN)= 1760,02

$R_{d,V3}$ (kN)= 1865,73

$R_{d,V4}$ (kN)= 1875,23

$R_{d,V5}$ (kN)= 1878,37

Longitudinal:

$R_{d,V1}$ (kN)= 53,44

$R_{d,V2}$ (kN)= 53,53

$R_{d,V3}$ (kN)= 53,60

$R_{d,V4}$ (kN)= 53,68

$R_{d,V5}$ (kN)= 53,75

Transversal:

$R_{d,V1}$ (kN)= 21,13

$R_{d,V2}$ (kN)= 21,81

$R_{d,V3}$ (kN)= 21,66

$R_{d,V4}$ (kN)= 21,81

$R_{d,V5}$ (kN)= 21,13

Hipótese Sem Carga Móvel:

Vertical:

$R_{d,V1}$ (kN)= 985,21

$R_{d,V2}$ (kN)= 1044,23

$R_{d,V3}$ (kN)= 1020,99

$R_{d,V4}$ (kN)= 1007,71

$R_{d,V5}$ (kN)= 1081,52

Longitudinal:

$R_{d,V1}$ (kN)= 39,38

$R_{d,V2}$ (kN)= 39,38

$R_{d,V3}$ (kN)= 39,38

$R_{d,V4}$ (kN)= 39,38

$R_{d,V5}$ (kN)= 39,38

Transversal:

$R_{d,V1}$ (kN)= 21,13

$R_{d,V2}$ (kN)= 21,81

$R_{d,V3}$ (kN)= 21,66

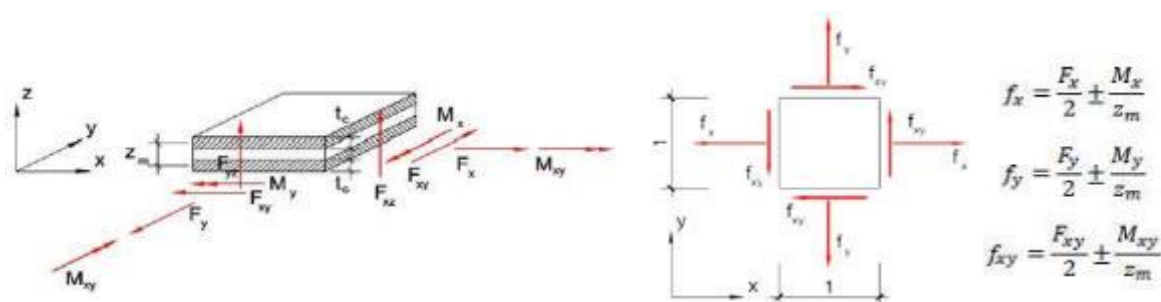
$R_{d,V4}$ (kN)= 21,81

$R_{d,V5}$ (kN)= 21,13

Para o estudo do apoio extremo foi considerado apenas o apoio mais desfavorável, e seu dimensionamento segue detalhado a seguir.

Dimensionamento da "Parede" de apoio das vigas e Bloco:

A partir do modelo carregado e das ações combinadas, foram obtidas as áreas de aço de acordo com a teoria da chapa fissurada, normatizada inicialmente no boletim 141 do CEB/FIP e posteriormente no Código Modelo 1990 e 2010 do CEB-FIP, além do Eurocode 2. Nessa teoria, as armaduras da casca são dimensionadas para o conjunto completo de ações, ou seja, dois momentos fletores, um momento volvente, duas forças normais no plano da chapa e uma força tangencial, também no plano da chapa. As solicitações são divididas entre duas chapas extremas conforme a figura a seguir, e as chapas são dimensionadas como tal, solicitadas apenas às solicitações no plano da chapa.

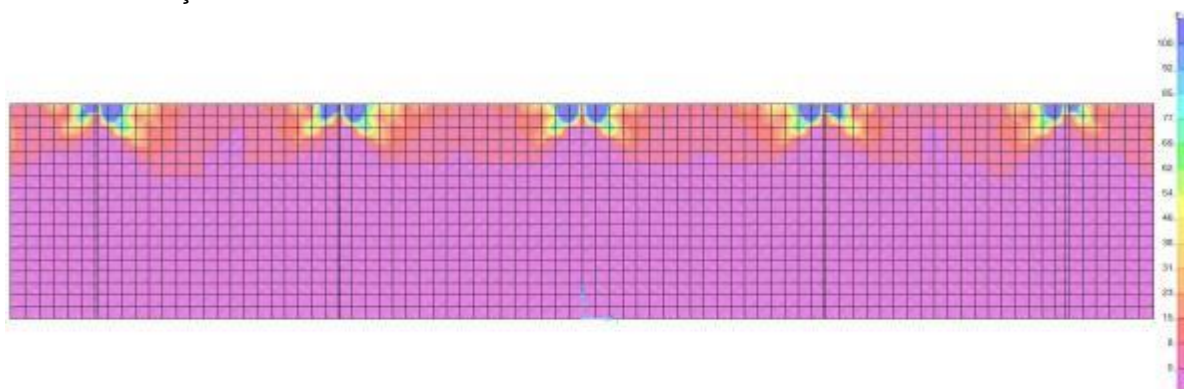


A seguir são ilustrados os resultados das taxas de armadura para a hipótese mais desfavorável, para cada face (superior e inferior), para cada direção (longitudinal e transversal).

Dimensionamento da "Parede" de apoio das vigas:

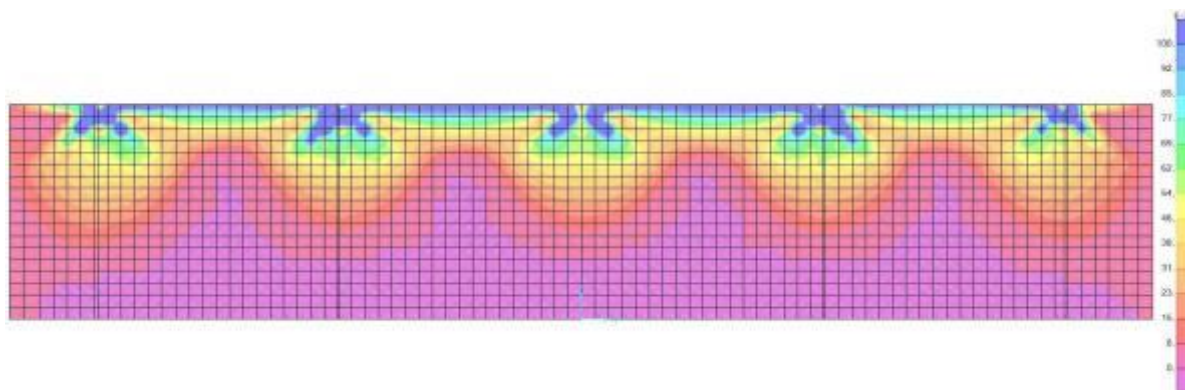
Armaduras da face interna:

- Direção Vertical:



$$A_{s,m\acute{a}x} = 0,00 \text{ cm}^2/\text{cm} \longrightarrow A_{s,m\acute{a}x} = 0,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

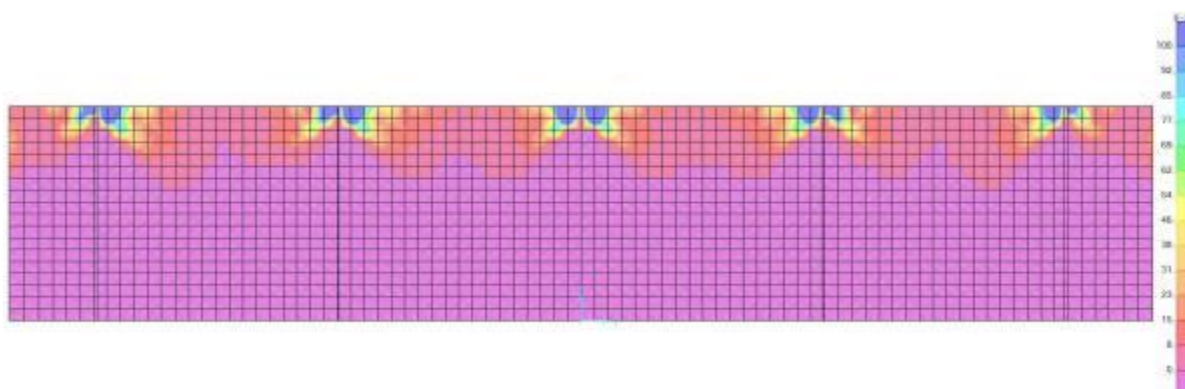
- Direção Horizontal:



$$A_{s,m\acute{a}x} = 0,06 \text{ cm}^2/\text{cm} \longrightarrow A_{s,m\acute{a}x} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

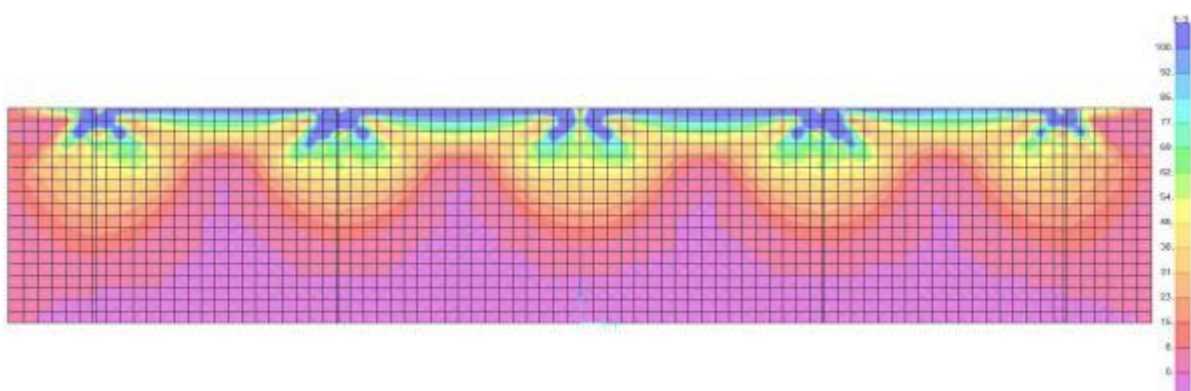
Armaduras da face externa:

- Direção Vertical:



$$A_{s,m\acute{a}x} = 0,00 \text{ cm}^2/\text{cm} \longrightarrow A_{s,m\acute{a}x} = 0,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Direção Horizontal:



$$A_{s,m\acute{a}x} = 0,06 \text{ cm}^2/\text{cm} \longrightarrow A_{s,m\acute{a}x} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Verificação das tensões no concreto:

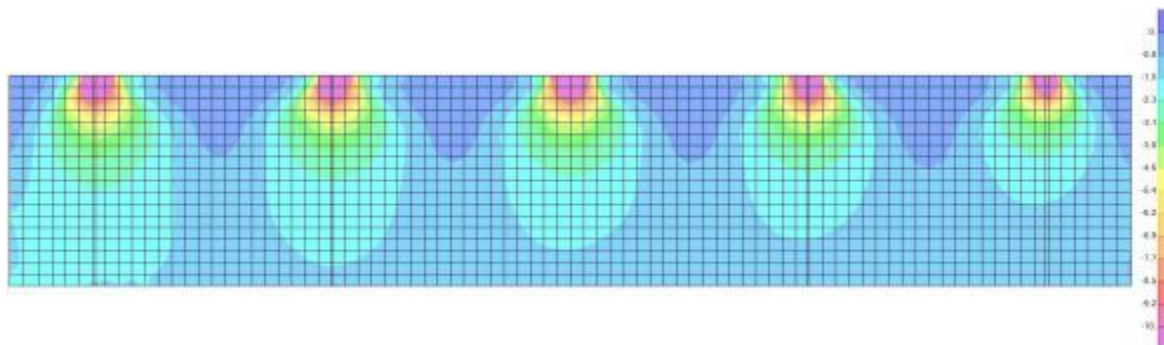
$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30,00$$

$$\sigma_{cd,2} = 0,6 \cdot \alpha_{v2} \cdot \sigma_{cd}$$

$$f_{cd,2} \text{ (MPa)} = 11,31$$

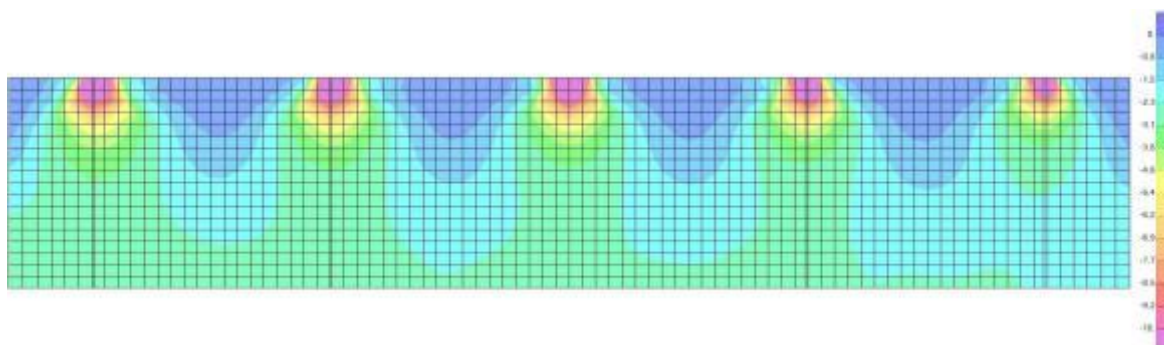
$$\alpha_{v2} = 0,88$$

Tensões na face interna:



$$\sigma_{cd,m\acute{a}x} = 8,00 \text{ MPa} \quad \text{Ok!}$$

Tensões na face externa:

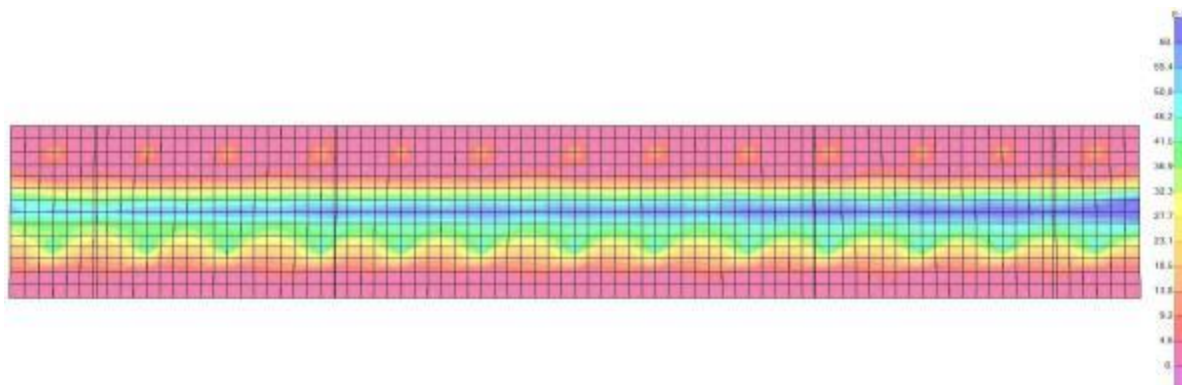


$$\sigma_{cd,m\acute{a}x} = 8,00 \text{ MPa} \quad \text{Ok!}$$

Dimensionamento do Bloco:

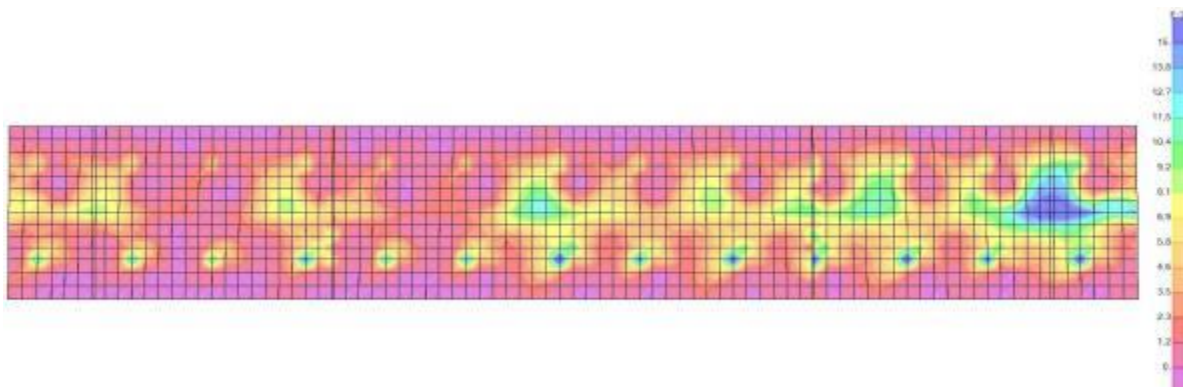
Armaduras da face Inferior:

- Direção Longitudinal:



$$A_{s,m\acute{a}x} = 0,07 \text{ cm}^2/\text{cm} \longrightarrow A_{s,m\acute{a}x} = 7,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

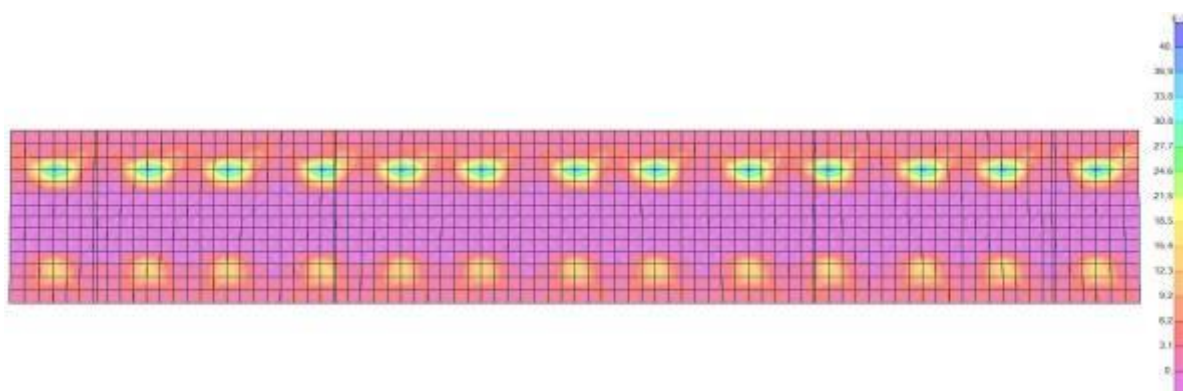
- Direção Transversal:



$$A_{s,\text{máx}} = 0,02 \text{ cm}^2/\text{cm} \longrightarrow A_{s,\text{máx}} = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

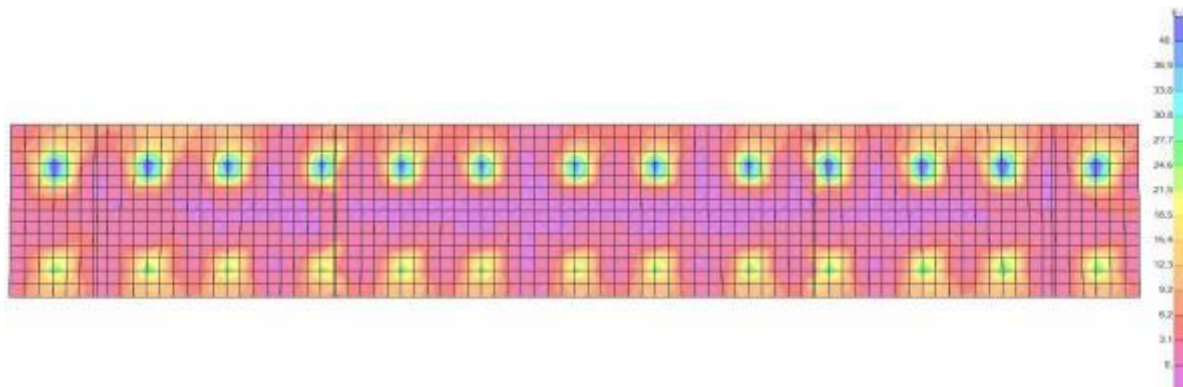
Armaduras da face Superior:

- Direção Longitudinal:



$$A_{s,\text{máx}} = 0,04 \text{ cm}^2/\text{cm} \longrightarrow A_{s,\text{máx}} = 4,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

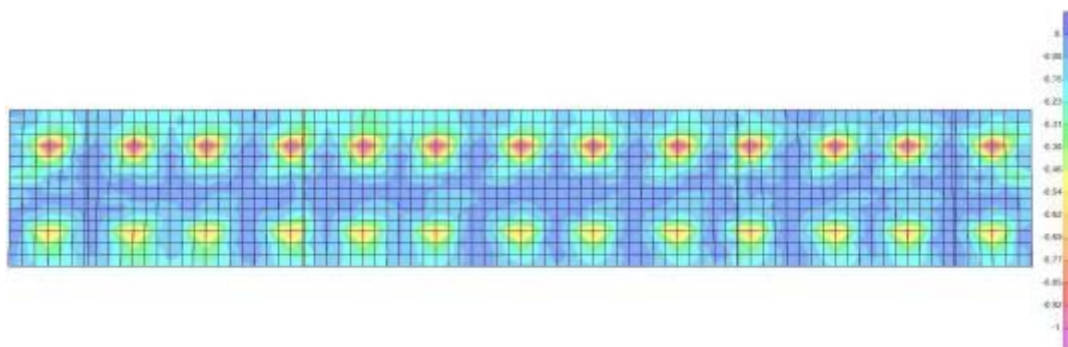
- Direção Transversal:



$$A_{s,\text{máx}} = 0,05 \text{ cm}^2/\text{cm} \longrightarrow A_{s,\text{máx}} = 5,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

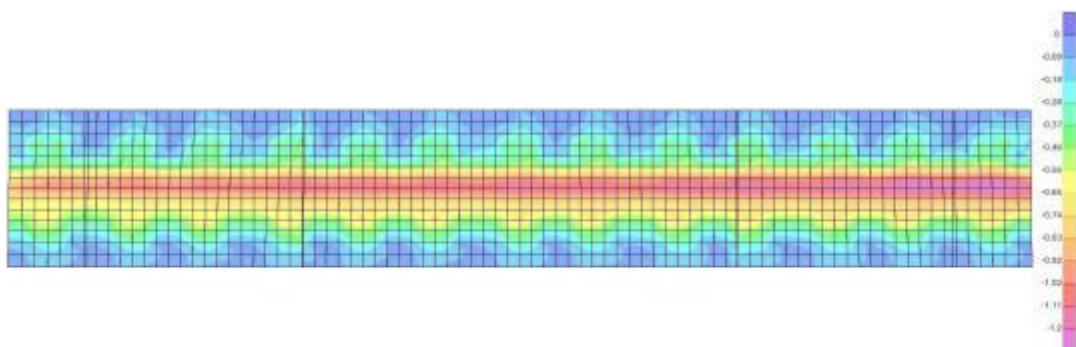
Verificação das tensões no concreto:

Tensões na face inferior:



$$\sigma_{cd,m\acute{a}x} = 1,00 \text{ MPa} \quad \text{Ok!}$$

Tensões na face superior:



$$\sigma_{cd,m\acute{a}x} = 1,20 \text{ MPa} \quad \text{Ok!}$$

Cálculo do Estaqueamento:

- Esforços em serviço:

Hipótese Com Carga Móvel:

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	480,00	63,00	18,00	65,52
	Menos carregada	125,00	63,00	18,00	65,52

$$\sigma_{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 153,53 \quad \sigma^{adm} \text{ (MPa)} = 175 \quad \text{Ok!}$$

Hipótese Sem Carga Móvel:

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	330,00	50,00	18,00	53,14
	Menos carregada	75,00	50,00	18,00	53,14

$$\sigma_{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 133,27 \quad \sigma^{adm} \text{ (MPa)} = 175 \quad \text{Ok!}$$

9. Cálculo do Apoio de AP-2

9.1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30$$

$$f_{yk} \text{ (MPa)} = 500$$

$$f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05$$

$$h \text{ (m)} = 3,00$$

$$d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$\sigma_{d,Nin} = 0,8 \cdot \sigma_0 \cdot \sigma_{ctk,cup}$$

$$\sigma_{c,Nin} = 0,15\% \cdot \sigma_c$$

$$A_{s,min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500$$

$$M_{d,min} = 4744,41$$

$$A_{s,min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-6456,51	2,85	0,151	2,789	0,035	53,24
Inferior	6537,38	2,85	0,153	2,789	0,036	53,92

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,máx} \text{ (kN)} = 5983,20$$

$$\rho_w^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30$$

$$n^{pernas} = 4$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 3382,90$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 30,33$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 28,89$$

$$\rho_{sw}^{máx/min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 28,89$$

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1127,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 7,51 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl}/U \text{ (cm}^2/\text{m)} = 7,51$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2) = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{sl} \text{ (cm}^2) = 49,14$$

$$A_{sl, costela} \text{ (cm}^2) = 18,20 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl, flex\acute{o}e} \text{ (cm}^2) = 6,37 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspens\~{o}:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2050,00$$

$$i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,75$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 34,29$$

Estribos externos m\~{i}nimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_s \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 14,30$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2) = 2,011$$

$$n_{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Tor\~{c}\~{a}o + Suspens\~{a}o:

Cortante:

Tor\~{c}\~{a}o:

Suspens\~{a}o:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 30,33$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 15,02$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 34,29$$

Arm. m\~{i}nima:

Total:

$$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 11,59$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 79,64$$

$$s \text{ (cm)} = 10,1$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2) = 2,011$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 75,85$$

$$n_{pernas} = 4$$

Verifica\~{c}\~{a}o das a\~{c}\~{o}es conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,571 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$\sigma_{c,pele} = 0,10\% \cdot \sigma_{c,a\grave{s}Na} \leq 5,0 \text{ MPa}$$

$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2/\text{m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2)$
Long. Superior	59,60
Long. Inferior	60,29

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	4	10,1

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2/\text{m)}$
Long. Pele	6,07

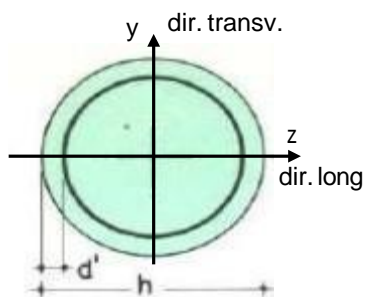
9. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20$$

$$h_{pil} (m) = 7,30$$

(altura do pilar + travessa)

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$h_{z,topo} (m) = 3,00$$

(altura da travessa na direção z)

$$h_{z,base} (m) = 1,50$$

(altura do bloco na direção z)

$$h_{y,topo} (m) = 3,00$$

(altura da travessa na direção y)

$$h_{y,base} (m) = 1,50$$

(altura do bloco na direção y)

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 4,30$$

$$l_{e,z} (m) = 14,60$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 4,30$$

$$l_{e,y} (m) = 5,50$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 48,67$$

$$\lambda_y = 18,33$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$\sigma_{d,tot} = \sigma_b \sigma_{1d,E} + \sigma_d \frac{\sigma_c^2}{10} \frac{1}{\sigma} \geq \sigma_{1d,E}$$

$$\frac{1}{\sigma} = \frac{0,005}{\sigma(\sigma + 0,5)} \leq \frac{0,005}{h}$$

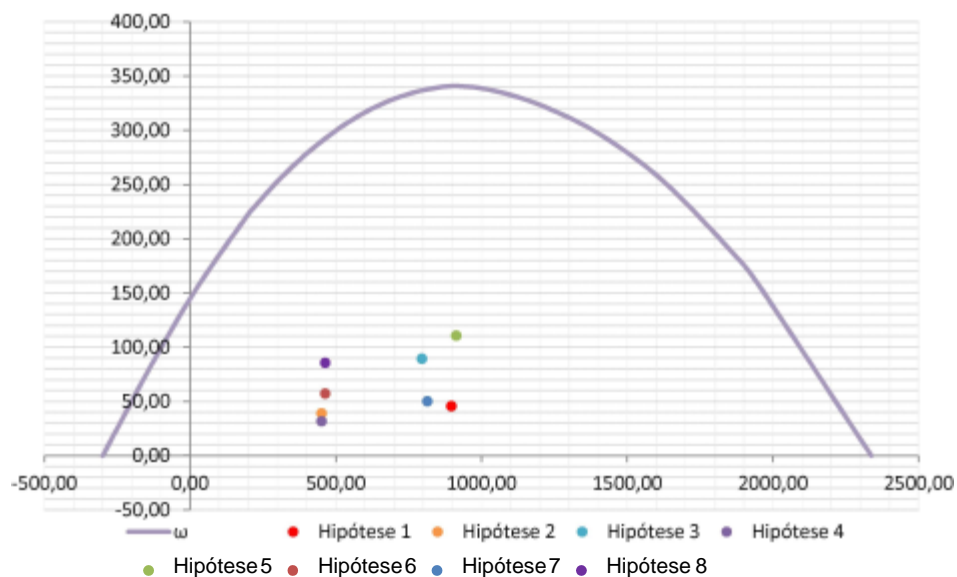
$$\sigma = \frac{\sigma_d}{\sigma_c \sigma_{\alpha d}}$$

	Hip.	Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
		N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	8960,79	-520,68	-117,65	8960,79	275,19	-117,65	457,00
	N _{mín}	4506,38	-158,75	-306,73	4506,38	241,49	-306,73	390,39
	M _{y,máx}	7945,97	-1589,32	-133,17	7945,97	-883,58	-133,17	893,56
	M _{z,máx}	4507,59	-317,25	-306,95	4507,59	83,10	-306,95	318,00
Seção Base	N _{máx}	9128,74	271,87	225,61	9128,74	1082,66	225,61	1105,92
	N _{mín}	4630,78	-194,24	529,62	4630,78	217,05	529,62	572,38
	M _{y,máx}	8134,11	-1164,11	238,81	8134,11	-441,66	238,81	502,09
	M _{z,máx}	4632,00	262,70	529,99	4632,00	674,09	529,99	857,49

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \varnothing \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 31,49 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$\rho_{c,Nás} = 0,08 \rho_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

9. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rizezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6509,86$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 466,60$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 483,82$$

$$H_L \text{ (kN)} = 144,16$$

$$H_T \text{ (kN)} = 113,93$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2275,00	210,00	165,00	267,07
	Menos carregada	1280,00	210,00	165,00	267,07
Seção Tubular	Mais carregada	2385,00	90,00	75,00	117,15
	Menos carregada	1370,00	90,00	75,00	117,15

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 126,52$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4764,30$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 113,50$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 595,10$$

$$H_L \text{ (kN)} = 54,23$$

$$H_T \text{ (kN)} = 139,75$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1715,00	85,00	200,00	217,31
	Menos carregada	970,00	85,00	200,00	217,31
Seção Tubular	Mais carregada	1825,00	35,00	95,00	101,24
	Menos carregada	1060,00	35,00	95,00	101,24

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 99,33$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5852,88$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -421,00$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 519,13$$

$$H_L \text{ (kN)} = 93,54$$

$$H_T \text{ (kN)} = 121,64$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1895,00	155,00	175,00	233,77
	Menos carregada	1335,00	155,00	175,00	233,77
Seção Tubular	Mais carregada	2005,00	50,00	80,00	94,34
	Menos carregada	1420,00	50,00	80,00	94,34

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 105,46$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4765,11$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 557,99$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 595,48$$

$$H_L \text{ (kN)} = 147,47$$

$$H_T \text{ (kN)} = 139,84$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1910,00	210,00	200,00	290,00
	Menos carregada	770,00	210,00	200,00	290,00
Seção Tubular	Mais carregada	2025,00	95,00	95,00	134,35
	Menos carregada	860,00	95,00	95,00	134,35

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 114,99$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{\text{máx}}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 9128,74$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 542,06$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 342,64$$

$$H_L \text{ (kN)} = 180,13$$

$$H_T \text{ (kN)} = 78,01$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2915,00	265,00	120,00	290,90
	Menos carregada	1950,00	265,00	120,00	290,90

- Situação de N_{min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4630,78$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -206,34$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 814,75$$

$$H_L \text{ (kN)} = -8,07$$

$$H_T \text{ (kN)} = 190,08$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1745,00	15,00	270,00	270,42
	Menos carregada	870,00	15,00	270,00	270,42

- Situação de |M_{L,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 8134,11$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1106,12$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 354,91$$

$$H_L \text{ (kN)} = 38,66$$

$$H_T \text{ (kN)} = 77,40$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2510,00	95,00	120,00	153,05
	Menos carregada	1855,00	95,00	120,00	153,05

- Situação de |M_{T,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4632,00$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 460,41$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 815,31$$

$$H_L \text{ (kN)} = 131,81$$

$$H_T \text{ (kN)} = 190,21$$

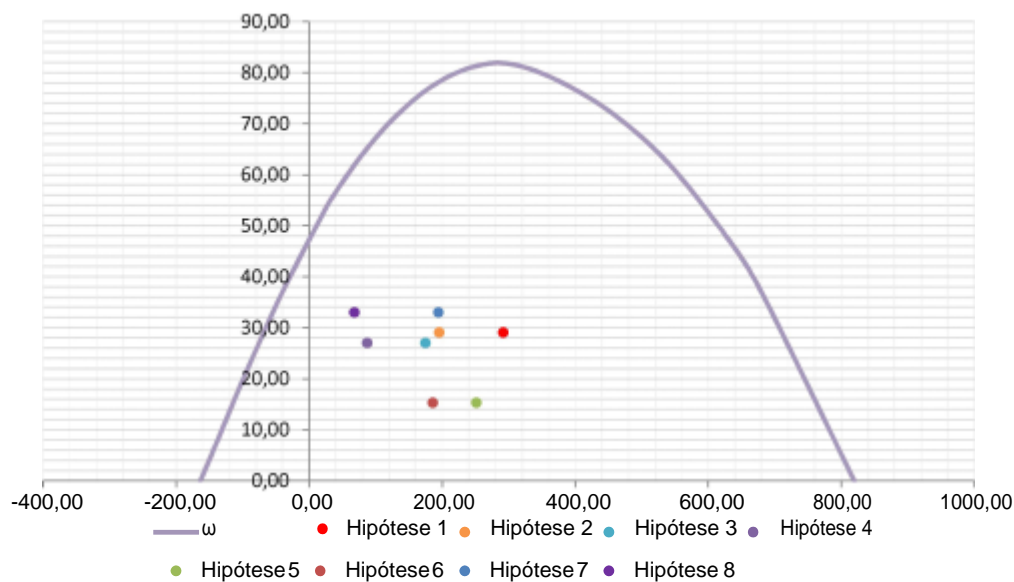
Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1940,00	190,00	270,00	330,15
	Menos carregada	675,00	190,00	270,00	330,15

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

ϕ (m) = 0,775	f_{yk} (kN/cm ²) = 50,0	f_{ck} (MPa) = 25,0
c (m) = 0,060	γ_s = 1,15	γ_c = 1,5
$A_{s,min1}$ (cm ²) = 18,87	f_{yd} (tf/cm ²) = 43,478	f_{cd} (MPa) = 16,667
$A_{s,min2}$ (cm ²) = 10,06	E_s (kN/cm ²) = 20000	σ_{cd} = 0,85 x f_{cd}
A_c (m ²) = 0,47		
A_s (cm ²) = 37,70	ω = 0,208	



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$\square_{c,Nás} = 0,08 \square_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

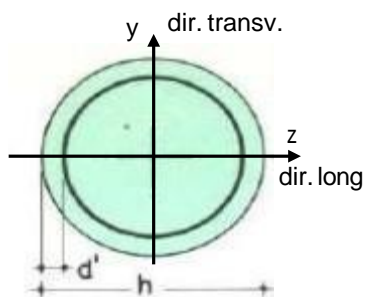
9. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20$$

$$h_{pil} (m) = 7,30$$

(altura do pilar + travessa)

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$h_{z,topo} (m) = 3,00$$

(altura da travessa na direção z)

$$h_{z,base} (m) = 1,50$$

(altura do bloco na direção z)

$$h_{y,topo} (m) = 3,00$$

(altura da travessa na direção y)

$$h_{y,base} (m) = 1,50$$

(altura do bloco na direção y)

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 4,30$$

$$l_{e,z} (m) = 14,60$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 4,30$$

$$l_{e,y} (m) = 5,50$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 48,67$$

$$\lambda_y = 18,33$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$\sigma_{d,tot} = \sigma_b \sigma_{1d,E} + \sigma_d \frac{\sigma_c^2}{10} \frac{1}{\sigma} \geq \sigma_{1d,E}$$

$$\frac{1}{\sigma} = \frac{0,005}{\sigma(\sigma + 0,5)} \leq \frac{0,005}{h}$$

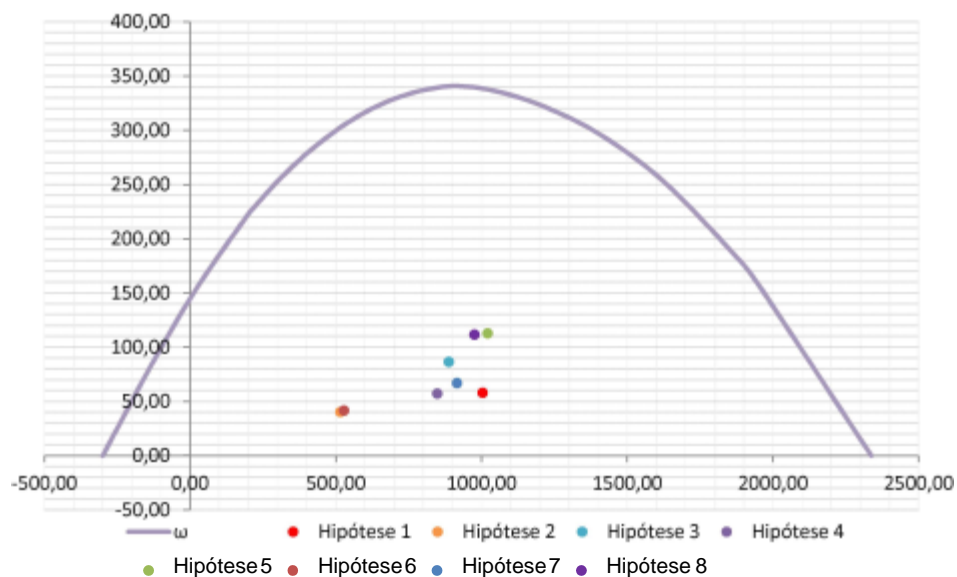
$$\sigma = \frac{\sigma_d}{\sigma_c \sigma_{\phi d}}$$

	Hip.	Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
		N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	10034,20	-460,46	-388,38	10034,20	430,74	-388,38	579,98
	N _{mín}	5152,51	-120,32	-220,78	5152,51	337,31	-220,78	403,14
	M _{y,máx}	8868,57	-1627,26	-210,11	8868,57	-839,58	-210,11	865,47
	M _{z,máx}	8473,66	-432,40	-473,50	8473,66	320,20	-473,50	571,60
Seção Base	N _{máx}	10202,15	48,71	600,05	10202,15	954,83	600,05	1127,72
	N _{mín}	5276,91	-177,56	296,76	5276,91	291,12	296,76	415,71
	M _{y,máx}	9156,59	-1174,40	562,74	9156,59	-361,14	562,74	668,66
	M _{z,máx}	9753,56	63,91	618,70	9753,56	930,18	618,70	1117,15

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned} \varnothing \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\ c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\ A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\ A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 35,20 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\ A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$\square_{c,Nás} = 0,08 \square_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

9. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rigezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7344,87$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 463,63$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 627,62$$

$$H_L \text{ (kN)} = 144,71$$

$$H_T \text{ (kN)} = 148,35$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2550,00	215,00	215,00	304,06
	Menos carregada	1420,00	215,00	215,00	304,06
Seção Tubular	Mais carregada	2665,00	95,00	100,00	137,93
	Menos carregada	1510,00	95,00	100,00	137,93

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 142,89$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5347,69$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 118,83$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 550,51$$

$$H_L \text{ (kN)} = 50,76$$

$$H_T \text{ (kN)} = 134,02$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1840,00	80,00	195,00	210,77
	Menos carregada	1135,00	80,00	195,00	210,77
Seção Tubular	Mais carregada	1950,00	35,00	85,00	91,92
	Menos carregada	1220,00	35,00	85,00	91,92

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 102,60$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6647,83$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -424,19$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 590,96$$

$$H_L \text{ (kN)} = 96,44$$

$$H_T \text{ (kN)} = 140,49$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2130,00	160,00	205,00	260,05
	Menos carregada	1490,00	160,00	205,00	260,05
Seção Tubular	Mais carregada	2245,00	50,00	95,00	107,35
	Menos carregada	1580,00	50,00	95,00	107,35

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 118,46$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7045,81$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 473,81$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 655,45$$

$$H_L \text{ (kN)} = 144,75$$

$$H_T \text{ (kN)} = 158,62$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2495,00	215,00	230,00	314,84
	Menos carregada	1325,00	215,00	230,00	314,84
Seção Tubular	Mais carregada	2610,00	95,00	105,00	141,60
	Menos carregada	1415,00	95,00	105,00	141,60

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 141,36$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{\text{máx}}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 10202,15$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 222,29$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 937,02$$

$$H_L \text{ (kN)} = 115,72$$

$$H_T \text{ (kN)} = 224,64$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3335,00	180,00	325,00	371,52
	Menos carregada	2065,00	180,00	325,00	371,52

- Situação de N_{min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5276,91$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -197,08$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 473,19$$

$$H_L \text{ (kN)} = -13,01$$

$$H_T \text{ (kN)} = 117,62$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1755,00	25,00	170,00	171,83
	Menos carregada	1180,00	25,00	170,00	171,83

- Situação de |M_{L,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 9156,59$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1109,44$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 882,02$$

$$H_L \text{ (kN)} = 43,31$$

$$H_T \text{ (kN)} = 212,85$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3025,00	100,00	305,00	320,98
	Menos carregada	1850,00	100,00	305,00	320,98

- Situação de |M_{T,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 9753,56$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 237,57$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 978,76$$

$$H_L \text{ (kN)} = 115,77$$

$$H_T \text{ (kN)} = 240,04$$

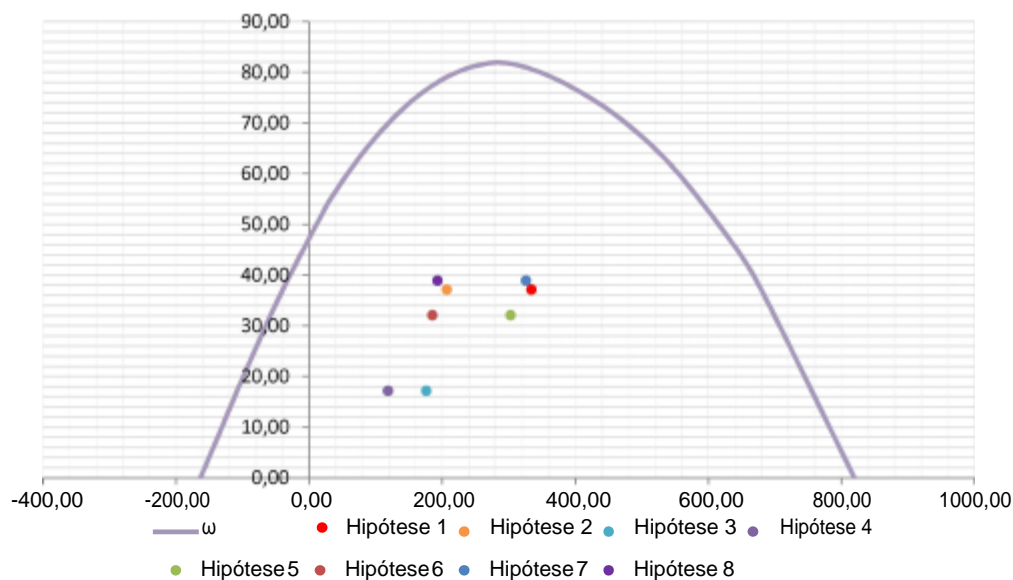
Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3255,00	180,00	345,00	389,13
	Menos carregada	1925,00	180,00	345,00	389,13

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

\varnothing (m) = 0,775	f_{yk} (kN/cm ²) = 50,0	f_{ck} (MPa) = 25,0
c (m) = 0,060	$\gamma_s = 1,15$	$\gamma_c = 1,5$
$A_{s,min1}$ (cm ²) = 18,87	f_{yd} (tf/cm ²) = 43,478	f_{cd} (MPa) = 16,667
$A_{s,min2}$ (cm ²) = 11,51	E_s (kN/cm ²) = 20000	$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$
A_c (m ²) = 0,47		
A_s (cm ²) = 37,70	$\omega = 0,208$	



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$\sigma_{c,Nás} = 0,08 \sigma_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

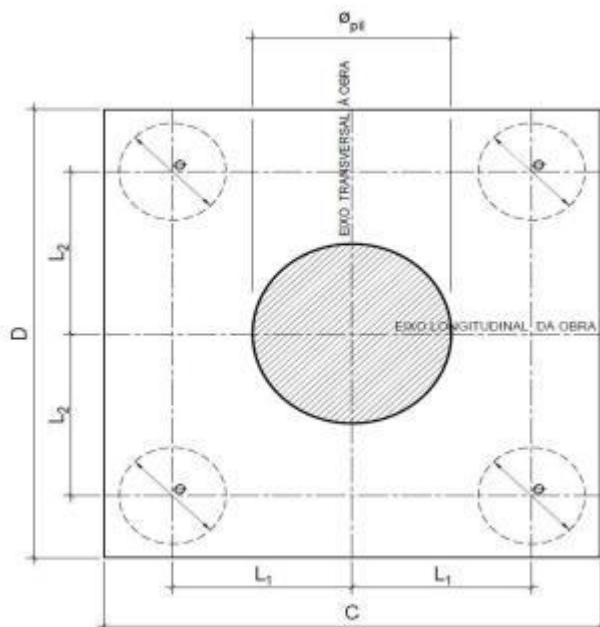
$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

9. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\phi_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\phi_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$\sigma_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} \sigma_{cd}$$

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

$$\sigma_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} \sigma_{cd}$$

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{\sigma_{ck}}{250}$$

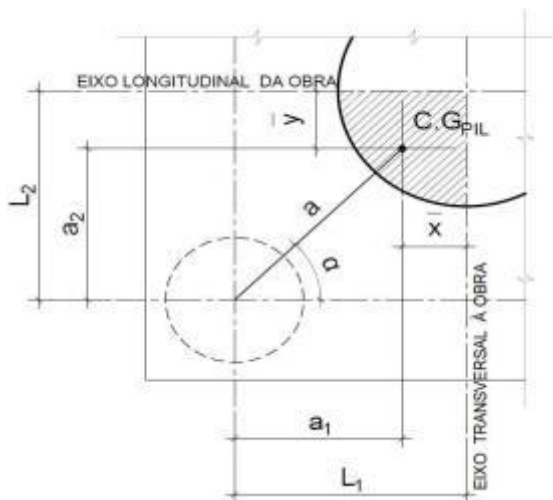
$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\square = 0,255 \text{ m}$$

$$\square = 0,255 \text{ m}$$

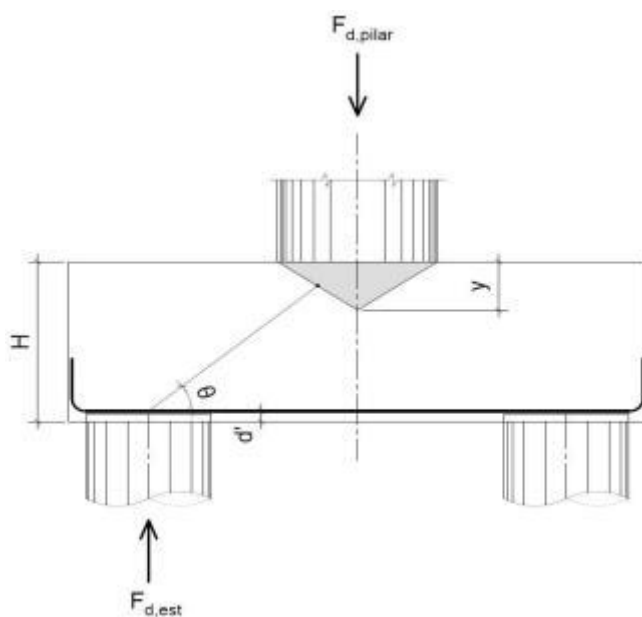
$$a_1 = 0,95 \text{ m}$$

$$a_2 = 0,95 \text{ m}$$

$$a = 1,34 \text{ m}$$

$$\alpha = 45,00^\circ$$

Projeção vertical da biela:



$$H = 1,50 \text{ m}$$

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

$$d = 1,35 \text{ m}$$

$$y = 0,15 \text{ m}$$

$$z = 1,28 \text{ m}$$

$$\theta = 43,64^\circ$$

$$F_{d,est} = 3335,00 \text{ kN}$$

$$F_{d,pilar} = 13340,00 \text{ kN}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

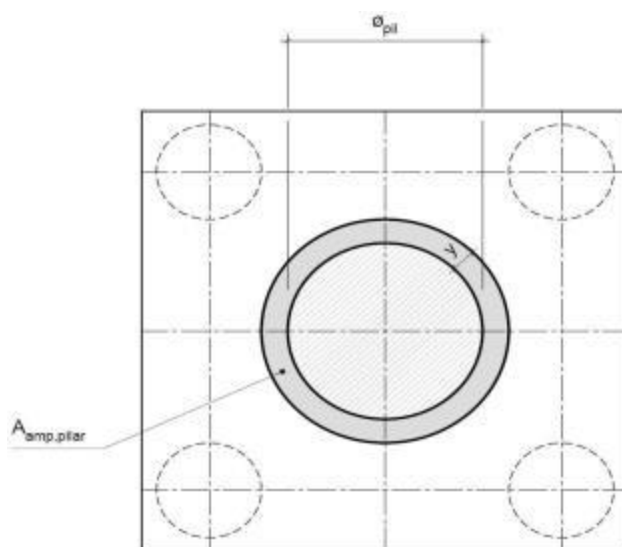
Como a inclinação da biela deu menor que 45°, o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

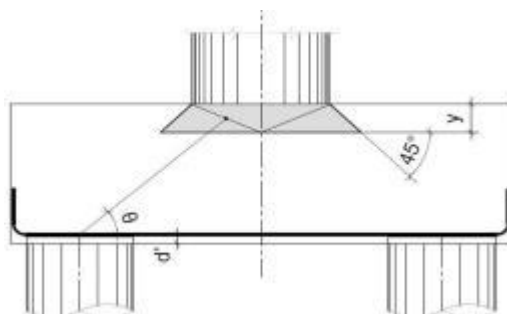
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{\sigma_{d,piSar}}{\sigma_{aNP,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq \sigma_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada do pilar em planta



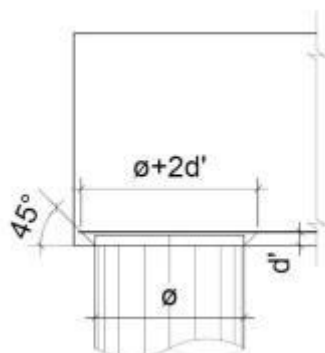
Detalhe da área ampliada do pilar em corte

$$A_{amp,pilar} = 1,77 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 15,85 \text{ MPa}$$

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{\sigma_{d,ect}}{\sigma_{aNP,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq \sigma_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 7,37 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{td1} = \sigma_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3496,99 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$\sigma_{td1, long} = \sigma_{td1} \times \cos \alpha$$

$$\sigma_{td1, trans} = \sigma_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1, long} = 2472,74 \text{ kN} \quad A_{s, tir, long} = 56,87 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1, trans} = 2472,74 \text{ kN} \quad A_{s, tir, trans} = 56,87 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s, tir, long} = 45,50 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s, tir, trans} = 45,50 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s, tir, long} = 11,37 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s, tir, trans} = 11,37 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 41 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

10. Cálculo do Apoio de AP-3

10. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \quad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \quad h \text{ (m)} = 3,00 \quad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,N_{\min}} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \quad A_{c,N_{\min}} = 0,15\% \cdot A_c \quad A_{s,\min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \quad M_{d,\min} = 4744,41 \quad A_{s,\min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-6522,55	2,85	0,153	2,789	0,036	53,79
Inferior	6738,93	2,85	0,158	2,787	0,037	55,62

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,máx} \text{ (kN)} = 6740,60 \quad \rho_{sw}^{\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \quad a_s^{1\text{perna}} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \quad n^{\text{pernas}} = 6$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 4140,30 \quad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 37,13$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 35,36$$

$$\rho_{sw}^{\max/\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 35,36$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 42 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1795,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 11,96 \quad \text{por face}$$

$$A_{st}/U \text{ (cm}^2\text{/m)} = 11,96$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2\text{)} = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{st} \text{ (cm}^2\text{)} = 78,26$$

$$A_{sl, costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 28,98 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl, flex\acute{o}e} \text{ (cm}^2\text{)} = 10,14 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2080,00$$

$$i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,20$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 43,49$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 22,78$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 37,13$$

Torção:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 23,92$$

Suspensão:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 43,49$$

Arm. mínima:

$$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{pernas} = 6$$

Total:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 104,53$$

$$s \text{ (cm)} = 11,5$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 99,55$$

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,726 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cN}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{)}$
Long. Superior	63,94
Long. Inferior	65,76

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	6	11,5

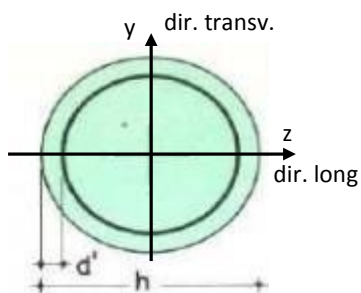
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Long. Pele	9,66

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 43 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

10. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 8,00 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 5,00$$

$$l_{e,z} (m) = 16,00$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 5,00$$

$$l_{e,y} (m) = 6,20$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 53,33$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$


$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 20,67$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

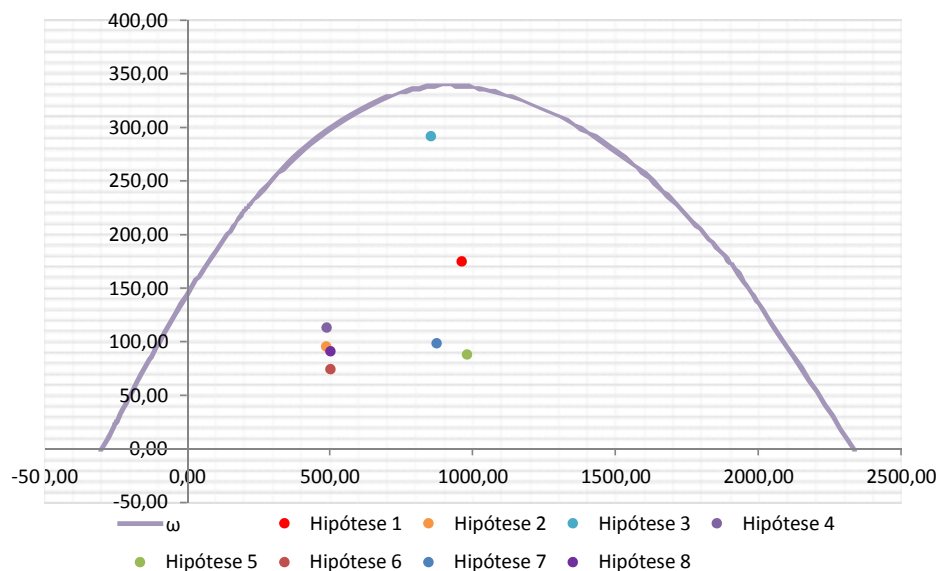
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	44 /320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	9621,18	698,62	-284,87	9621,18	1724,87	-284,87	1748,24
	N _{mín}	4886,97	313,51	-466,60	4886,97	834,79	-466,60	956,34
	M _{y,máx}	8550,87	1987,82	-299,03	8550,87	2899,91	-299,03	2915,29
	M _{z,máx}	4890,90	510,09	-466,65	4890,90	1031,78	-466,65	1132,41
Seção Base	N _{máx}	9812,03	-247,31	372,28	9812,03	799,30	372,28	881,75
	N _{mín}	5028,34	-816,66	687,96	5028,34	-280,30	687,96	742,87
	M _{y,máx}	8751,24	-1829,58	407,45	8751,24	-896,11	407,45	984,39
	M _{z,máx}	5032,27	60,53	688,04	5032,27	597,30	688,04	911,14

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
\phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 33,85 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
\end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 45 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

10. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6996,37$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -471,97$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 704,32$$

$$H_L \text{ (kN)} = -155,23$$

$$H_T \text{ (kN)} = 162,28$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2510,00	230,00	235,00	328,82
	Menos carregada	1290,00	230,00	235,00	328,82
Seção Tubular	Mais carregada	2620,00	100,00	110,00	148,66
	Menos carregada	1375,00	100,00	110,00	148,66

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 143,31$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 5176,22$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1104,03$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 805,11$$

$$H_L \text{ (kN)} = -235,35$$

$$H_T \text{ (kN)} = 183,68$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 46 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2315,00	330,00	260,00	420,12
	Menos carregada	570,00	330,00	260,00	420,12
Seção Tubular	Mais carregada	2430,00	155,00	120,00	196,02
	Menos carregada	660,00	155,00	120,00	196,02

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 145,54$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6289,17$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1597,98$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 738,01$$

$$H_L \text{ (kN)} = -202,68$$

$$H_T \text{ (kN)} = 169,12$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2620,00	270,00	240,00	361,25
	Menos carregada	825,00	270,00	240,00	361,25
Seção Tubular	Mais carregada	2730,00	145,00	110,00	182,00
	Menos carregada	910,00	145,00	110,00	182,00

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 155,21$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5178,84$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -383,12$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 805,20$$

$$H_L \text{ (kN)} = -144,60$$


$$H_T \text{ (kN)} = 183,70$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2070,00	210,00	260,00	334,22
	Menos carregada	820,00	210,00	260,00	334,22
Seção Tubular	Mais carregada	2180,00	90,00	120,00	150,00
	Menos carregada	905,00	90,00	120,00	150,00

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 124,96$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 47 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 9812,03 & M_L \text{ (kN.m)} = -531,09 & M_T \text{ (kN.m)} = 569,42 \\
H_L \text{ (kN)} = -189,19 & & H_T \text{ (kN)} = 131,43
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3205,00	250,00	200,00	320,16
	Menos carregada	2000,00	250,00	200,00	320,16

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 5028,34 & M_L \text{ (kN.m)} = -1155,70 & M_T \text{ (kN.m)} = 1034,33 \\
H_L \text{ (kN)} = -226,03 & & H_T \text{ (kN)} = 230,91
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2380,00	315,00	320,00	449,03
	Menos carregada	435,00	315,00	320,00	449,03

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 8751,24 & M_L \text{ (kN.m)} = -2220,11 & M_T \text{ (kN.m)} = 619,97 \\
H_L \text{ (kN)} = -260,36 & & H_T \text{ (kN)} = 141,68
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3370,00	345,00	210,00	403,89
	Menos carregada	1305,00	345,00	210,00	403,89

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 48 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5032,27$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -74,34$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 1034,45$$

$$H_L \text{ (kN)} = -89,91$$

$$H_T \text{ (kN)} = 230,94$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2010,00	140,00	320,00	349,28
	Menos carregada	805,00	140,00	320,00	349,28

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 11,63$$

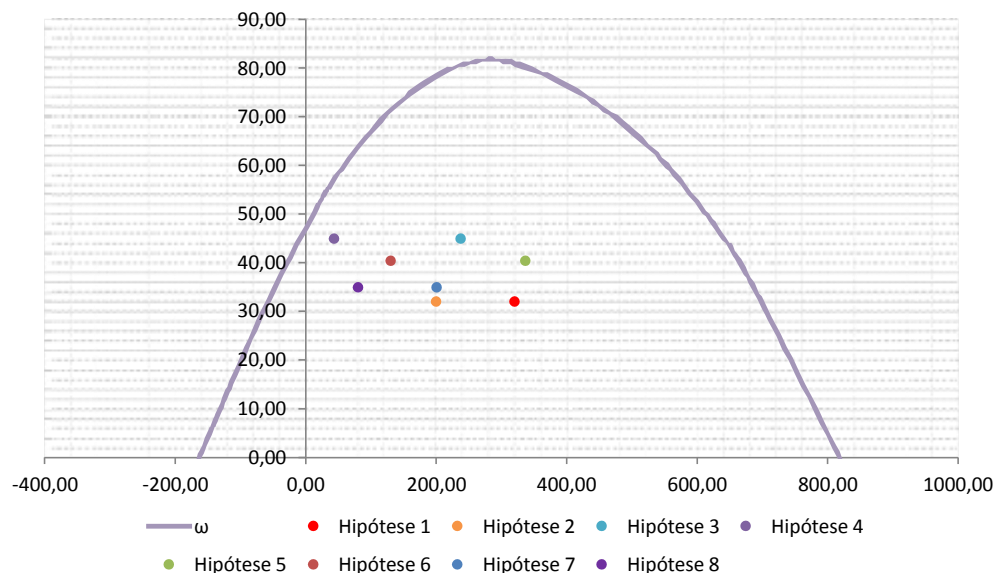
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

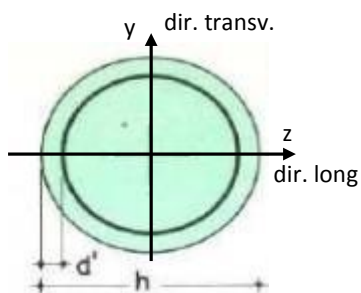
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 49 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

10. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 8,00 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 5,00$$

$$l_{e,z} (m) = 16,00$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 5,00$$

$$l_{e,y} (m) = 6,20$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 53,33$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$


$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 20,67$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(u+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad u = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

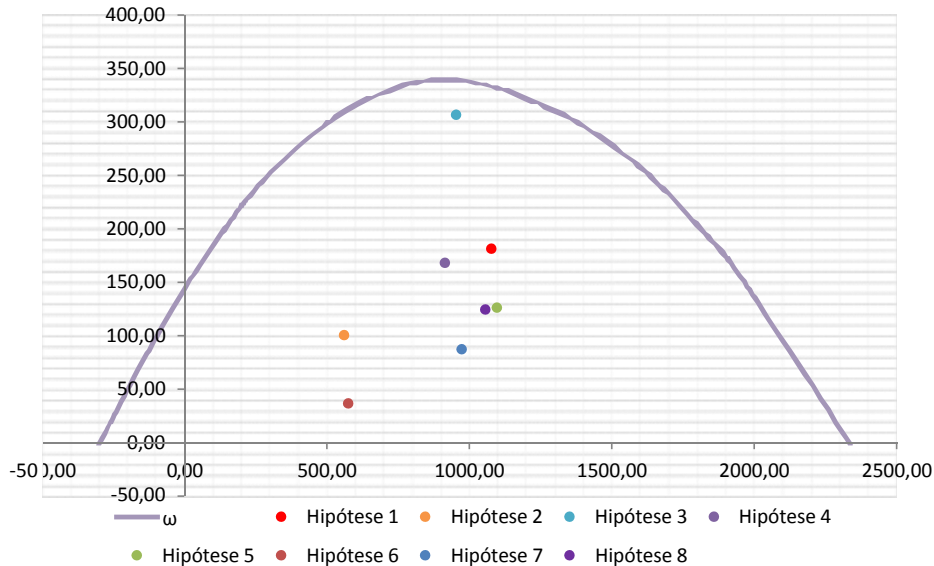
	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	50 / 320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	10776,64	610,04	-434,47	10776,64	1759,55	-434,47	1812,39
	N _{mín}	5611,00	378,97	-223,03	5611,00	977,48	-223,03	1002,60
	M _{y,má}	9535,88	2044,48	-170,16	9535,88	3061,64	-170,16	3066,37
	M _{z,má}	9151,85	622,57	-516,09	9151,85	1598,77	-516,09	1680,00
Seção Base	N _{máx}	10967,49	-105,68	677,45	10967,49	1064,18	677,45	1261,52
	N _{mín}	5752,37	-779,97	327,37	5752,37	-166,38	327,37	367,23
	M _{y,má}	9734,81	-1842,79	337,84	9734,81	-804,41	337,84	872,48
	M _{z,má}	10563,74	-94,04	693,79	10563,74	1032,76	693,79	1244,16

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 37,84 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 51 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

10. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7903,25$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -501,47$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 626,09$$

$$H_L \text{ (kN)} = -162,34$$

$$H_T \text{ (kN)} = 132,10$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2700,00	240,00	190,00	306,10
	Menos carregada	1550,00	240,00	190,00	306,10
Seção Tubular	Mais carregada	2810,00	105,00	90,00	138,29
	Menos carregada	1640,00	105,00	90,00	138,29

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 149,12$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 5830,28$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1091,69$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 554,29$$

$$H_L \text{ (kN)} = -240,91$$

$$H_T \text{ (kN)} = 119,99$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 52 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2360,00	340,00	175,00	382,39
	Menos carregada	855,00	340,00	175,00	382,39
Seção Tubular	Mais carregada	2470,00	160,00	80,00	178,89
	Menos carregada	940,00	160,00	80,00	178,89

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 143,52$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7157,65$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1616,71$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 591,58$$

$$H_L \text{ (kN)} = -205,28$$

$$H_T \text{ (kN)} = 125,23$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2760,00	275,00	185,00	331,44
	Menos carregada	1115,00	275,00	185,00	331,44
Seção Tubular	Mais carregada	2875,00	145,00	85,00	168,08
	Menos carregada	1205,00	145,00	85,00	168,08

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 158,34$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7634,08$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -493,49$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 648,84$$

$$H_L \text{ (kN)} = -162,19$$


$$H_T \text{ (kN)} = 140,00$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2645,00	240,00	205,00	315,63
	Menos carregada	1470,00	240,00	205,00	315,63
Seção Tubular	Mais carregada	2755,00	105,00	90,00	138,29
	Menos carregada	1560,00	105,00	90,00	138,29

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 146,79$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 53 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 10967,49 & M_L \text{ (kN.m)} &= -320,40 & M_T \text{ (kN.m)} &= 1011,02 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -143,14 & H_T \text{ (kN)} &= 222,38
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3590,00	220,00	320,00	388,33
	Menos carregada	2195,00	220,00	320,00	388,33

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 5752,37 & M_L \text{ (kN.m)} &= -1127,65 & M_T \text{ (kN.m)} &= 492,49 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -231,79 & H_T \text{ (kN)} &= 110,08
 \end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2315,00	325,00	160,00	362,25
	Menos carregada	865,00	325,00	160,00	362,25

- Situação de $|M_{L,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 9734,81 & M_L \text{ (kN.m)} &= -2233,06 & M_T \text{ (kN.m)} &= 489,25 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -260,18 & H_T \text{ (kN)} &= 100,94
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3545,00	350,00	155,00	382,79
	Menos carregada	1625,00	350,00	155,00	382,79

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 54 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

N (kN) = 10563,74

M_L (kN.m) = -308,43

M_T (kN.m) = 1045,15

H_L (kN) = -142,93

H_T (kN) = 234,24

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3510,00	220,00	335,00	400,78
	Menos carregada	2075,00	220,00	335,00	400,78

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

ϕ (m) = 0,775

f_{yk} (kN/cm²) = 50,0

f_{ck} (MPa) = 25,0

c (m) = 0,060

γ_s = 1,15

γ_c = 1,5

$A_{s,min1}$ (cm²) = 18,87

f_{yd} (tf/cm²) = 43,478

f_{cd} (MPa) = 16,667

$A_{s,min2}$ (cm²) = 12,39

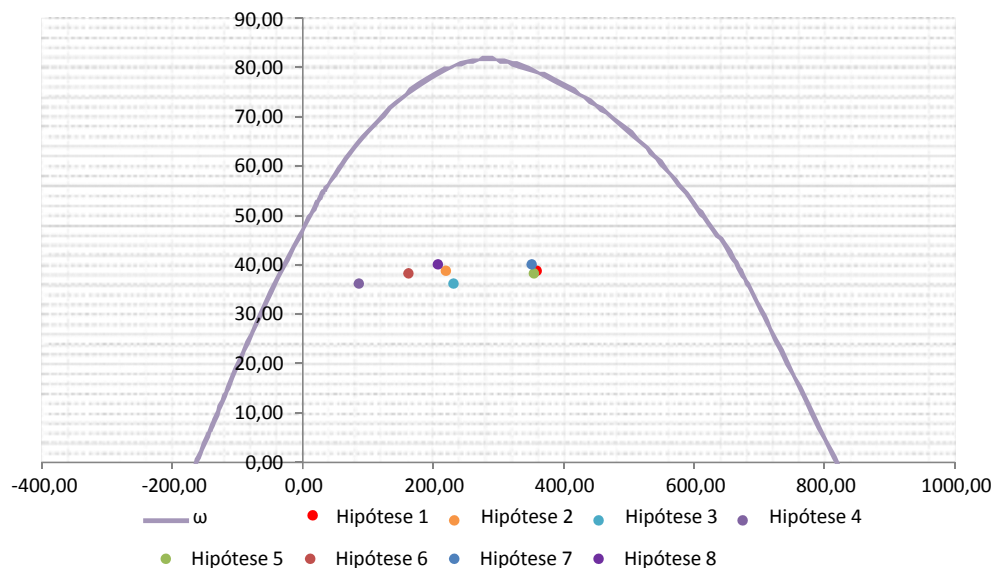
E_s (kN/cm²) = 20000

σ_{cd} = 0,85 x f_{cd}

A_c (m²) = 0,47

A_s (cm²) = 37,70

ω = 0,208



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

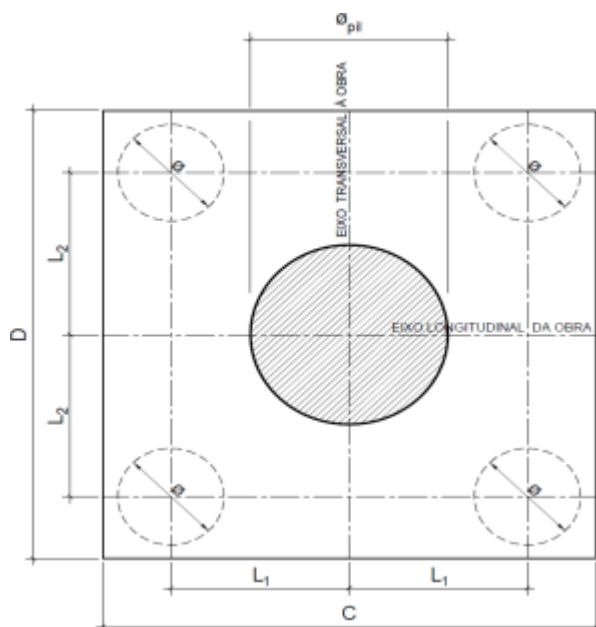
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 55 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

10. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\phi_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\phi_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

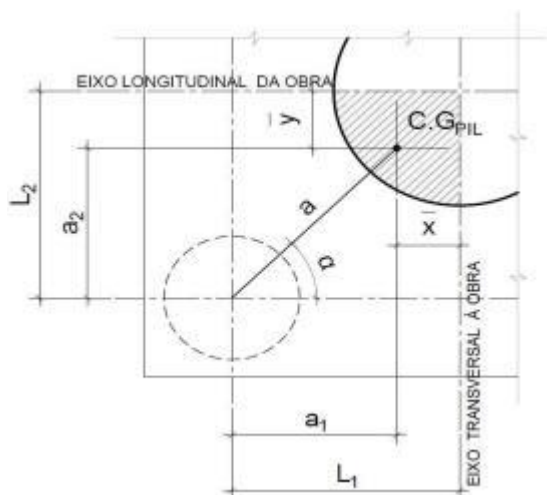
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	56
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

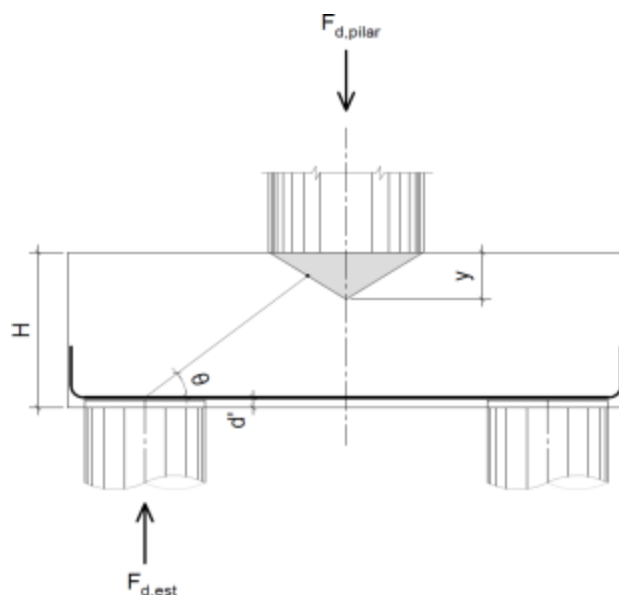
- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\begin{aligned}\bar{x} &= 0,255 \text{ m} \\ \bar{y} &= 0,255 \text{ m} \\ a_1 &= 0,95 \text{ m} \\ a_2 &= 0,95 \text{ m} \\ a &= 1,34 \text{ m} \\ \alpha &= 45,00^\circ\end{aligned}$$


Projeção vertical da biela:



$$\begin{aligned}H &= 1,50 \text{ m} \\ d' &= 0,15 \text{ m} \\ d &= 1,35 \text{ m} \\ y &= 0,2 \text{ m} \\ z &= 1,25 \text{ m} \\ \theta &= 43,08^\circ \\ F_{d,est} &= 3590,00 \text{ kN} \\ F_{d,pilar} &= 14360,00 \text{ kN}\end{aligned}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

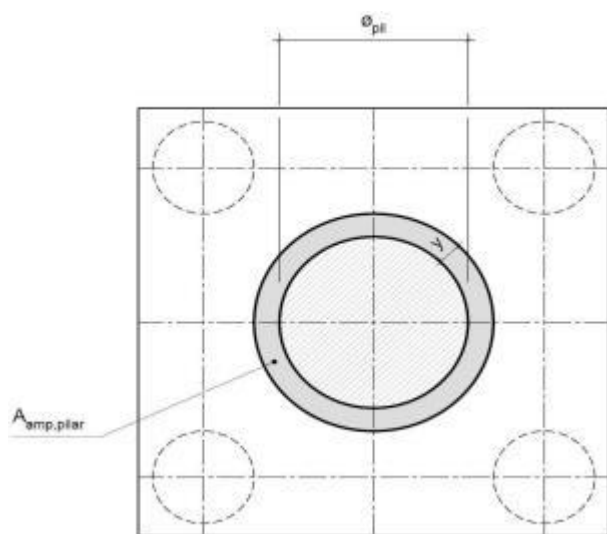
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 57 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

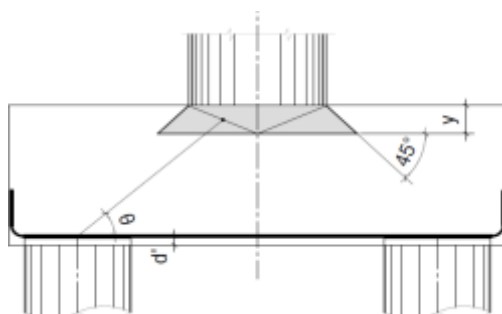
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{aNp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

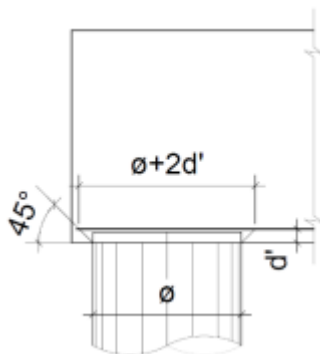
$$A_{amp,pilar} = 2,01 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 15,31 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 58 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área amprada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 8,10 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3839,66 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 2715,05 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 62,45 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2715,05 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 62,45 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 49,96 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 49,96 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 12,49 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 12,49 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 59 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

11. Cálculo do Apoio de AP-4

11. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \quad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \quad h \text{ (m)} = 3,00 \quad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,N_{\min}} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \quad A_{c,N_{\min}} = 0,15\% \cdot A_c \quad A_{s,\min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \quad M_{d,\min} = 4744,41 \quad A_{s,\min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-5457,20	2,85	0,127	2,799	0,030	44,84
Inferior	5895,00	2,85	0,138	2,795	0,032	48,51

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN)} = 5645,00 \quad \rho_{sw}^{\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \quad a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \quad n^{pernas} = 6$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 3044,70 \quad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 27,30$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 26,00$$

$$\rho_{sw}^{m\acute{a}x/\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 26,00$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 60 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2425,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 16,16 \quad \text{por face}$$

$$A_{st}/U \text{ (cm}^2\text{/m)} = 16,16$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2\text{)} = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{sk} \text{ (cm}^2\text{)} = 105,73$$

$$A_{sl, costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 39,16 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl, flex\acute{o}e} \text{ (cm}^2\text{)} = 13,71 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2135,00$$

$$i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,20$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 44,64$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 30,77$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 27,30$$

Torção:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 32,31$$

Suspensão:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 44,64$$

Arm. mínima:

$$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{pernas} = 6$$

Total:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 104,25$$

$$s \text{ (cm)} = 11,6$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 99,29$$

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,754 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cm}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{)}$
Long. Superior	58,55
Long. Inferior	62,22

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	6	11,6

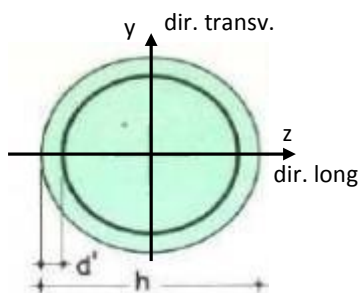
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Long. Pele	13,05

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 61 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

11. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil}(m) = 1,20 \quad h_{pil}(m) = 10,00 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z}(m) = 7,00$$

$$l_{e,z}(m) = 20,00$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y}(m) = 7,00$$

$$l_{e,y}(m) = 8,20$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y(m^4) = 0,10179$$

$$A(m^2) = 1,1310$$

$$i_z(m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 66,67$$

- segundo a direção y

$$I_z(m^4) = 0,10179$$


$$i_y(m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 27,33$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

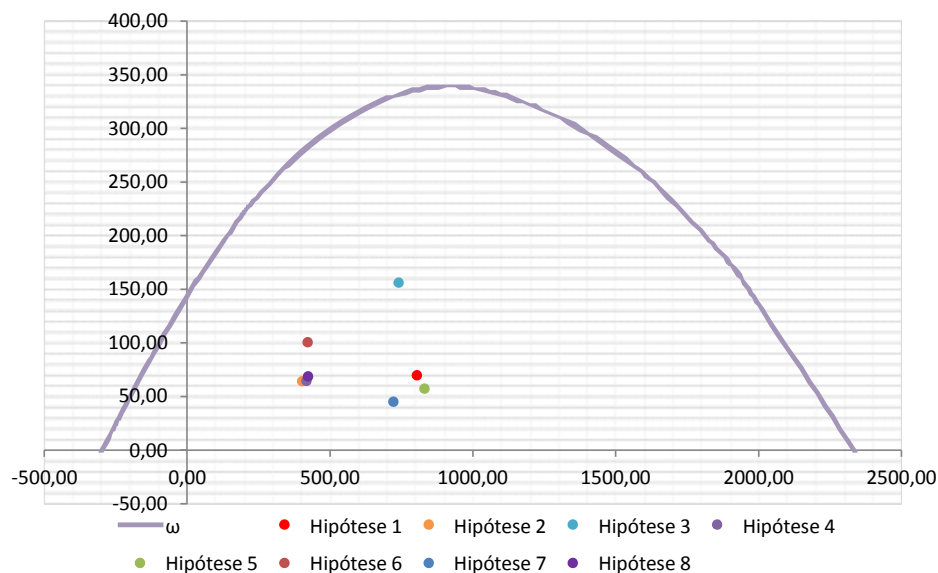
 Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	62 / 320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	8047,63	-2001,10	-219,37	8047,63	-659,83	-219,37	695,34
	N _{mín}	4035,71	-1097,21	-479,09	4035,71	-424,59	-479,09	640,16
	M _{y,máx}	7415,16	-2776,03	-249,42	7415,16	-1540,17	-249,42	1560,24
	M _{z,máx}	4189,26	-1120,17	-486,12	4189,26	-421,96	-486,12	643,71
Seção Base	N _{máx}	8314,82	-917,62	328,88	8314,82	468,19	328,88	572,15
	N _{mín}	4233,63	40,28	671,66	4233,63	745,88	671,66	1003,73
	M _{y,máx}	7230,83	-1430,81	386,27	7230,83	-225,67	386,27	447,36
	M _{z,máx}	4245,65	-797,50	679,46	4245,65	-89,89	679,46	685,38

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 28,69 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 63 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

11. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5889,07$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -572,49$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 603,81$$

$$H_L \text{ (kN)} = 104,66$$

$$H_T \text{ (kN)} = 109,40$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1890,00	175,00	155,00	233,77
	Menos carregada	1355,00	175,00	155,00	233,77
Seção Tubular	Mais carregada	2000,00	55,00	75,00	93,01
	Menos carregada	1440,00	55,00	75,00	93,01

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 104,96$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4345,48$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 84,47$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 662,83$$

$$H_L \text{ (kN)} = 139,72$$

$$H_T \text{ (kN)} = 119,08$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 64 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1695,00	210,00	170,00	270,19
	Menos carregada	780,00	210,00	170,00	270,19
Seção Tubular	Mais carregada	1805,00	85,00	80,00	116,73
	Menos carregada	865,00	85,00	80,00	116,73

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 101,84$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5188,42$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -837,61$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 639,48$$

$$H_L \text{ (kN)} = 116,89$$

$$H_T \text{ (kN)} = 114,62$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1730,00	200,00	160,00	256,12
	Menos carregada	1165,00	200,00	160,00	256,12
Seção Tubular	Mais carregada	1840,00	60,00	80,00	100,00
	Menos carregada	1255,00	60,00	80,00	100,00

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 99,69$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4353,49$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -575,15$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 669,99$$

$$H_L \text{ (kN)} = 72,31$$


$$H_T \text{ (kN)} = 120,39$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1535,00	125,00	170,00	211,01
	Menos carregada	940,00	125,00	170,00	211,01
Seção Tubular	Mais carregada	1645,00	35,00	85,00	91,92
	Menos carregada	1030,00	35,00	85,00	91,92

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 89,68$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 65 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 8314,82 & M_L \text{ (kN.m)} &= -685,44 & M_T \text{ (kN.m)} &= 446,36 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 154,78 & H_T \text{ (kN)} &= 78,32
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2465,00	255,00	120,00	281,82
	Menos carregada	1990,00	255,00	120,00	281,82

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 4233,63 & M_L \text{ (kN.m)} &= 284,03 & M_T \text{ (kN.m)} &= 918,24 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 162,50 & H_T \text{ (kN)} &= 164,39
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1835,00	240,00	230,00	332,42
	Menos carregada	580,00	240,00	230,00	332,42

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 7230,83 & M_L \text{ (kN.m)} &= -1184,13 & M_T \text{ (kN.m)} &= 524,04 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 164,45 & H_T \text{ (kN)} &= 91,85
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2200,00	275,00	135,00	306,35
	Menos carregada	1720,00	275,00	135,00	306,35

- Situação de $|M_{T,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 4245,65 & M_L \text{ (kN.m)} &= -705,41 & M_T \text{ (kN.m)} &= 928,99 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 61,39 & H_T \text{ (kN)} &= 166,35
 \end{aligned}$$

	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	66 / 320

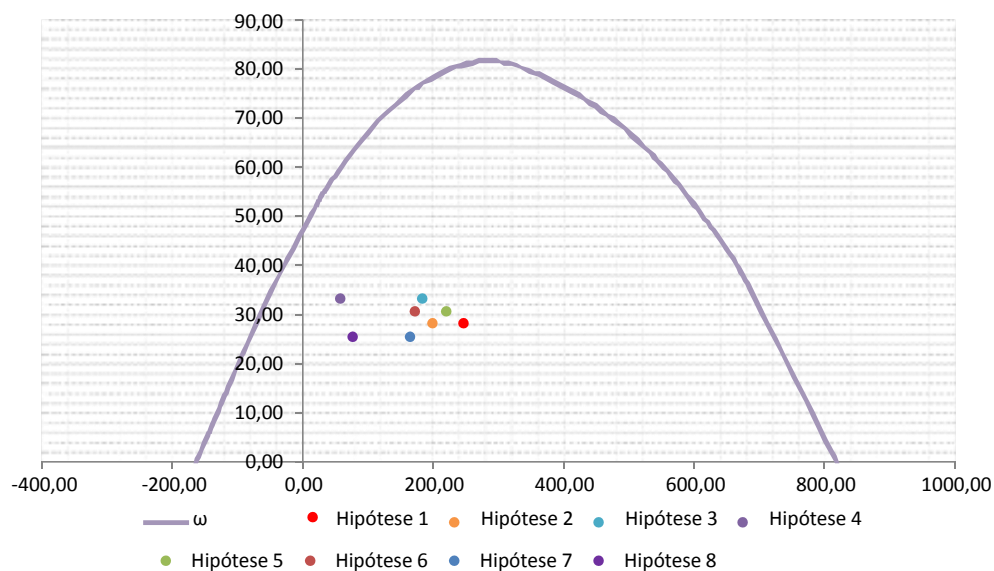
Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1650,00	110,00	230,00	254,95
	Menos carregada	770,00	110,00	230,00	254,95

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 0,775 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 25,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,5 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 18,87 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 16,667 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 8,50 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 0,47 \\
 A_s \text{ (cm}^2\text{)} &= 37,70 & \omega &= 0,208
 \end{aligned}$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

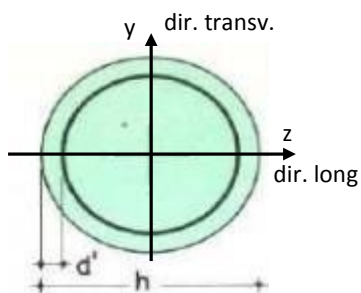
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 67 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

11. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil}(m) = 1,20 \quad h_{pil}(m) = 10,00 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z}(m) = 7,00$$

$$l_{e,z}(m) = 20,00$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y}(m) = 7,00$$

$$l_{e,y}(m) = 8,20$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y(m^4) = 0,10179$$

$$A(m^2) = 1,1310$$

$$i_z(m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 66,67$$

- segundo a direção y

$$I_z(m^4) = 0,10179$$


$$i_y(m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 27,33$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

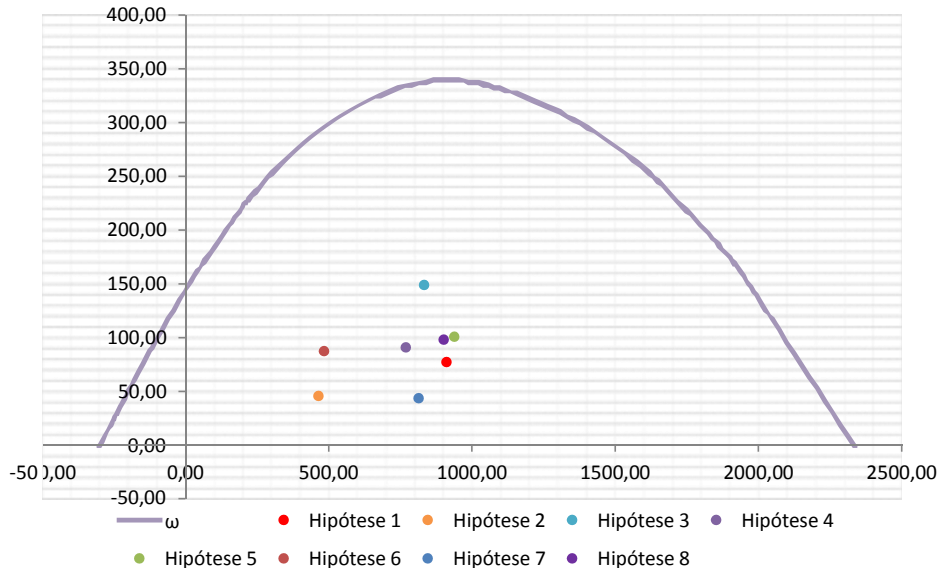
 Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	68 / 320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	9116,74	-2055,94	-555,62	9116,74	-536,48	-555,62	772,35
	N _{mín}	4648,70	-1117,64	-300,10	4648,70	-342,85	-300,10	455,64
	M _{y,máx}	8340,29	-2842,61	-322,48	8340,29	-1452,56	-322,48	1487,93
	M _{z,máx}	7701,11	-1944,26	-622,72	7701,11	-660,74	-622,72	907,94
Seção Base	N _{máx}	9383,93	-876,28	734,50	9383,93	687,71	734,50	1006,20
	N _{mín}	4846,62	-19,57	376,01	4846,62	788,20	376,01	873,29
	M _{y,máx}	8149,46	-1394,24	434,39	8149,46	-36,00	434,39	435,88
	M _{z,máx}	9024,12	-869,22	745,63	9024,12	634,80	745,63	979,25

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 32,37 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 69 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

11. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6719,76$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -521,48$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 697,17$$

$$H_L \text{ (kN)} = 115,64$$

$$H_T \text{ (kN)} = 126,02$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2160,00	190,00	180,00	261,73
	Menos carregada	1500,00	190,00	180,00	261,73
Seção Tubular	Mais carregada	2270,00	60,00	85,00	104,04
	Menos carregada	1590,00	60,00	85,00	104,04

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 118,80$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4927,16$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 117,61$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 643,20$$

$$H_L \text{ (kN)} = 143,93$$

$$H_T \text{ (kN)} = 119,03$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 70 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1845,00	215,00	170,00	274,09
	Menos carregada	915,00	215,00	170,00	274,09
Seção Tubular	Mais carregada	1960,00	90,00	80,00	120,42
	Menos carregada	1005,00	90,00	80,00	120,42

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 109,21$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5995,25$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -783,15$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 683,09$$

$$H_L \text{ (kN)} = 129,08$$

$$H_T \text{ (kN)} = 125,94$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1940,00	215,00	180,00	280,40
	Menos carregada	1360,00	215,00	180,00	280,40
Seção Tubular	Mais carregada	2050,00	65,00	90,00	111,02
	Menos carregada	1445,00	65,00	90,00	111,02

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 110,99$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6479,88$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -520,45$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 711,19$$

$$H_L \text{ (kN)} = 113,19$$


$$H_T \text{ (kN)} = 130,43$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2100,00	185,00	185,00	261,63
	Menos carregada	1440,00	185,00	185,00	261,63
Seção Tubular	Mais carregada	2215,00	60,00	90,00	108,17
	Menos carregada	1525,00	60,00	90,00	108,17

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 117,36$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 71 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 9383,93 & M_L \text{ (kN.m)} = -623,50 & M_T \text{ (kN.m)} = 1010,96 \\
& H_L \text{ (kN)} = 168,52 & H_T \text{ (kN)} = 184,30
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3000,00	275,00	260,00	378,45
	Menos carregada	1995,00	275,00	260,00	378,45

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 4846,62 & M_L \text{ (kN.m)} = 215,72 & M_T \text{ (kN.m)} = 520,89 \\
& H_L \text{ (kN)} = 156,87 & H_T \text{ (kN)} = 96,59
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1810,00	230,00	140,00	269,26
	Menos carregada	910,00	230,00	140,00	269,26

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 8149,46 & M_L \text{ (kN.m)} = -1126,96 & M_T \text{ (kN.m)} = 602,07 \\
& H_L \text{ (kN)} = 178,19 & H_T \text{ (kN)} = 111,78
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2440,00	295,00	165,00	338,01
	Menos carregada	1935,00	295,00	165,00	338,01

	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	72 / 320

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 9024,12 & M_L \text{ (kN.m)} &= -621,94 & M_T \text{ (kN.m)} &= 1031,99 \\
 H_L \text{ (kN)} &= 164,85 & H_T \text{ (kN)} &= 190,91
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2915,00	270,00	270,00	381,84
	Menos carregada	1895,00	270,00	270,00	381,84

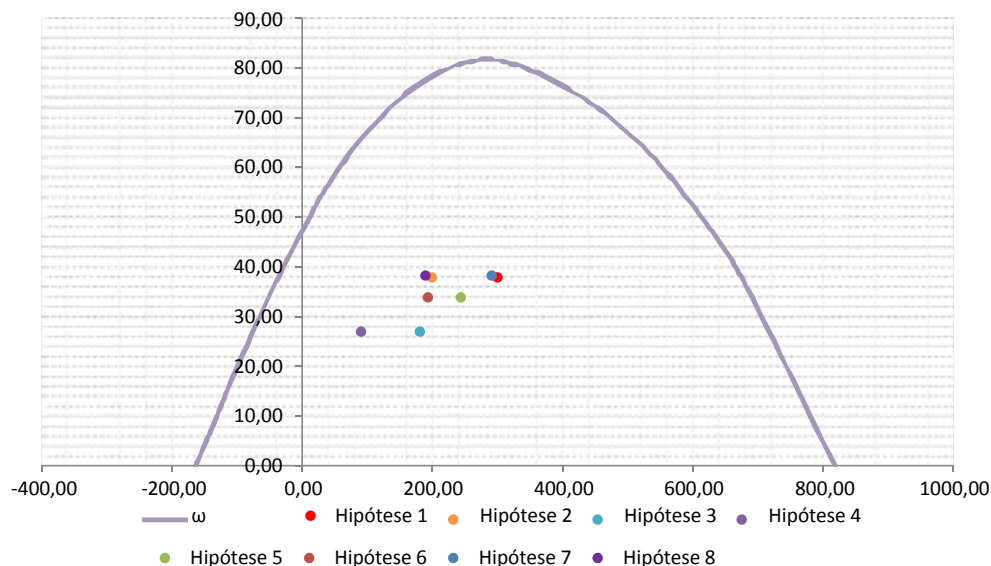
- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 0,775 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 25,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,5 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 18,87 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 16,667 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 10,35 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 0,47
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70 \quad \omega = 0,208$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

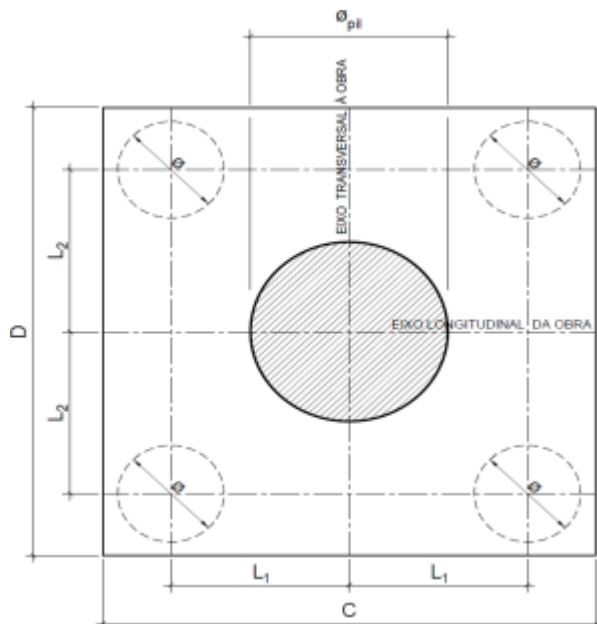
$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 73 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

11. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\varnothing_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\varnothing_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

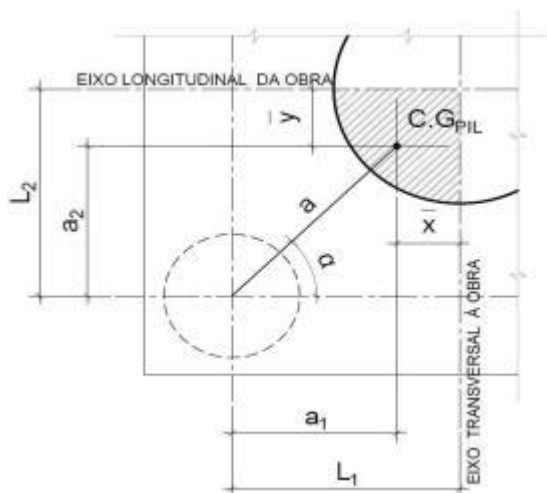
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	74
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

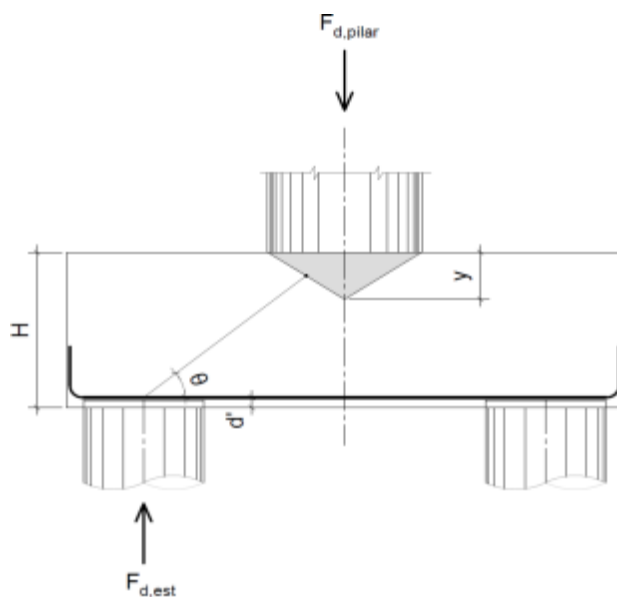
- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\begin{aligned}\bar{x} &= 0,255 \text{ m} \\ \bar{y} &= 0,255 \text{ m} \\ a_1 &= 0,95 \text{ m} \\ a_2 &= 0,95 \text{ m} \\ a &= 1,34 \text{ m} \\ \alpha &= 45,00^\circ\end{aligned}$$


Projeção vertical da biela:



$$\begin{aligned}H &= 1,50 \text{ m} \\ d' &= 0,15 \text{ m} \\ d &= 1,35 \text{ m} \\ y &= 0,15 \text{ m} \\ z &= 1,28 \text{ m} \\ \theta &= 43,64^\circ \\ F_{d,est} &= 3000,00 \text{ kN} \\ F_{d,pilar} &= 12000,00 \text{ kN}\end{aligned}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

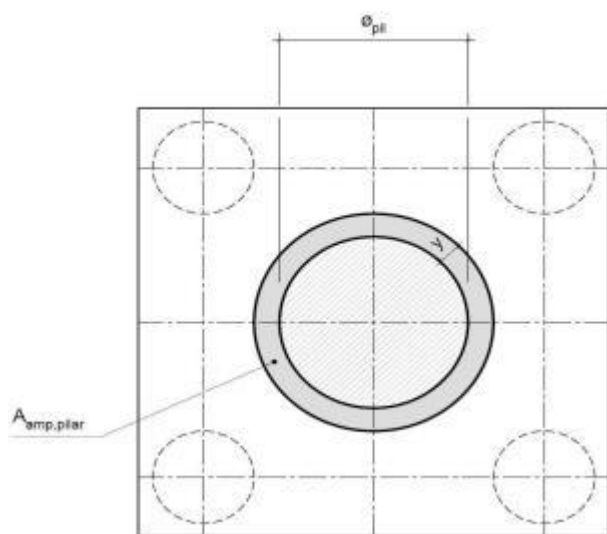
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 75 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

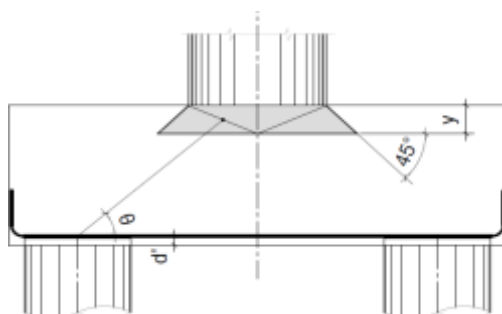
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{aNp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

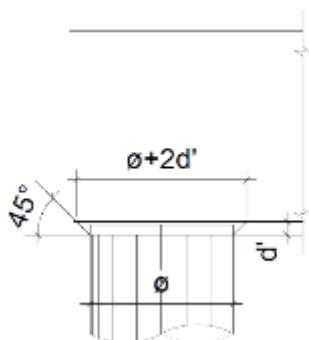
$$A_{amp,pilar} = 1,77 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 14,26 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 76 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 6,63 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3145,72 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,Long} = 2224,36 \text{ kN} \quad A_{s,tir,Long} = 51,16 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2224,36 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 51,16 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,Long} = 40,93 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 40,93 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,Long} = 10,23 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 10,23 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 77 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

12. Cálculo do Apoio de AP-5

12. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \quad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \quad h \text{ (m)} = 3,00 \quad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,Nin} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \quad A_{c,Nin} = 0,15\% \cdot A_c \quad A_{s,min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \quad M_{d,min} = 4744,41 \quad A_{s,min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-5396,76	2,85	0,126	2,800	0,030	44,34
Inferior	5738,40	2,85	0,134	2,796	0,031	47,20

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,máx} \text{ (kN)} = 4901,00 \quad \rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \quad a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \quad n^{pernas} = 4$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 2300,70 \quad A_{sw/s} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 20,63$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 19,65$$

$$\rho_{sw}^{máx/min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 19,65$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 78 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1700,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 11,33 \quad \text{por face}$$

$$A_{st}/U \text{ (cm}^2\text{/m)} = 11,33$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2\text{)} = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{st} \text{ (cm}^2\text{)} = 74,12$$

$$A_{sl, costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 27,45 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl, flex\acute{o}e} \text{ (cm}^2\text{)} = 9,61 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2050,00$$

$$i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,75$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,29$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 21,57$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 20,63$$

Torção:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 22,65$$

Suspensão:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,29$$

Arm. mínima:

$$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{pernas} = 4$$

Total:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 77,57$$

$$s \text{ (cm)} = 10,4$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 73,88$$

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,590 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cN}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{)}$
Long. Superior	53,94
Long. Inferior	56,81

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	4	10,4

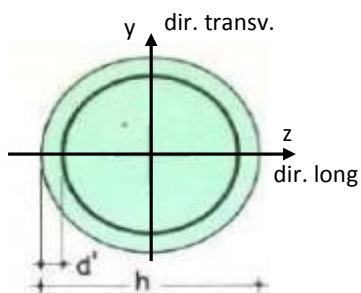
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Long. Pele	9,15

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 79 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

12. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil}(m) = 1,20 \quad h_{pil}(m) = 10,50 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z}(m) = 7,50$$

$$l_{e,z}(m) = 21,00$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y}(m) = 7,50$$

$$l_{e,y}(m) = 8,70$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y(m^4) = 0,10179$$

$$A(m^2) = 1,1310$$

$$i_z(m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 70,00$$

- segundo a direção y

$$I_z(m^4) = 0,10179$$


$$i_y(m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 29,00$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

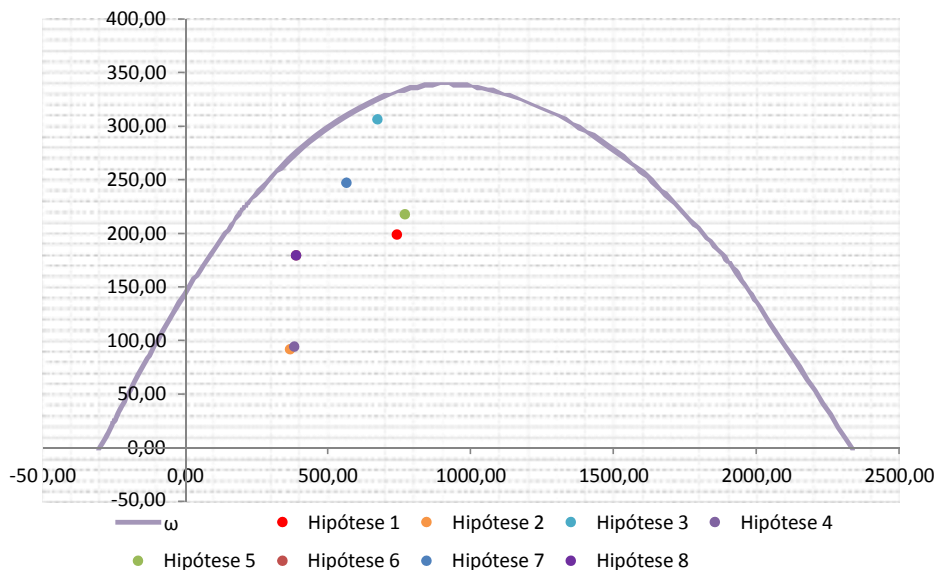
 Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	80 / 320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	7425,17	608,84	-249,70	7425,17	1973,22	-249,70	1988,95
	N _{mín}	3688,88	101,15	-490,29	3688,88	778,98	-490,29	920,43
	M _{y,máx}	6748,60	1814,17	-235,86	6748,60	3054,23	-235,86	3063,32
	M _{z,máx}	3825,73	103,05	-491,02	3825,73	806,03	-491,02	943,81
Seção Base	N _{máx}	7711,45	732,26	333,92	7711,45	2149,23	333,92	2175,02
	N _{mín}	3900,94	949,06	665,03	3900,94	1665,85	665,03	1793,69
	M _{y,máx}	5661,40	1400,13	388,46	5661,40	2440,41	388,46	2471,13
	M _{z,máx}	3900,94	949,06	665,03	3900,94	1665,85	665,03	1793,69

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 26,60 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 81 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

12. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5491,64$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 733,68$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 576,27$$

$$H_L \text{ (kN)} = 40,69$$

$$H_T \text{ (kN)} = 100,45$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1945,00	55,00	145,00	155,08
	Menos carregada	1100,00	55,00	145,00	155,08
Seção Tubular	Mais carregada	2055,00	40,00	70,00	80,62
	Menos carregada	1190,00	40,00	70,00	80,62

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 104,60$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4033,71$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 1321,49$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 648,22$$

$$H_L \text{ (kN)} = 144,52$$

$$H_T \text{ (kN)} = 111,94$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 82 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1845,00	190,00	160,00	248,39
	Menos carregada	470,00	190,00	160,00	248,39
Seção Tubular	Mais carregada	1960,00	110,00	80,00	136,01
	Menos carregada	560,00	110,00	80,00	136,01

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 112,60$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4124,94$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 1337,06$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 626,29$$

$$H_L \text{ (kN)} = 146,11$$

$$H_T \text{ (kN)} = 109,56$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1870,00	190,00	155,00	245,20
	Menos carregada	495,00	190,00	155,00	245,20
Seção Tubular	Mais carregada	1980,00	110,00	75,00	133,14
	Menos carregada	585,00	110,00	75,00	133,14

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 112,82$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4033,71$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 1321,49$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 648,22$$

$$H_L \text{ (kN)} = 144,52$$


$$H_T \text{ (kN)} = 111,94$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1845,00	190,00	160,00	248,39
	Menos carregada	470,00	190,00	160,00	248,39
Seção Tubular	Mais carregada	1960,00	110,00	80,00	136,01
	Menos carregada	560,00	110,00	80,00	136,01

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 112,60$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 83 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 7711,45 & M_L \text{ (kN.m)} &= 756,94 & M_T \text{ (kN.m)} &= 450,64 \\
 H_L \text{ (kN)} &= 16,46 & H_T \text{ (kN)} &= 77,82
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2425,00	25,00	115,00	117,69
	Menos carregada	1730,00	25,00	115,00	117,69

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 3900,94 & M_L \text{ (kN.m)} &= 1118,64 & M_T \text{ (kN.m)} &= 896,10 \\
 H_L \text{ (kN)} &= 113,05 & H_T \text{ (kN)} &= 154,04
 \end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1835,00	150,00	215,00	262,15
	Menos carregada	415,00	150,00	215,00	262,15

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 5661,40 & M_L \text{ (kN.m)} &= 1662,01 & M_T \text{ (kN.m)} &= 525,67 \\
 H_L \text{ (kN)} &= 174,59 & H_T \text{ (kN)} &= 91,48
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2305,00	230,00	135,00	266,69
	Menos carregada	825,00	230,00	135,00	266,69

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 84 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

N (kN) = 3900,94

M_L (kN.m) = 1118,64

M_T (kN.m) = 896,10

H_L (kN) = 113,05

H_T (kN) = 154,04

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1835,00	150,00	215,00	262,15
	Menos carregada	415,00	150,00	215,00	262,15

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

ϕ (m) = 0,775

f_{yk} (kN/cm²) = 50,0

f_{ck} (MPa) = 25,0

c (m) = 0,060

γ_s = 1,15

γ_c = 1,5

$A_{s,min1}$ (cm²) = 18,87

f_{yd} (tf/cm²) = 43,478

f_{cd} (MPa) = 16,667

$A_{s,min2}$ (cm²) = 8,37

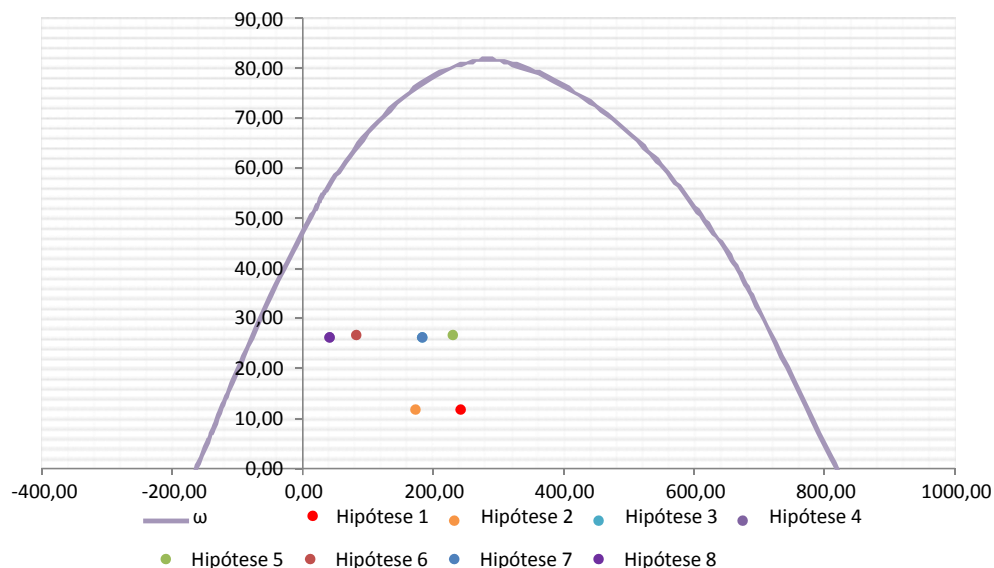
E_s (kN/cm²) = 20000

σ_{cd} = 0,85 x f_{cd}

A_c (m²) = 0,47

A_s (cm²) = 37,70

ω = 0,208



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$A_{s,min}$ (cm²) = 18,9

$A_{c,Nás}$ = 0,08 A_c

$A_{s,máx}$ (cm²) = 377,4

$A_{s,adotado}$ (cm²) = 37,70

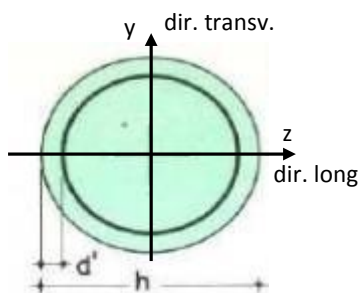
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 85 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

12. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil}(m) = 1,20 \quad h_{pil}(m) = 10,50 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z}(m) = 7,50$$

$$l_{e,z}(m) = 21,00$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y}(m) = 7,50$$

$$l_{e,y}(m) = 8,70$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y(m^4) = 0,10179$$

$$A(m^2) = 1,1310$$

$$i_z(m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 70,00$$

- segundo a direção y

$$I_z(m^4) = 0,10179$$


$$i_y(m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 29,00$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

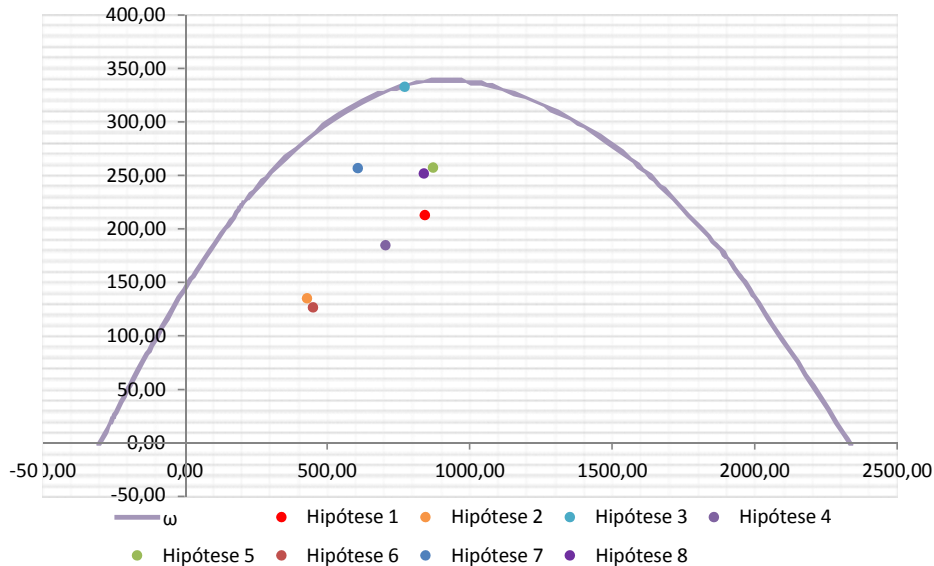
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	86
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	8431,82	512,50	-527,12	8431,82	2061,85	-527,12	2128,16
	N _{mín}	4298,56	526,68	-303,76	4298,56	1316,54	-303,76	1351,13
	M _{y,máx}	7719,71	1867,91	-510,36	7719,71	3286,40	-510,36	3325,79
	M _{z,máx}	7045,77	455,85	-591,36	7045,77	1750,51	-591,36	1847,70
Seção Base	N _{máx}	8718,10	875,76	697,93	8718,10	2477,71	697,93	2574,14
	N _{mín}	4510,62	384,04	367,84	4510,62	1212,87	367,84	1267,42
	M _{y,máx}	6080,19	1421,18	377,35	6080,19	2538,42	377,35	2566,31
	M _{z,máx}	8394,43	872,24	708,03	8394,43	2414,72	708,03	2516,38

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
\phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 30,08 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
\end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 87 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

12. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6284,37$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 1234,22$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 651,07$$

$$H_L \text{ (kN)} = 121,27$$

$$H_T \text{ (kN)} = 111,83$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2365,00	160,00	160,00	226,27
	Menos carregada	1080,00	160,00	160,00	226,27
Seção Tubular	Mais carregada	2475,00	90,00	80,00	120,42
	Menos carregada	1165,00	90,00	80,00	120,42

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 131,04$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4581,36$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 805,91$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 597,35$$

$$H_L \text{ (kN)} = 55,26$$

$$H_T \text{ (kN)} = 105,15$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 88 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1760,00	70,00	150,00	165,53
	Menos carregada	830,00	70,00	150,00	165,53
Seção Tubular	Mais carregada	1870,00	45,00	75,00	87,46
	Menos carregada	920,00	45,00	75,00	87,46

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 98,24$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4586,50$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 1336,36$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 609,23$$

$$H_L \text{ (kN)} = 141,04$$

$$H_T \text{ (kN)} = 107,24$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1970,00	185,00	150,00	238,17
	Menos carregada	620,00	185,00	150,00	238,17
Seção Tubular	Mais carregada	2080,00	105,00	75,00	129,03
	Menos carregada	710,00	105,00	75,00	129,03

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 116,17$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6068,60$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 1233,41$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 663,45$$

$$H_L \text{ (kN)} = 122,29$$


$$H_T \text{ (kN)} = 115,60$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2320,00	165,00	165,00	233,35
	Menos carregada	1015,00	165,00	165,00	233,35
Seção Tubular	Mais carregada	2430,00	95,00	80,00	124,20
	Menos carregada	1100,00	95,00	80,00	124,20

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 129,95$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 89 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 8718,10 & M_L \text{ (kN.m)} &= 948,42 & M_T \text{ (kN.m)} &= 942,95 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 48,44 & H_T \text{ (kN)} &= 163,34
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2950,00	65,00	230,00	239,01
	Menos carregada	1710,00	65,00	230,00	239,01

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 4510,62 & M_L \text{ (kN.m)} &= 355,52 & M_T \text{ (kN.m)} &= 502,16 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -19,02 & H_T \text{ (kN)} &= 89,55
 \end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1530,00	45,00	130,00	137,57
	Menos carregada	1030,00	45,00	130,00	137,57

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 6080,19 & M_L \text{ (kN.m)} &= 1675,17 & M_T \text{ (kN.m)} &= 514,10 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 169,32 & H_T \text{ (kN)} &= 91,17
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2405,00	220,00	135,00	258,12
	Menos carregada	935,00	220,00	135,00	258,12

	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	90 / 320

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 8394,43$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 947,20$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 961,51$$

$$H_L \text{ (kN)} = 49,97$$

$$H_T \text{ (kN)} = 168,99$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2880,00	70,00	240,00	250,00
	Menos carregada	1620,00	70,00	240,00	250,00

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 10,18$$

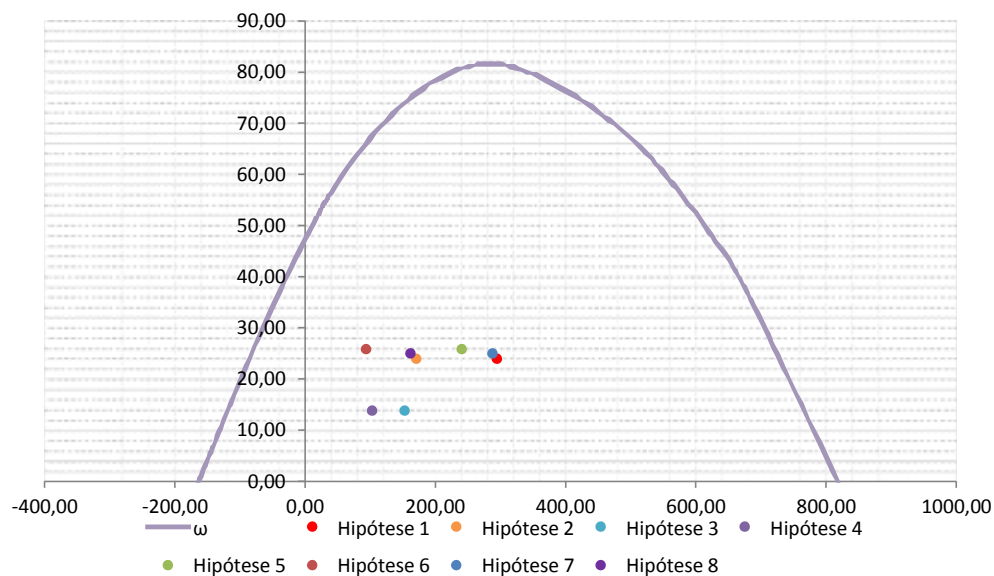
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

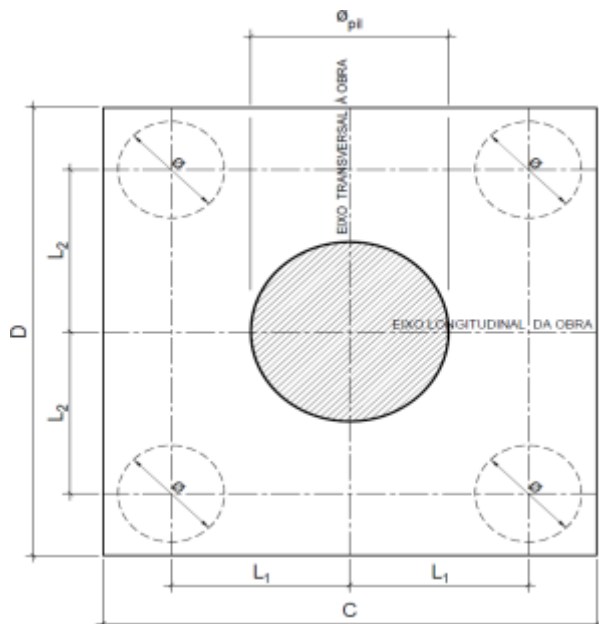
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 91 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

12. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\varnothing_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\varnothing_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

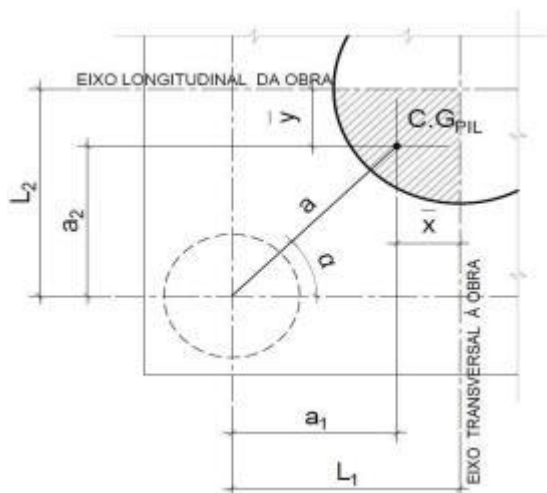
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	92
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\bar{x} = 0,255 \text{ m}$$

$$\bar{y} = 0,255 \text{ m}$$

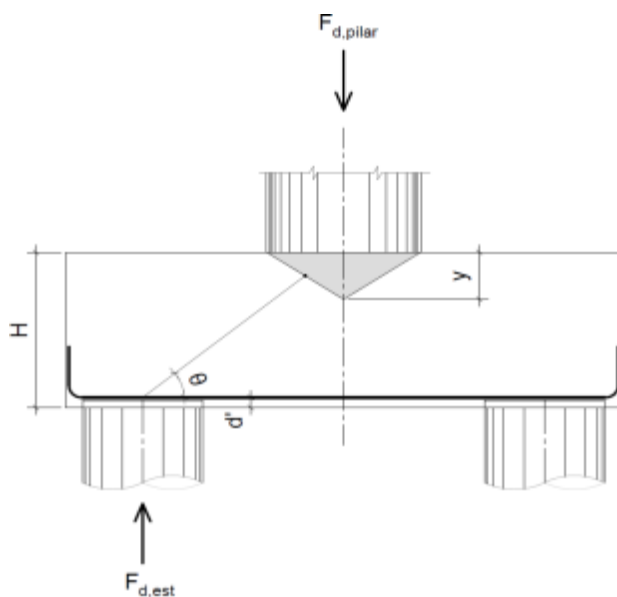
$$a_1 = 0,95 \text{ m}$$

$$a_2 = 0,95 \text{ m}$$

$$a = 1,34 \text{ m}$$

$$\alpha = 45,00^\circ$$

Projeção vertical da biela:



$$H = 1,50 \text{ m}$$

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

$$d = 1,35 \text{ m}$$

$$y = 0,15 \text{ m}$$

$$z = 1,28 \text{ m}$$


$$\theta = 43,64^\circ$$

$$F_{d,est} = 2950,00 \text{ kN}$$

$$F_{d,pilar} = 11800,00 \text{ kN}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

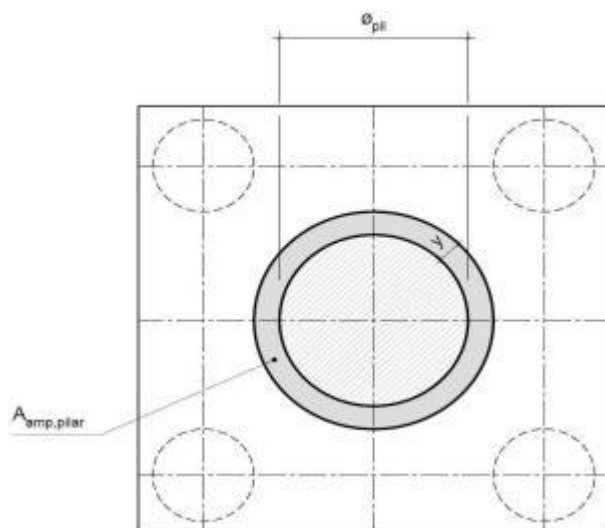
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 93 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

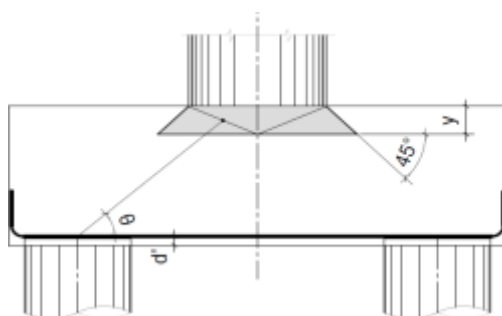
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{anp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

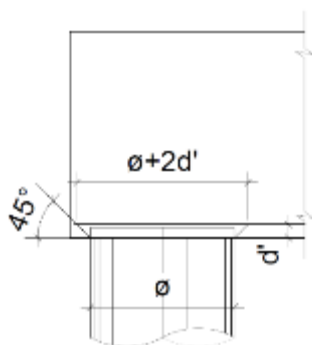
$$A_{amp,pilar} = 1,77 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 14,02 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 94 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área amprada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 6,52 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3093,29 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 2187,29 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 50,31 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2187,29 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 50,31 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 40,25 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 40,25 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 10,06 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 10,06 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 95 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

13. Cálculo do Apoio de AP-6

13. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \quad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \quad h \text{ (m)} = 3,00 \quad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,N_{\min}} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \quad A_{c,N_{\min}} = 0,15\% \cdot A_c \quad A_{s,\min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \quad M_{d,\min} = 4744,41 \quad A_{s,\min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-6477,67	2,85	0,152	2,789	0,035	53,41
Inferior	6619,12	2,85	0,155	2,788	0,036	54,61

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,máx} \text{ (kN)} = 5825,00 \quad \rho_{sw}^{\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \quad a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \quad n^{pernas} = 4$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 3224,70 \quad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,92$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,54$$

$$\rho_{sw}^{máx/mín} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,54$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 96 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1105,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 7,36 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl}/U \text{ (cm}^2\text{/m)} = 7,36$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2\text{)} = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{sl} \text{ (cm}^2\text{)} = 48,18$$

$$A_{sl,costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 17,84 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl,flex\acute{o}a} \text{ (cm}^2\text{)} = 6,25 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2085,00$$

$$i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,75$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,88$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 14,02$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,92$$

Torção:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 14,72$$

Suspensão:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,88$$

Arm. mínima:

$$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{pernas} = 4$$

Total:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 78,51$$

$$s \text{ (cm)} = 10,2$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 74,78$$

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,557 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cN}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{)}$
Long. Superior	59,66
Long. Inferior	60,85

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	4	10,2

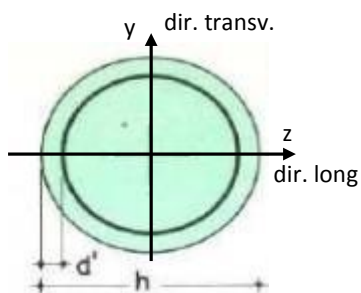
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Long. Pele	5,95

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 97 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

13. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil}(m) = 1,20 \quad h_{pil}(m) = 10,80 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z}(m) = 7,80$$

$$l_{e,z}(m) = 21,60$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y}(m) = 7,80$$

$$l_{e,y}(m) = 9,00$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y(m^4) = 0,10179$$

$$A(m^2) = 1,1310$$

$$i_z(m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 72,00$$

- segundo a direção y

$$I_z(m^4) = 0,10179$$


$$i_y(m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 30,00$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

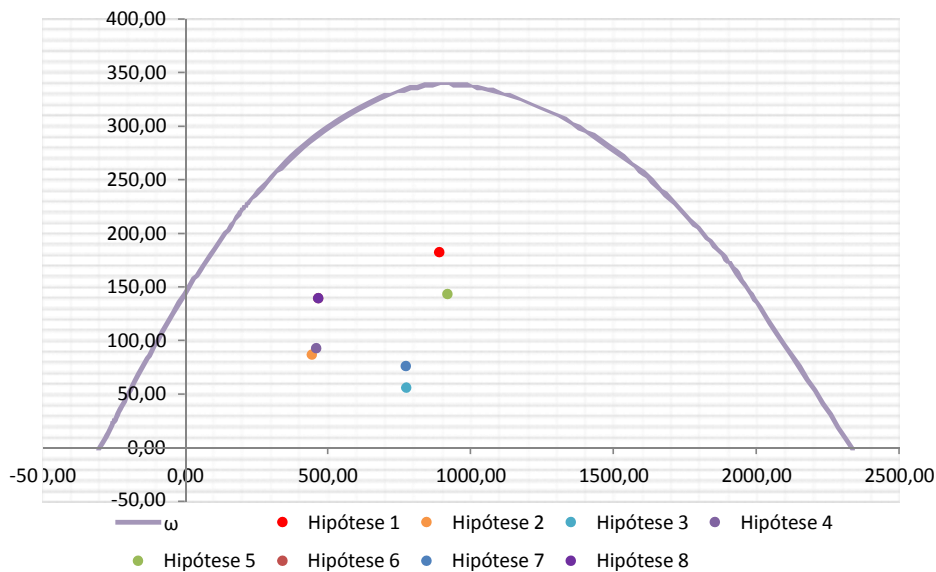
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 98 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	8904,76	65,43	-306,11	8904,76	1796,52	-306,11	1822,41
	N _{mín}	4446,46	-217,47	-578,43	4446,46	646,92	-578,43	867,80
	M _{y,máx}	7750,93	-1333,27	-533,37	7750,93	173,52	-533,37	560,88
	M _{z,máx}	4600,25	-169,59	-581,28	4600,25	724,70	-581,28	929,02
Seção Base	N _{máx}	9202,49	-414,57	405,44	9202,49	1374,39	405,44	1432,94
	N _{mín}	4667,00	248,98	780,88	4667,00	1156,24	780,88	1395,23
	M _{y,máx}	7744,12	-895,77	455,41	7744,12	609,69	455,41	761,00
	M _{z,máx}	4667,00	248,98	780,88	4667,00	1156,24	780,88	1395,23

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{array}{lll}
\phi \text{ (m)} = 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} = 30,0 \\
c \text{ (m)} = 0,060 & \gamma_s = 1,15 & \gamma_c = 1,4 \\
A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} = 21,429 \\
A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 31,75 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000 & \sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd} \\
A_c \text{ (m}^2\text{)} = 1,13
\end{array}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 99 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

13. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6553,10$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -343,29$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 686,04$$

$$H_L \text{ (kN)} = -41,89$$

$$H_T \text{ (kN)} = 116,41$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2180,00	65,00	165,00	177,34
	Menos carregada	1400,00	65,00	165,00	177,34
Seção Tubular	Mais carregada	2290,00	30,00	80,00	85,44
	Menos carregada	1485,00	30,00	80,00	85,44

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 115,61$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4817,79$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 205,06$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 750,75$$

$$H_L \text{ (kN)} = 36,56$$

$$H_T \text{ (kN)} = 125,90$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 100 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1735,00	60,00	175,00	185,00
	Menos carregada	975,00	60,00	175,00	185,00
Seção Tubular	Mais carregada	1845,00	25,00	90,00	93,41
	Menos carregada	1060,00	25,00	90,00	93,41

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 98,47$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de |M_{L,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5580,85$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -635,43$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 727,93$$

$$H_L \text{ (kN)} = -22,79$$

$$H_T \text{ (kN)} = 122,12$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1980,00	30,00	175,00	177,55
	Menos carregada	1100,00	30,00	175,00	177,55
Seção Tubular	Mais carregada	2095,00	25,00	85,00	88,60
	Menos carregada	1195,00	25,00	85,00	88,60

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 108,03$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de |M_{T,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4817,79$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 205,06$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 750,75$$

$$H_L \text{ (kN)} = 36,56$$


$$H_T \text{ (kN)} = 125,90$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1735,00	60,00	175,00	185,00
	Menos carregada	975,00	60,00	175,00	185,00
Seção Tubular	Mais carregada	1845,00	25,00	85,00	88,60
	Menos carregada	1060,00	25,00	85,00	88,60

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 97,43$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 101 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 9202,49 & M_L \text{ (kN.m)} = -506,88 & M_T \text{ (kN.m)} = 542,27 \\
H_L \text{ (kN)} = -61,54 & & H_T \text{ (kN)} = 91,22
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2840,00	100,00	135,00	168,00
	Menos carregada	2065,00	100,00	135,00	168,00

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 4667,00 & M_L \text{ (kN.m)} = 338,68 & M_T \text{ (kN.m)} = 1042,28 \\
H_L \text{ (kN)} = 59,80 & & H_T \text{ (kN)} = 174,27
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1865,00	90,00	240,00	256,32
	Menos carregada	770,00	90,00	240,00	256,32

- Situação de $|M_{L,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 7744,12 & M_L \text{ (kN.m)} = -945,10 & M_T \text{ (kN.m)} = 605,11 \\
H_L \text{ (kN)} = -32,89 & & H_T \text{ (kN)} = 99,80
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2545,00	40,00	150,00	155,24
	Menos carregada	1630,00	40,00	150,00	155,24

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 102 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4667,00$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 338,68$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 1042,28$$

$$H_L \text{ (kN)} = 59,80$$

$$H_T \text{ (kN)} = 174,27$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1865,00	90,00	240,00	256,32
	Menos carregada	770,00	90,00	240,00	256,32

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 9,80$$

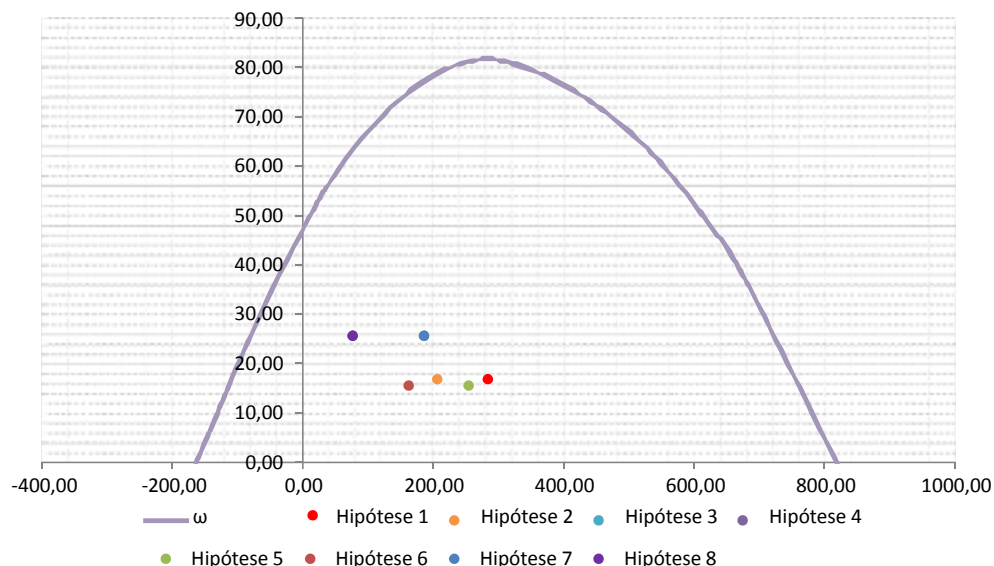
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

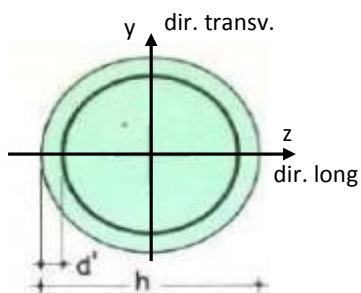
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 103 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

13. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil}(m) = 1,20 \quad h_{pil}(m) = 10,80 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z}(m) = 7,80$$

$$l_{e,z}(m) = 21,60$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y}(m) = 7,80$$

$$l_{e,y}(m) = 9,00$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y(m^4) = 0,10179$$

$$A(m^2) = 1,1310$$

$$i_z(m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 72,00$$

- segundo a direção y

$$I_z(m^4) = 0,10179$$


$$i_y(m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 30,00$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

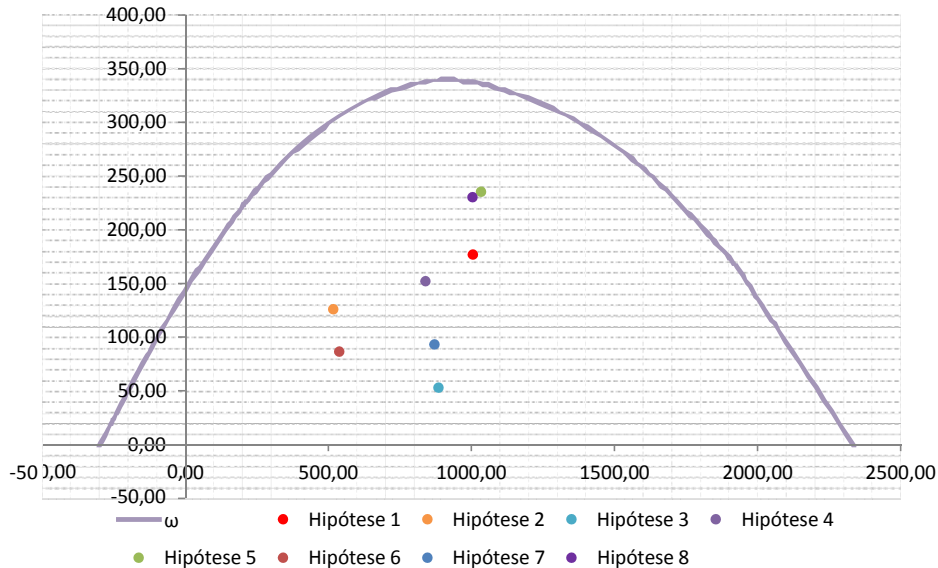
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	104 / 320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	10048,98	-303,41	-633,29	10048,98	1650,11	-633,29	1767,46
	N _{mín}	5172,43	196,24	-377,63	5172,43	1201,76	-377,63	1259,69
	M _{y,máx}	8858,81	-1362,45	-386,35	8858,81	359,70	-386,35	527,87
	M _{z,máx}	8396,34	-282,26	-700,63	8396,34	1349,99	-700,63	1520,98
Seção Base	N _{máx}	10346,71	192,45	825,66	10346,71	2203,85	825,66	2353,44
	N _{mín}	5392,97	-308,43	449,28	5392,97	739,97	449,28	865,68
	M _{y,máx}	8707,81	-898,16	484,50	8707,81	794,64	484,50	930,70
	M _{z,máx}	10041,50	193,80	835,55	10041,50	2145,86	835,55	2302,80

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
\phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 35,70 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
\end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 105 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

13. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7457,53$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 173,08$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 769,09$$

$$H_L \text{ (kN)} = 39,20$$

$$H_T \text{ (kN)} = 129,18$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2400,00	65,00	185,00	196,09
	Menos carregada	1630,00	65,00	185,00	196,09
Seção Tubular	Mais carregada	2510,00	30,00	90,00	94,87
	Menos carregada	1715,00	30,00	90,00	94,87

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 126,98$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 5472,28$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -293,84$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 720,40$$

$$H_L \text{ (kN)} = -46,90$$

$$H_T \text{ (kN)} = 124,00$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 106 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1920,00	75,00	175,00	190,39
	Menos carregada	1115,00	75,00	175,00	190,39
Seção Tubular	Mais carregada	2030,00	35,00	90,00	96,57
	Menos carregada	1200,00	35,00	90,00	96,57

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 107,00$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6439,51$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -640,65$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 753,31$$

$$H_L \text{ (kN)} = -22,78$$

$$H_T \text{ (kN)} = 129,50$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2210,00	30,00	185,00	187,42
	Menos carregada	1310,00	30,00	185,00	187,42
Seção Tubular	Mais carregada	2325,00	25,00	90,00	93,41
	Menos carregada	1395,00	25,00	90,00	93,41

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 118,82$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7254,05$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 172,97$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 780,46$$

$$H_L \text{ (kN)} = 38,53$$


$$H_T \text{ (kN)} = 132,37$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2355,00	65,00	190,00	200,81
	Menos carregada	1570,00	65,00	190,00	200,81
Seção Tubular	Mais carregada	2465,00	25,00	90,00	93,41
	Menos carregada	1660,00	25,00	90,00	93,41

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 124,75$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 107 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 10346,71 & M_L \text{ (kN.m)} = 287,81 & M_T \text{ (kN.m)} = 1106,23 \\
H_L \text{ (kN)} = 63,57 & & H_T \text{ (kN)} = 187,05
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3310,00	105,00	265,00	285,04
	Menos carregada	2165,00	105,00	265,00	285,04

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 5392,97 & M_L \text{ (kN.m)} = -405,48 & M_T \text{ (kN.m)} = 608,31 \\
H_L \text{ (kN)} = -64,70 & & H_T \text{ (kN)} = 106,01
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1900,00	95,00	150,00	177,55
	Menos carregada	1095,00	95,00	150,00	177,55

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 8707,81 & M_L \text{ (kN.m)} = -945,66 & M_T \text{ (kN.m)} = 654,55 \\
H_L \text{ (kN)} = -31,67 & & H_T \text{ (kN)} = 113,37
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2810,00	40,00	165,00	169,78
	Menos carregada	1845,00	40,00	165,00	169,78

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 108 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 10041,50$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 287,65$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 1123,28$$

$$H_L \text{ (kN)} = 62,57$$

$$H_T \text{ (kN)} = 191,82$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3240,00	100,00	275,00	292,62
	Menos carregada	2080,00	100,00	275,00	292,62

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 11,42$$

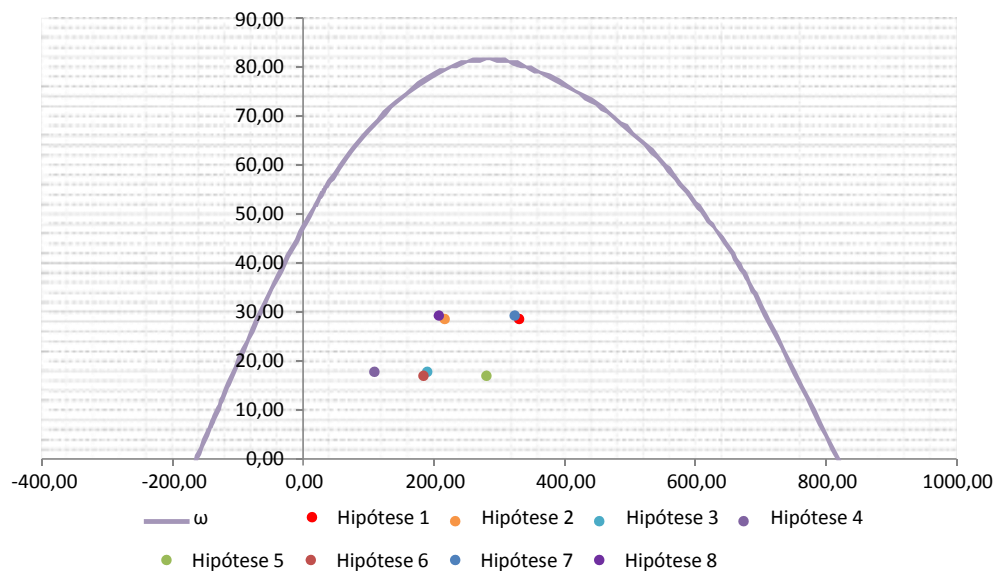
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

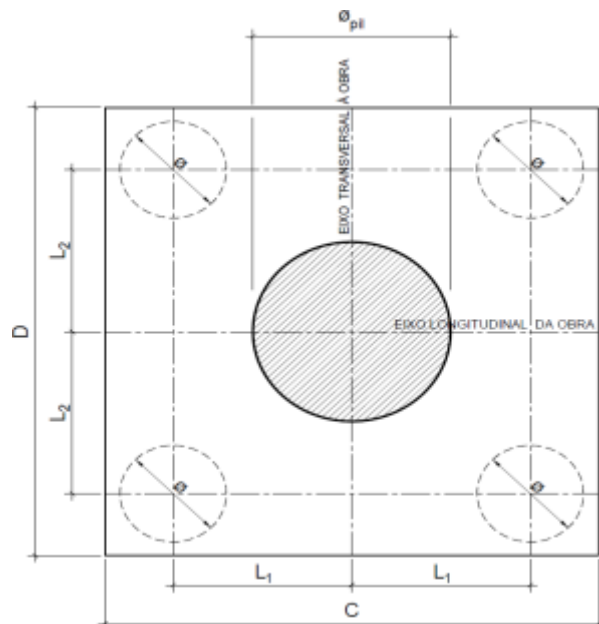
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 109 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

13. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\varnothing_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\varnothing_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

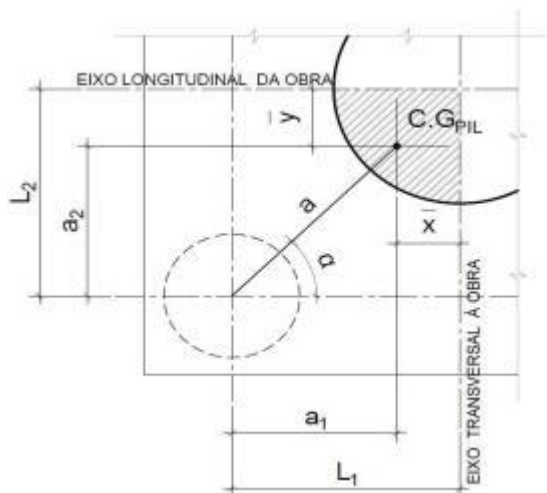
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 110 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\bar{x} = 0,255 \text{ m}$$

$$\bar{y} = 0,255 \text{ m}$$

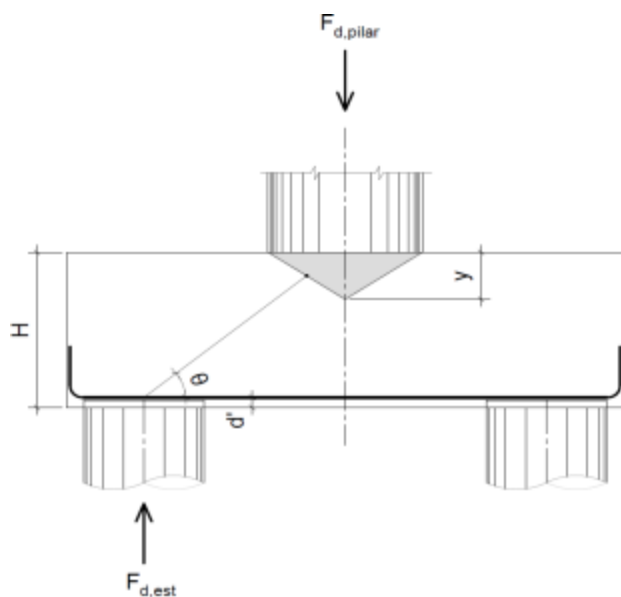
$$a_1 = 0,95 \text{ m}$$

$$a_2 = 0,95 \text{ m}$$

$$a = 1,34 \text{ m}$$

$$\alpha = 45,00^\circ$$

Projeção vertical da biela:



$$H = 1,50 \text{ m}$$

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

$$d = 1,35 \text{ m}$$

$$y = 0,2 \text{ m}$$

$$z = 1,25 \text{ m}$$


$$\theta = 43,08^\circ$$

$$F_{d,est} = 3310,00 \text{ kN}$$

$$F_{d,pilar} = 13240,00 \text{ kN}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

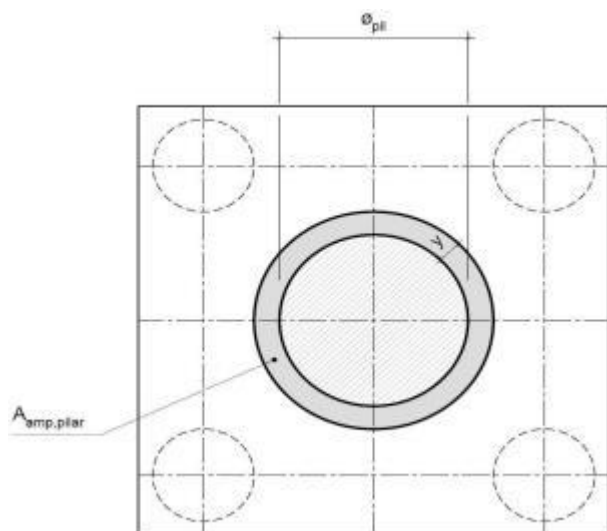
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 111 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

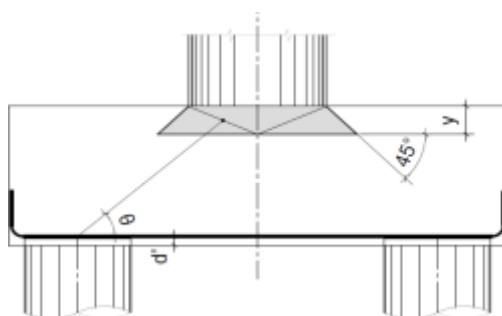
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{anp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

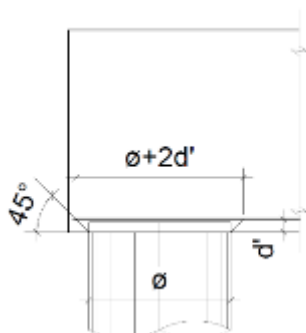
$$A_{amp,pilar} = 2,01 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 14,12 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 112 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 7,47 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3540,19 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,Long} = 2503,29 \text{ kN} \quad A_{s,tir,Long} = 57,58 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2503,29 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 57,58 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,Long} = 46,06 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 46,06 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,Long} = 11,52 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 11,52 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 113 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

14. Cálculo do Apoio de AP-7

14. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \qquad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \qquad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \qquad h \text{ (m)} = 3,00 \qquad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,N_{\min}} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \qquad A_{c,N_{\min}} = 0,15\% \cdot A_c \qquad A_{s,\min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \qquad M_{d,\min} = 4744,41 \qquad A_{s,\min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-6495,36	2,85	0,152	2,789	0,036	53,56
Inferior	6606,55	2,85	0,155	2,788	0,036	54,50

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN)} = 5811,00 \qquad \rho_{sw}^{\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \qquad a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \qquad n^{pernas} = 4$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 3210,70 \qquad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,79$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,42$$

$$\rho_{sw}^{m\acute{a}x/\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,42$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 114 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1110,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 7,39 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl}/U_e \text{ (cm}^2\text{/m)} = 7,39$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2\text{)} = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{sl} \text{ (cm}^2\text{)} = 48,39$$

$$A_{sl,costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 17,92 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl,flex\acute{o}e} \text{ (cm}^2\text{)} = 6,27 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2085,00$$

$$i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,75$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,88$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 14,09$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n_{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:	Torção:	Suspensão:
$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,79$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 14,79$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,88$
Arm. mínima:	Total:	
$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 78,46$	$s \text{ (cm)} = 10,3$
$\phi \text{ (mm)} = 16$	$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 74,72$	
$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$		
$n_{pernas} = 4$		

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,557 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cN}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{)}$
Long. Superior	59,84
Long. Inferior	60,77

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	4	10,3

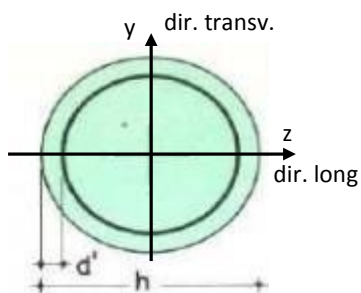
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Long. Pele	5,97

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 115 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

14. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil}(m) = 1,20 \quad h_{pil}(m) = 10,70 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z}(m) = 7,70$$

$$l_{e,z}(m) = 21,40$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y}(m) = 7,70$$

$$l_{e,y}(m) = 8,90$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y(m^4) = 0,10179$$

$$A(m^2) = 1,1310$$

$$i_z(m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 71,33$$

- segundo a direção y

$$I_z(m^4) = 0,10179$$


$$i_y(m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 29,67$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

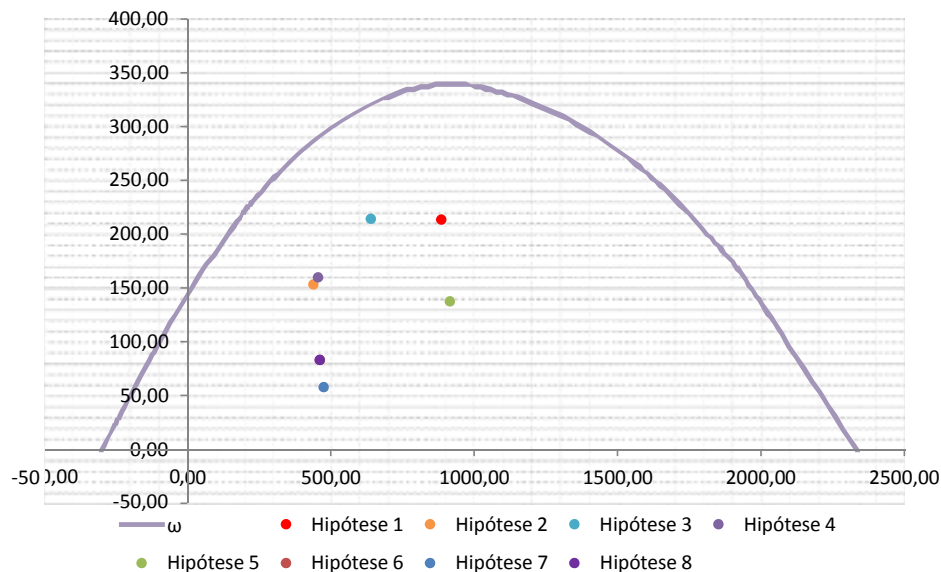
 Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	116 / 320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	8857,72	422,53	-312,71	8857,72	2112,73	-312,71	2135,75
	N _{mín}	4403,02	567,69	-601,63	4403,02	1407,86	-601,63	1531,02
	M _{y,máx}	6402,73	889,58	-360,24	6402,73	2111,33	-360,24	2141,84
	M _{z,máx}	4556,43	610,49	-604,31	4556,43	1479,94	-604,31	1598,57
Seção Base	N _{máx}	9151,63	-436,16	415,11	9151,63	1310,13	415,11	1374,32
	N _{mín}	4620,74	-715,13	812,31	4620,74	166,59	812,31	829,22
	M _{y,máx}	4757,77	-1172,26	512,48	4757,77	-264,40	512,48	576,67
	M _{z,máx}	4620,74	-715,13	812,31	4620,74	166,59	812,31	829,22

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 31,57 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 117 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

14. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6509,89$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -619,84$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 707,72$$

$$H_L \text{ (kN)} = -110,44$$

$$H_T \text{ (kN)} = 121,15$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2315,00	160,00	175,00	237,12
	Menos carregada	1240,00	160,00	175,00	237,12
Seção Tubular	Mais carregada	2425,00	75,00	85,00	113,36
	Menos carregada	1330,00	75,00	85,00	113,36

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 127,39$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4770,95$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1185,27$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 783,19$$

$$H_L \text{ (kN)} = -202,64$$

$$H_T \text{ (kN)} = 132,60$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 118 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2125,00	280,00	185,00	335,60
	Menos carregada	560,00	280,00	185,00	335,60
Seção Tubular	Mais carregada	2235,00	140,00	90,00	166,43
	Menos carregada	645,00	140,00	90,00	166,43

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 130,85$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5567,48$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -332,70$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 751,10$$

$$H_L \text{ (kN)} = -150,54$$

$$H_T \text{ (kN)} = 127,23$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2085,00	220,00	180,00	284,25
	Menos carregada	995,00	220,00	180,00	284,25
Seção Tubular	Mais carregada	2195,00	95,00	90,00	130,86
	Menos carregada	1085,00	95,00	90,00	130,86

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 121,44$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4770,95$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1185,27$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 783,19$$

$$H_L \text{ (kN)} = -202,64$$


$$H_T \text{ (kN)} = 132,60$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2125,00	280,00	185,00	335,60
	Menos carregada	560,00	280,00	185,00	335,60
Seção Tubular	Mais carregada	2235,00	140,00	90,00	166,43
	Menos carregada	648,00	140,00	90,00	166,43

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 130,85$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 119 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 9151,63 & M_L \text{ (kN.m)} = -603,43 & M_T \text{ (kN.m)} = 556,89 \\
H_L \text{ (kN)} = -111,52 & & H_T \text{ (kN)} = 94,52
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2910,00	165,00	140,00	216,39
	Menos carregada	1965,00	165,00	140,00	216,39

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 4620,74 & M_L \text{ (kN.m)} = -965,03 & M_T \text{ (kN.m)} = 1087,75 \\
H_L \text{ (kN)} = -166,60 & & H_T \text{ (kN)} = 183,63
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2125,00	230,00	255,00	343,40
	Menos carregada	490,00	230,00	255,00	343,40

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 4757,77 & M_L \text{ (kN.m)} = -1563,01 & M_T \text{ (kN.m)} = 685,52 \\
H_L \text{ (kN)} = -260,50 & & H_T \text{ (kN)} = 115,36
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2225,00	340,00	160,00	375,77
	Menos carregada	455,00	340,00	160,00	375,77

 Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 120 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4620,74$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -965,03$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 1087,75$$

$$H_L \text{ (kN)} = -166,60$$

$$H_T \text{ (kN)} = 183,63$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2125,00	230,00	255,00	343,40
	Menos carregada	490,00	230,00	255,00	343,40

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 10,04$$

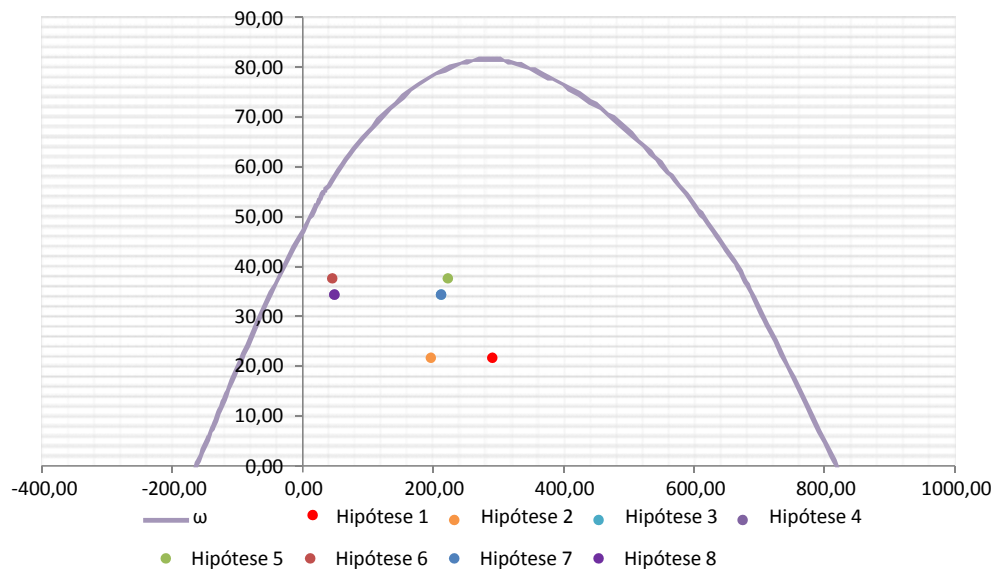
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

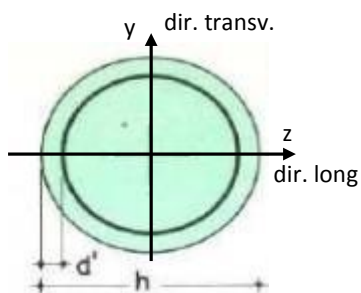
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 121 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

14. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil}(m) = 1,20 \quad h_{pil}(m) = 10,70 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z}(m) = 7,70$$

$$l_{e,z}(m) = 21,40$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y}(m) = 7,70$$

$$l_{e,y}(m) = 8,90$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y(m^4) = 0,10179$$

$$A(m^2) = 1,1310$$

$$i_z(m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 71,33$$

- segundo a direção y

$$I_z(m^4) = 0,10179$$


$$i_y(m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 29,67$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(u+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad u = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	122 / 320

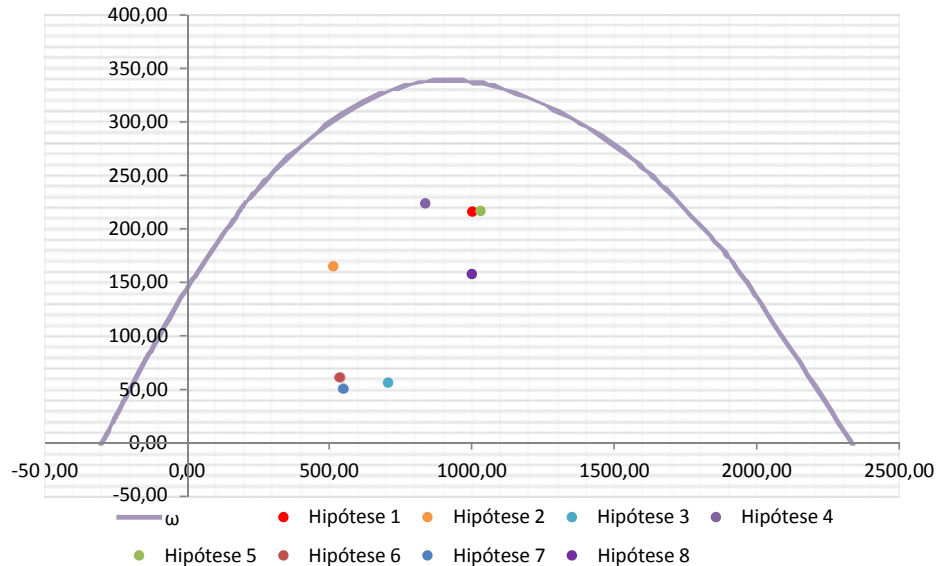
		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	10025,77	149,04	-646,87	10025,77	2062,12	-646,87	2161,20
	N _{mín}	5152,96	617,58	-393,30	5152,96	1600,85	-393,30	1648,46
	M _{y,máx}	7069,33	-930,51	-376,09	7069,33	418,44	-376,09	562,62
	M _{z,máx}	8377,47	518,21	-723,79	8377,47	2116,77	-723,79	2237,10
Seção Base	N _{máx}	10319,69	25,10	845,17	10319,69	1994,26	845,17	2165,96
	N _{mín}	5370,67	-659,93	470,73	5370,67	364,88	470,73	595,59
	M _{y,máx}	5477,85	-1172,82	475,59	5477,85	-127,55	475,59	492,39
	M _{z,máx}	10015,19	-592,13	867,00	10015,19	1318,94	867,00	1578,38

- Verificação da Armadura Adotada:

\varnothing (m) = 1,200	f_{yk} (kN/cm ²) = 50,0	f_{ck} (MPa) = 30,0
c (m) = 0,060	γ_s = 1,15	γ_c = 1,4
$A_{s,min1}$ (cm ²) = 45,24	f_{yd} (tf/cm ²) = 43,478	f_{cd} (MPa) = 21,429
$A_{s,min2}$ (cm ²) = 35,60	E_s (kN/cm ²) = 20000	σ_{cd} = 0,85 x fcd
A_c (m ²) = 1,13		

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12$$

$$\omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 123 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

14. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rizezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 7427,97 & M_L \text{ (kN.m)} &= -615,52 & M_T \text{ (kN.m)} &= 790,12 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -109,41 & H_T \text{ (kN)} &= 133,91
 \end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2570,00	160,00	190,00	248,39
	Menos carregada	1440,00	160,00	190,00	248,39
Seção Tubular	Mais carregada	2680,00	75,00	95,00	121,04
	Menos carregada	1530,00	75,00	95,00	121,04

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 139,86 \quad \sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175 \quad \text{Ok!}$$

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 5445,61 & M_L \text{ (kN.m)} &= -1147,57 & M_T \text{ (kN.m)} &= 752,36 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -202,16 & H_T \text{ (kN)} &= 130,55
 \end{aligned}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 124 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2280,00	280,00	185,00	335,60
	Menos carregada	745,00	280,00	185,00	335,60
Seção Tubular	Mais carregada	2390,00	140,00	90,00	166,43
	Menos carregada	830,00	140,00	90,00	166,43

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 137,42$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de |M_{L,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5513,55$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1191,06$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 766,73$$

$$H_L \text{ (kN)} = -206,45$$

$$H_T \text{ (kN)} = 131,86$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2315,00	285,00	185,00	339,78
	Menos carregada	745,00	285,00	185,00	339,78
Seção Tubular	Mais carregada	2425,00	140,00	90,00	166,43
	Menos carregada	830,00	140,00	90,00	166,43

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 138,91$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de |M_{T,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7224,97$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1153,76$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 812,31$$

$$H_L \text{ (kN)} = -193,92$$


$$H_T \text{ (kN)} = 139,00$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2735,00	270,00	200,00	336,01
	Menos carregada	1175,00	270,00	200,00	336,01
Seção Tubular	Mais carregada	2850,00	135,00	95,00	165,08
	Menos carregada	1265,00	135,00	95,00	165,08

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 156,63$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 125 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 10319,69 & M_L \text{ (kN.m)} = 0,95 & M_T \text{ (kN.m)} = 1135,82 \\
H_L \text{ (kN)} = -16,10 & & H_T \text{ (kN)} = 193,77
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3200,00	40,00	275,00	277,89
	Menos carregada	2260,00	40,00	275,00	277,89

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 5370,67 & M_L \text{ (kN.m)} = -908,80 & M_T \text{ (kN.m)} = 639,06 \\
H_L \text{ (kN)} = -165,91 & & H_T \text{ (kN)} = 112,21
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2125,00	230,00	160,00	280,18
	Menos carregada	860,00	230,00	160,00	280,18

- Situação de $|M_{L,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 5477,85 & M_L \text{ (kN.m)} = -1572,22 & M_T \text{ (kN.m)} = 639,95 \\
H_L \text{ (kN)} = -266,27 & & H_T \text{ (kN)} = 109,58
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2400,00	365,00	155,00	396,55
	Menos carregada	640,00	365,00	155,00	396,55

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 126 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 10015,19$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -806,41$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 1169,10$$

$$H_L \text{ (kN)} = -142,86$$

$$H_T \text{ (kN)} = 201,40$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3450,00	210,00	285,00	354,01
	Menos carregada	1860,00	210,00	285,00	354,01

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 11,90$$

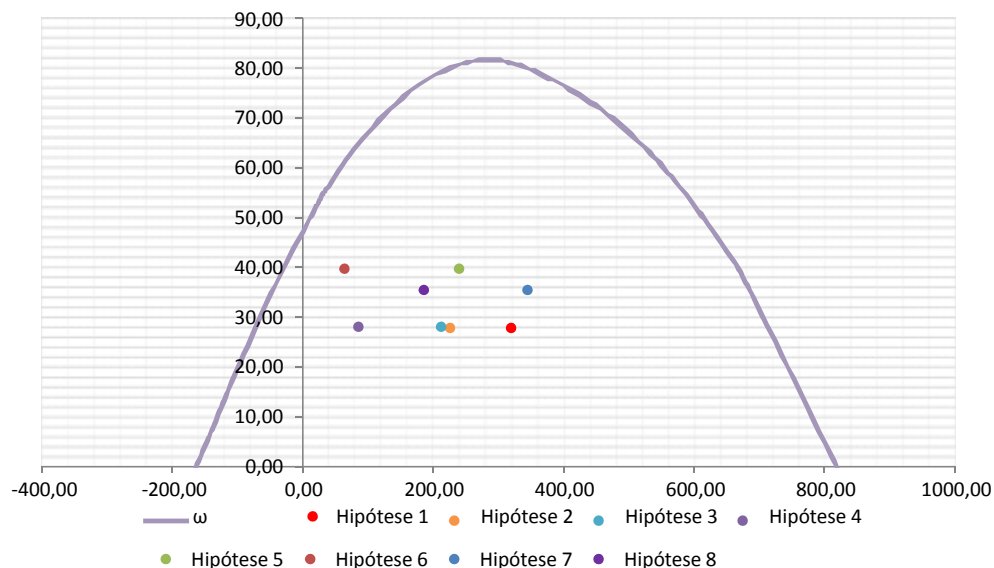
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

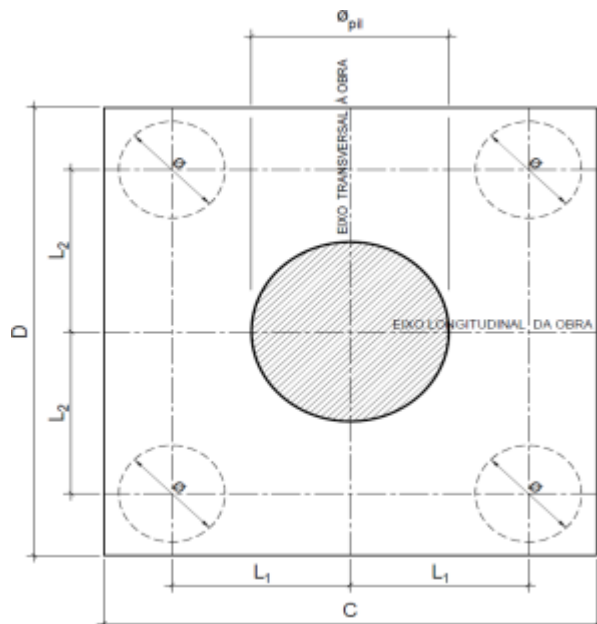
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 127 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

14. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\varnothing_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\varnothing_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

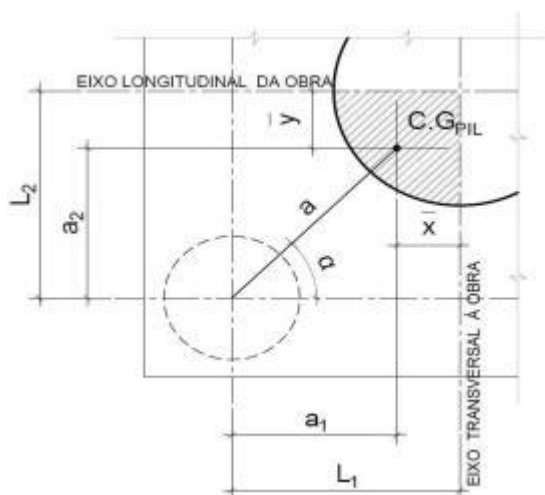
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	128
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\bar{x} = 0,255 \text{ m}$$

$$\bar{y} = 0,255 \text{ m}$$

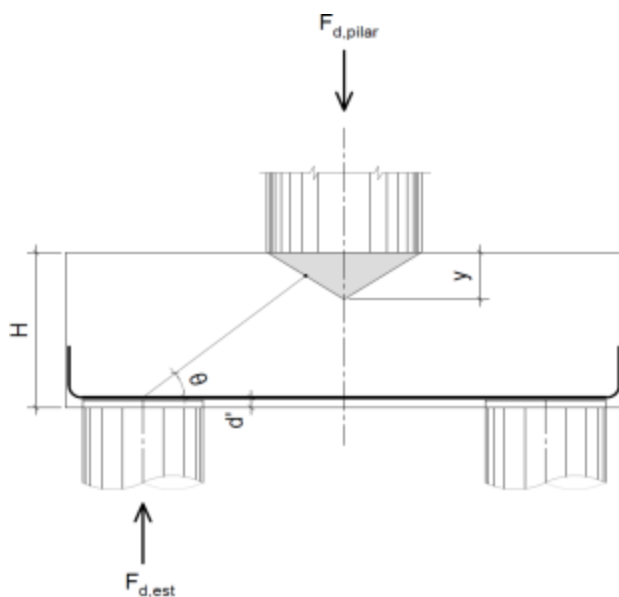
$$a_1 = 0,95 \text{ m}$$

$$a_2 = 0,95 \text{ m}$$

$$a = 1,34 \text{ m}$$

$$\alpha = 45,00^\circ$$

Projeção vertical da biela:



$$H = 1,50 \text{ m}$$

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

$$d = 1,35 \text{ m}$$

$$y = 0,2 \text{ m}$$

$$z = 1,25 \text{ m}$$


$$\theta = 43,08^\circ$$

$$F_{d,est} = 3450,00 \text{ kN}$$

$$F_{d,pilar} = 13800,00 \text{ kN}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

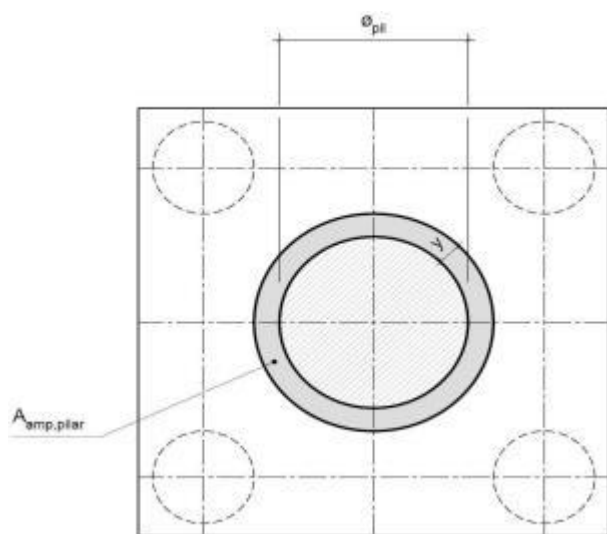
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 129 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

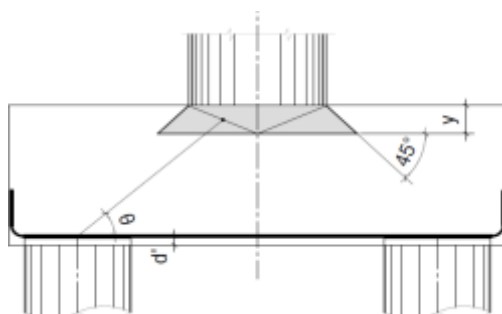
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{aNp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

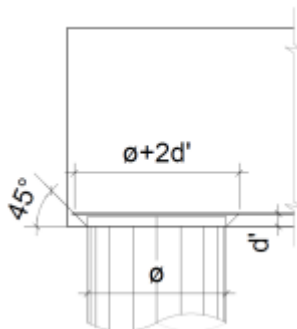
$$A_{amp,pilar} = 2,01 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 14,71 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 130 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 7,78 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3689,93 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 2609,17 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 60,01 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2609,17 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 60,01 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 48,01 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 48,01 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 12,00 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 12,00 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 131 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

15. Cálculo do Apoio de AP-8 e AP-11

15. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25 \qquad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \qquad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,334$$

$$b_w \text{ (m)} = 2,40 \qquad h \text{ (m)} = 1,50 \qquad d \text{ (m)} = 1,43$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,N_{\min}} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \qquad A_{c,N_{\min}} = 0,15\% \cdot A_c \qquad A_{s,\min} = 54,00 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 0,90000 \qquad M_{d,\min} = 2400,81 \qquad A_{s,\min} = 39,40 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-3856,50	1,43	0,095	1,387	0,044	63,96
Inferior	4446,82	1,43	0,111	1,381	0,051	74,07

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN)} = 8348,22 \qquad \rho_{sw}^{\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 10,26$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 14840,36 \qquad a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2631,65 \qquad n^{pernas} = 8$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 5716,57 \qquad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 102,52$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 42,72$$

$$\rho_{sw}^{m\acute{a}x/\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 42,72$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 132 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 3454,50$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 19,73 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl}/U \text{ (cm}^2/\text{m)} = 19,73$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,462$$

$$A_e \text{ (m}^2) = 2,013$$

$$U_e \text{ (m)} = 5,954$$

$$A_{sl} \text{ (cm}^2) = 117,50$$

$$A_{sl, costela} \text{ (cm}^2) = 22,60 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl, flex\acute{a}o} \text{ (cm}^2) = 36,15 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 7465,86 \quad \text{OK!!}$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 16,45$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2) = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção:

Cortante:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 102,52$$

Torção:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 39,47$$

Arm. mínima:

$$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 10,26$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2) = 2,011$$

$$n^{pernas} = 8$$

Total:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 141,99 \quad s \text{ (cm)} = 11,3$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 59,16$$

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 1,0 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:


$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\grave{s}Na} \leq 5,0 \text{ cN}^2/\text{N} \quad A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2/\text{m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2)$
Long. Superior	100,11
Long. Inferior	110,22

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	8	11,3

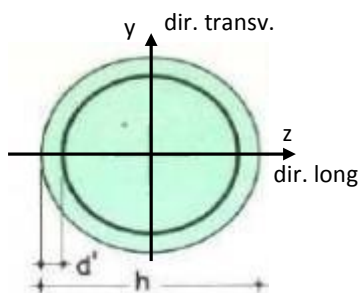
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2/\text{m)}$
Long. Pele	15,06

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 133 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

15. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,40 \quad h_{pil} (m) = 7,90 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 1,50 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 1,50 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 6,40$$

$$l_{e,z} (m) = 15,80$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 6,40$$

$$l_{e,y} (m) = 7,80$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,18857$$

$$A (m^2) = 1,5394$$

$$i_z (m) = 0,35000$$

$$\lambda_z = 45,14$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,18857$$


$$i_y (m) = 0,35000$$

$$\lambda_y = 22,29$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

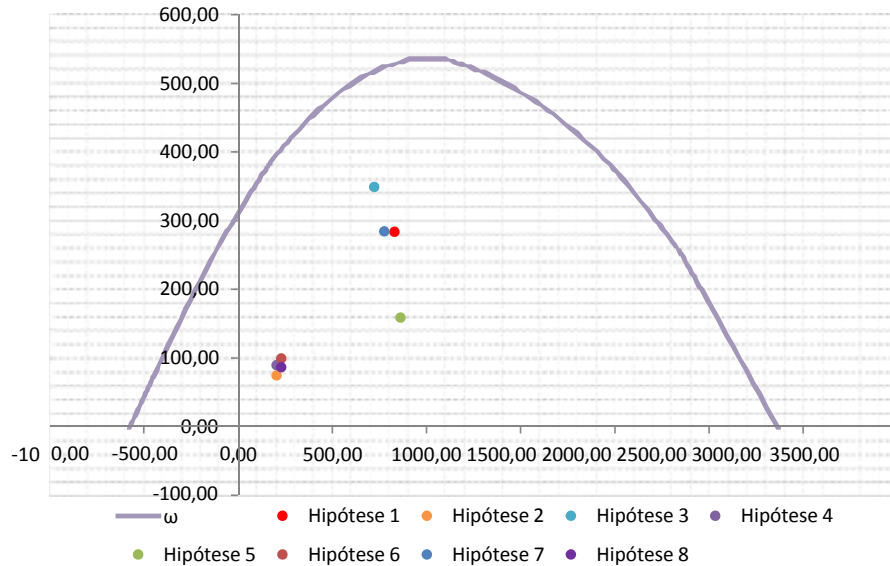
 Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	134 / 320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	8306,67	2089,60	230,03	8306,67	2830,20	230,03	2839,53
	N _{mín}	2059,15	386,09	-483,22	2059,15	569,68	-483,22	747,02
	M _{y,máx}	7241,32	2839,77	199,59	7241,32	3485,38	199,59	3491,09
	M _{z,máx}	2059,15	570,63	-483,96	2059,15	754,22	-483,96	896,14
Seção Base	N _{máx}	8634,00	809,71	157,15	8634,00	1579,49	157,15	1587,29
	N _{mín}	2301,60	-701,86	858,54	2301,60	-496,66	858,54	991,84
	M _{y,máx}	7772,86	2088,60	582,30	7772,86	2781,61	582,30	2841,90
	M _{z,máx}	2301,60	-80,26	858,99	2301,60	124,94	858,99	868,03

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,400 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 25,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 61,58 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 17,857 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 29,79 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,54
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 132,54 \quad \omega = 0,210$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 61,6$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 1231,5$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 132,54 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 135 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

15. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6064,81$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 41,80$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 489,05$$

$$H_L \text{ (kN)} = -177,56$$

$$H_T \text{ (kN)} = 67,77$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2100,00	350,00	145,00	378,85
	Menos carregada	1400,00	350,00	145,00	378,85

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 2875,74$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1322,52$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 748,59$$

$$H_L \text{ (kN)} = -227,45$$

$$H_T \text{ (kN)} = 127,97$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 136 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1675,00	380,00	225,00	441,62
	Menos carregada	230,00	380,00	225,00	441,62

- Situação de $|M_{L,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 2875,74$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1322,52$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 748,59$$

$$H_L \text{ (kN)} = -227,45$$

$$H_T \text{ (kN)} = 127,97$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1675,00	380,00	225,00	441,62
	Menos carregada	230,00	380,00	225,00	441,62

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 2875,74$$


$$M_L \text{ (kN.m)} = -838,75$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 749,08$$

$$H_L \text{ (kN)} = -181,20$$

$$H_T \text{ (kN)} = 128,10$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1550,00	310,00	225,00	383,05
	Menos carregada	360,00	310,00	225,00	383,05

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 137 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de N_{\max}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 8634,00 & M_L \text{ (kN.m)} &= 504,97 & M_T \text{ (kN.m)} &= 139,80 \\
H_L \text{ (kN)} &= -203,16 & H_T \text{ (kN)} &= -11,57
\end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2560,00	415,00	80,00	422,64
	Menos carregada	2225,00	415,00	80,00	422,64
Base	Mais carregada	3675,00	15,00	1,00	15,03
	Menos carregada	3200,00	15,00	1,00	15,03

- Situação de N_{\min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 2301,60 & M_L \text{ (kN.m)} &= -960,90 & M_T \text{ (kN.m)} &= 1178,00 \\
H_L \text{ (kN)} &= -172,69 & H_T \text{ (kN)} &= 212,98
\end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1575,00	295,00	360,00	465,43
	Menos carregada	45,00	295,00	360,00	465,43
Base	Mais carregada	2705,00	15,00	20,00	25,00
	Menos carregada	1020,00	15,00	20,00	25,00

- Situação de $|M_{L,\max}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 7772,86 & M_L \text{ (kN.m)} &= 1927,61 & M_T \text{ (kN.m)} &= 739,78 \\
H_L \text{ (kN)} &= -107,33 & H_T \text{ (kN)} &= 104,99
\end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2580,00	285,00	215,00	357,00
	Menos carregada	1775,00	285,00	215,00	357,00
Base	Mais carregada	3710,00	5,00	10,00	11,18
	Menos carregada	2740,00	5,00	10,00	11,18

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 138 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 2301,60 & M_L \text{ (kN.m)} &= -235,24 & M_T \text{ (kN.m)} &= 1178,74 \\
 H_L \text{ (kN)} &= -103,32 & H_T \text{ (kN)} &= 213,17
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1385,00	190,00	355,00	402,65
	Menos carregada	235,00	190,00	355,00	402,65
Base	Mais carregada	2515,00	10,00	20,00	22,36
	Menos carregada	1195,00	10,00	20,00	22,36

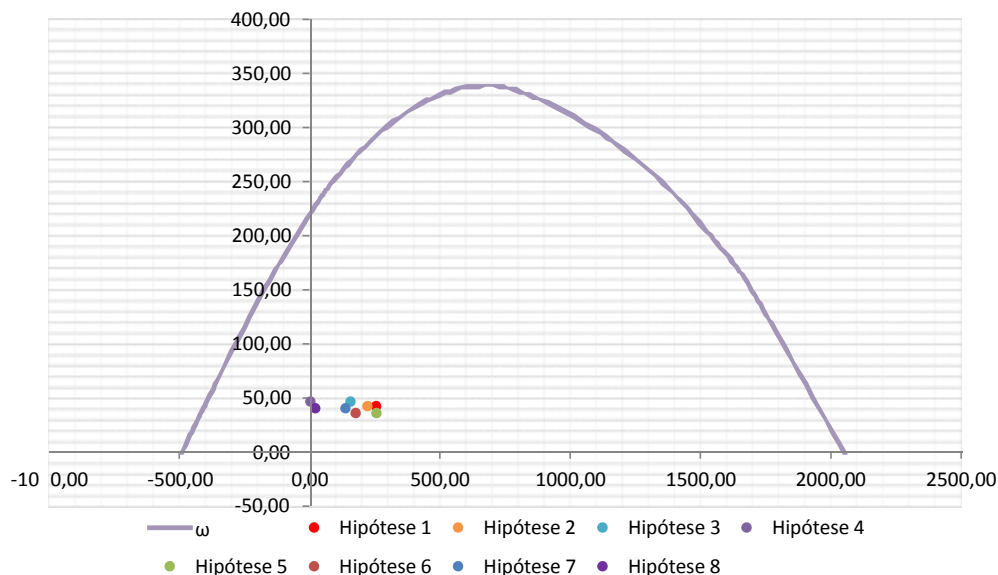
- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho em solo:

- parâmetros das estacas

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 25,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,070 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,5 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 16,667 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 8,90 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 112,90 \quad \omega = 0,260$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 112,90 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$


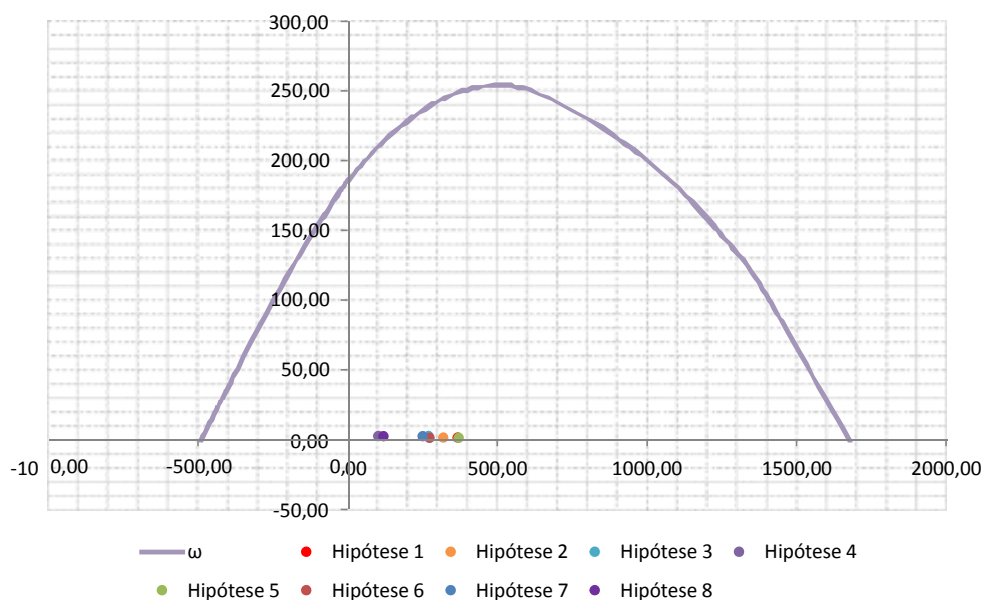
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 139 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Diagrama de iteração para as estacas no trecho em rocha:

- parâmetros das estacas

ϕ (m) = 1,050	f_{yk} (kN/cm ²) = 50,0	f_{ck} (MPa) = 25,0
c (m) = 0,070	γ_s = 1,15	γ_c = 1,5
$A_{s,min1}$ (cm ²) = 34,64	f_{yd} (tf/cm ²) = 43,478	f_{cd} (MPa) = 16,667
$A_{s,min2}$ (cm ²) = 12,80	E_s (kN/cm ²) = 20000	σ_{cd} = 0,85 x f_{cd}
A_c (m ²) = 0,866		
A_s (cm ²) = 112,90	ω = 0,340	




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 34,6$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 692,7$$

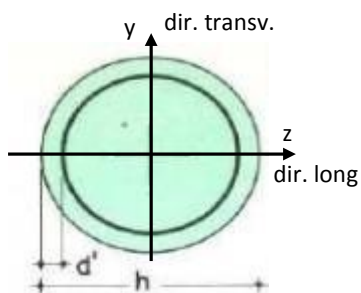
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 112,90 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 140 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

15. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,40 \quad h_{pil} (m) = 7,90 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 1,50 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 1,50 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 6,40$$

$$l_{e,z} (m) = 15,80$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 6,40$$

$$l_{e,y} (m) = 7,80$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,18857$$

$$A (m^2) = 1,5394$$

$$i_z (m) = 0,35000$$

$$\lambda_z = 45,14$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,18857$$

$$i_y (m) = 0,35000$$

$$\lambda_y = 22,29$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

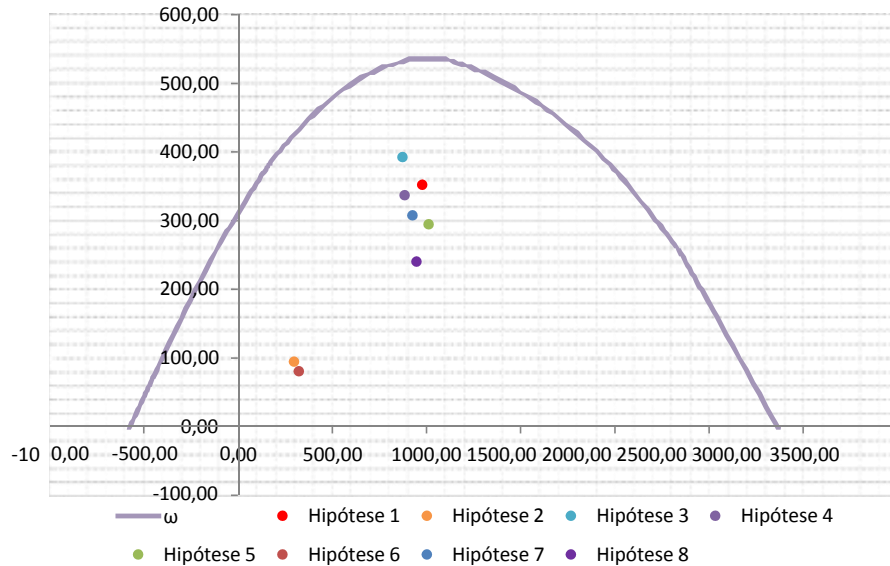
$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	9794,82	2397,00	-1311,93	9794,82	3270,27	-1311,93	3523,61
	N _{mín}	2984,04	420,76	-650,40	2984,04	686,81	-650,40	945,90
	M _{y,máx}	8728,50	2916,48	-1320,64	8728,50	3694,69	-1320,64	3923,63
	M _{z,máx}	8849,49	2247,49	-1461,62	8849,49	3036,49	-1461,62	3369,95
Seção Base	N _{máx}	10122,01	1698,63	1386,05	10122,01	2601,08	1386,05	2947,33
	N _{mín}	3226,51	-709,51	686,01	3226,51	-421,84	686,01	805,33
	M _{y,máx}	9270,63	2091,26	977,43	9270,63	2917,80	977,43	3077,17
	M _{z,máx}	9485,74	1088,90	1429,76	9485,74	1934,62	1429,76	2405,62

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned} \phi \text{ (m)} &= 1,400 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 25,0 \\ c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\ A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 61,58 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 17,857 \\ A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 34,92 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\ A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,54 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 132,54 \quad \omega = 0,210$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 61,6$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 1231,5$$

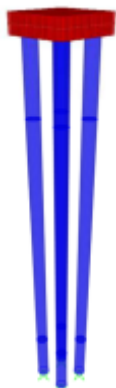
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 132,54 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 142 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

15. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7245,08$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 31,78$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 1452,27$$

$$H_L \text{ (kN)} = -184,74$$

$$H_T \text{ (kN)} = 307,12$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2825,00	370,00	540,00	654,60
	Menos carregada	1265,00	370,00	540,00	654,60

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 3749,42$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1338,00$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 1201,60$$

$$H_L \text{ (kN)} = -233,70$$

$$H_T \text{ (kN)} = 251,67$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 143 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2110,00	400,00	430,00	587,28
	Menos carregada	230,00	400,00	430,00	587,28

- Situação de $|M_{L,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 3749,42 & M_L \text{ (kN.m)} = -1338,00 & M_T \text{ (kN.m)} = 1201,60 \\
& H_L \text{ (kN)} = -233,70 & H_T \text{ (kN)} = 251,67
\end{array}$$


Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2110,00	400,00	430,00	587,28
	Menos carregada	230,00	400,00	430,00	587,28

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 6820,90 & M_L \text{ (kN.m)} = -442,63 & M_T \text{ (kN.m)} = 1509,46 \\
& H_L \text{ (kN)} = -230,02 & H_T \text{ (kN)} = 325,82
\end{array}$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2870,00	430,00	570,00	714,00
	Menos carregada	1005,00	430,00	570,00	714,00

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 144 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de N_{\max}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 10122,01 & M_L \text{ (kN.m)} &= 1532,38 & M_T \text{ (kN.m)} &= 2028,42 \\
H_L \text{ (kN)} &= -110,84 & H_T \text{ (kN)} &= 428,25
\end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3665,00	300,00	755,00	812,42
	Menos carregada	1865,00	300,00	755,00	812,42
Base	Mais carregada	4795,00	6,00	35,00	35,51
	Menos carregada	2825,00	6,00	35,00	35,51

- Situação de N_{\min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 3226,51 & M_L \text{ (kN.m)} &= -978,62 & M_T \text{ (kN.m)} &= 1004,20 \\
H_L \text{ (kN)} &= -179,41 & H_T \text{ (kN)} &= 212,13
\end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1790,00	310,00	365,00	478,88
	Menos carregada	290,00	310,00	365,00	478,88
Base	Mais carregada	2920,00	15,00	20,00	25,00
	Menos carregada	1255,00	15,00	20,00	25,00

- Situação de $|M_{L,\max}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 9270,63 & M_L \text{ (kN.m)} &= 1914,04 & M_T \text{ (kN.m)} &= 1458,12 \\
H_L \text{ (kN)} &= -118,14 & H_T \text{ (kN)} &= 320,46
\end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3295,00	310,00	570,00	648,85
	Menos carregada	1810,00	310,00	570,00	648,85
Base	Mais carregada	4425,00	6,00	30,00	30,59
	Menos carregada	2770,00	6,00	30,00	30,59

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 145 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 9485,74$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 820,77$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 2114,21$$

$$H_L \text{ (kN)} = -178,76$$

$$H_T \text{ (kN)} = 456,29$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3530,00	400,00	800,00	894,43
	Menos carregada	1680,00	400,00	800,00	894,43
Base	Mais carregada	4660,00	15,00	40,00	42,72
	Menos carregada	2645,00	15,00	40,00	42,72

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho em solo:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 1,200$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,070$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,24$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 12,64$$

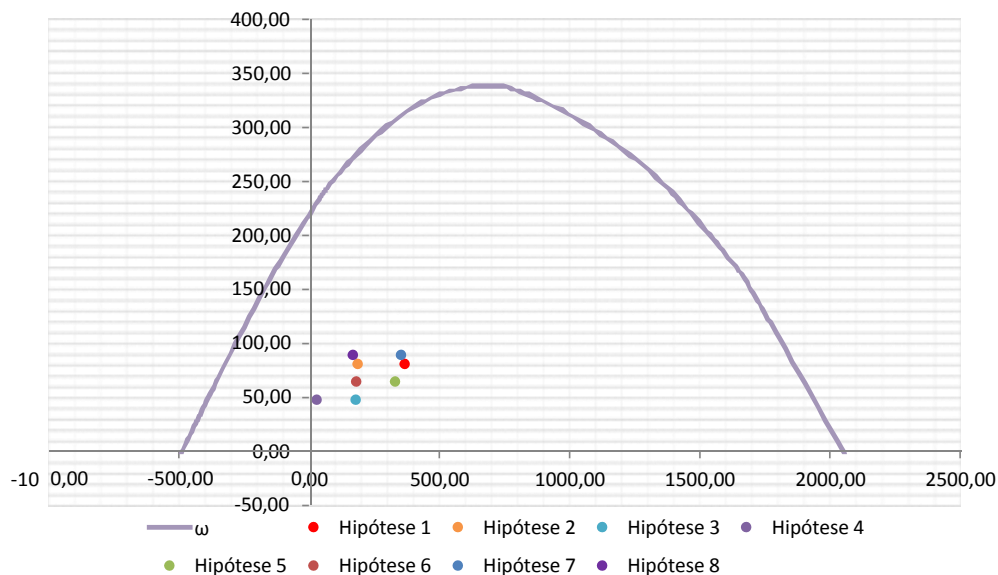
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 1,13$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 112,90$$

$$\omega = 0,260$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 112,90 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$


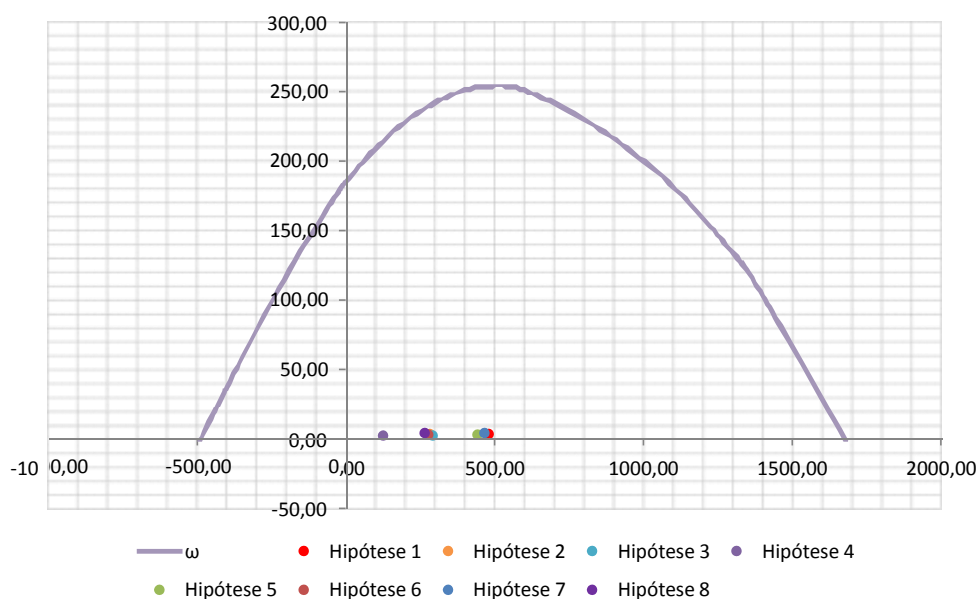
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 146 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Diagrama de iteração para as estacas no trecho em rocha:

- parâmetros das estacas

$$\begin{array}{lll}
\phi \text{ (m)} = 1,050 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0 \\
c \text{ (m)} = 0,070 & \gamma_s = 1,15 & \gamma_c = 1,5 \\
A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 34,64 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667 \\
A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 16,54 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000 & \sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd} \\
A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,87 & &
\end{array}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 112,90 \quad \omega = 0,340$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

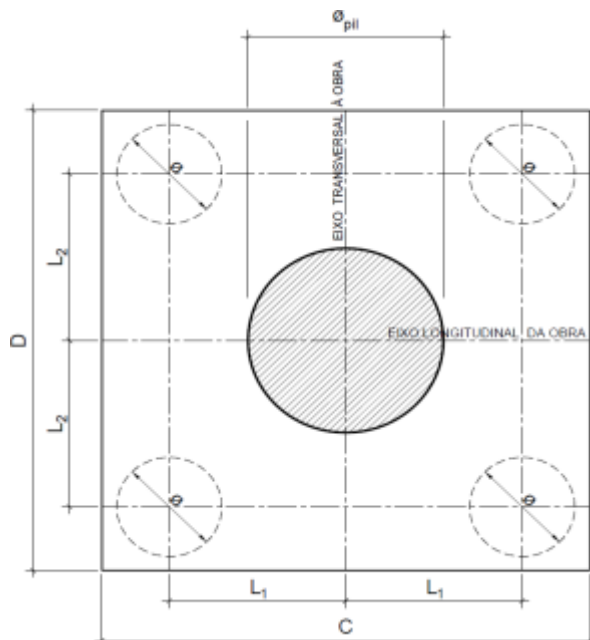
$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 34,6$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 692,7$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 112,90 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\varnothing_{pil} = 1,40 \text{ m}$$

$$C = 5,00 \text{ m}$$

$$D = 5,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,50 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,50 \text{ m}$$

$$\varnothing_{est} = 1,20 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$

$$\gamma_c = 1,4$$


$$f_{cd} = 17,86 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

$$\alpha_{v2} = 0,90$$

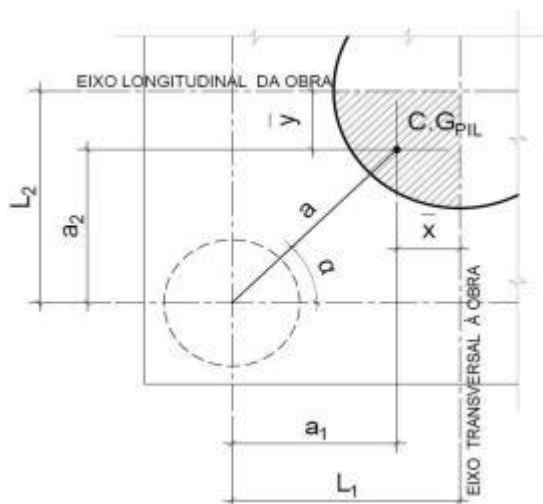
$$f_{cd1} = 13,66 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 11,57 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 148 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\bar{x} = 0,297 \text{ m}$$

$$\bar{y} = 0,297 \text{ m}$$

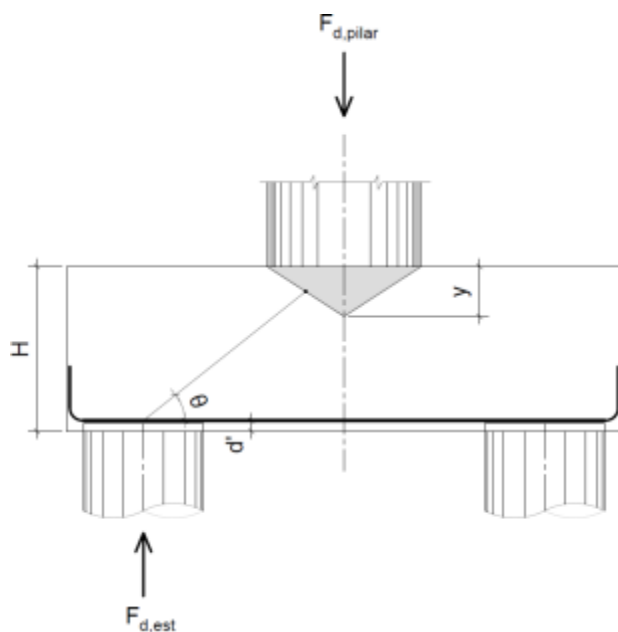
$$a_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$a_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$a = 1,70 \text{ m}$$

$$\alpha = 45,00^\circ$$

Projeção vertical da biela:



$$H = 1,50 \text{ m}$$

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

$$d = 1,35 \text{ m}$$

$$y = 0,35 \text{ m}$$

$$z = 1,18 \text{ m}$$


$$\theta = 34,63^\circ$$

$$F_{d,est} = 3665,00 \text{ kN}$$

$$F_{d,pilar} = 14660,00 \text{ kN}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

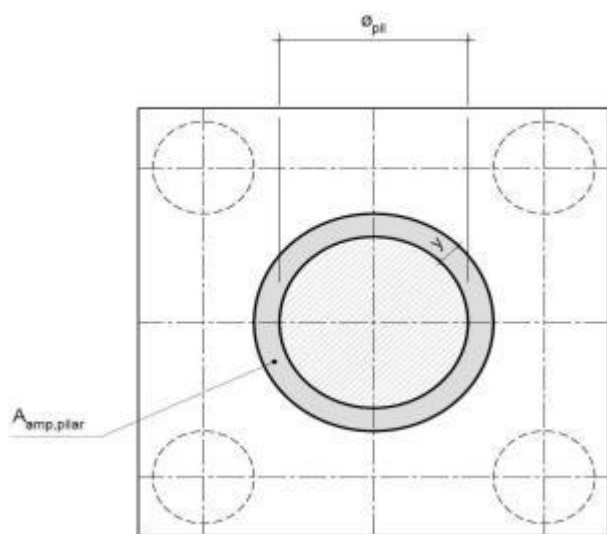
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 149 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

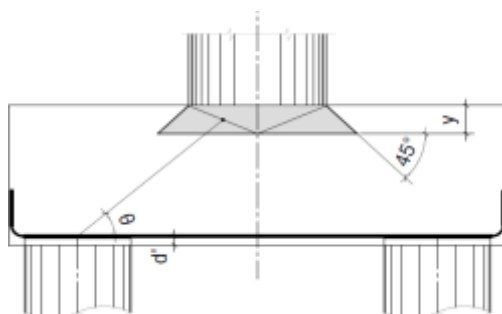
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{aNp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 13,66 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

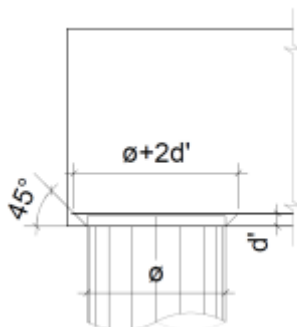
$$A_{amp,pilar} = 3,46 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 13,10 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 150 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 11,57 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 1,77 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 6,42 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 5306,21 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 3752,06 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 86,30 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 3752,06 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 86,30 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 69,04 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 69,04 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 17,26 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 17,26 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 151 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

16. Cálculo do Apoio de AP-12

16. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \quad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \quad h \text{ (m)} = 3,00 \quad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,Nin} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \quad A_{c,Nin} = 0,15\% \cdot A_c \quad A_{s,min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \quad M_{d,min} = 4744,41 \quad A_{s,min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-6460,71	2,85	0,151	2,789	0,035	53,27
Inferior	6598,60	2,85	0,155	2,788	0,036	54,43

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,máx} \text{ (kN)} = 5805,00 \quad \rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \quad a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \quad n^{pernas} = 4$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 3204,70 \quad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,74$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,37$$

$$\rho_{sw}^{máx/min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,37$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 152 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1105,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 7,36 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl}/U \text{ (cm}^2\text{/m)} = 7,36$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2\text{)} = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{sl}/U \text{ (cm}^2\text{/m)} = 7,36$$

$$A_{sl,costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 48,18$$

$$A_{sl,costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 17,84 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl,flex\acute{o}a} \text{ (cm}^2\text{)} = 6,25 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2075,00$$

$$i.e_{v\acute{i}gas} \text{ (m)} = 2,75$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,71$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 14,02$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,74$$

Torção:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 14,72$$

Suspensão:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,71$$

Arm. mínima:

$$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{pernas} = 4$$

Total:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 78,17$$

$$s \text{ (cm)} = 10,3$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 74,45$$

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,556 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cN}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{)}$
Long. Superior	59,52
Long. Inferior	60,68

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	4	10,3

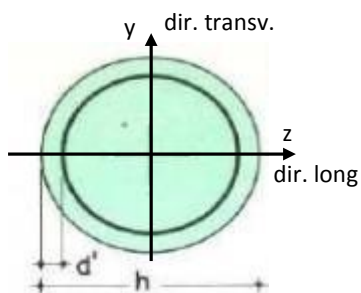
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Long. Pele	5,95

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 153 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

16. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil}(m) = 1,20 \quad h_{pil}(m) = 10,70 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z}(m) = 7,70$$

$$l_{e,z}(m) = 21,40$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y}(m) = 7,70$$

$$l_{e,y}(m) = 8,90$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y(m^4) = 0,10179$$

$$A(m^2) = 1,1310$$

$$i_z(m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 71,33$$

- segundo a direção y

$$I_z(m^4) = 0,10179$$


$$i_y(m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 29,67$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

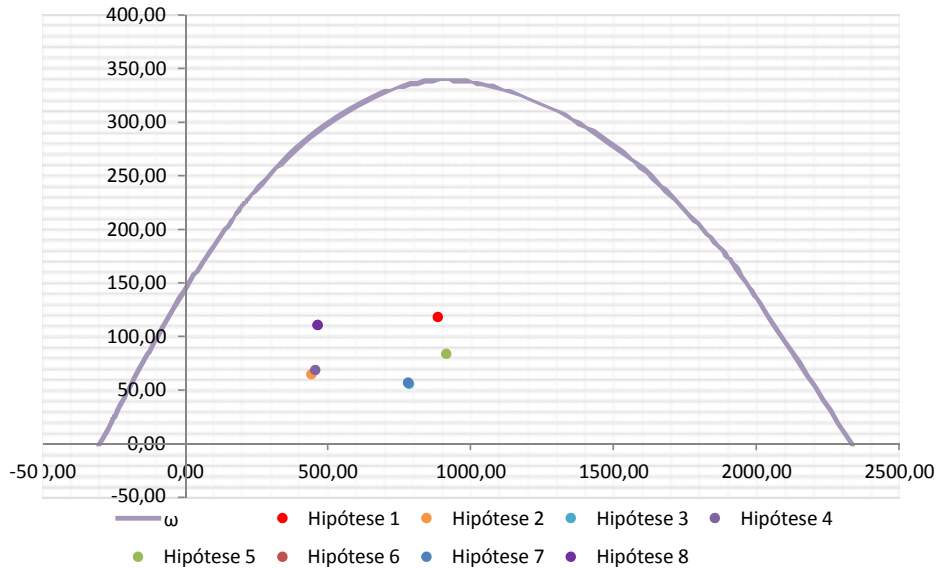
 Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	154 / 320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	8862,22	-546,95	-301,81	8862,22	1144,11	-301,81	1183,24
	N _{mín}	4430,17	-563,81	-584,36	4430,17	281,54	-584,36	648,65
	M _{y,máx}	7851,86	-1956,05	-319,34	7851,86	-457,78	-319,34	558,16
	M _{z,máx}	4571,35	-514,40	-586,07	4571,35	357,89	-586,07	686,70
Seção Base	N _{máx}	9156,13	-1011,91	403,20	9156,13	735,23	403,20	838,53
	N _{mín}	4647,88	-107,26	788,09	4647,88	779,63	788,09	1108,56
	M _{y,máx}	7821,50	-1854,80	438,78	7821,50	-362,32	438,78	569,04
	M _{z,máx}	4647,88	-107,26	788,09	4647,88	779,63	788,09	1108,56

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 31,59 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 155 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

16. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6516,88$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -674,99$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 687,27$$

$$H_L \text{ (kN)} = -25,74$$

$$H_T \text{ (kN)} = 117,53$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2215,00	35,00	170,00	173,57
	Menos carregada	1345,00	35,00	170,00	173,57
Seção Tubular	Mais carregada	2325,00	30,00	80,00	85,44
	Menos carregada	1430,00	30,00	80,00	85,44

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 117,09$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4792,67$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 80,70$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 760,13$$

$$H_L \text{ (kN)} = 71,30$$

$$H_T \text{ (kN)} = 128,75$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 156 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1750,00	110,00	180,00	210,95
	Menos carregada	945,00	110,00	180,00	210,95
Seção Tubular	Mais carregada	1865,00	45,00	90,00	100,62
	Menos carregada	1030,00	45,00	90,00	100,62

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 100,89$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5632,11$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1016,46$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 729,02$$

$$H_L \text{ (kN)} = 3,37$$

$$H_T \text{ (kN)} = 123,46$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2040,00	35,00	175,00	178,47
	Menos carregada	1080,00	35,00	175,00	178,47
Seção Tubular	Mais carregada	2150,00	25,00	85,00	88,60
	Menos carregada	1165,00	25,00	85,00	88,60

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 110,36$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4792,67$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 80,70$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 760,13$$

$$H_L \text{ (kN)} = 71,30$$


$$H_T \text{ (kN)} = 128,75$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1755,00	110,00	180,00	210,95
	Menos carregada	945,00	110,00	180,00	210,95
Seção Tubular	Mais carregada	1865,00	45,00	90,00	100,62
	Menos carregada	1030,00	45,00	90,00	100,62

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 100,89$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 157 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 9156,13 & M_L \text{ (kN.m)} &= -1102,49 & M_T \text{ (kN.m)} &= 540,54 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -60,38 & H_T \text{ (kN)} &= 91,56
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2940,00	80,00	140,00	161,25
	Menos carregada	1940,00	80,00	140,00	161,25

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 4647,88 & M_L \text{ (kN.m)} &= -18,33 & M_T \text{ (kN.m)} &= 1055,45 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 59,29 & H_T \text{ (kN)} &= 178,24
 \end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1800,00	95,00	245,00	262,77
	Menos carregada	825,00	95,00	245,00	262,77

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 7821,50 & M_L \text{ (kN.m)} &= -1960,32 & M_T \text{ (kN.m)} &= 582,58 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -70,35 & H_T \text{ (kN)} &= 95,86
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2795,00	75,00	140,00	158,82
	Menos carregada	1415,00	75,00	140,00	158,82

	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	158 / 320

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4647,88$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -18,33$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 1055,45$$

$$H_L \text{ (kN)} = 59,29$$

$$H_T \text{ (kN)} = 178,24$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1800,00	95,00	245,00	262,77
	Menos carregada	825,00	95,00	245,00	262,77

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 10,14$$

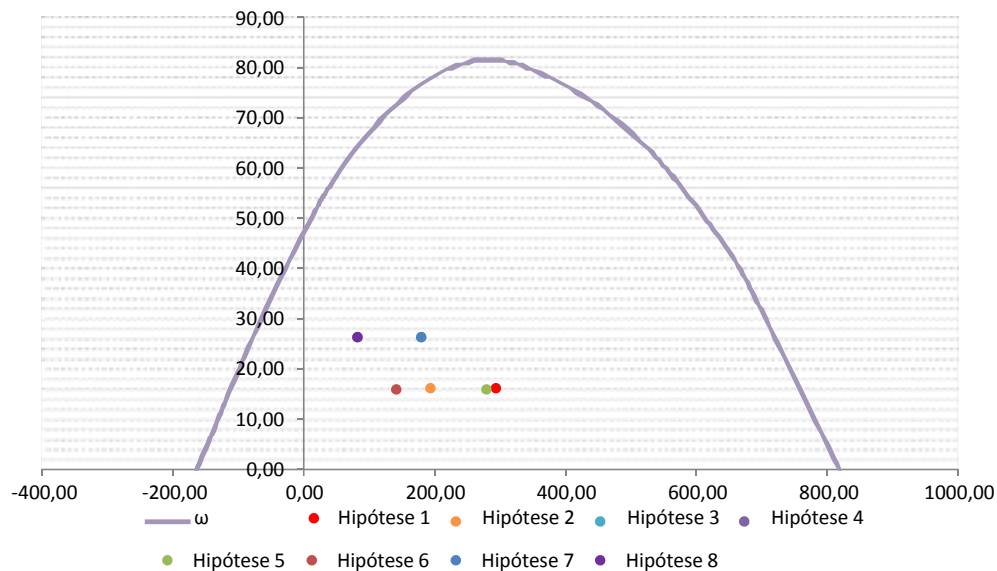
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

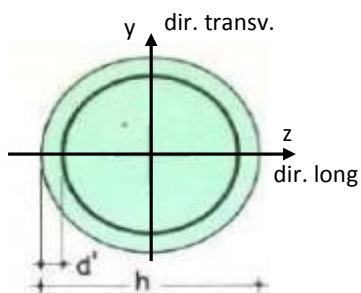
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 159 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

16. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil}(m) = 1,20 \quad h_{pil}(m) = 10,70 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z}(m) = 7,70$$

$$l_{e,z}(m) = 21,40$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y}(m) = 7,70$$

$$l_{e,y}(m) = 8,90$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y(m^4) = 0,10179$$

$$A(m^2) = 1,1310$$

$$i_z(m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 71,33$$

- segundo a direção y

$$I_z(m^4) = 0,10179$$


$$i_y(m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 29,67$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

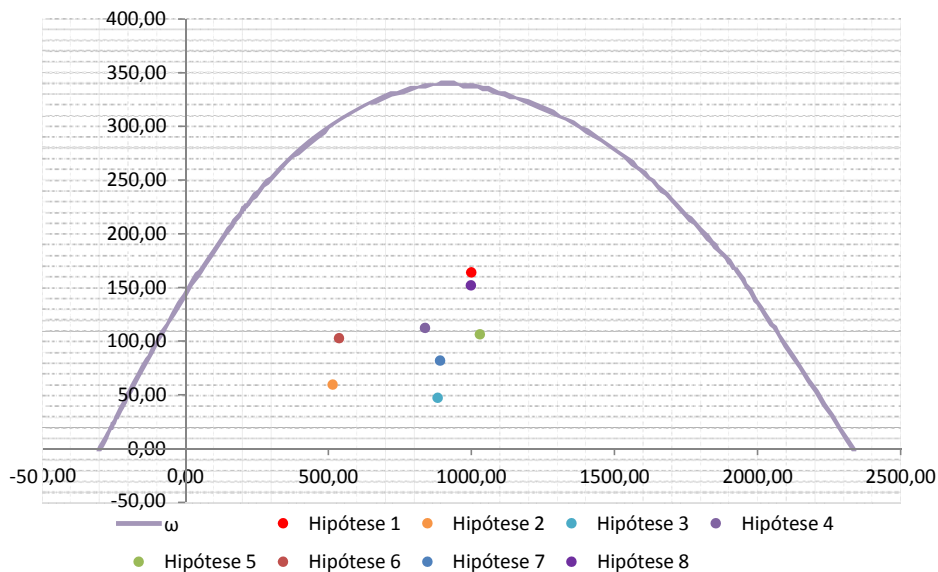
 Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	160 / 320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	10002,58	-394,39	-630,57	10002,58	1514,27	-630,57	1640,31
	N _{mín}	5159,96	-527,76	-381,49	5159,96	456,84	-381,49	595,18
	M _{y,máx}	8822,96	-1980,42	-368,69	8822,96	-296,85	-368,69	473,34
	M _{z,máx}	8390,00	-726,39	-704,94	8390,00	874,56	-704,94	1123,30
Seção Base	N _{máx}	10296,49	-1290,86	822,18	10296,49	673,88	822,18	1063,06
	N _{mín}	5377,67	-106,25	457,63	5377,67	919,90	457,63	1027,44
	M _{y,máx}	8912,05	-1862,94	800,57	8912,05	-162,37	800,57	816,87
	M _{z,máx}	9985,79	-643,00	843,18	9985,79	1262,45	843,18	1518,13

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 35,52 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 161 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

16. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7414,21$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -687,63$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 768,31$$

$$H_L \text{ (kN)} = -27,52$$

$$H_T \text{ (kN)} = 130,27$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2475,00	40,00	185,00	189,27
	Menos carregada	1530,00	40,00	185,00	189,27
Seção Tubular	Mais carregada	2585,00	30,00	90,00	94,87
	Menos carregada	1620,00	30,00	90,00	94,87

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 130,16$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 5449,01$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 74,58$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 730,91$$

$$H_L \text{ (kN)} = 67,88$$

$$H_T \text{ (kN)} = 126,76$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 162 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1905,00	110,00	180,00	210,95
	Menos carregada	1125,00	110,00	180,00	210,95
Seção Tubular	Mais carregada	2015,00	45,00	90,00	100,62
	Menos carregada	1210,00	45,00	90,00	100,62

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 107,25$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6491,25$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1022,15$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 754,71$$

$$H_L \text{ (kN)} = 3,73$$

$$H_T \text{ (kN)} = 130,81$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2270,00	40,00	185,00	189,27
	Menos carregada	1280,00	40,00	185,00	189,27
Seção Tubular	Mais carregada	2380,00	25,00	90,00	93,41
	Menos carregada	1365,00	25,00	90,00	93,41

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 121,15$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7207,07$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -129,71$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 789,66$$

$$H_L \text{ (kN)} = 56,49$$


$$H_T \text{ (kN)} = 135,18$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2310,00	100,00	195,00	219,15
	Menos carregada	1595,00	100,00	195,00	219,15
Seção Tubular	Mais carregada	2420,00	30,00	95,00	99,62
	Menos carregada	1680,00	30,00	95,00	99,62

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 124,20$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 163 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 10296,49 & M_L \text{ (kN.m)} = -1465,50 & M_T \text{ (kN.m)} = 1105,19 \\
& H_L \text{ (kN)} = -116,42 & H_T \text{ (kN)} = 188,67
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3585,00	160,00	270,00	313,85
	Menos carregada	1860,00	160,00	270,00	313,85

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 5377,67 & M_L \text{ (kN.m)} = -24,14 & M_T \text{ (kN.m)} = 621,09 \\
& H_L \text{ (kN)} = 54,74 & H_T \text{ (kN)} = 108,98
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1810,00	90,00	155,00	179,23
	Menos carregada	1180,00	90,00	155,00	179,23

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 8912,05 & M_L \text{ (kN.m)} = -1967,28 & M_T \text{ (kN.m)} = 1084,79 \\
& H_L \text{ (kN)} = -69,56 & H_T \text{ (kN)} = 189,48
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3275,00	75,00	270,00	280,22
	Menos carregada	1480,00	75,00	270,00	280,22

 Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 164 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 9985,79$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -628,62$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 1137,22$$

$$H_L \text{ (kN)} = 9,59$$

$$H_T \text{ (kN)} = 196,03$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3210,00	45,00	280,00	283,59
	Menos carregada	2085,00	45,00	280,00	283,59

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 12,37$$

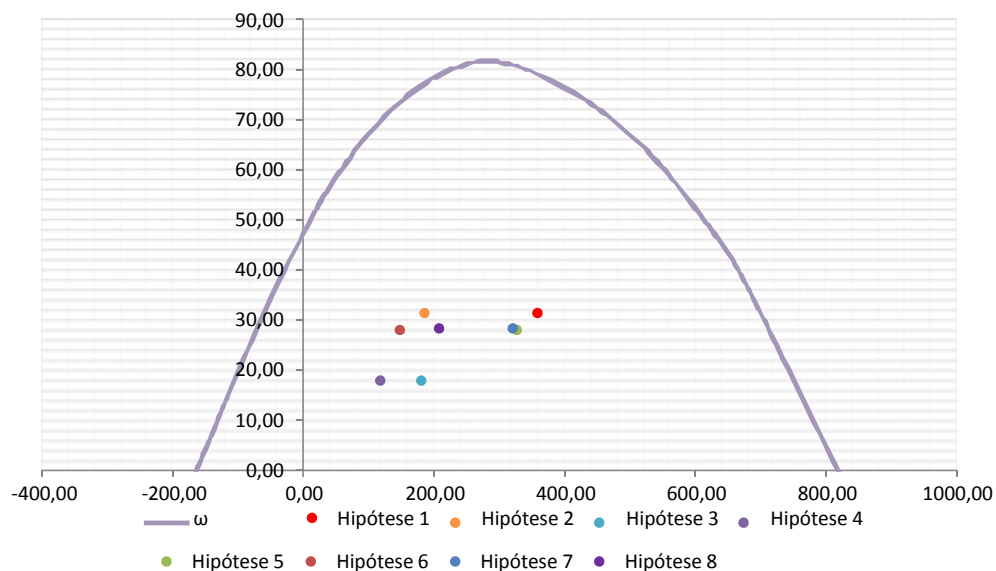
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

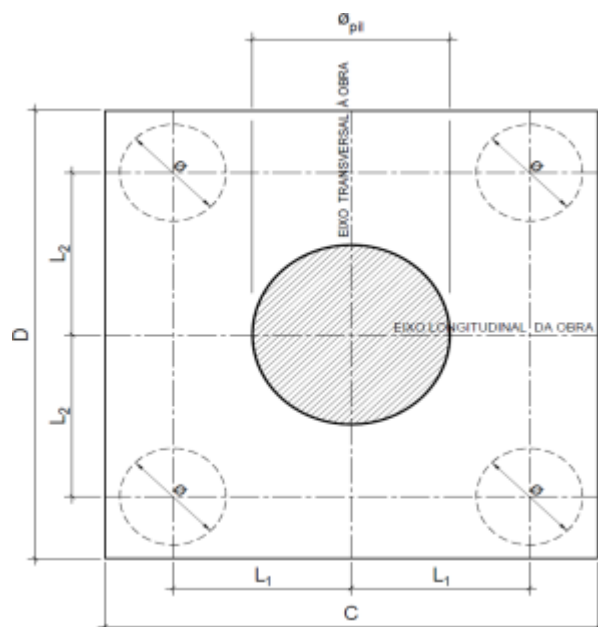
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 165 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

16. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\varnothing_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\varnothing_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

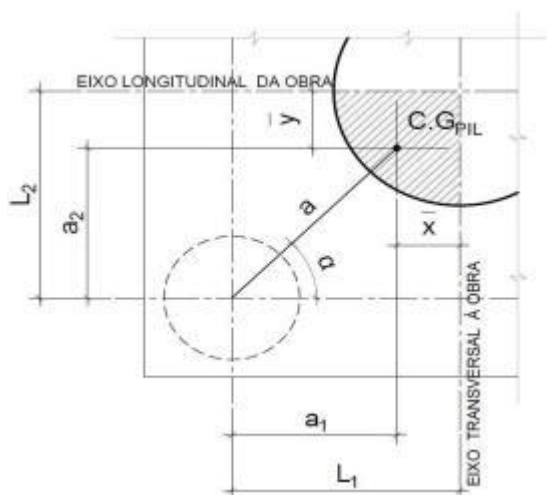
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 166 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

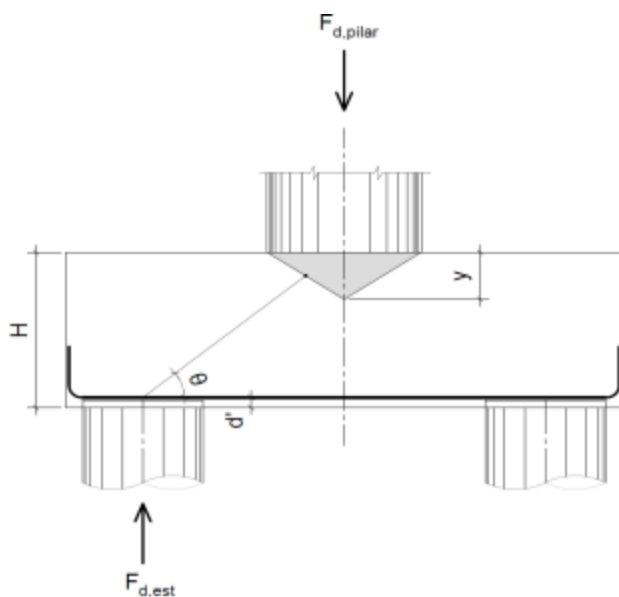
- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\begin{aligned}\bar{x} &= 0,255 \text{ m} \\ \bar{y} &= 0,255 \text{ m} \\ a_1 &= 0,95 \text{ m} \\ a_2 &= 0,95 \text{ m} \\ a &= 1,34 \text{ m} \\ \alpha &= 45,00^\circ\end{aligned}$$


Projeção vertical da biela:



$$\begin{aligned}H &= 1,50 \text{ m} \\ d' &= 0,15 \text{ m} \\ d &= 1,35 \text{ m} \\ y &= 0,2 \text{ m} \\ z &= 1,25 \text{ m} \\ \theta &= 43,08^\circ \\ F_{d,est} &= 3585,00 \text{ kN} \\ F_{d,pilar} &= 14340,00 \text{ kN}\end{aligned}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

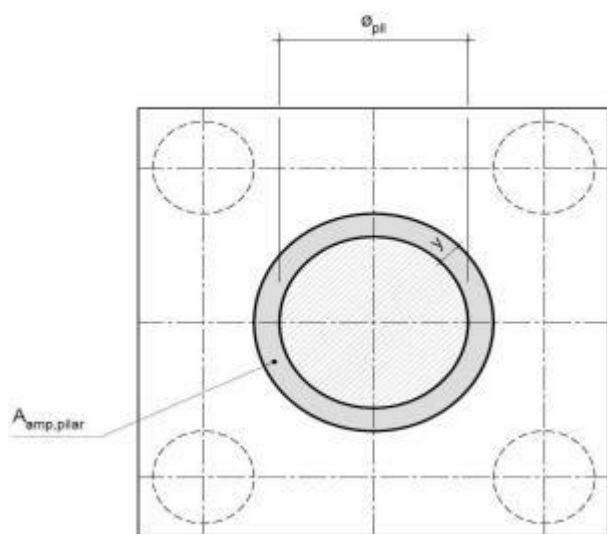
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 167 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

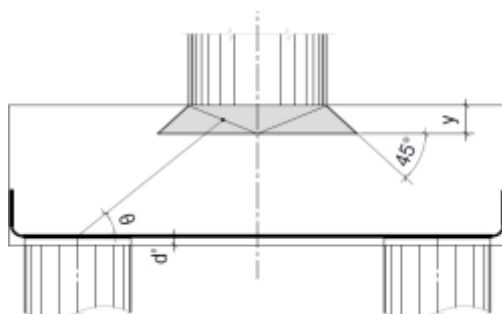
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{aNp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

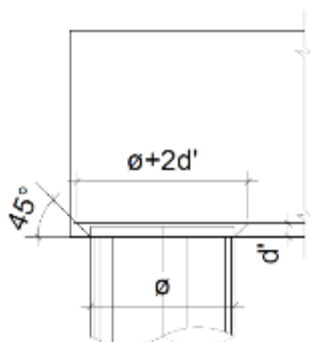
$$A_{amp,pilar} = 2,01 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 15,29 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 168 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 8,09 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3834,31 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 2711,27 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 62,36 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2711,27 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 62,36 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 49,89 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 49,89 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 12,47 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 12,47 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 169 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

17. Cálculo do Apoio de AP-13

17. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \qquad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \qquad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \qquad h \text{ (m)} = 3,00 \qquad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,Nin} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \qquad A_{c,Nin} = 0,15\% \cdot A_c \qquad A_{s,min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \qquad M_{d,min} = 4744,41 \qquad A_{s,min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-6474,80	2,85	0,152	2,789	0,035	53,39
Inferior	6585,00	2,85	0,154	2,788	0,036	54,32

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,máx} \text{ (kN)} = 5825,00 \qquad \rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \qquad a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \qquad n^{pernas} = 4$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 3224,70 \qquad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,92$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,54$$

$$\rho_{sw}^{máx/min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,54$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 170 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1100,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 7,33 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl}/U \text{ (cm}^2\text{/m)} = 7,33$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2\text{)} = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{sl}/U \text{ (cm}^2\text{/m)} = 7,33$$

$$A_{sl,costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 47,96$$

$$A_{sl,costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 17,76 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl,flex\acute{o}a} \text{ (cm}^2\text{)} = 6,22 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2085,00$$

$$i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,75$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,88$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 13,96$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:	Torção:	Suspensão:
$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,92$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 14,66$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,88$
Arm. mínima:	Total:	
$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 78,45$	$s \text{ (cm)} = 10,3$
$\phi \text{ (mm)} = 16$		
$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$	$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 74,71$	
$n^{pernas} = 4$		

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,556 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cN}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{)}$
Long. Superior	59,61
Long. Inferior	60,54

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	4	10,3

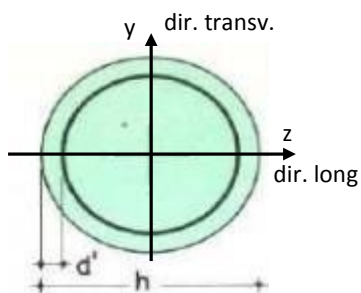
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Long. Pele	5,92

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 171 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

17. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 9,30 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 6,30$$

$$l_{e,z} (m) = 18,60$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 6,30$$

$$l_{e,y} (m) = 7,50$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 62,00$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$

$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 25,00$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

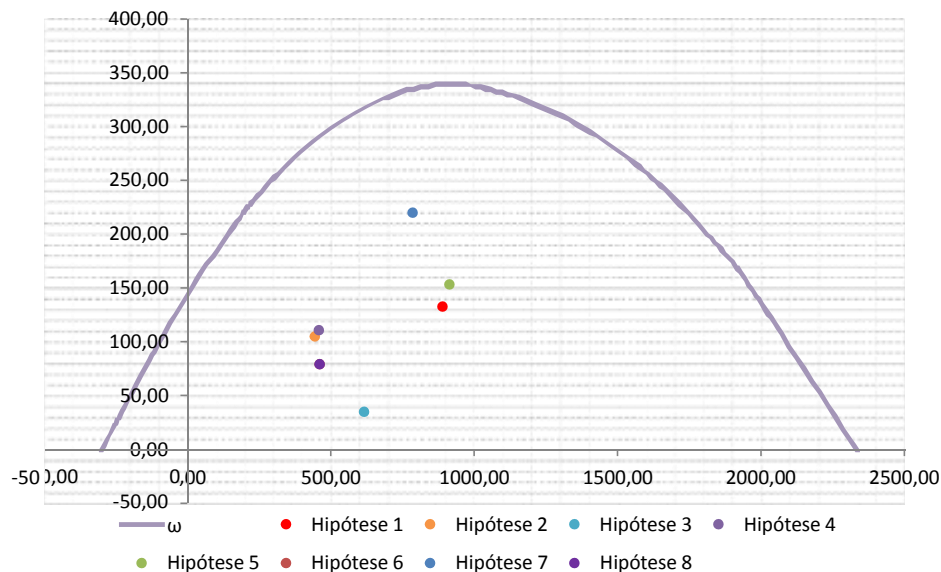
$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	8899,06	22,36	-242,02	8899,06	1305,16	-242,02	1327,41
	N _{mín}	4439,20	285,24	-495,41	4439,20	925,15	-495,41	1049,44
	M _{y,máx}	6163,83	-1132,81	-248,59	6163,83	-244,29	-248,59	348,54
	M _{z,máx}	4592,86	328,09	-496,15	4592,86	990,15	-496,15	1107,51
Seção Base	N _{máx}	9139,53	174,38	350,08	9139,53	1491,85	350,08	1532,37
	N _{mín}	4617,33	-329,36	715,21	4617,33	336,23	715,21	790,30
	M _{y,máx}	7855,63	1031,72	380,38	7855,63	2164,11	380,38	2197,28
	M _{z,máx}	4617,33	-329,36	715,21	4617,33	336,23	715,21	790,30

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned} \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\ c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\ A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\ A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 31,53 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\ A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 173 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

17. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6506,41$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 68,30$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 638,57$$

$$H_L \text{ (kN)} = 1,48$$

$$H_T \text{ (kN)} = 123,88$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2065,00	15,00	180,00	180,62
	Menos carregada	1490,00	15,00	180,00	180,62
Seção Tubular	Mais carregada	2175,00	5,00	85,00	85,15
	Menos carregada	1575,00	5,00	85,00	85,15

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 110,67$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4764,66$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -481,00$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 724,96$$

$$H_L \text{ (kN)} = -100,28$$

$$H_T \text{ (kN)} = 139,36$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 174 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1865,00	145,00	195,00	243,00
	Menos carregada	820,00	145,00	195,00	243,00
Seção Tubular	Mais carregada	1975,00	70,00	95,00	118,00
	Menos carregada	900,00	70,00	95,00	118,00

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 109,32$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de |M_{L,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5656,74$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 456,76$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 680,32$$

$$H_L \text{ (kN)} = -42,79$$

$$H_T \text{ (kN)} = 130,89$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1890,00	80,00	185,00	201,56
	Menos carregada	1240,00	80,00	185,00	201,56
Seção Tubular	Mais carregada	2000,00	20,00	90,00	92,20
	Menos carregada	1325,00	20,00	90,00	92,20

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 104,78$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de |M_{T,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4771,39$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 43,26$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 716,78$$

$$H_L \text{ (kN)} = -7,92$$


$$H_T \text{ (kN)} = 137,76$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1650,00	25,00	195,00	196,60
	Menos carregada	1035,00	25,00	195,00	196,60
Seção Tubular	Mais carregada	1760,00	5,00	95,00	95,13
	Menos carregada	1125,00	5,00	95,00	95,13

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 95,25$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 175 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 9139,53 & M_L \text{ (kN.m)} = 210,58 & M_T \text{ (kN.m)} = 491,05 \\
& H_L \text{ (kN)} = 24,13 & H_T \text{ (kN)} = 93,98
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2715,00	45,00	140,00	147,05
	Menos carregada	2155,00	45,00	140,00	147,05

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 4617,33 & M_L \text{ (kN.m)} = -475,69 & M_T \text{ (kN.m)} = 1003,45 \\
& H_L \text{ (kN)} = -97,55 & H_T \text{ (kN)} = 192,16
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1940,00	140,00	265,00	299,71
	Menos carregada	670,00	140,00	265,00	299,71

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 7855,63 & M_L \text{ (kN.m)} = 1030,84 & M_T \text{ (kN.m)} = 527,21 \\
& H_L \text{ (kN)} = -0,58 & H_T \text{ (kN)} = 97,89
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2530,00	35,00	145,00	149,16
	Menos carregada	1700,00	35,00	145,00	149,16

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 176 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4617,33$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -475,69$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 1003,45$$

$$H_L \text{ (kN)} = -97,55$$

$$H_T \text{ (kN)} = 192,16$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1940,00	140,00	265,00	299,71
	Menos carregada	670,00	140,00	265,00	299,71

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 9,37$$

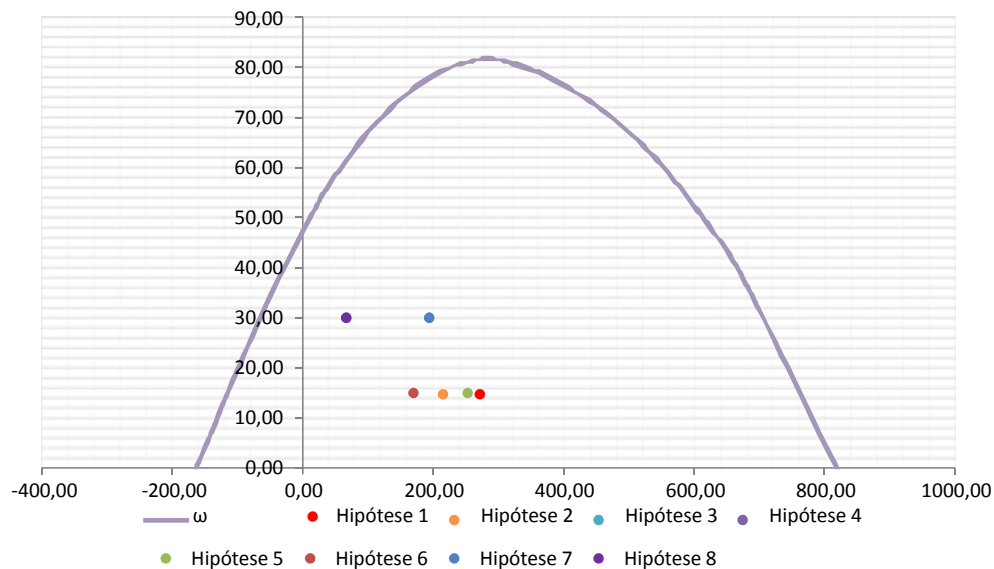
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

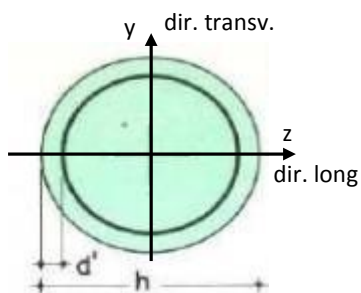
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 177 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

17. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 9,30 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 6,30$$

$$l_{e,z} (m) = 18,60$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 6,30$$

$$l_{e,y} (m) = 7,50$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 62,00$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$

$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 25,00$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

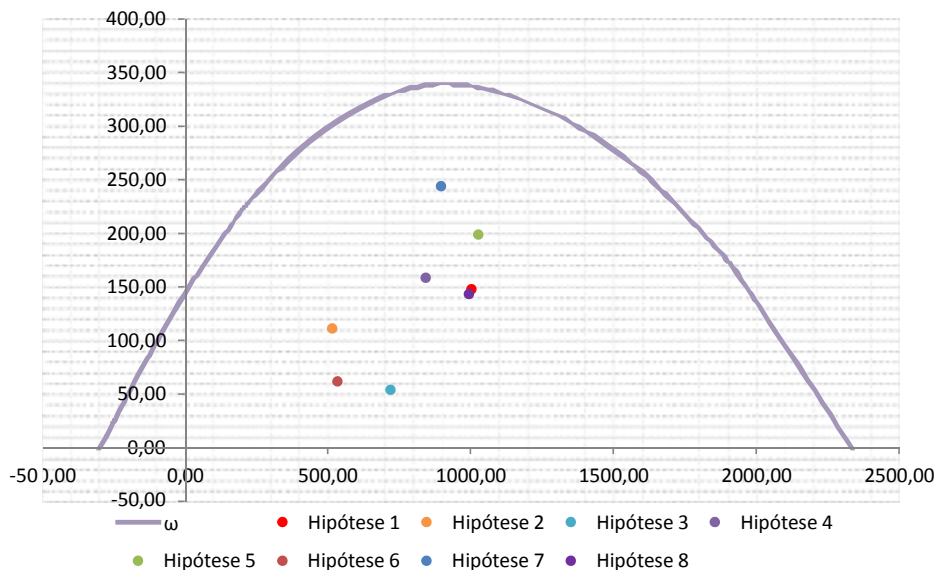
$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(u+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad u = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	10035,22	-76,22	-553,09	10035,22	1370,35	-553,09	1477,76
	N _{mín}	5159,30	320,62	-331,06	5159,30	1064,34	-331,06	1114,63
	M _{y,máx}	7199,99	-1171,76	-524,53	7199,99	-133,88	-524,53	541,35
	M _{z,máx}	8430,21	238,55	-632,94	8430,21	1453,76	-632,94	1585,57
Seção Base	N _{máx}	10275,69	356,10	759,48	10275,69	1837,34	759,48	1988,13
	N _{mín}	5337,42	-307,36	411,43	5337,42	462,03	411,43	618,66
	M _{y,máx}	8969,83	1033,97	733,25	8969,83	2326,97	733,25	2439,76
	M _{z,máx}	9952,10	-232,79	780,68	9952,10	1201,81	780,68	1433,11

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned} \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\ c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\ A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\ A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 35,45 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\ A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 179 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

17. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7399,47$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 76,96$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 738,61$$

$$H_L \text{ (kN)} = 3,60$$

$$H_T \text{ (kN)} = 142,31$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2335,00	15,00	205,00	205,55
	Menos carregada	1670,00	15,00	205,00	205,55
Seção Tubular	Mais carregada	2445,00	5,00	95,00	95,13
	Menos carregada	1755,00	5,00	95,00	95,13

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 124,28$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 5413,02$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -467,04$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 690,23$$

$$H_L \text{ (kN)} = -101,43$$

$$H_T \text{ (kN)} = 136,36$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 180 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2015,00	150,00	190,00	242,07
	Menos carregada	995,00	150,00	190,00	242,07
Seção Tubular	Mais carregada	2125,00	70,00	90,00	114,02
	Menos carregada	1085,00	70,00	90,00	114,02

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 114,82$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6528,90$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 455,79$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 719,13$$

$$H_L \text{ (kN)} = -45,11$$

$$H_T \text{ (kN)} = 140,99$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2125,00	85,00	200,00	217,31
	Menos carregada	1440,00	85,00	200,00	217,31
Seção Tubular	Mais carregada	2235,00	20,00	95,00	97,08
	Menos carregada	1530,00	20,00	95,00	97,08

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 115,80$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7183,75$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -457,68$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 762,43$$

$$H_L \text{ (kN)} = -91,09$$


$$H_T \text{ (kN)} = 148,77$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2470,00	135,00	210,00	249,65
	Menos carregada	1420,00	135,00	210,00	249,65
Seção Tubular	Mais carregada	2580,00	65,00	100,00	119,27
	Menos carregada	1510,00	65,00	100,00	119,27

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 135,24$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 181 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 10275,69 & M_L \text{ (kN.m)} &= 459,04 & M_T \text{ (kN.m)} &= 1072,00 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 68,62 & H_T \text{ (kN)} &= 208,34
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3350,00	110,00	300,00	319,53
	Menos carregada	2090,00	110,00	300,00	319,53

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 5337,42 & M_L \text{ (kN.m)} &= -456,87 & M_T \text{ (kN.m)} &= 588,20 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -99,68 & H_T \text{ (kN)} &= 117,85
 \end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1950,00	145,00	170,00	223,44
	Menos carregada	1020,00	145,00	170,00	223,44

- Situação de $|M_{L,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 8969,83 & M_L \text{ (kN.m)} &= 1027,30 & M_T \text{ (kN.m)} &= 1042,77 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -4,45 & H_T \text{ (kN)} &= 206,35
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3035,00	45,00	295,00	298,41
	Menos carregada	1750,00	45,00	295,00	298,41

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 182 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 9952,10$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -342,91$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 1107,72$$

$$H_L \text{ (kN)} = -73,42$$

$$H_T \text{ (kN)} = 218,03$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3270,00	115,00	310,00	330,64
	Menos carregada	2005,00	115,00	310,00	330,64

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 11,56$$

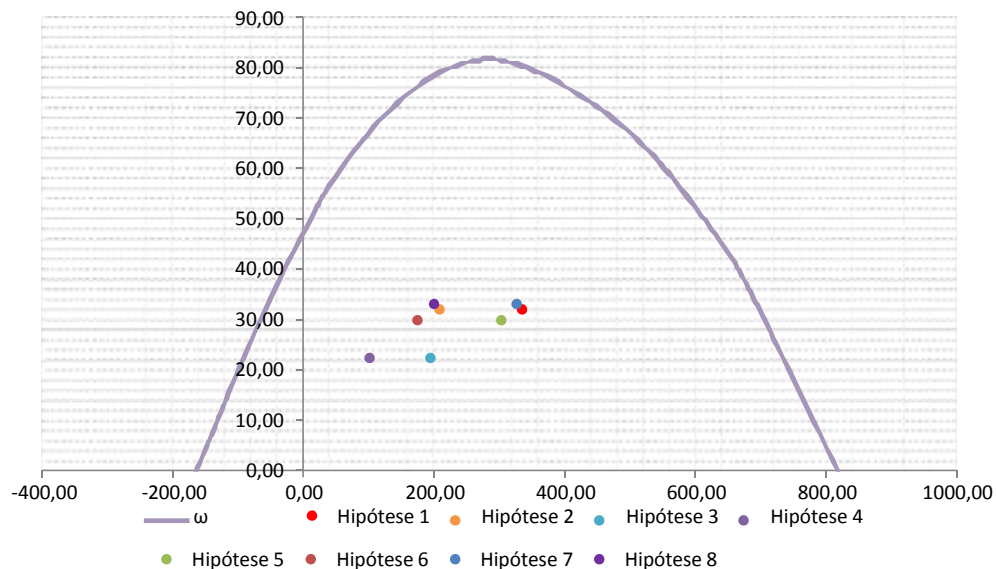
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

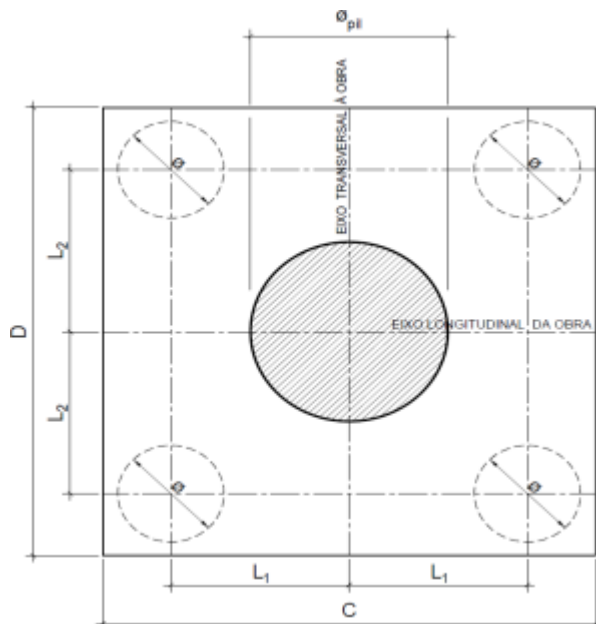
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 183 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

17. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\varnothing_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\varnothing_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

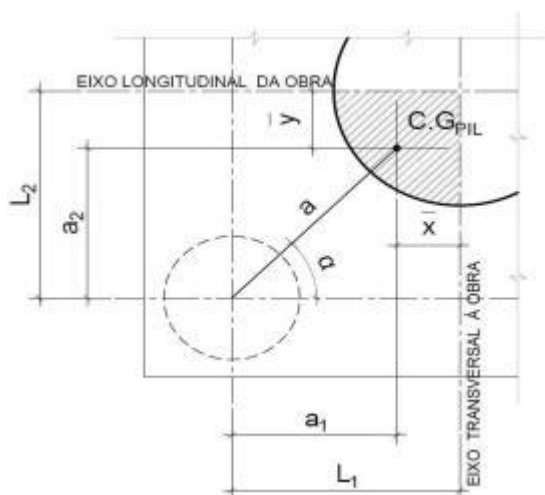
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 184 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

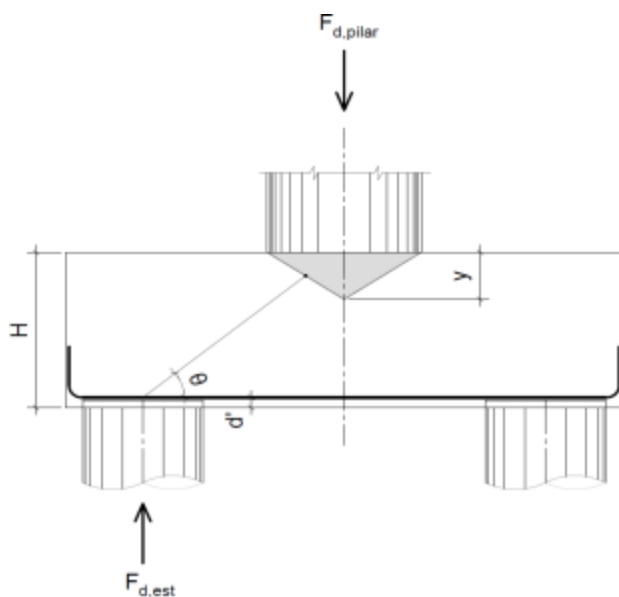
- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\begin{aligned}\bar{x} &= 0,255 \text{ m} \\ \bar{y} &= 0,255 \text{ m} \\ a_1 &= 0,95 \text{ m} \\ a_2 &= 0,95 \text{ m} \\ a &= 1,34 \text{ m} \\ \alpha &= 45,00^\circ\end{aligned}$$


Projeção vertical da biela:



$$\begin{aligned}H &= 1,50 \text{ m} \\ d' &= 0,15 \text{ m} \\ d &= 1,35 \text{ m} \\ y &= 0,2 \text{ m} \\ z &= 1,25 \text{ m} \\ \theta &= 43,08^\circ \\ F_{d,est} &= 3350,00 \text{ kN} \\ F_{d,pilar} &= 13400,00 \text{ kN}\end{aligned}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

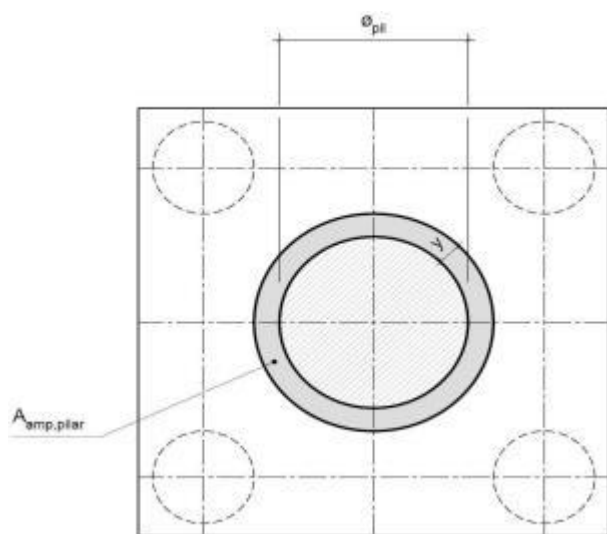
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 185 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

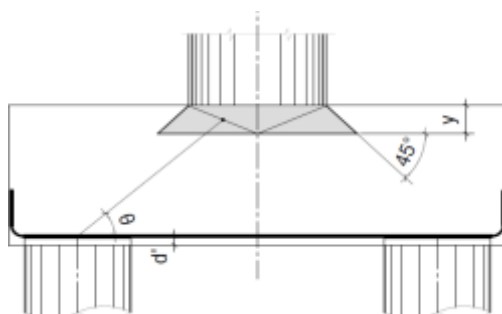
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{aNp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

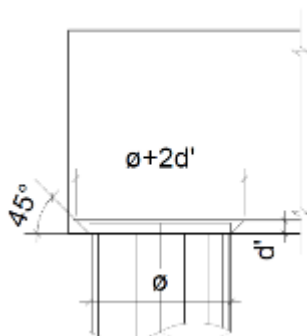
$$A_{amp,pilar} = 2,01 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 14,29 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 186 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 7,56 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3582,97 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 2533,54 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 58,27 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2533,54 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 58,27 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 46,62 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 46,62 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 11,65 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 11,65 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 187 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

18. Cálculo do Apoio de AP-14

18. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \qquad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \qquad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \qquad h \text{ (m)} = 3,00 \qquad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,N_{\min}} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \qquad A_{c,N_{\min}} = 0,15\% \cdot A_c \qquad A_{s,\min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \qquad M_{d,\min} = 4744,41 \qquad A_{s,\min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-6424,83	2,85	0,151	2,790	0,035	52,97
Inferior	6456,55	2,85	0,151	2,789	0,035	53,24

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,máx} \text{ (kN)} = 5830,00 \qquad \rho_{sw}^{\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \qquad a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \qquad n^{pernas} = 4$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 3229,70 \qquad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,96$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,58$$

$$\rho_{sw}^{máx/mín} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,58$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 188 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1100,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 7,33 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl}/U \text{ (cm}^2\text{/m)} = 7,33$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2\text{)} = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{sl}/U_e \text{ (cm}^2\text{)} = 47,96$$

$$A_{sl,costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 17,76 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl,flex\acute{o}a} \text{ (cm}^2\text{)} = 6,22 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2090,00$$

$$i.e_{v\acute{i}gas} \text{ (m)} = 2,75$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,96$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 13,96$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:	Torção:	Suspensão:
$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,96$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 14,66$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,96$
Arm. mínima:	Total:	
$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 78,58$	$s \text{ (cm)} = 10,2$
$\phi \text{ (mm)} = 16$	$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 74,83$	
$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$		
$n^{pernas} = 4$		

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,556 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cN}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{)}$
Long. Superior	59,19
Long. Inferior	59,45

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	4	10,2

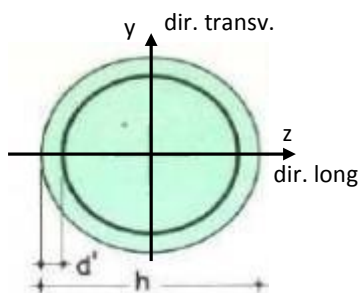
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Long. Pele	5,92

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 189 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

18. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 6,50 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 3,50$$

$$l_{e,z} (m) = 13,00$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 3,50$$

$$l_{e,y} (m) = 4,70$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 43,33$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$


$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 15,67$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

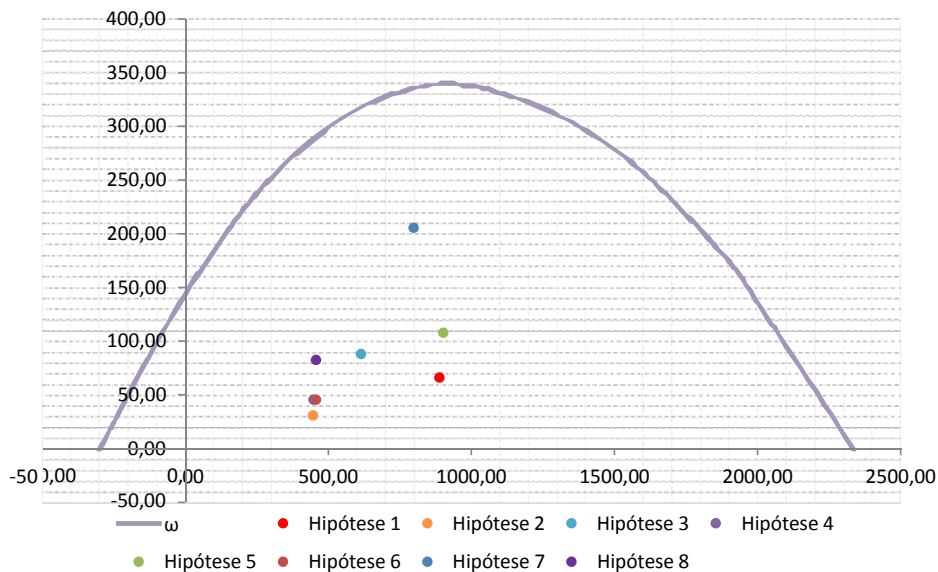
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	190 /320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	8894,10	32,72	-27,57	8894,10	659,01	-27,57	659,59
	N _{mín}	4475,52	-106,97	-225,78	4475,52	208,18	-225,78	307,11
	M _{y,máx}	6152,45	-1306,31	-109,30	6152,45	-873,07	-109,30	879,89
	M _{z,máx}	4480,37	78,88	-226,71	4480,37	394,37	-226,71	454,89
Seção Base	N _{máx}	9027,69	432,60	142,61	9027,69	1068,30	142,61	1077,78
	N _{mín}	4574,48	-285,80	453,61	4574,48	36,32	453,61	455,06
	M _{y,máx}	7986,69	1484,55	184,79	7986,69	2046,94	184,79	2055,27
	M _{z,máx}	4579,33	362,53	455,27	4579,33	684,99	455,27	822,48

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
\phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 31,15 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
\end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 191 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

18. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6427,68$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 275,89$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 415,44$$

$$H_L \text{ (kN)} = 56,02$$

$$H_T \text{ (kN)} = 108,68$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2090,00	90,00	160,00	183,58
	Menos carregada	1425,00	90,00	160,00	183,58
Seção Tubular	Mais carregada	2200,00	40,00	70,00	80,62
	Menos carregada	1510,00	40,00	70,00	80,62

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 110,75$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4690,00$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -297,20$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 551,62$$

$$H_L \text{ (kN)} = -43,22$$

$$H_T \text{ (kN)} = 145,20$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 192 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1715,00	65,00	210,00	219,83
	Menos carregada	930,00	65,00	210,00	219,83
Seção Tubular	Mais carregada	1825,00	30,00	95,00	99,62
	Menos carregada	1020,00	30,00	95,00	99,62

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 98,98$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de |M_{L,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5733,68$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 912,78$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 461,40$$

$$H_L \text{ (kN)} = 13,08$$

$$H_T \text{ (kN)} = 120,57$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2010,00	25,00	175,00	176,78
	Menos carregada	1155,00	25,00	175,00	176,78
Seção Tubular	Mais carregada	2120,00	25,00	80,00	83,82
	Menos carregada	1245,00	25,00	80,00	83,82

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 108,05$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de |M_{T,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4693,24$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 267,15$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 553,47$$

$$H_L \text{ (kN)} = 44,87$$


$$H_T \text{ (kN)} = 145,69$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1715,00	70,00	210,00	221,36
	Menos carregada	935,00	70,00	210,00	221,36
Seção Tubular	Mais carregada	1825,00	30,00	95,00	99,62
	Menos carregada	1020,00	30,00	95,00	99,62

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 98,98$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 193 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de N_{\max}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 9027,69 & M_L \text{ (kN.m)} = 603,98 & M_T \text{ (kN.m)} = 215,55 \\
H_L \text{ (kN)} = 114,25 & & H_T \text{ (kN)} = 48,62
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2760,00	170,00	80,00	187,88
	Menos carregada	2050,00	170,00	80,00	187,88

- Situação de N_{\min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 4574,48 & M_L \text{ (kN.m)} = -362,44 & M_T \text{ (kN.m)} = 744,77 \\
H_L \text{ (kN)} = -51,09 & & H_T \text{ (kN)} = 194,11
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1805,00	75,00	275,00	285,04
	Menos carregada	785,00	75,00	275,00	285,04

- Situação de $|M_{L,\max}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 7986,69 & M_L \text{ (kN.m)} = 1559,30 & M_T \text{ (kN.m)} = 284,49 \\
H_L \text{ (kN)} = 49,84 & & H_T \text{ (kN)} = 66,47
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2640,00	60,00	105,00	120,93
	Menos carregada	1650,00	60,00	105,00	120,93

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 194 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4579,33$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 484,09$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 747,55$$

$$H_L \text{ (kN)} = 81,04$$

$$H_T \text{ (kN)} = 194,85$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1865,00	115,00	275,00	298,08
	Menos carregada	725,00	115,00	275,00	298,08

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 9,52$$

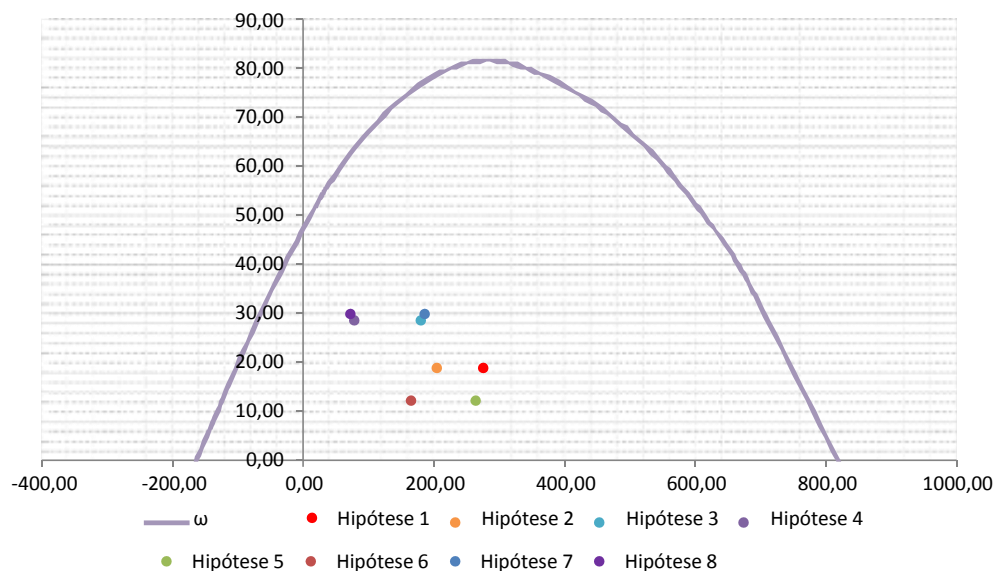
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

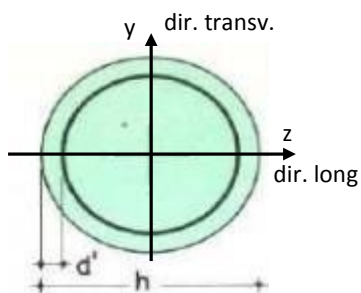
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 195 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

18. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 6,50 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 3,50$$

$$l_{e,z} (m) = 13,00$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 3,50$$

$$l_{e,y} (m) = 4,70$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 43,33$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$


$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 15,67$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

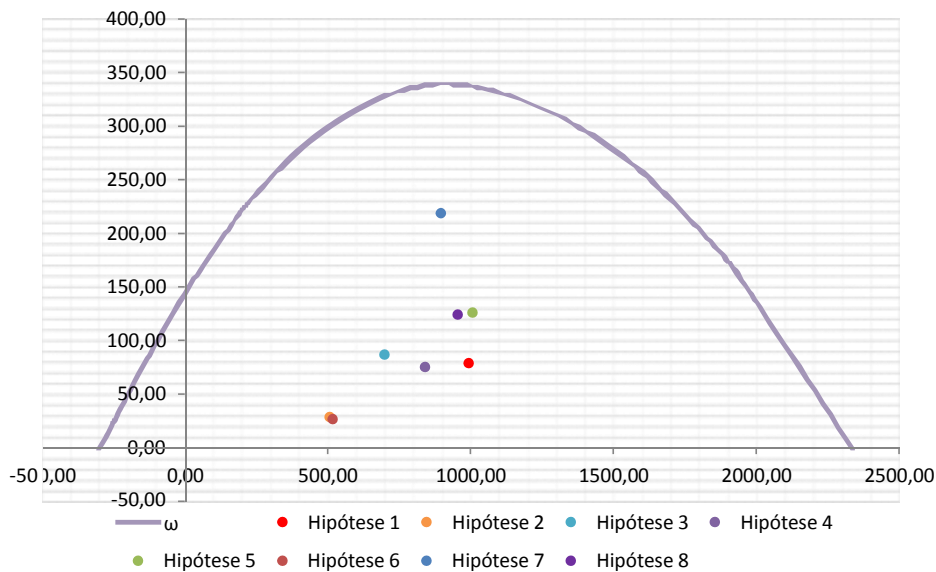
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	196 /320
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	9940,38	22,71	-311,73	9940,38	722,68	-311,73	787,05
	N _{mín}	5075,35	-104,50	-134,04	5075,35	252,89	-134,04	286,22
	M _{y,máx}	6989,16	-1349,17	-131,61	6989,16	-857,02	-131,61	867,07
	M _{z,máx}	8418,10	41,17	-403,87	8418,10	633,94	-403,87	751,66
Seção Base	N _{máx}	10073,97	433,02	532,56	10073,97	1142,40	532,56	1260,43
	N _{mín}	5174,31	-347,76	219,65	5174,31	16,60	219,65	263,89
	M _{y,máx}	8966,34	1501,24	489,98	8966,34	2132,62	489,98	2188,19
	M _{z,máx}	9554,31	436,01	555,69	9554,31	1108,79	555,69	1240,25

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
\phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 34,76 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
\end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 197 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

18. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7231,16$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 281,77$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 582,85$$

$$H_L \text{ (kN)} = 58,69$$

$$H_T \text{ (kN)} = 154,17$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2380,00	95,00	225,00	244,23
	Menos carregada	1535,00	95,00	225,00	244,23
Seção Tubular	Mais carregada	2490,00	40,00	100,00	107,70
	Menos carregada	1620,00	40,00	100,00	107,70

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 128,92$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 5242,50$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -259,40$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 488,94$$

$$H_L \text{ (kN)} = -40,00$$

$$H_T \text{ (kN)} = 133,34$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 198 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1815,00	65,00	195,00	205,55
	Menos carregada	1105,00	65,00	195,00	205,55
Seção Tubular	Mais carregada	1925,00	30,00	90,00	94,87
	Menos carregada	1195,00	30,00	90,00	94,87

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 102,18$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6492,74$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 921,52$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 537,35$$

$$H_L \text{ (kN)} = 10,43$$

$$H_T \text{ (kN)} = 142,77$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2240,00	25,00	210,00	211,48
	Menos carregada	1305,00	25,00	210,00	211,48
Seção Tubular	Mais carregada	2350,00	25,00	95,00	98,23
	Menos carregada	1390,00	25,00	95,00	98,23

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 120,93$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6884,72$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 280,74$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 621,57$$

$$H_L \text{ (kN)} = 56,67$$


$$H_T \text{ (kN)} = 169,71$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2320,00	90,00	245,00	261,01
	Menos carregada	1420,00	90,00	245,00	261,01
Seção Tubular	Mais carregada	2430,00	40,00	110,00	117,05
	Menos carregada	1510,00	40,00	110,00	117,05

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 128,40$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 199 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 10073,97 & M_L \text{ (kN.m)} = 608,86 & M_T \text{ (kN.m)} = 894,40 \\
& H_L \text{ (kN)} = 117,23 & H_T \text{ (kN)} = 241,23
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3390,00	175,00	350,00	391,31
	Menos carregada	1945,00	175,00	350,00	391,31

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 5174,31 & M_L \text{ (kN.m)} = -452,01 & M_T \text{ (kN.m)} = 371,23 \\
& H_L \text{ (kN)} = -69,50 & H_T \text{ (kN)} = 101,06
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1810,00	100,00	150,00	180,28
	Menos carregada	1090,00	100,00	150,00	180,28

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 8966,34 & M_L \text{ (kN.m)} = 1568,50 & M_T \text{ (kN.m)} = 826,16 \\
& H_L \text{ (kN)} = 44,84 & H_T \text{ (kN)} = 224,12
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3175,00	50,00	325,00	328,82
	Menos carregada	1605,00	50,00	325,00	328,82

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 200 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 9554,31$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 607,32$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 952,49$$

$$H_L \text{ (kN)} = 114,21$$

$$H_T \text{ (kN)} = 264,53$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3295,00	170,00	380,00	416,29
	Menos carregada	1780,00	170,00	380,00	416,29

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 11,70$$

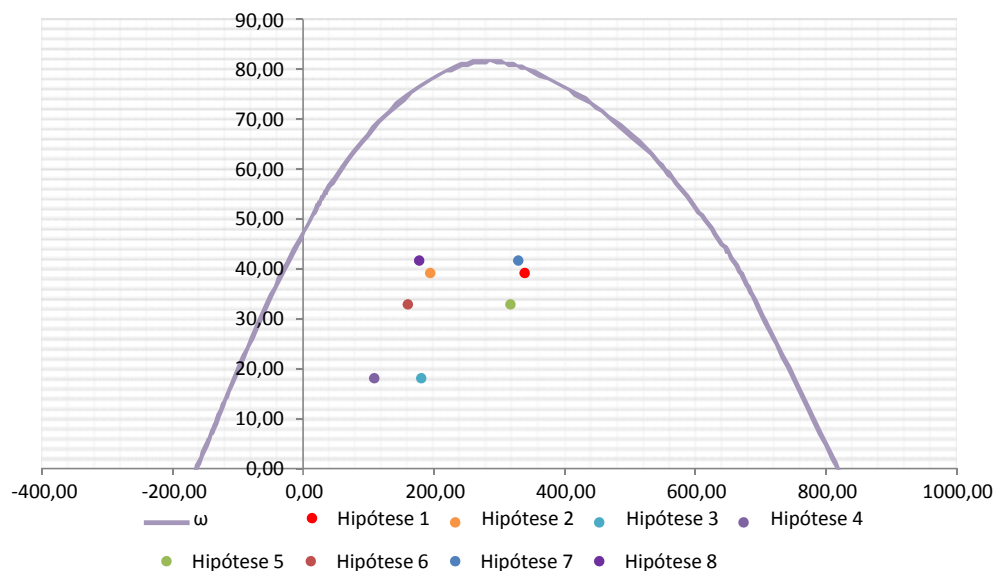
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

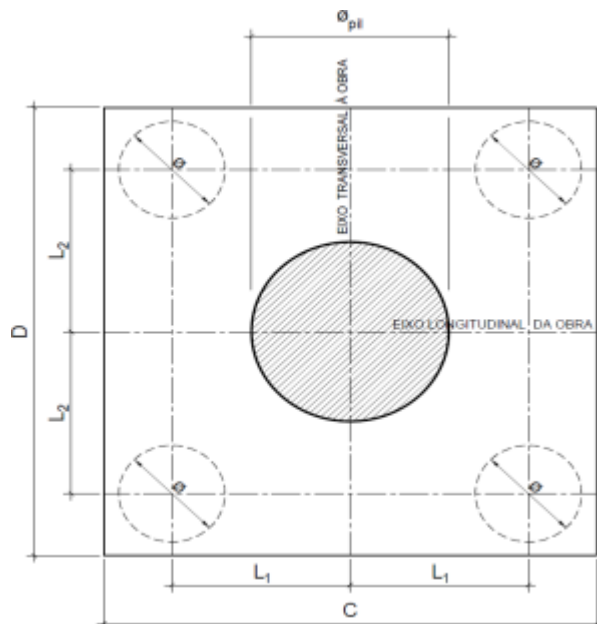
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 201 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

18. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\varnothing_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\varnothing_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

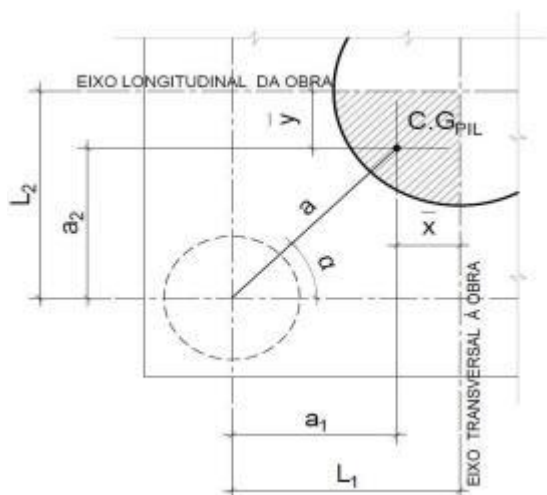
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	202
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\bar{x} = 0,255 \text{ m}$$

$$\bar{y} = 0,255 \text{ m}$$

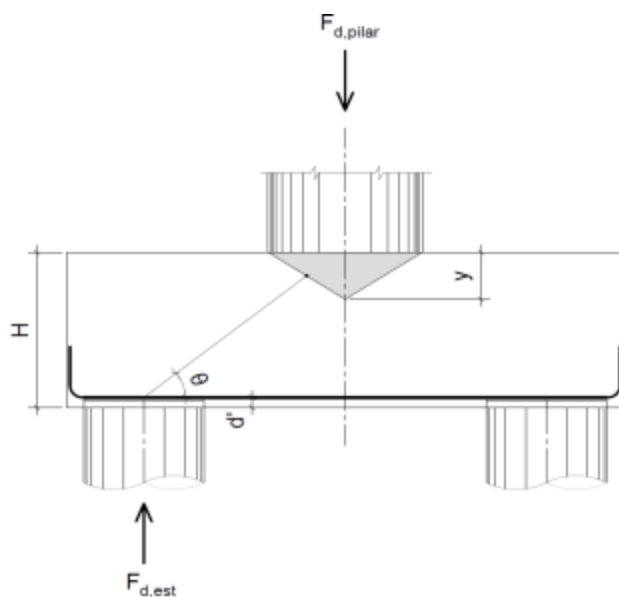
$$a_1 = 0,95 \text{ m}$$

$$a_2 = 0,95 \text{ m}$$

$$a = 1,34 \text{ m}$$

$$\alpha = 45,00^\circ$$

Projeção vertical da biela:



$$H = 1,50 \text{ m}$$

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

$$d = 1,35 \text{ m}$$

$$y = 0,2 \text{ m}$$

$$z = 1,25 \text{ m}$$


$$\theta = 43,08^\circ$$

$$F_{d,est} = 3390,00 \text{ kN}$$

$$F_{d,pilar} = 13560,00 \text{ kN}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

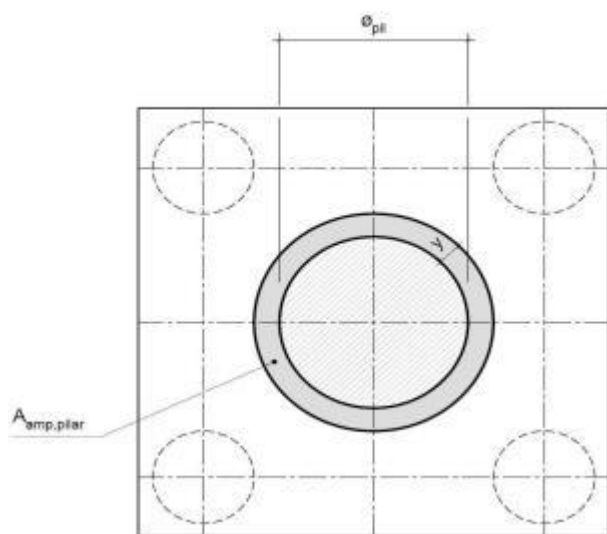
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 203 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

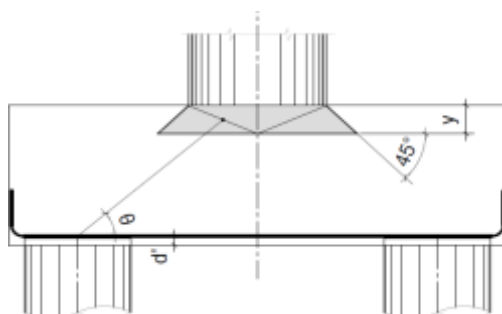
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{aNp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

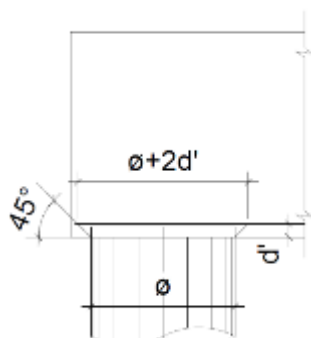
$$A_{amp,pilar} = 2,01 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 14,46 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 204 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 7,65 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3625,75 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 2563,79 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 58,97 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2563,79 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 58,97 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 47,17 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 47,17 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 11,79 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 11,79 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 205 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

19. Cálculo do Apoio de AP-15

19. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \quad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \quad h \text{ (m)} = 3,00 \quad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,N_{\min}} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \quad A_{c,N_{\min}} = 0,15\% \cdot A_c \quad A_{s,\min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \quad M_{d,\min} = 4744,41 \quad A_{s,\min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-6611,20	2,85	0,155	2,788	0,036	54,54
Inferior	6087,71	2,85	0,142	2,793	0,033	50,13

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN)} = 5870,00 \quad \rho_{sw}^{\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \quad a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \quad n^{pernas} = 4$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 3269,70 \quad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 29,32$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,92$$

$$\rho_{sw}^{m\acute{a}x/\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,92$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 206 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1060,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 7,06 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl}/U_e \text{ (cm}^2/\text{m)} = 7,06$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2) = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{sl} \text{ (cm}^2) = 46,21$$

$$A_{sl,costela} \text{ (cm}^2) = 17,12 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl,flex\acute{o}e} \text{ (cm}^2) = 5,99 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2095,00$$

$$i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,75$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 35,04$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 13,45$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2) = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:	Torção:	Suspensão:
$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 29,32$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 14,12$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 35,04$
Arm. mínima:	Total:	
$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 11,59$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 78,49$	$s \text{ (cm)} = 10,2$
$\phi \text{ (mm)} = 16$	$\rho_{sw} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 74,75$	
$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2) = 2,011$		
$n^{pernas} = 4$		

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,553 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cN}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2/\text{m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2)$
Long. Superior	60,53
Long. Inferior	56,12

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	4	10,2

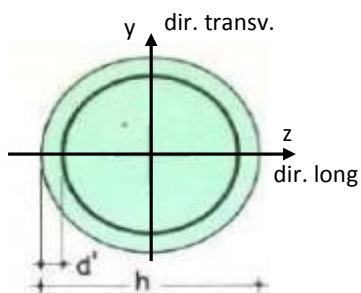
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2/\text{m)}$
Long. Pele	5,71

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 207 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

19. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 3,80 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 0,80$$

$$l_{e,z} (m) = 7,60$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 0,80$$

$$l_{e,y} (m) = 2,00$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 25,33$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$


$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 6,67$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

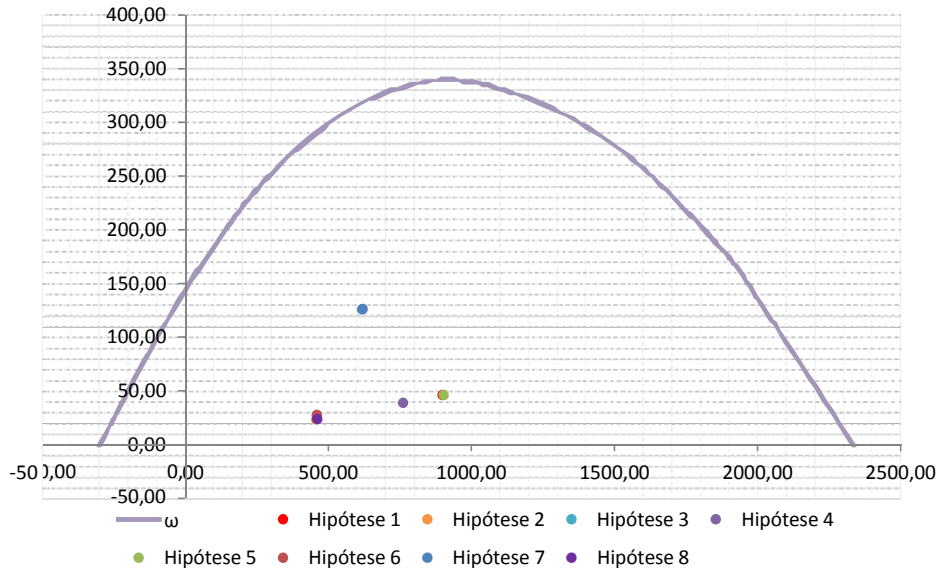
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	208 /320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	9003,68	-80,62	70,21	9003,68	-80,62	70,21	459,19
	N _{mín}	4589,99	84,31	58,94	4589,99	84,31	58,94	234,09
	M _{y,máx}	6180,45	-1252,38	79,23	6180,45	-1252,38	79,23	1254,89
	M _{z,máx}	7611,22	-78,73	164,74	7611,22	-78,73	164,74	388,17
Seção Base	N _{máx}	9034,21	-101,67	-10,42	9034,21	-101,67	-10,42	460,74
	N _{mín}	4612,61	161,25	222,29	4612,61	161,25	222,29	274,61
	M _{y,máx}	6203,27	-1257,04	106,22	6203,27	-1257,04	106,22	1261,52
	M _{z,máx}	4612,98	-50,76	222,40	4612,98	-50,76	222,40	235,26

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
\phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 31,17 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
\end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 209 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

19. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6461,51$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -80,67$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 68,68$$

$$H_L \text{ (kN)} = -15,37$$

$$H_T \text{ (kN)} = 9,46$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1825,00	30,00	25,00	39,05
	Menos carregada	1705,00	30,00	25,00	39,05
Seção Tubular	Mais carregada	1940,00	15,00	10,00	18,03
	Menos carregada	1790,00	15,00	10,00	18,03

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 86,14$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4720,44$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 248,18$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 430,05$$

$$H_L \text{ (kN)} = 71,67$$

$$H_T \text{ (kN)} = 172,61$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 210 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1755,00	110,00	250,00	273,13
	Menos carregada	905,00	110,00	250,00	273,13
Seção Tubular	Mais carregada	1870,00	50,00	110,00	120,83
	Menos carregada	990,00	50,00	110,00	120,83

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 105,49$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5780,88$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -797,70$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 182,12$$

$$H_L \text{ (kN)} = 4,77$$

$$H_T \text{ (kN)} = 58,91$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1850,00	35,00	95,00	101,24
	Menos carregada	1340,00	35,00	95,00	101,24
Seção Tubular	Mais carregada	1960,00	20,00	40,00	44,72
	Menos carregada	1430,00	20,00	40,00	44,72

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 92,78$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4720,69$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -32,16$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 430,24$$

$$H_L \text{ (kN)} = -20,99$$


$$H_T \text{ (kN)} = 172,69$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1655,00	40,00	250,00	253,18
	Menos carregada	1000,00	40,00	250,00	253,18
Seção Tubular	Mais carregada	1765,00	15,00	110,00	111,02
	Menos carregada	1095,00	15,00	110,00	111,02

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 98,91$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 211 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 9034,21 & M_L \text{ (kN.m)} &= -141,14 & M_T \text{ (kN.m)} &= -161,61 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -26,31 & H_T \text{ (kN)} &= -100,79
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2620,00	50,00	130,00	139,28
	Menos carregada	2195,00	50,00	130,00	139,28

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 4612,61 & M_L \text{ (kN.m)} &= 305,52 & M_T \text{ (kN.m)} &= 528,55 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 96,18 & H_T \text{ (kN)} &= 204,18
 \end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1830,00	150,00	300,00	335,41
	Menos carregada	780,00	150,00	300,00	335,41

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 6203,27 & M_L \text{ (kN.m)} &= -1263,30 & M_T \text{ (kN.m)} &= 156,66 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -4,17 & H_T \text{ (kN)} &= 33,63
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2020,00	30,00	60,00	67,08
	Menos carregada	1380,00	30,00	60,00	67,08

	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	212 / 320

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

N (kN) = 4612,98

M_L (kN.m) = -115,00

M_T (kN.m) = 528,84

H_L (kN) = -42,82

H_T (kN) = 204,29

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1725,00	70,00	300,00	308,06
	Menos carregada	880,00	70,00	300,00	308,06

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

ϕ (m) = 0,775

f_{yk} (kN/cm²) = 50,0

f_{ck} (MPa) = 25,0

c (m) = 0,060

γ_s = 1,15

γ_c = 1,5

$A_{s,min1}$ (cm²) = 18,87

f_{yd} (tf/cm²) = 43,478

f_{cd} (MPa) = 16,667

$A_{s,min2}$ (cm²) = 9,04

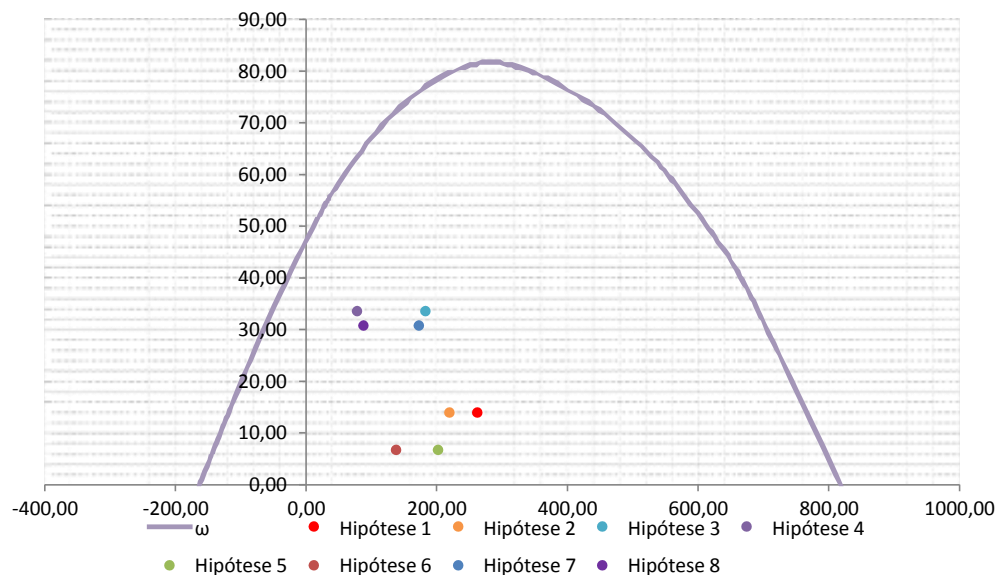
E_s (kN/cm²) = 20000

σ_{cd} = 0,85 x f_{cd}

A_c (m²) = 0,47

A_s (cm²) = 37,70

ω = 0,208



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$A_{s,min}$ (cm²) = 18,9

$A_{c,Nás}$ = 0,08 A_c

$A_{s,máx}$ (cm²) = 377,4

$A_{s,adotado}$ (cm²) = 37,70

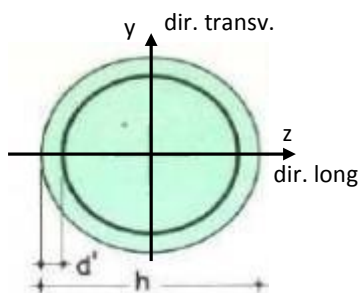
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 213 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

19. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 3,80 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 0,80$$

$$l_{e,z} (m) = 7,60$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 0,80$$

$$l_{e,y} (m) = 2,00$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 25,33$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$


$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 6,67$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

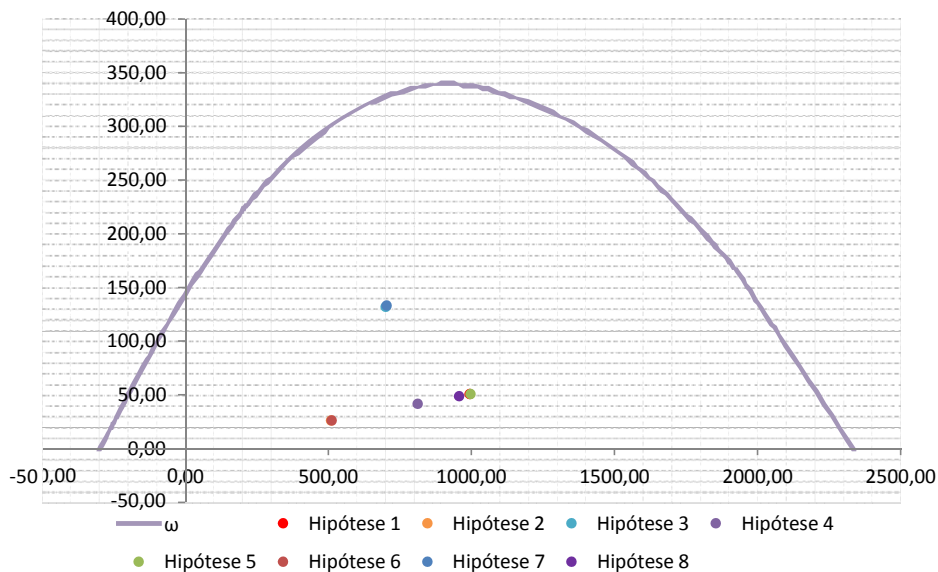
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	214 /320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	9944,48	-100,74	-2,44	9944,48	-100,74	-2,44	507,17
	N _{mín}	5103,40	129,09	-17,92	5103,40	129,09	-17,92	260,27
	M _{y,máx}	7016,43	-1319,11	8,90	7016,43	-1319,11	8,90	1319,14
	M _{z,máx}	8128,91	28,48	-117,93	8128,91	28,48	-117,93	414,57
Seção Base	N _{máx}	9975,01	-121,47	324,79	9975,01	-121,47	324,79	508,73
	N _{mín}	5126,02	208,48	91,36	5126,02	208,48	91,36	261,43
	M _{y,máx}	7040,46	-1319,74	167,19	7040,46	-1319,74	167,19	1330,29
	M _{z,máx}	9573,22	-95,75	351,41	9573,22	-95,75	351,41	488,23

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
\phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 34,41 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
\end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 215 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

19. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7177,41$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -90,14$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 517,69$$

$$H_L \text{ (kN)} = -15,71$$

$$H_T \text{ (kN)} = 215,28$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2340,00	35,00	315,00	316,94
	Menos carregada	1540,00	35,00	315,00	316,94
Seção Tubular	Mais carregada	2455,00	15,00	135,00	135,83
	Menos carregada	1635,00	15,00	135,00	135,83

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 133,54$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 5185,49$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 283,08$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 292,07$$

$$H_L \text{ (kN)} = 73,66$$

$$H_T \text{ (kN)} = 125,30$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 216 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1800,00	110,00	185,00	215,23
	Menos carregada	1095,00	110,00	185,00	215,23
Seção Tubular	Mais carregada	1910,00	50,00	80,00	94,34
	Menos carregada	1180,00	50,00	80,00	94,34

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 101,43$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6461,78$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -833,79$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 403,93$$

$$H_L \text{ (kN)} = 8,29$$

$$H_T \text{ (kN)} = 166,16$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2195,00	40,00	245,00	248,24
	Menos carregada	1335,00	40,00	245,00	248,24
Seção Tubular	Mais carregada	2305,00	20,00	105,00	106,89
	Menos carregada	1425,00	20,00	105,00	106,89

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 120,90$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6909,54$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -76,03$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 626,05$$

$$H_L \text{ (kN)} = -17,73$$


$$H_T \text{ (kN)} = 275,68$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2370,00	35,00	400,00	401,53
	Menos carregada	1380,00	35,00	400,00	401,53
Seção Tubular	Mais carregada	2480,00	15,00	175,00	175,64
	Menos carregada	1475,00	15,00	175,00	175,64

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 143,24$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 217 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 9975,01 & M_L \text{ (kN.m)} &= -160,35 & M_T \text{ (kN.m)} &= 938,33 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= -25,92 & H_T \text{ (kN)} &= 409,03
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3380,00	50,00	590,00	592,11
	Menos carregada	1905,00	50,00	590,00	592,11

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 5126,02 & M_L \text{ (kN.m)} &= 357,32 & M_T \text{ (kN.m)} &= 296,25 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 99,23 & H_T \text{ (kN)} &= 136,60
 \end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1840,00	145,00	200,00	247,03
	Menos carregada	1020,00	145,00	200,00	247,03

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 7040,46 & M_L \text{ (kN.m)} &= -1317,97 & M_T \text{ (kN.m)} &= 464,03 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 1,18 & H_T \text{ (kN)} &= 197,89
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2490,00	40,00	290,00	292,75
	Menos carregada	1330,00	40,00	290,00	292,75

 Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 218 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 9573,22$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -139,18$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 1100,86$$

$$H_L \text{ (kN)} = -28,95$$

$$H_T \text{ (kN)} = 499,63$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3420,00	55,00	720,00	722,10
	Menos carregada	1670,00	55,00	720,00	722,10

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 11,80$$

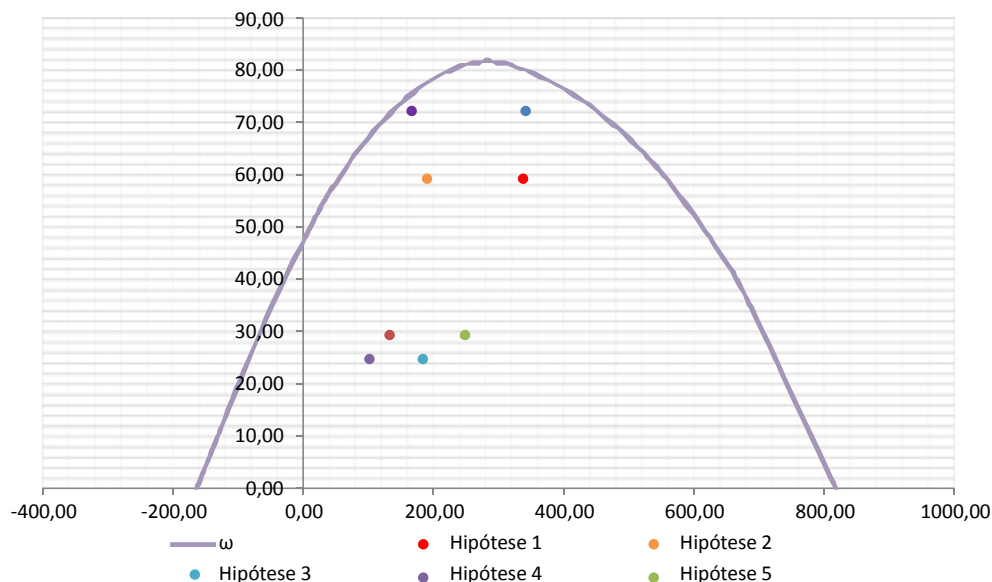
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

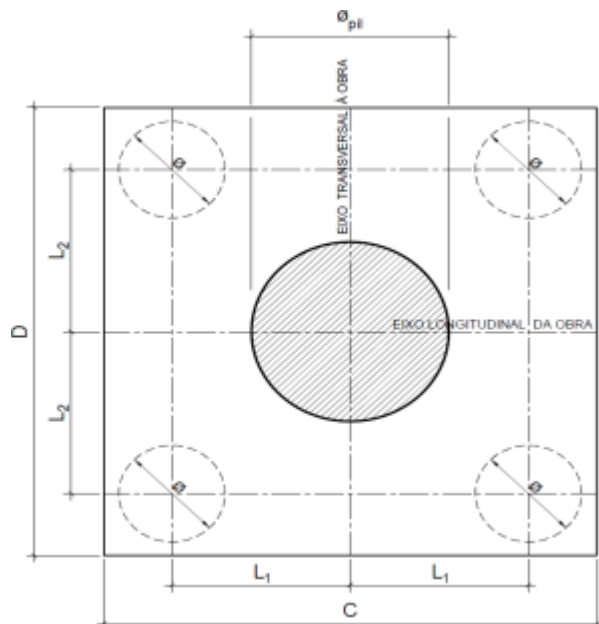
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-IV	1	219
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

19. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\varnothing_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\varnothing_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

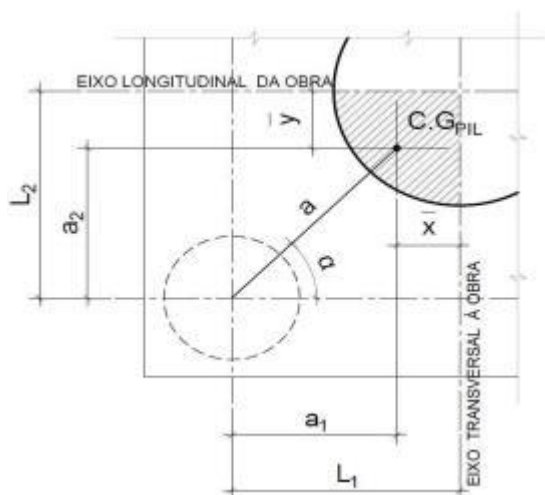
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 220 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\bar{x} = 0,255 \text{ m}$$

$$\bar{y} = 0,255 \text{ m}$$

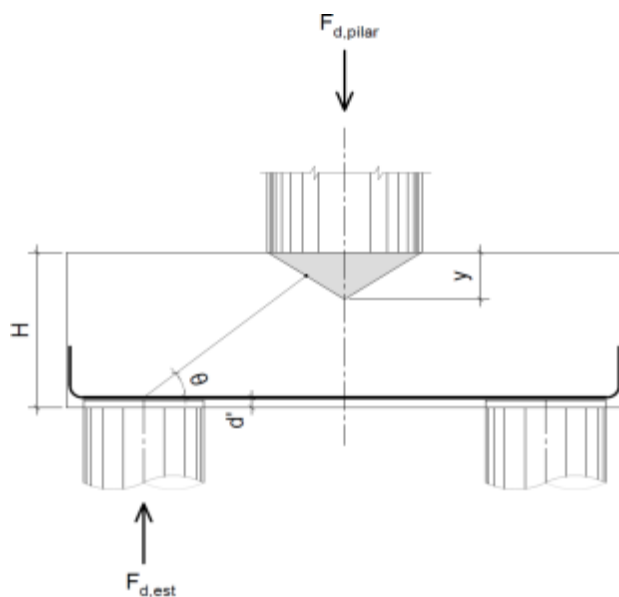
$$a_1 = 0,95 \text{ m}$$

$$a_2 = 0,95 \text{ m}$$

$$a = 1,34 \text{ m}$$

$$\alpha = 45,00^\circ$$

Projeção vertical da biela:



$$H = 1,50 \text{ m}$$

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

$$d = 1,35 \text{ m}$$

$$y = 0,2 \text{ m}$$

$$z = 1,25 \text{ m}$$

$$\theta = 43,08^\circ$$

$$F_{d,est} = 3420,00 \text{ kN}$$

$$F_{d,pilar} = 13680,00 \text{ kN}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

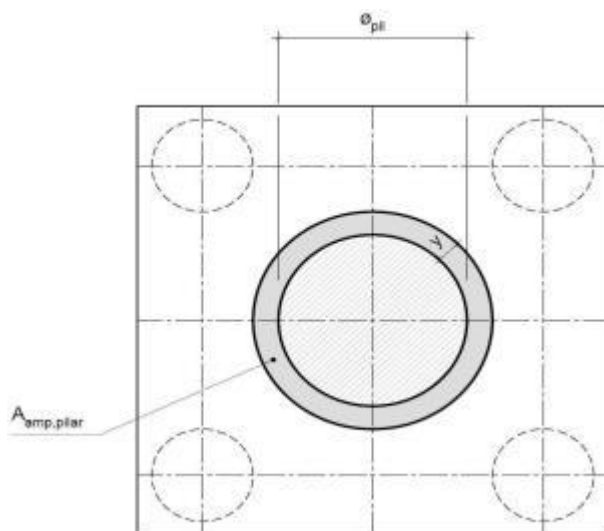
Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

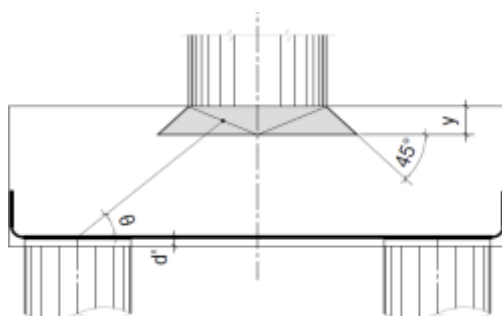
PT PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 221 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{aNP,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

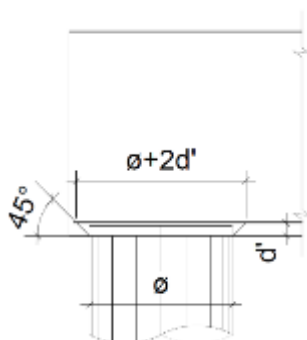
$$A_{amp,pilar} = 2,01 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 14,59 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 222 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 7,72 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3657,84 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 2586,48 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 59,49 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2586,48 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 59,49 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 47,59 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 47,59 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 11,90 \text{ cm}^2$$

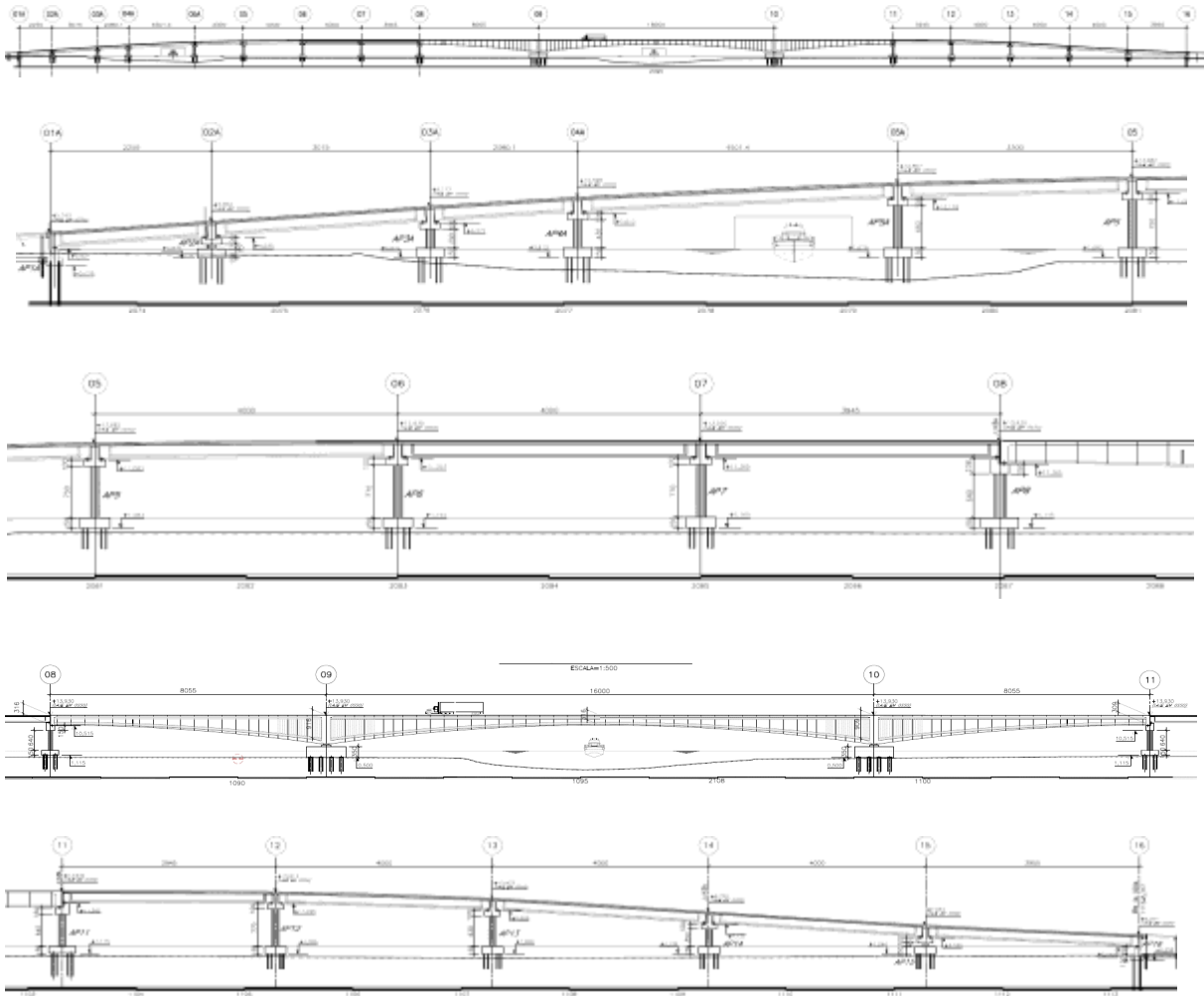
$$20\% A_{s,tir,trans} = 11,90 \text{ cm}^2$$


	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-IV	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	223 / 320

Cálculo da Infraestrutura - Ramo 2000

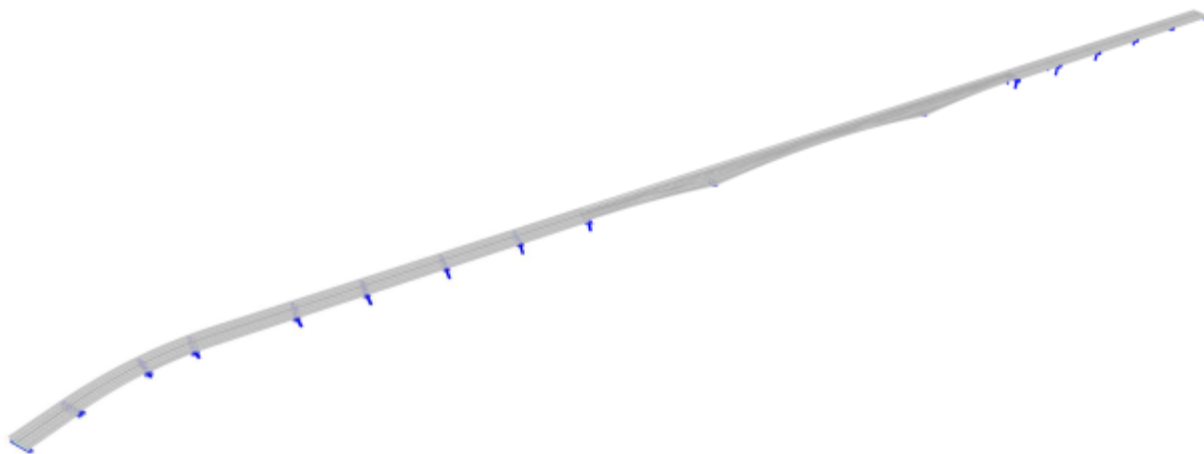
20. Sistema Estrutural

Elevação geral em vista



	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 224 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Para estudo da infraestrutura foi elaborado um modelo em elementos finitos no programa CSiBridge, onde foram aplicados os carregamentos verticais e horizontais, além de todas as características geométricas e dos materiais dos elementos estruturais. A figura a seguir ilustra o modelo global da estrutura analisada.



21. Características dos materiais

21. 1. Características dos materiais

Concreto Superestrutura:

$f_{ck} =$	40	MPa
$\gamma =$	25	kN/m ³
$E_{ci} =$	35417,5	MPa
$\alpha_i =$	0,90	
$E_{cs} =$	31875,76	MPa
$\nu =$	0,2	
$\alpha =$	1,0E-05	/°C

Concreto Infraestrutura:

$f_{ck} =$	30	MPa
$\gamma =$	25	kN/m ³
$E_{ci} =$	30672,5	MPa
$\alpha_i =$	0,88	
$E_{cs} =$	26838,41	MPa
$\nu =$	0,2	
$\alpha =$	1,0E-05	/°C


Concreto Estaqueamento:

$f_{ck} =$	25	MPa
$\gamma =$	25	kN/m ³
$E_{ci} =$	28000,0	MPa
$\alpha_i =$	0,86	
$E_{cs} =$	24150	MPa
$\nu =$	0,2	
$\alpha =$	1,0E-05	/°C

Aço Estaqueamento (Tubos e Perfis):

ASTM 572 Gr. 50

$f_y =$	345	MPa
$f_u =$	450	MPa
$\sigma_{trab} =$	175	MPa
$E_s =$	200	GPa
$\nu =$	0,3	
$\alpha =$	1,2E-06	/°C
$\gamma =$	78,5	kN/m ³

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 225 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

22. Cálculo dos carregamentos atuantes

22. 1. Carregamentos Verticais

Peso Próprio

O peso próprio dos elementos é calculado automaticamente pelo software.

Sobrecargas Permanentes

- Guarda Rodas:	$Q_{GR} = 0,2337 \times 25 / 0,4 =$	14,61	kN/m ²
- Guarda Corpo:	$Q_{GC} =$	0,50	kN/m
- Mureta do passeio:	$Q_{MUR} = 0,15 \times 25 =$	3,75	kN/m ²
- Pavimentação:	$Q_{PAV} = 0,07 \times 24 =$	1,68	kN/m ²
- Caimento da laje no balanço sucessivo:	$Q_{CAIM.LAJE} = 0,09 \times 25 =$	2,25	kN/m ²
- Caimento do passeio no balanço sucessivo:	$Q_{CAIM.BAL} = 0,05 \times 25 =$	1,25	kN/m ²

Carga Móvel

TB-450 NBR 7188:2013

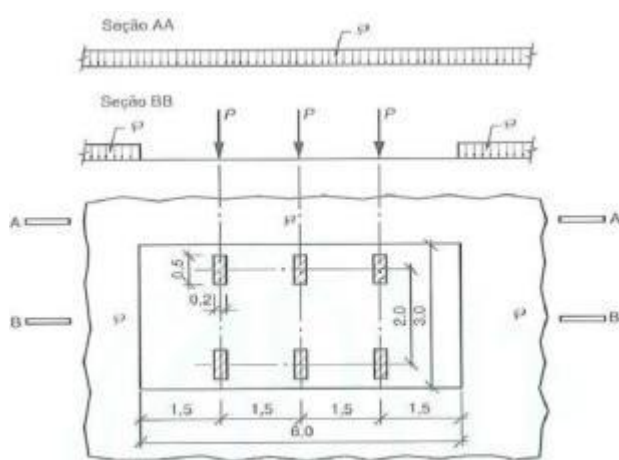


Figura 1 – Disposição das cargas estáticas

$$P = 75 \text{ kN}$$

$$q = 5 \text{ kN/m}^2$$


Coefficiente de Impacto:

$$\varphi = CIV \times CNF$$

$$CIV = 1 + 1,06 \times \left(\frac{20}{Liv + 50} \right)$$

$$CNF = 1 - 0,05 \times (n - 2) > 0,9$$

O Software calcula automaticamente o coeficiente de impacto através de interpolação linear do vão dada uma tabela de entrada para leitura dos dados. A seguir é apresentada a tabela do coeficiente de impacto para diversos vãos, inserida no software.

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 226 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

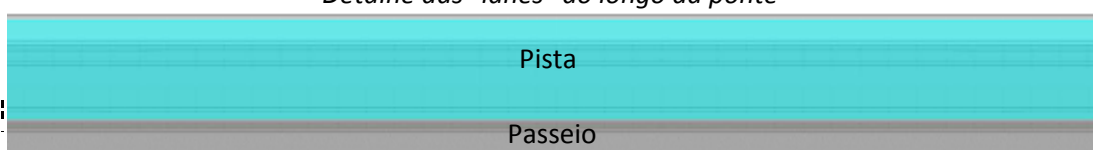
L _{iv} (m)	CIV	n	CNF	φ
0,0	1,35	2	1,00	1,350
1,0	1,35	2	1,00	1,350
5,0	1,35	2	1,00	1,350
10,0	1,35	2	1,00	1,353
15,0	1,33	2	1,00	1,326
20,0	1,30	2	1,00	1,303
25,0	1,28	2	1,00	1,283
30,0	1,27	2	1,00	1,265
35,0	1,25	2	1,00	1,249
40,0	1,24	2	1,00	1,236
45,0	1,22	2	1,00	1,223
50,0	1,21	2	1,00	1,212
55,0	1,20	2	1,00	1,202
60,0	1,19	2	1,00	1,193
65,0	1,18	2	1,00	1,184
70,0	1,18	2	1,00	1,177
75,0	1,17	2	1,00	1,170
80,0	1,16	2	1,00	1,163
85,0	1,16	2	1,00	1,157
90,0	1,15	2	1,00	1,151
95,0	1,15	2	1,00	1,146
100,0	1,14	2	1,00	1,141
150,0	1,11	2	1,00	1,106
200,0	1,08	2	1,00	1,085

Nos passeios para pedestres foi adotada carga uniformemente distribuída de 5kN/m² sem ponderação dos coeficientes de impacto, conforme NBR 7188:2013.


O caminho de passagem dos veículos tipo nas pistas e da multidão nos passeios são definidos através das "lanes" no CSiBridge. A seguir são ilustradas as "lanes" modeladas no software.



Detalhe das "lanes" ao longo da ponte



Detalhe das "lanes" ao longo da ponte - Vista em planta aproximada

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 227 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

22. 2. Carregamentos Horizontais Longitudinais

- Frenagem e Aceleração:

$$H_f = 0,25 \cdot B \cdot L \cdot CNF \quad CNF = 1,00$$

A carga de frenagem e aceleração foi considerada distribuída ao longo da pista no nível do tabuleiro.

- Variação de temperatura, retração e deformação lenta do concreto:

Para simular os efeitos de retração do concreto, deformação lenta do concreto devidas à protensão e variação ambiental de temperatura será assumida uma queda de temperatura de:

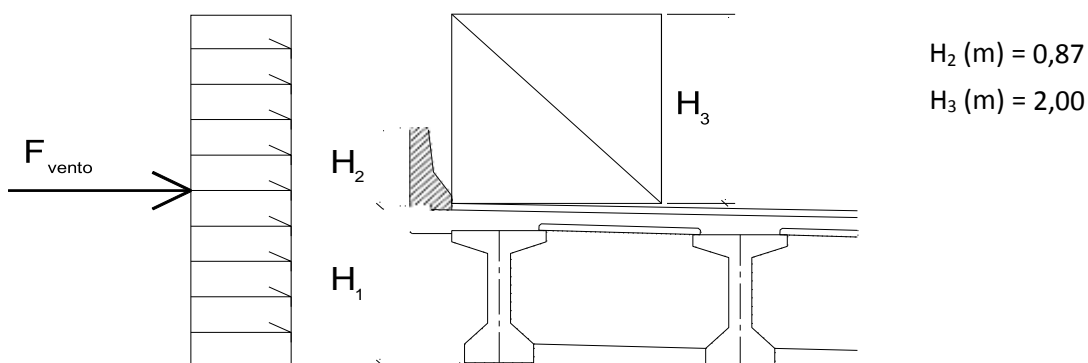
$$\Delta\theta (^{\circ}\text{C}) = -50 \quad \alpha = 0,00001$$


- Gradiente térmico:

Considerando a diferença de temperatura na parte superior que recebe sol diretamente para a parte inferior, aplica-se um carregamento de gradiente de temperatura com variação uniforme de 5 °C entre a face superior e inferior do caixão.

22. 3. Carregamentos Horizontais Transversais

- Vento na Superestrutura:



	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 228 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cálculo da Velocidade Característica do Vento:

$$V_k = V_o * S_1 * S_2 * S_3$$

$$V_o(\text{m/s}) = 42,00 \quad (\text{máxima velocidade média retirada das isopletras da Figura 1 da NBR-6123:1988})$$

$$S_1 = 1,00 \quad (\text{Fator topográfico: terreno plano ou fracamente acidentado})$$

$$S_2 = 1,09 \quad (\text{Tabela 2: Rugosidade Cat. I, Dimensões Classe C, Altura } z=15\text{m})$$

$$S_3 = 1,10 \quad (\text{Fator estatístico})$$

$$V_k (\text{m/s}) = 50,358$$

- Cálculo da Pressão de vento:

$$q = 0,613 * V_k^2 \quad q = 1554,5 \text{ N/m}^2 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

$$H_{1.1} (\text{m}) = 2,23 \quad (\text{Altura da Viga + Laje no trecho pré-moldado})$$

$$H_{1.2} (\text{m}) = 5,00 \quad (\text{Altura da seção do caixão considerada})$$

- Força Centrífuga:

A força horizontal provenientes da força centrífuga, aplicadas no nível da pista de rolamento é demonstrada a seguir.

$$H_{fc} = 2,4 * P \quad (\text{em kN, para curva com raio } < 200\text{m})$$

$$H_{fc} = (480/R) * P \quad (\text{em kN, para curva com raio } 200 < R < 1500\text{m})$$

$$H_{fc} = 0 \quad (\text{para raios superiores a } 1500\text{m})$$

$$R (\text{m}) = 107,00$$

$$P (\text{kN}) = 75$$

$$H_{fc} (\text{kN}) = 180$$

23. Cálculo das rijeas das linhas de apoio

As rijeas das linhas de apoio são calculadas automaticamente no CSiBridge. As rijeas dos aparelhos de apoio são tratadas como elementos tipo "Bearings" no programa e seguem detalhadas a seguir.

- Neoprenes fretados:

$$a (\text{m}) = 0,450$$


$$b (\text{m}) = 0,300$$

$$h_{\text{borr}} (\text{m}) = 0,048$$

$$K^{\text{neop}} = G * a * b / h_{\text{borr}}$$

$$G (\text{kN/m}^2) = 1000 \quad (\text{módulo de elasticidade transversal do neoprene})$$

$$K^{\text{neop}} (\text{kN/m}) = 2812,50$$

	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	229 / 320

24. Atrito interno dos aparelhos de apoio metálicos

Para aplicação das cargas horizontais nos aparelhos de apoio com movimentação longitudinal e transversal livres, foi considerado 4% da reação de apoio vertical.

25. Resumo das características principais dos apoios

	H _{trav} (m)	H _{pil} (m)	Ø _{pil} (m)	C _{long.bloco} (m)	D _{trans.bloco} (m)	h _{bloco} (m)
AP-1A	-	-	-	2,20	13,00	1,20
AP-2A	3,00	0,70	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-3A	3,00	2,90	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-4A	3,00	4,30	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-5A	3,00	6,60	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-5	3,00	7,50	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-6	3,00	7,70	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-7	3,00	7,70	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-8	1,50	6,40	1,40	6,00	4,00	1,50
AP-9	-	-	-	-	-	-
AP-10	-	-	-	-	-	-
AP-11	1,50	6,40	1,40	6,00	4,00	1,50
AP-12	3,00	7,70	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-13	3,00	6,30	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-14	3,00	3,50	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-15	3,00	0,80	1,20	4,00	4,00	1,50
AP-16	-	-	-	2,20	13,00	1,20

26. Combinações


As ações são combinadas de acordo com a NBR 8681 para os Estados Limites de Serviço e para o Estado Limite Último. A seguir são apresentadas as combinações consideradas no modelo.

26. 1. Combinações de Serviço

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$$

Com:


Ação	ψ ₁
cargas permanentes	1,00
carga móvel e seus efeitos dinâmicos	1,00
deformações impostas	1,00
vento	1,00

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 230 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

26. 2. Combinações Últimas Normais

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

Ação	γ_{desfav}	γ_{fav}	ψ_0
cargas permanentes	1,35	1,00	-
carga móvel e seus efeitos dinâmicos	1,50	0,00	0,70
vento	1,40	0,00	0,60
deformações impostas	1,20	0,00	0,60

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 231 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

27. Cálculo do Apoio de AP-2A

27. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \quad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \quad h \text{ (m)} = 3,00 \quad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,N_{\min}} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \quad A_{c,N_{\min}} = 0,15\% \cdot A_c \quad A_{s,\min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \quad M_{d,\min} = 4744,41 \quad A_{s,\min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-5366,37	2,85	0,125	2,800	0,029	44,08
Inferior	4825,00	2,85	0,112	2,805	0,026	39,56

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN)} = 4790,64 \quad \rho_{sw}^{\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \quad a_s^{1\text{perna}} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \quad n^{\text{pernas}} = 4$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 2190,34 \quad A_{sw/s} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 19,64$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 18,71$$

$$\rho_{sw}^{m\acute{a}x/\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 18,71$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 232 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1750,00 \quad A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 11,66 \quad \text{por face}$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389 \quad A_{sl}/U \text{ (cm}^2/\text{m)} = 11,66$$

$$A_e \text{ (m}^2) = 1,726 \quad A_{sk} \text{ (cm}^2) = 76,30$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544 \quad A_{sl, costela} \text{ (cm}^2) = 28,26 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!} \quad A_{sl, flex\acute{o}e} \text{ (cm}^2) = 9,89 \quad \text{por face}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1845,00 \quad i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,50 \quad A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 33,95$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16 \quad \rho_{sw} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 22,21$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2) = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:	Torção:	Suspensão:
$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 19,64$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 23,32$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 33,95$
Arm. mínima:	Total:	
$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 11,59$	$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 76,91$	$s \text{ (cm)} = 10,5$
$\phi \text{ (mm)} = 16$	$\rho_{sw} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 73,24$	
$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2) = 2,011$		
$n^{pernas} = 4$		

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,591 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:


$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cm}^2/\text{m} \quad A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2/\text{m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2)$
Long. Superior	53,97
Long. Inferior	49,45

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	4	10,5

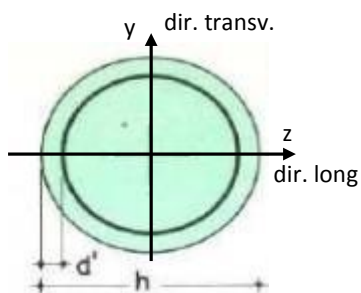
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2/\text{m)}$
Long. Pele	9,42

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 233 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

27. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 3,70 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 0,70$$

$$l_{e,z} (m) = 7,40$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 0,70$$

$$l_{e,y} (m) = 1,90$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 24,67$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$


$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 6,33$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

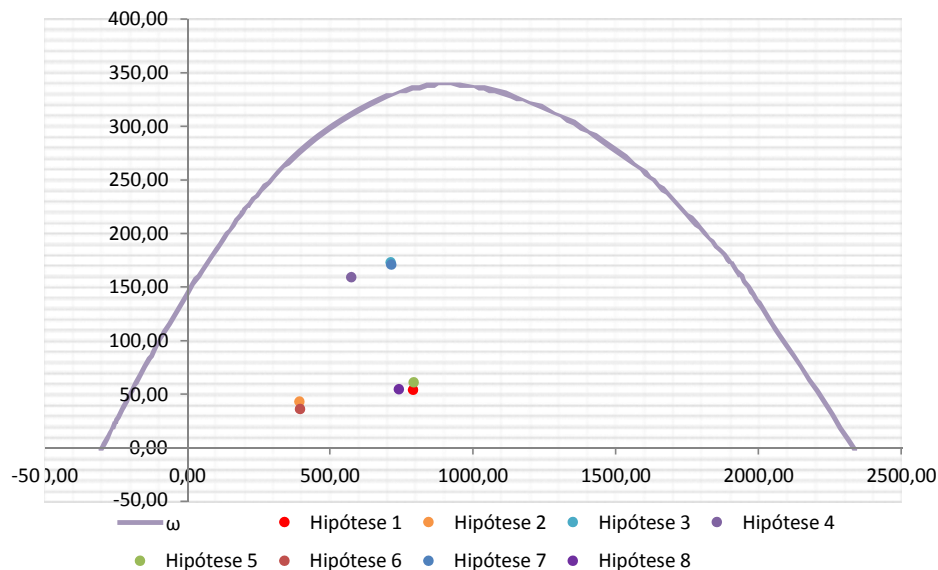
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	234 /320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	7914,15	532,85	-80,66	7914,15	532,85	-80,66	538,92
	N _{mín}	3944,22	419,59	-85,95	3944,22	419,59	-85,95	428,30
	M _{y,máx}	7133,51	1722,90	-126,29	7133,51	1722,90	-126,29	1727,52
	M _{z,máx}	5752,10	1585,44	-136,90	5752,10	1585,44	-136,90	1591,34
Seção Base	N _{máx}	7940,87	514,80	-322,51	7940,87	514,80	-322,51	607,48
	N _{mín}	3964,01	360,74	7,32	3964,01	360,74	7,32	360,81
	M _{y,máx}	7160,31	1696,24	-184,69	7160,31	1696,24	-184,69	1706,27
	M _{z,máx}	7426,01	421,22	-347,04	7426,01	421,22	-347,04	545,77

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 27,40 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 235 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

27. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5688,60$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 387,60$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -317,45$$

$$H_L \text{ (kN)} = -15,33$$

$$H_T \text{ (kN)} = -98,19$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1810,00	40,00	145,00	150,42
	Menos carregada	1330,00	40,00	145,00	150,42
Seção Tubular	Mais carregada	1900,00	5,00	65,00	65,19
	Menos carregada	1425,00	5,00	65,00	65,19

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 94,68$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4000,80$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 269,15$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = 43,79$$

$$H_L \text{ (kN)} = -69,54$$

$$H_T \text{ (kN)} = 52,18$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 236 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1255,00	115,00	85,00	143,00
	Menos carregada	1045,00	115,00	85,00	143,00
Seção Tubular	Mais carregada	1350,00	40,00	35,00	53,15
	Menos carregada	1130,00	40,00	35,00	53,15

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 68,76$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5206,12$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 1135,53$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -221,12$$

$$H_L \text{ (kN)} = -29,02$$

$$H_T \text{ (kN)} = -52,80$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1740,00	75,00	85,00	113,36
	Menos carregada	1160,00	75,00	85,00	113,36
Seção Tubular	Mais carregada	1830,00	20,00	40,00	44,72
	Menos carregada	1250,00	20,00	40,00	44,72

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 87,27$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5345,36$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 225,36$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -450,49$$

$$H_L \text{ (kN)} = -81,90$$


$$H_T \text{ (kN)} = -175,98$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1845,00	135,00	255,00	288,53
	Menos carregada	1130,00	135,00	255,00	288,53
Seção Tubular	Mais carregada	1950,00	45,00	110,00	118,85
	Menos carregada	1220,00	45,00	110,00	118,85

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 108,45$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 237 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 7940,87 & M_L \text{ (kN.m)} = 476,13 & M_T \text{ (kN.m)} = -840,75 \\
H_L \text{ (kN)} = -25,78 & & H_T \text{ (kN)} = -345,49
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2775,00	60,00	500,00	503,59
	Menos carregada	1495,00	60,00	500,00	503,59

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 3964,01 & M_L \text{ (kN.m)} = 234,63 & M_T \text{ (kN.m)} = 207,19 \\
H_L \text{ (kN)} = -84,07 & & H_T \text{ (kN)} = 133,24
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1400,00	135,00	195,00	237,17
	Menos carregada	885,00	135,00	195,00	237,17

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 7160,31 & M_L \text{ (kN.m)} = 1639,17 & M_T \text{ (kN.m)} = -309,84 \\
H_L \text{ (kN)} = -38,05 & & H_T \text{ (kN)} = -83,43
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2370,00	100,00	130,00	164,01
	Menos carregada	1510,00	100,00	130,00	164,01

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 238 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

N (kN) = 7426,01

M_L (kN.m) = 232,77

M_T (kN.m) = -1040,31

H_L (kN) = -125,63

H_T (kN) = -462,18

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2875,00	200,00	640,00	670,52
	Menos carregada	1140,00	200,00	640,00	670,52

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

ϕ (m) = 0,775

f_{yk} (kN/cm²) = 50,0

f_{ck} (MPa) = 25,0

c (m) = 0,060

γ_s = 1,15

γ_c = 1,5

$A_{s,min1}$ (cm²) = 18,87

f_{yd} (tf/cm²) = 43,478

f_{cd} (MPa) = 16,667

$A_{s,min2}$ (cm²) = 9,92

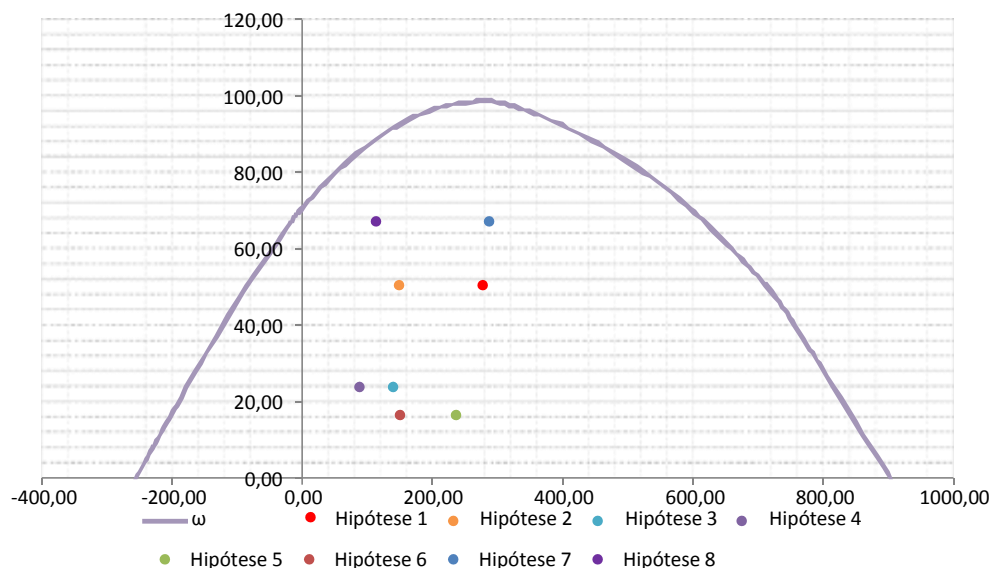
E_s (kN/cm²) = 20000

σ_{cd} = 0,85 x f_{cd}

A_c (m²) = 0,47

A_s (cm²) = 58,90

ω = 0,326



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$A_{s,min}$ (cm²) = 18,9

$A_{c,Nás}$ = 0,08 A_c

$A_{s,máx}$ (cm²) = 377,4

$A_{s,adotado}$ (cm²) = 58,90

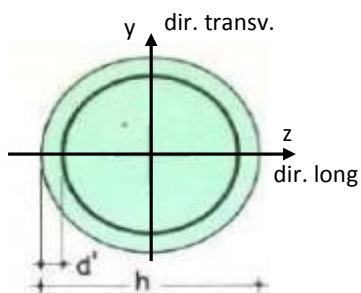
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 239 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

27. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 3,70 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 0,70$$

$$l_{e,z} (m) = 7,40$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 0,70$$

$$l_{e,y} (m) = 1,90$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 24,67$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$

$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 6,33$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

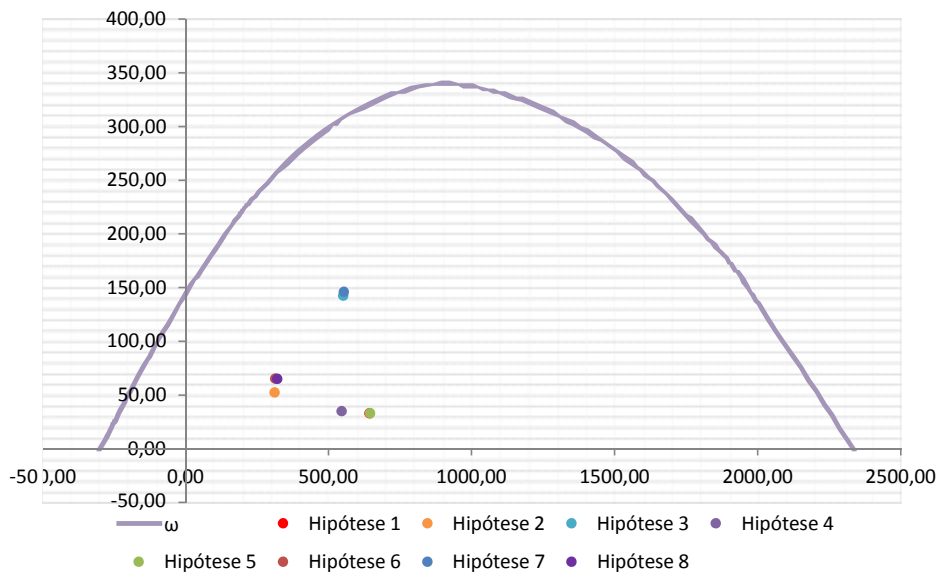
$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(u+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad u = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	6437,63	251,93	-53,21	6437,63	251,93	-53,21	328,32
	N _{mín}	3135,16	518,30	-59,81	3135,16	518,30	-59,81	521,74
	M _{y,máx}	5519,19	1420,04	-104,21	5519,19	1420,04	-104,21	1423,86
	M _{z,máx}	5466,64	314,90	-146,32	5466,64	314,90	-146,32	347,23
Seção Base	N _{máx}	6464,35	207,15	-56,14	6464,35	207,15	-56,14	329,68
	N _{mín}	3154,95	564,26	-324,64	3154,95	564,26	-324,64	650,98
	M _{y,máx}	5546,04	1446,24	-199,91	5546,04	1446,24	-199,91	1459,99
	M _{z,máx}	3224,95	548,95	-342,31	3224,95	548,95	-342,31	646,93

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned} \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\ c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\ A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\ A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 22,30 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\ A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 241 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

27. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4634,68$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 102,71$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -213,73$$

$$H_L \text{ (kN)} = -41,75$$

$$H_T \text{ (kN)} = -82,70$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1480,00	70,00	125,00	143,27
	Menos carregada	1135,00	70,00	125,00	143,27
Seção Tubular	Mais carregada	1590,00	25,00	55,00	60,42
	Menos carregada	1220,00	25,00	55,00	60,42

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 80,51$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 3297,33$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 531,24$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -797,58$$

$$H_L \text{ (kN)} = 43,34$$

$$H_T \text{ (kN)} = -351,63$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 242 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1710,00	60,00	500,00	503,59
	Menos carregada	240,00	60,00	500,00	503,59
Seção Tubular	Mais carregada	1815,00	35,00	220,00	222,77
	Menos carregada	330,00	35,00	220,00	222,77

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 125,28$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4069,14$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 1026,08$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -538,35$$

$$H_L \text{ (kN)} = 29,93$$

$$H_T \text{ (kN)} = -227,36$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1780,00	30,00	330,00	331,36
	Menos carregada	555,00	30,00	330,00	331,36
Seção Tubular	Mais carregada	1890,00	35,00	150,00	154,03
	Menos carregada	640,00	35,00	150,00	154,03

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 113,54$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 3297,33$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 531,24$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -797,58$$

$$H_L \text{ (kN)} = 43,34$$


$$H_T \text{ (kN)} = -351,63$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1710,00	60,00	500,00	503,59
	Menos carregada	240,00	60,00	500,00	503,59
Seção Tubular	Mais carregada	1815,00	35,00	220,00	222,77
	Menos carregada	330,00	35,00	220,00	222,77

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 125,28$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 243 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de N_{\max}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 6464,35 & M_L \text{ (kN.m)} &= 111,20 & M_T \text{ (kN.m)} &= -62,40 \\
H_L \text{ (kN)} &= -63,97 & H_T \text{ (kN)} &= -4,18
\end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1840,00	105,00	15,00	106,07
	Menos carregada	1690,00	105,00	15,00	106,07

- Situação de N_{\min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 3154,95 & M_L \text{ (kN.m)} &= 662,75 & M_T \text{ (kN.m)} &= -892,13 \\
H_L \text{ (kN)} &= 65,66 & H_T \text{ (kN)} &= -378,33
\end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1775,00	90,00	540,00	547,45
	Menos carregada	100,00	90,00	540,00	547,45

- Situação de $|M_{L,\max}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 5546,04 & M_L \text{ (kN.m)} &= 1502,39 & M_T \text{ (kN.m)} &= -405,00 \\
H_L \text{ (kN)} &= 37,44 & H_T \text{ (kN)} &= -136,72
\end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2115,00	45,00	200,00	205,00
	Menos carregada	960,00	45,00	200,00	205,00

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 244 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

N (kN) = 3224,95

M_L (kN.m) = 656,62

M_T (kN.m) = -1036,46

H_L (kN) = 71,78

H_T (kN) = -462,77

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1930,00	100,00	655,00	662,59
	Menos carregada	-15,00	100,00	655,00	662,59

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

ϕ (m) = 0,775

f_{yk} (kN/cm²) = 50,0

f_{ck} (MPa) = 25,0

c (m) = 0,060

γ_s = 1,15

γ_c = 1,5

$A_{s,min1}$ (cm²) = 18,87

f_{yd} (tf/cm²) = 43,478

f_{cd} (MPa) = 16,667

$A_{s,min2}$ (cm²) = 7,30

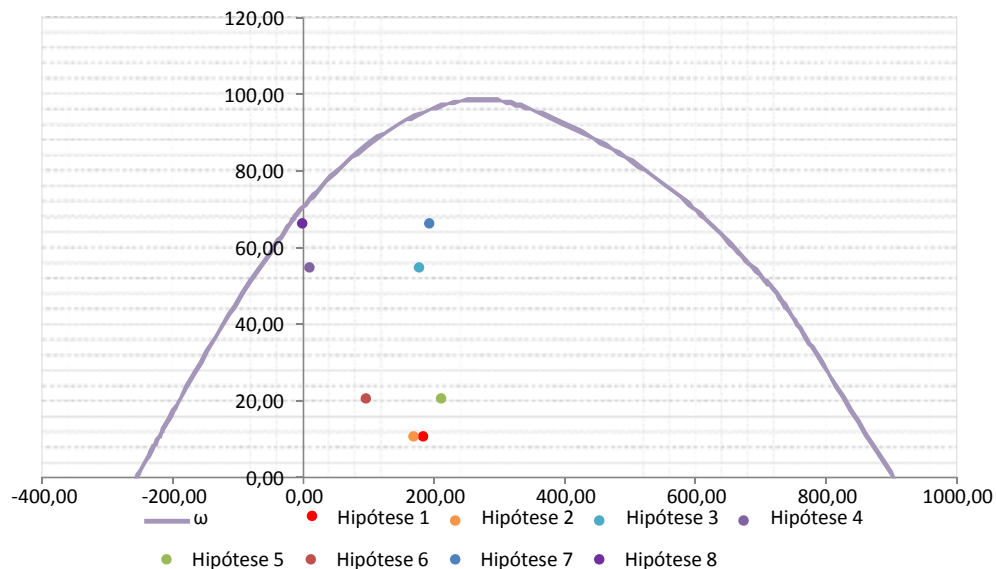
E_s (kN/cm²) = 20000

σ_{cd} = 0,85 x f_{cd}

A_c (m²) = 0,47

A_s (cm²) = 58,90

ω = 0,326



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$A_{s,min}$ (cm²) = 18,9

$A_{c,Nás}$ = 0,08 A_c

$A_{s,máx}$ (cm²) = 377,4

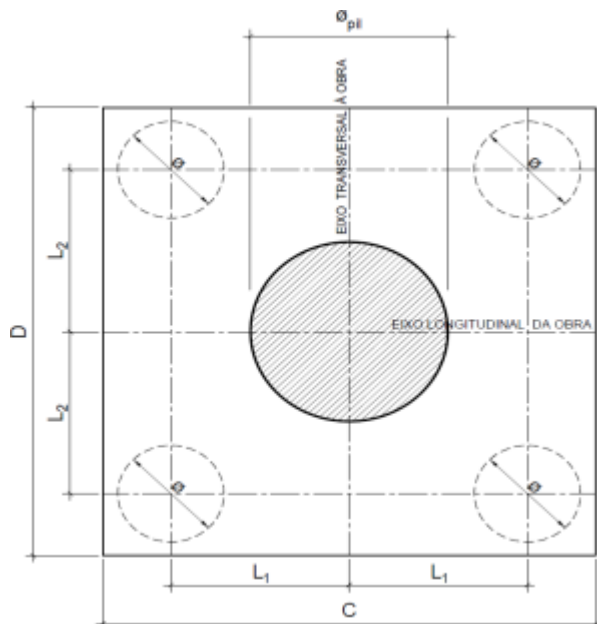
$A_{s,adotado}$ (cm²) = 58,90

Ok! (Mesmo em região de emendas)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	245
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

27. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\varnothing_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\varnothing_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

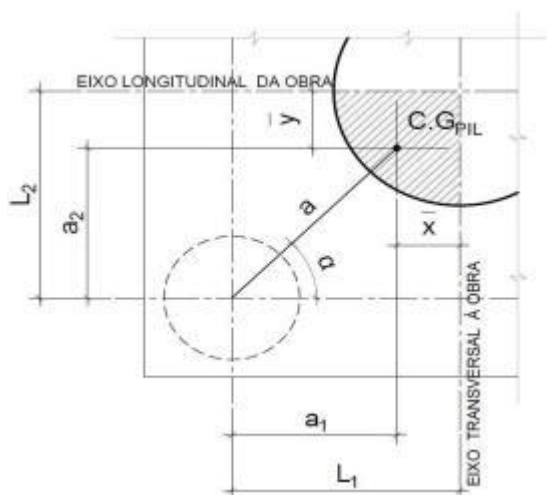
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	246
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

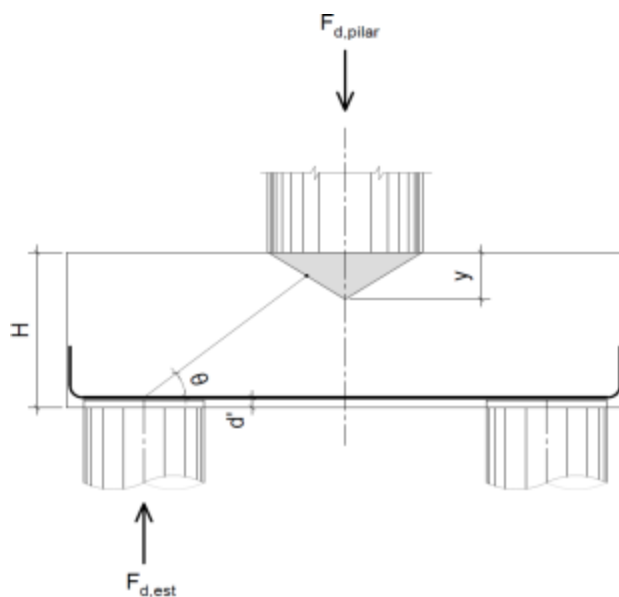
- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\begin{aligned}\bar{x} &= 0,255 \text{ m} \\ \bar{y} &= 0,255 \text{ m} \\ a_1 &= 0,95 \text{ m} \\ a_2 &= 0,95 \text{ m} \\ a &= 1,34 \text{ m} \\ \alpha &= 45,00^\circ\end{aligned}$$


Projeção vertical da biela:



$$\begin{aligned}H &= 1,50 \text{ m} \\ d' &= 0,15 \text{ m} \\ d &= 1,35 \text{ m} \\ y &= 0,15 \text{ m} \\ z &= 1,28 \text{ m} \\ \theta &= 43,64^\circ \\ F_{d,est} &= 2875,00 \text{ kN} \\ F_{d,pilar} &= 11500,00 \text{ kN}\end{aligned}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

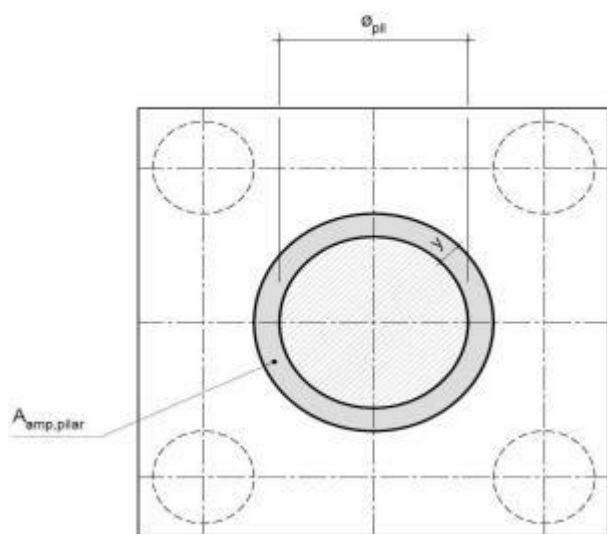
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 247 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

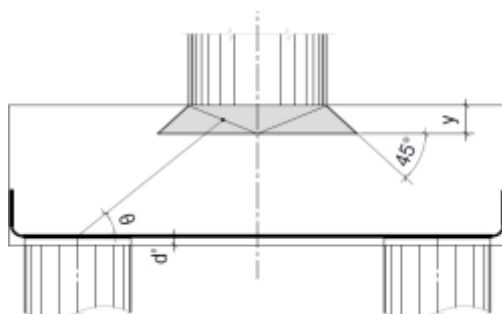
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{aNp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

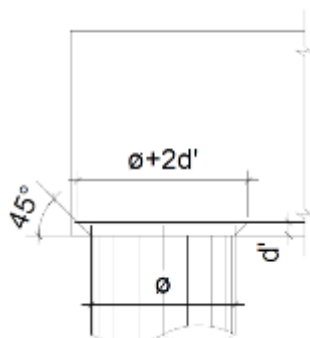
$$A_{amp,pilar} = 1,77 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 13,66 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 248 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 6,35 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3014,65 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 2131,68 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 49,03 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2131,68 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 49,03 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 39,22 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 39,22 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 9,81 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 9,81 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 249 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

28. Cálculo do Apoio de AP-3A

28. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \quad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \quad h \text{ (m)} = 3,00 \quad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,N_{\min}} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \quad A_{c,N_{\min}} = 0,15\% \cdot A_c \quad A_{s,\min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \quad M_{d,\min} = 4744,41 \quad A_{s,\min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-5456,80	2,85	0,127	2,799	0,030	44,84
Inferior	4995,00	2,85	0,116	2,803	0,027	40,98

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,máx} \text{ (kN)} = 4753,10 \quad \rho_{sw}^{\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \quad a_s^{1\text{perna}} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \quad n^{\text{pernas}} = 4$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 2152,80 \quad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 19,30$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 18,38$$

$$\rho_{sw}^{máx/mín} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 18,38$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 250 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1775,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 11,82 \quad \text{por face}$$

$$A_{st}/U \text{ (cm}^2\text{/m)} = 11,82$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2\text{)} = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{sk} \text{ (cm}^2\text{)} = 77,39$$

$$A_{sl, costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 28,66 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl, flex\acute{o}e} \text{ (cm}^2\text{)} = 10,03 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1870,00$$

$$i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,50$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,41$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 22,52$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 19,30$$

Torção:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 23,65$$

Suspensão:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 34,41$$

Arm. mínima:

$$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{pernas} = 4$$

Total:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 77,36$$

$$s \text{ (cm)} = 10,4$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 73,68$$

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,592 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cm}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{)}$
Long. Superior	54,87
Long. Inferior	51,01

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	4	10,4

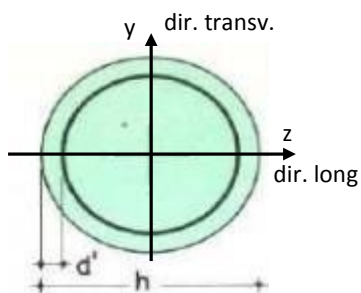
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Long. Pele	9,55

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 251 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

28. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 5,90 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 2,90$$

$$l_{e,z} (m) = 11,80$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 2,90$$

$$l_{e,y} (m) = 4,10$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 39,33$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$

$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 13,67$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

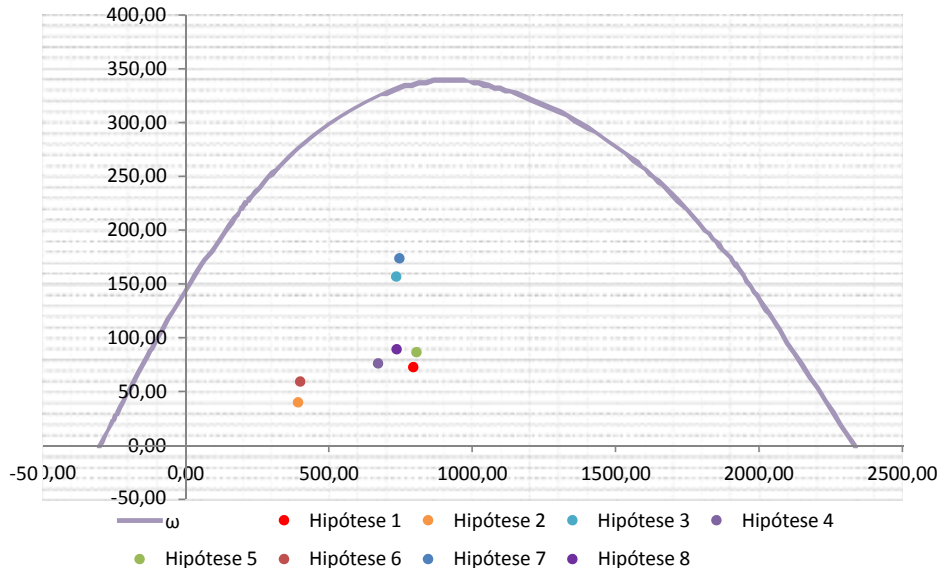
$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	7953,14	-1106,30	331,85	7953,14	-644,88	331,85	725,25
	N _{mín}	3928,13	-627,06	13,31	3928,13	-399,17	13,31	399,39
	M _{y,máx}	7357,24	-1964,27	302,64	7357,24	-1537,42	302,64	1566,93
	M _{z,máx}	6721,87	-1020,20	428,30	6721,87	-630,22	428,30	761,98
Seção Base	N _{máx}	8063,84	-1010,48	-674,55	8063,84	-542,64	-674,55	865,72
	N _{mín}	4010,12	-820,53	-60,96	4010,12	-587,88	-60,96	591,03
	M _{y,máx}	7469,45	-2059,18	-615,56	7469,45	-1625,83	-615,56	1738,45
	M _{z,máx}	7367,12	-976,61	-702,37	7367,12	-549,19	-702,37	891,59

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned} \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\ c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\ A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\ A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 27,82 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\ A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 253 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

28. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5773,55$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -696,56$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -715,30$$

$$H_L \text{ (kN)} = 21,15$$

$$H_T \text{ (kN)} = -203,60$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2085,00	55,00	290,00	295,17
	Menos carregada	1100,00	55,00	290,00	295,17
Seção Tubular	Mais carregada	2195,00	10,00	130,00	130,38
	Menos carregada	1190,00	10,00	130,00	130,38

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 121,33$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4050,54$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -846,97$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -209,66$$

$$H_L \text{ (kN)} = -55,01$$

$$H_T \text{ (kN)} = -59,24$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 254 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1500,00	70,00	90,00	114,02
	Menos carregada	820,00	70,00	90,00	114,02
Seção Tubular	Mais carregada	1610,00	50,00	40,00	64,03
	Menos carregada	910,00	50,00	40,00	64,03

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 82,14$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de |M_{L,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5377,29$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1462,50$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -645,61$$

$$H_L \text{ (kN)} = -23,39$$

$$H_T \text{ (kN)} = -183,36$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2150,00	40,00	260,00	263,06
	Menos carregada	840,00	40,00	260,00	263,06
Seção Tubular	Mais carregada	2255,00	40,00	120,00	126,49
	Menos carregada	930,00	40,00	120,00	126,49

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 123,03$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de |M_{T,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5309,07$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -678,29$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -770,61$$

$$H_L \text{ (kN)} = 18,27$$


$$H_T \text{ (kN)} = -228,11$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2010,00	50,00	325,00	328,82
	Menos carregada	945,00	50,00	325,00	328,82
Seção Tubular	Mais carregada	2120,00	10,00	150,00	150,33
	Menos carregada	1035,00	10,00	150,00	150,33

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 122,48$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 255 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de N_{\max}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 8063,84 & M_L \text{ (kN.m)} &= -960,92 & M_T \text{ (kN.m)} &= -1195,09 \\
H_L \text{ (kN)} &= 33,04 & H_T \text{ (kN)} &= -347,03
\end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2960,00	85,00	495,00	502,24
	Menos carregada	1370,00	85,00	495,00	502,24

- Situação de N_{\min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 4010,12 & M_L \text{ (kN.m)} &= -920,60 & M_T \text{ (kN.m)} &= -99,37 \\
H_L \text{ (kN)} &= -66,71 & H_T \text{ (kN)} &= -25,61
\end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1460,00	85,00	45,00	96,18
	Menos carregada	845,00	85,00	45,00	96,18

- Situação de $|M_{L,\max}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 7469,45 & M_L \text{ (kN.m)} &= -2109,83 & M_T \text{ (kN.m)} &= -1090,56 \\
H_L \text{ (kN)} &= -33,77 & H_T \text{ (kN)} &= -316,67
\end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3055,00	55,00	450,00	453,35
	Menos carregada	980,00	55,00	450,00	453,35

	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	256 / 320

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7367,12$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -933,53$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -1278,05$$

$$H_L \text{ (kN)} = 28,72$$

$$H_T \text{ (kN)} = -383,79$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2845,00	75,00	520,00	525,38
	Menos carregada	1140,00	75,00	520,00	525,38

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 10,54$$

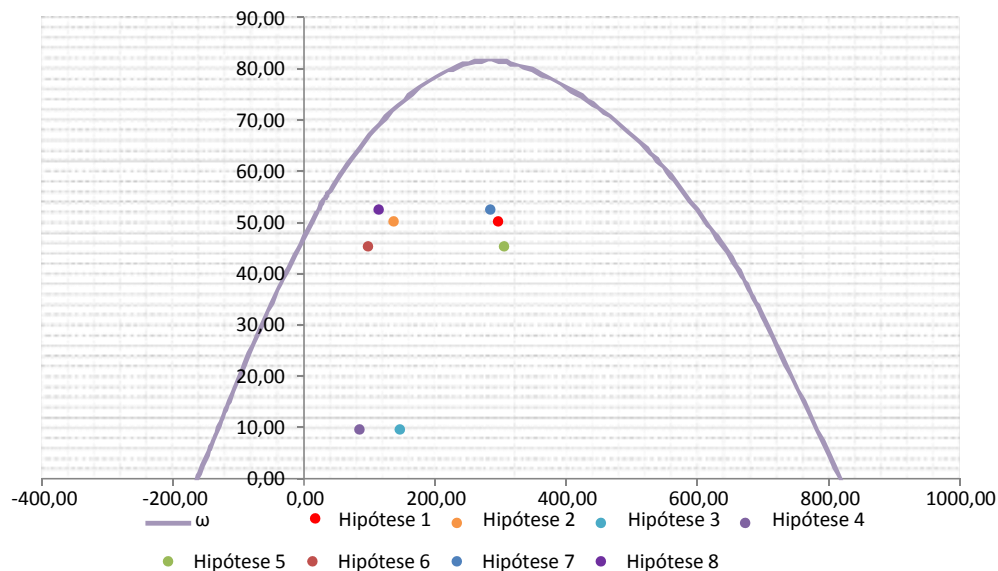
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

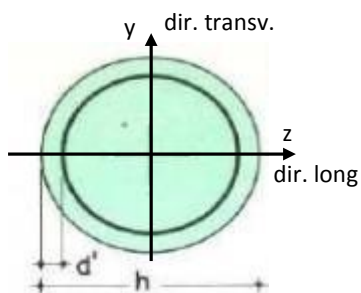
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 257 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

28. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 5,90 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 2,90$$

$$l_{e,z} (m) = 11,80$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 2,90$$

$$l_{e,y} (m) = 4,10$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 39,33$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$


$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 13,67$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

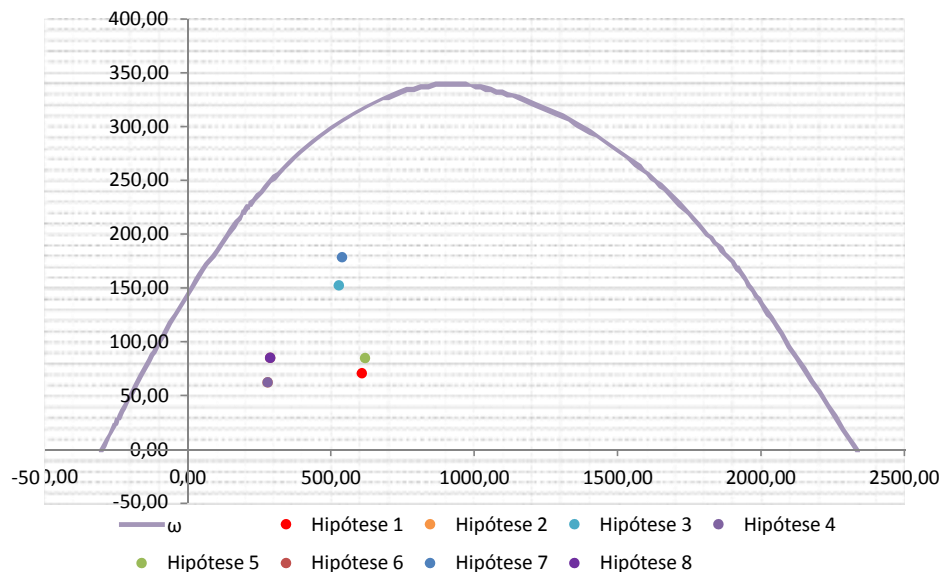
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	258 /320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	6089,38	-1056,17	-87,25	6089,38	-702,88	-87,25	708,28
	N _{mín}	2806,33	-723,65	265,78	2806,33	-560,84	265,78	620,63
	M _{y,máx}	5284,86	-1821,09	158,06	5284,86	-1514,48	158,06	1522,71
	M _{z,máx}	2806,33	-723,65	265,78	2806,33	-560,84	265,78	620,63
Seção Base	N _{máx}	6200,07	-1208,43	-5,22	6200,07	-848,73	-5,22	848,74
	N _{mín}	2888,33	-765,94	-606,12	2888,33	-598,37	-606,12	851,72
	M _{y,máx}	5397,60	-2033,67	-471,54	5397,60	-1720,52	-471,54	1783,97
	M _{z,máx}	2888,33	-765,94	-606,12	2888,33	-598,37	-606,12	851,72

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
\phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 21,39 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
\end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 259 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

28. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4423,59$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -958,52$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -107,74$$

$$H_L \text{ (kN)} = -43,26$$

$$H_T \text{ (kN)} = -22,66$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1540,00	50,00	40,00	64,03
	Menos carregada	970,00	50,00	40,00	64,03
Seção Tubular	Mais carregada	1650,00	45,00	15,00	47,43
	Menos carregada	1060,00	45,00	15,00	47,43

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 80,23$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 3055,10$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -664,66$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -700,90$$

$$H_L \text{ (kN)} = -4,95$$

$$H_T \text{ (kN)} = -199,12$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 260 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1425,00	15,00	280,00	280,40
	Menos carregada	405,00	15,00	280,00	280,40
Seção Tubular	Mais carregada	1530,00	20,00	130,00	131,53
	Menos carregada	490,00	20,00	130,00	131,53

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 93,40$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 3924,93$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -1462,22$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -549,89$$

$$H_L \text{ (kN)} = -45,78$$

$$H_T \text{ (kN)} = -152,69$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1780,00	45,00	220,00	224,56
	Menos carregada	500,00	45,00	220,00	224,56
Seção Tubular	Mais carregada	1865,00	55,00	100,00	114,13
	Menos carregada	590,00	55,00	100,00	114,13

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 103,82$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 3055,10$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -664,66$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -700,90$$

$$H_L \text{ (kN)} = -4,95$$


$$H_T \text{ (kN)} = -199,12$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1425,00	15,00	280,00	280,40
	Menos carregada	405,00	15,00	280,00	280,40
Seção Tubular	Mais carregada	1530,00	20,00	130,00	131,53
	Menos carregada	490,00	20,00	130,00	131,53

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 93,40$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 261 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de N_{\max}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 6200,07 & M_L \text{ (kN.m)} = -1287,19 & M_T \text{ (kN.m)} = 37,21 \\
H_L \text{ (kN)} = -52,51 & & H_T \text{ (kN)} = 28,29
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2055,00	60,00	50,00	78,10
	Menos carregada	1345,00	60,00	50,00	78,10

- Situação de N_{\min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 2888,33 & M_L \text{ (kN.m)} = -787,82 & M_T \text{ (kN.m)} = -1057,10 \\
H_L \text{ (kN)} = -14,58 & & H_T \text{ (kN)} = -300,65
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1610,00	25,00	420,00	420,74
	Menos carregada	135,00	25,00	420,00	420,74

- Situação de $|M_{L,\max}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 5397,60 & M_L \text{ (kN.m)} = -2144,98 & M_T \text{ (kN.m)} = -797,22 \\
H_L \text{ (kN)} = -74,21 & & H_T \text{ (kN)} = -217,12
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2415,00	75,00	310,00	318,94
	Menos carregada	580,00	75,00	310,00	318,94

 Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 262 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 2888,33$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -787,82$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -1057,10$$

$$H_L \text{ (kN)} = -14,58$$

$$H_T \text{ (kN)} = -300,65$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1610,00	25,00	420,00	420,74
	Menos carregada	130,00	25,00	420,00	420,74

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,33$$

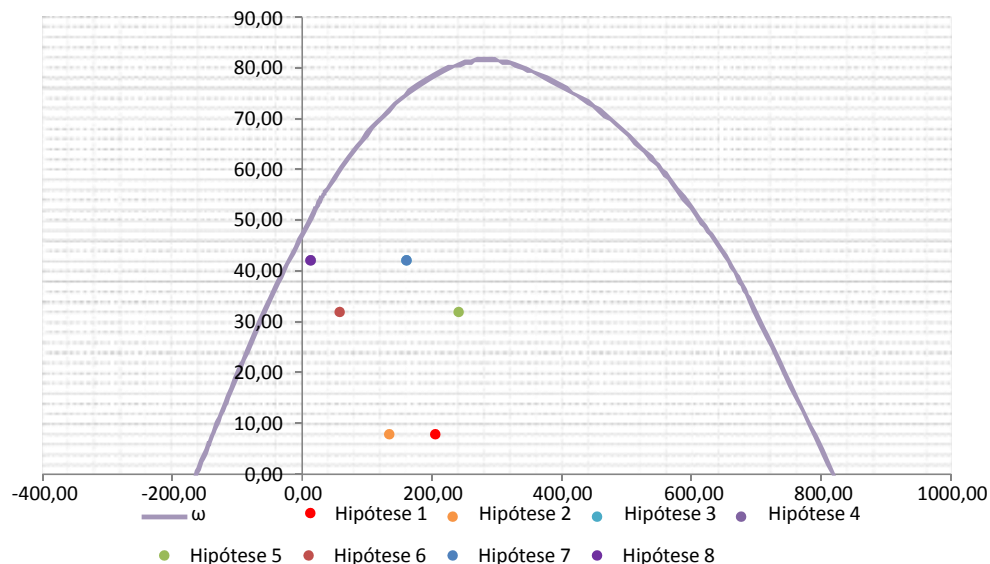
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

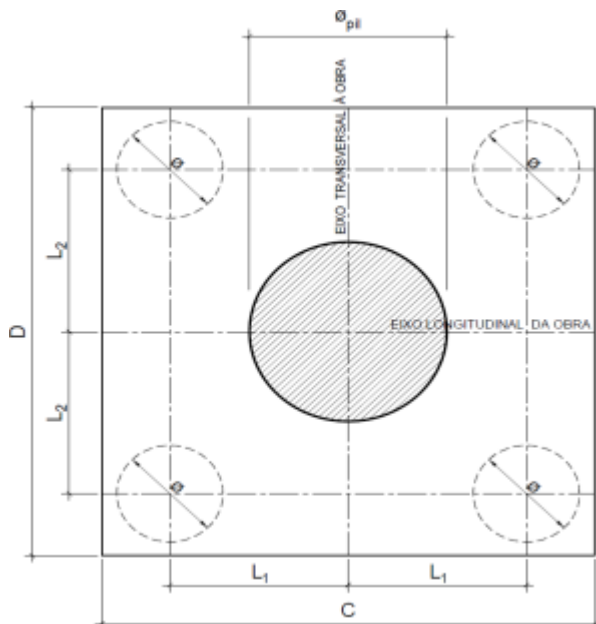
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	263
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

28. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\phi_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\phi_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

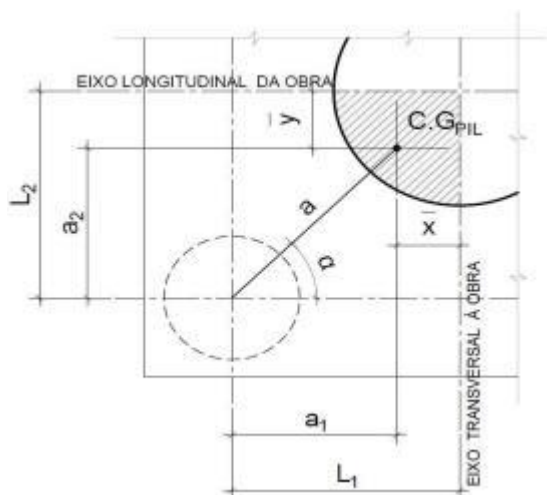
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	264 / 320
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	

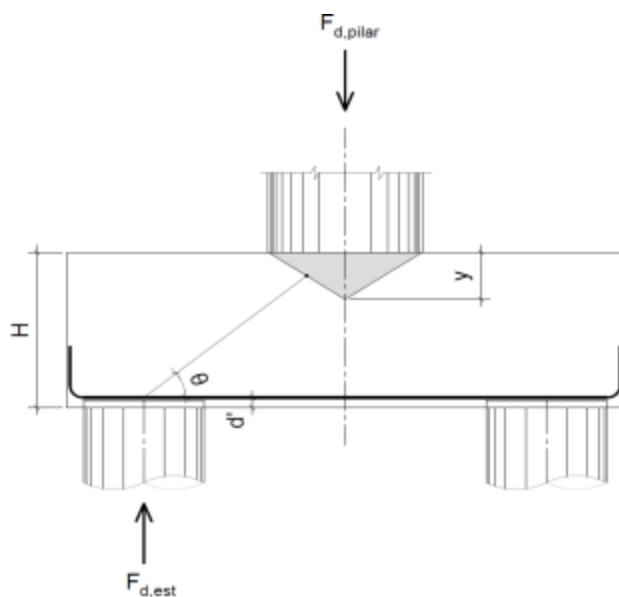
- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\begin{aligned}\bar{x} &= 0,255 \text{ m} \\ \bar{y} &= 0,255 \text{ m} \\ a_1 &= 0,95 \text{ m} \\ a_2 &= 0,95 \text{ m} \\ a &= 1,34 \text{ m} \\ \alpha &= 45,00^\circ\end{aligned}$$


Projeção vertical da biela:



$$\begin{aligned}H &= 1,50 \text{ m} \\ d' &= 0,15 \text{ m} \\ d &= 1,35 \text{ m} \\ y &= 0,15 \text{ m} \\ z &= 1,28 \text{ m} \\ \theta &= 43,64^\circ \\ F_{d,est} &= 3055,00 \text{ kN} \\ F_{d,pilar} &= 12220,00 \text{ kN}\end{aligned}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

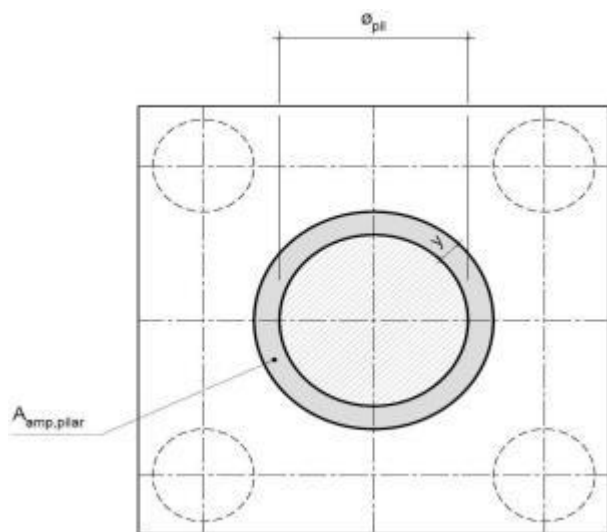
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 265 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

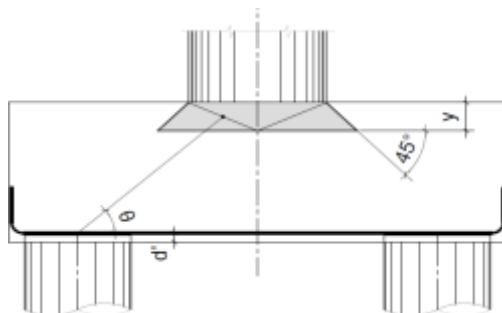
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{aNp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

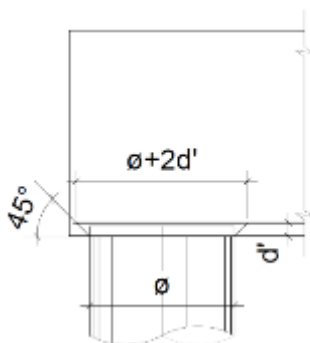
$$A_{amp,pilar} = 1,77 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 14,52 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 266 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 6,75 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3203,39 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 2265,14 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 52,10 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2265,14 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 52,10 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 41,68 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 41,68 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 10,42 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 10,42 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 267 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

29. Cálculo do Apoio de AP-4A

29. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \quad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \quad h \text{ (m)} = 3,00 \quad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,N_{\min}} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \quad A_{c,N_{\min}} = 0,15\% \cdot A_c \quad A_{s,\min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \quad M_{d,\min} = 4744,41 \quad A_{s,\min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-5820,80	2,85	0,136	2,796	0,032	47,89
Inferior	4905,00	2,85	0,114	2,804	0,027	40,23

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,máx} \text{ (kN)} = 5806,90 \quad \rho_{sw}^{\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \quad a_s^{1\text{perna}} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \quad n^{\text{pernas}} = 6$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 3206,60 \quad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,75$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,38$$

$$\rho_{sw}^{\text{máx/mín}} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 27,38$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 268 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2680,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 17,85 \quad \text{por face}$$

$$A_{st}/U \text{ (cm}^2\text{/m)} = 17,85$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2\text{)} = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{st} \text{ (cm}^2\text{)} = 116,84$$

$$A_{sl, costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 43,28 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl, flex\acute{o}e} \text{ (cm}^2\text{)} = 15,15 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2305,00$$

$$i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,20$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 48,20$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 34,01$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,75$$

Torção:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 35,71$$

Suspensão:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 48,20$$

Arm. mínima:

$$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{pernas} = 6$$

Total:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 112,66$$

$$s \text{ (cm)} = 10,7$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 107,29$$

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,805 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cm}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{)}$
Long. Superior	63,04
Long. Inferior	55,38

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	6	10,7

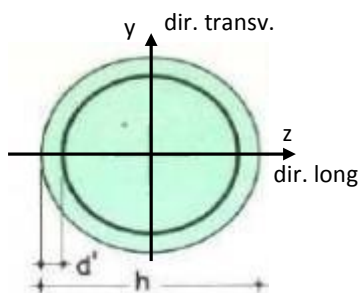
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Long. Pele	14,43

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 269 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

29. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 7,30 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 4,30$$

$$l_{e,z} (m) = 14,60$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 4,30$$

$$l_{e,y} (m) = 5,50$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 48,67$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$


$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 18,33$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

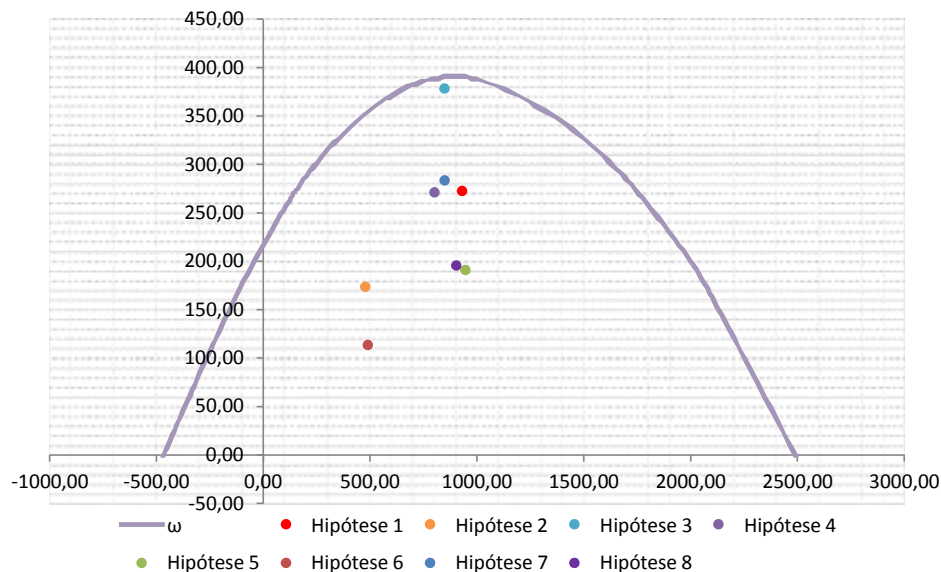
 Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	270 / 320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	9308,48	1867,64	389,33	9308,48	2694,38	389,33	2722,37
	N _{mín}	4779,46	1311,38	-34,76	4779,46	1735,88	-34,76	1736,23
	M _{y,máx}	8487,85	3022,24	165,43	8487,85	3776,10	165,43	3779,73
	M _{z,máx}	8018,66	1956,95	467,56	8018,66	2669,14	467,56	2709,78
Seção Base	N _{máx}	9472,61	942,24	-675,29	9472,61	1783,56	-675,29	1907,12
	N _{mín}	4901,04	695,93	-31,25	4901,04	1131,23	-31,25	1131,66
	M _{y,máx}	8501,99	2043,17	-434,25	8501,99	2798,29	-434,25	2831,79
	M _{z,máx}	9040,82	1022,30	-694,02	9040,82	1825,28	-694,02	1952,76

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 32,68 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 107,99 \quad \omega = 0,194$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 107,99 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 271 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

29. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6810,95$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 594,87$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -610,57$$

$$H_L \text{ (kN)} = -125,56$$

$$H_T \text{ (kN)} = -138,55$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2445,00	180,00	200,00	269,07
	Menos carregada	1260,00	180,00	200,00	269,07
Seção Tubular	Mais carregada	2550,00	85,00	95,00	127,48
	Menos carregada	1350,00	85,00	95,00	127,48

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 135,75$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4959,95$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 400,23$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -186,30$$

$$H_L \text{ (kN)} = -153,03$$

$$H_T \text{ (kN)} = -38,84$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 272 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1825,00	215,00	60,00	223,22
	Menos carregada	955,00	215,00	60,00	223,22
Seção Tubular	Mais carregada	1935,00	105,00	30,00	109,20
	Menos carregada	1040,00	105,00	30,00	109,20

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 105,72$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6214,30$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 1191,58$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -580,37$$

$$H_L \text{ (kN)} = -126,25$$

$$H_T \text{ (kN)} = -133,41$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2420,00	165,00	200,00	259,28
	Menos carregada	985,00	165,00	200,00	259,28
Seção Tubular	Mais carregada	2530,00	100,00	90,00	134,54
	Menos carregada	1070,00	100,00	90,00	134,54

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 136,43$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6523,09$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 642,24$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -639,24$$

$$H_L \text{ (kN)} = -129,56$$


$$H_T \text{ (kN)} = -149,34$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2395,00	185,00	210,00	279,87
	Menos carregada	1165,00	185,00	210,00	279,87
Seção Tubular	Mais carregada	2500,00	90,00	100,00	134,54
	Menos carregada	1250,00	90,00	100,00	134,54

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 135,16$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 273 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de N_{\max}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 9472,61 & M_L \text{ (kN.m)} = 619,42 & M_T \text{ (kN.m)} = -1046,66 \\
H_L \text{ (kN)} = -215,21 & & H_T \text{ (kN)} = -247,58
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3490,00	310,00	350,00	467,55
	Menos carregada	1545,00	310,00	350,00	467,55

- Situação de N_{\min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 4901,04 & M_L \text{ (kN.m)} = 481,24 & M_T \text{ (kN.m)} = -30,03 \\
H_L \text{ (kN)} = -143,13 & & H_T \text{ (kN)} = 0,82
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1745,00	200,00	10,00	200,25
	Menos carregada	1005,00	200,00	10,00	200,25

- Situação de $|M_{L,\max}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 8501,99 & M_L \text{ (kN.m)} = 1825,45 & M_T \text{ (kN.m)} = -661,96 \\
H_L \text{ (kN)} = -145,15 & & H_T \text{ (kN)} = -151,80
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3250,00	185,00	215,00	283,64
	Menos carregada	1300,00	185,00	215,00	283,64

	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	274 / 320

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

N (kN) = 9040,82

M_L (kN.m) = 690,49

M_T (kN.m) = -1089,66

H_L (kN) = -221,21

H_T (kN) = -263,76

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3420,00	320,00	375,00	492,98
	Menos carregada	1400,00	320,00	375,00	492,98

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

ϕ (m) = 0,775

f_{yk} (kN/cm²) = 50,0

f_{ck} (MPa) = 25,0

c (m) = 0,060

γ_s = 1,15

γ_c = 1,5

$A_{s,min1}$ (cm²) = 18,87

f_{yd} (tf/cm²) = 43,478

f_{cd} (MPa) = 16,667

$A_{s,min2}$ (cm²) = 12,04

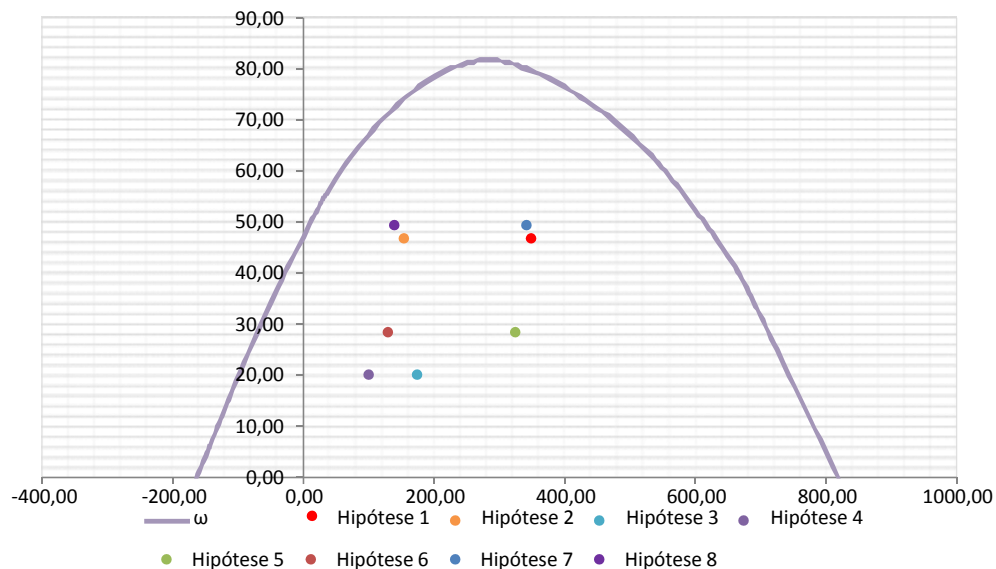
E_s (kN/cm²) = 20000

σ_{cd} = 0,85 x f_{cd}

A_c (m²) = 0,47

A_s (cm²) = 37,70

ω = 0,208



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$A_{s,min}$ (cm²) = 18,9

$A_{c,Nás}$ = 0,08 A_c

$A_{s,máx}$ (cm²) = 377,4

$A_{s,adotado}$ (cm²) = 37,70

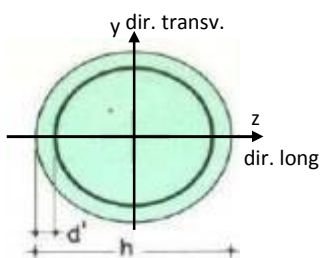
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 275 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

29. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil} \text{ (m)} = 1,20 \quad h_{pil} \text{ (m)} = 7,30 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} \text{ (m)} &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} \text{ (m)} &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} \text{ (m)} &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} \text{ (m)} &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} \text{ (m)} = 4,30$$

$$l_{e,z} \text{ (m)} = 14,60$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} \text{ (m)} = 4,30$$

$$l_{e,y} \text{ (m)} = 5,50$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y \text{ (m}^4\text{)} = 0,10179$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,1310$$

$$i_z \text{ (m)} = 0,30000$$

$$\lambda_z = 48,67$$

- segundo a direção y

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,10179$$

$$i_y \text{ (m)} = 0,30000$$


$$\lambda_y = 18,33$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,\bar{E}} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,\bar{E}} \quad r = \frac{1}{h(u+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad u = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

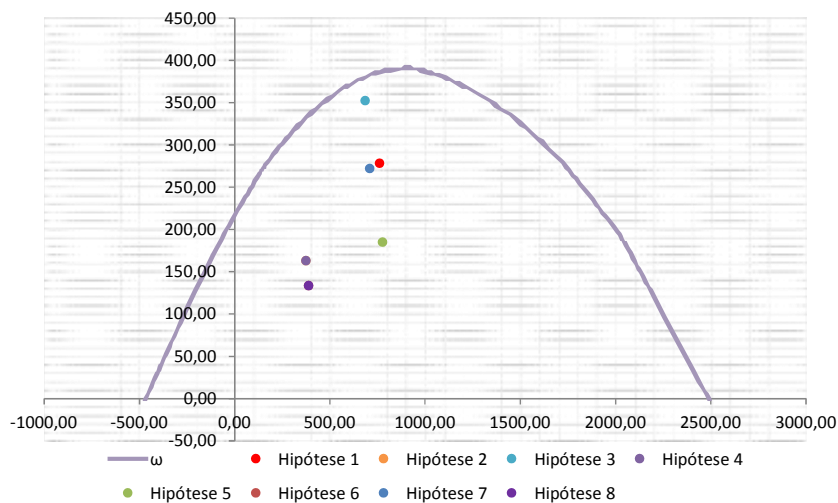
		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	7606,86	2104,05	77,81	7606,86	2779,66	77,81	2780,75
	N _{mín}	3755,27	1242,03	424,07	3755,27	1575,56	424,07	1631,63
	M _{y,máx}	6850,08	2905,52	260,75	6850,08	3513,93	260,75	3523,59
	M _{z,máx}	3755,27	1242,03	424,07	3755,27	1575,56	424,07	1631,63
Seção Base	N _{máx}	7770,99	1155,78	-125,99	7770,99	1845,98	-125,99	1850,27
	N _{mín}	3876,85	805,71	-677,06	3876,85	1150,04	-677,06	1334,54
	M _{y,máx}	7092,00	2077,49	-293,07	7092,00	2707,37	-293,07	2723,19
	M _{z,máx}	3876,85	805,71	-677,06	3876,85	1150,04	-677,06	1334,54

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 276 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 26,81 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 107,99 \quad \omega = 0,194$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 107,99 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 277 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

29. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5557,90$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 548,33$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -320,85$$

$$H_L \text{ (kN)} = -170,21$$

$$H_T \text{ (kN)} = -79,09$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2045,00	240,00	125,00	270,60
	Menos carregada	1030,00	240,00	125,00	270,60
Seção Tubular	Mais carregada	2155,00	115,00	50,00	125,40
	Menos carregada	1120,00	115,00	50,00	125,40

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 118,56$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4034,85$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 732,17$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -776,93$$

$$H_L \text{ (kN)} = -74,09$$

$$H_T \text{ (kN)} = -190,63$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 278 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1740,00	100,00	270,00	287,92
	Menos carregada	575,00	100,00	270,00	287,92
Seção Tubular	Mais carregada	1850,00	55,00	120,00	132,00
	Menos carregada	665,00	55,00	120,00	132,00

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 107,06$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5105,24$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 1266,45$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -496,18$$

$$H_L \text{ (kN)} = -101,11$$

$$H_T \text{ (kN)} = -121,72$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2080,00	125,00	180,00	219,15
	Menos carregada	770,00	125,00	180,00	219,15
Seção Tubular	Mais carregada	2190,00	85,00	80,00	116,73
	Menos carregada	860,00	85,00	80,00	116,73

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 118,16$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4034,85$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 732,17$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -776,93$$

$$H_L \text{ (kN)} = -74,09$$


$$H_T \text{ (kN)} = -190,63$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1740,00	100,00	270,00	287,92
	Menos carregada	570,00	100,00	270,00	287,92
Seção Tubular	Mais carregada	1850,00	55,00	125,00	136,57
	Menos carregada	665,00	55,00	125,00	136,57

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 108,05$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 279 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de N_{\max}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 7770,99 & M_L \text{ (kN.m)} &= 824,99 & M_T \text{ (kN.m)} &= -197,08 \\
H_L \text{ (kN)} &= -220,53 & H_T \text{ (kN)} &= -47,39
\end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2660,00	305,00	85,00	316,62
	Menos carregada	1530,00	305,00	85,00	316,62

- Situação de N_{\min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 3876,85 & M_L \text{ (kN.m)} &= 653,51 & M_T \text{ (kN.m)} &= -1061,17 \\
H_L \text{ (kN)} &= -101,47 & H_T \text{ (kN)} &= -256,08
\end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1905,00	140,00	360,00	386,26
	Menos carregada	330,00	140,00	360,00	386,26

- Situação de $|M_{L,\max}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
N \text{ (kN)} &= 7092,00 & M_L \text{ (kN.m)} &= 1902,17 & M_T \text{ (kN.m)} &= -460,08 \\
H_L \text{ (kN)} &= -116,88 & H_T \text{ (kN)} &= -111,34
\end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2765,00	140,00	160,00	212,60
	Menos carregada	1080,00	140,00	160,00	212,60

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 280 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 3876,85$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 653,51$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -1061,17$$

$$H_L \text{ (kN)} = -101,47$$

$$H_T \text{ (kN)} = -256,08$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1905,00	130,00	360,00	382,75
	Menos carregada	330,00	130,00	360,00	382,75

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 9,54$$

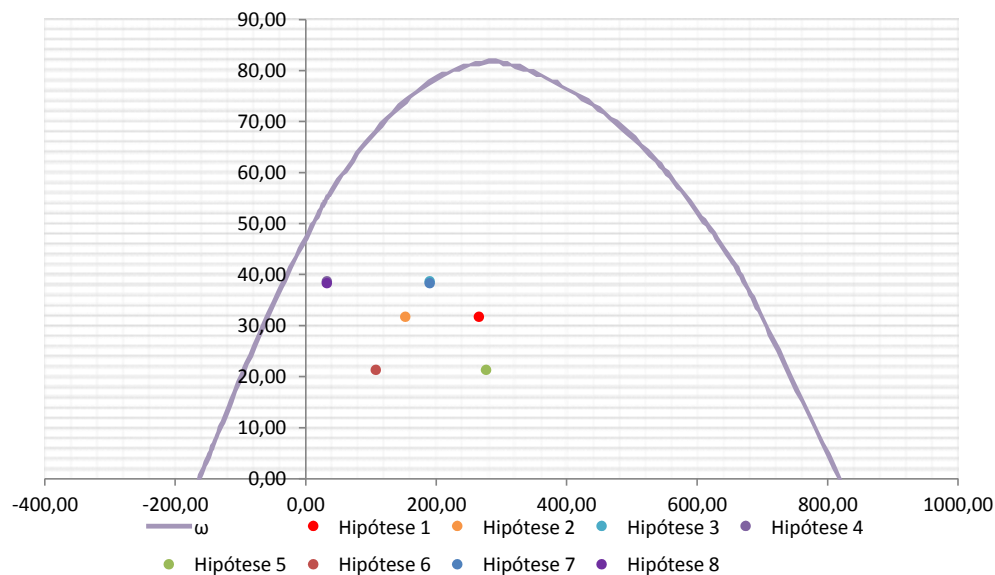
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

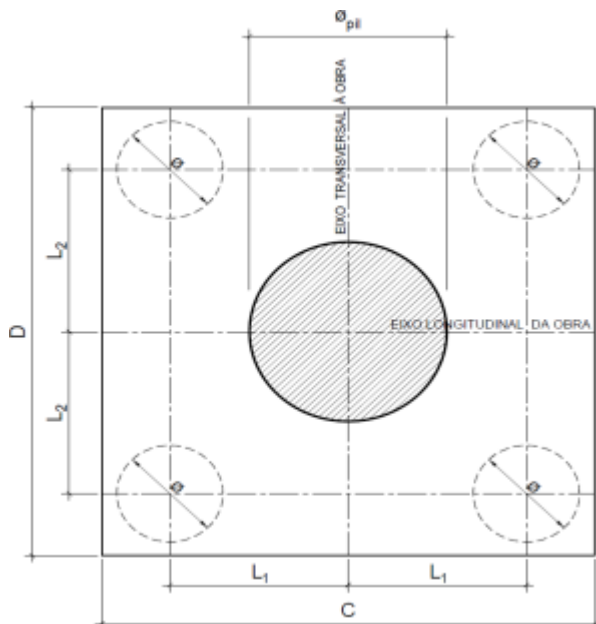
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	281
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

29. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\phi_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\phi_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

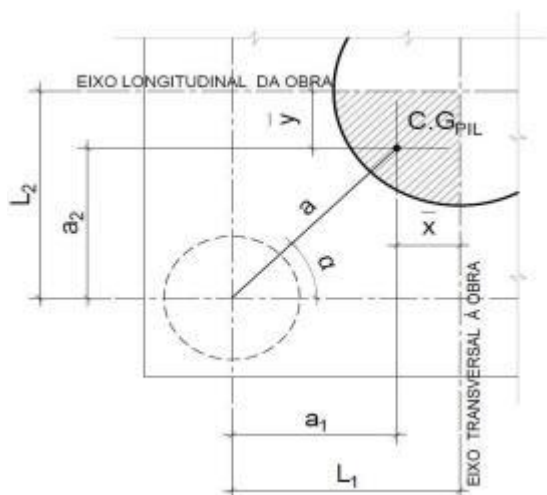
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	282
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\bar{x} = 0,255 \text{ m}$$

$$\bar{y} = 0,255 \text{ m}$$

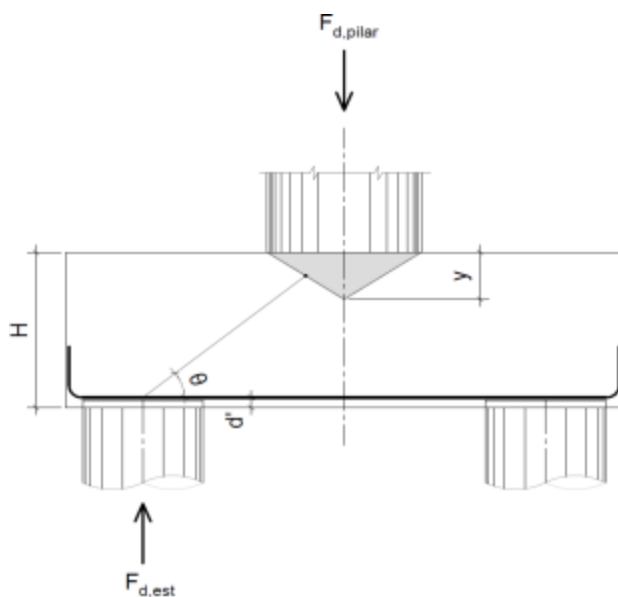
$$a_1 = 0,95 \text{ m}$$

$$a_2 = 0,95 \text{ m}$$

$$a = 1,34 \text{ m}$$

$$\alpha = 45,00^\circ$$

Projeção vertical da biela:



$$H = 1,50 \text{ m}$$

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

$$d = 1,35 \text{ m}$$

$$y = 0,2 \text{ m}$$

$$z = 1,25 \text{ m}$$

$$\theta = 43,08^\circ$$

$$F_{d,est} = 3490,00 \text{ kN}$$


$$F_{d,pilar} = 13960,00 \text{ kN}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

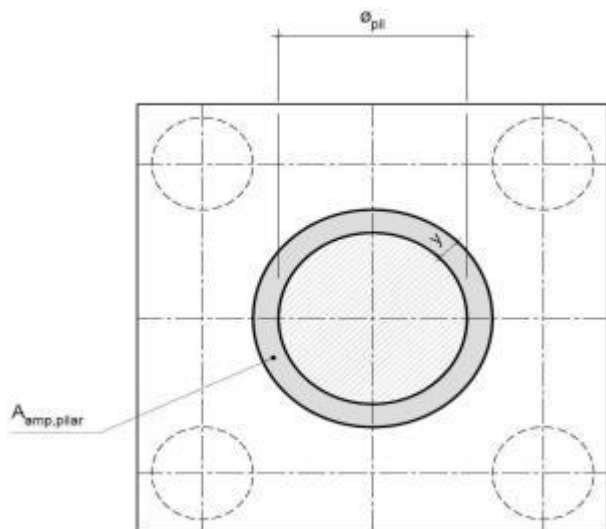
Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

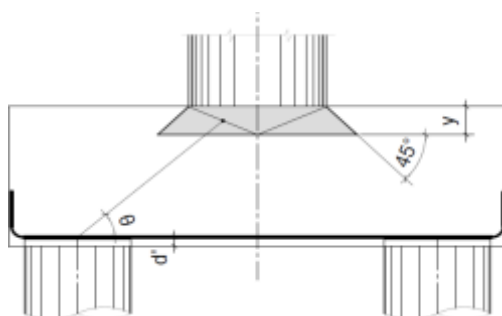
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 283 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{anp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

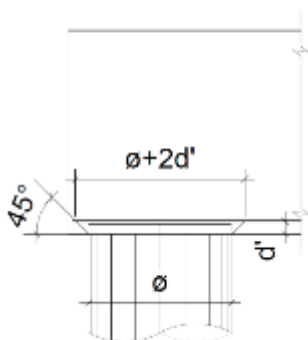
$$A_{amp,pilar} = 2,01 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 14,89 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 284 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 7,87 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3732,71 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 2639,42 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 60,71 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2639,42 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 60,71 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 48,57 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 48,57 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 12,14 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 12,14 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 285 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

30. Cálculo do Apoio de AP-5A

30. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \quad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \quad h \text{ (m)} = 3,00 \quad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,N_{\min}} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \quad A_{c,N_{\min}} = 0,15\% \cdot A_c \quad A_{s,\min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \quad M_{d,\min} = 4744,41 \quad A_{s,\min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-5972,00	2,85	0,140	2,794	0,033	49,16
Inferior	5585,00	2,85	0,130	2,798	0,031	45,91

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,máx} \text{ (kN)} = 6357,00 \quad \rho_{sw}^{\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \quad a_s^{1\text{perna}} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \quad n^{\text{pernas}} = 6$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 3756,70 \quad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 33,69$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 32,08$$

$$\rho_{sw}^{máx/mín} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 32,08$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 286 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2110,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 14,06 \quad \text{por face}$$

$$A_{st}/U \text{ (cm}^2\text{/m)} = 14,06$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2\text{)} = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{sk} \text{ (cm}^2\text{)} = 91,99$$

$$A_{sl, costela} \text{ (cm}^2\text{)} = 34,07 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl, flex\acute{a}o} \text{ (cm}^2\text{)} = 11,92 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2145,00$$

$$i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,20$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 44,85$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 26,77$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 33,69$$

Torção:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 28,11$$

Suspensão:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 44,85$$

Arm. mínima:

$$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$n^{pernas} = 6$$

Total:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 106,65$$

$$s \text{ (cm)} = 11,3$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 101,57$$

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,751 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cN}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{)}$
Long. Superior	61,08
Long. Inferior	57,84

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	6	11,3

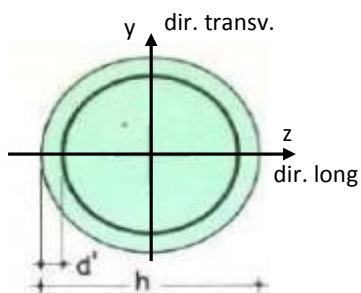
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Long. Pele	11,36

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 287 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

30. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 9,60 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 6,60$$

$$l_{e,z} (m) = 19,20$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 6,60$$

$$l_{e,y} (m) = 7,80$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 64,00$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$


$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 26,00$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

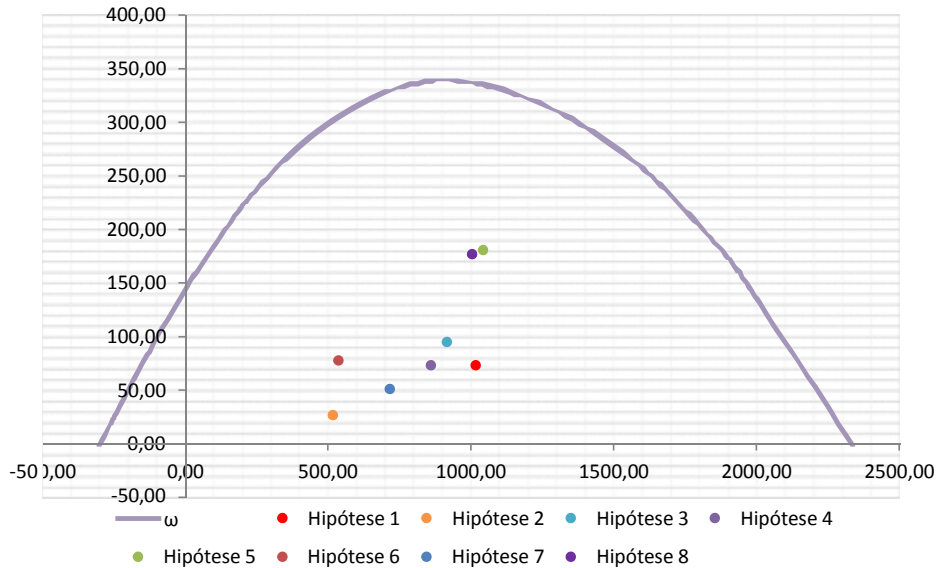
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	288 /320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	10183,56	-1215,00	643,72	10183,56	349,19	643,72	732,33
	N _{mín}	5187,73	-687,82	155,40	5187,73	109,02	155,40	264,57
	M _{y,máx}	9171,83	-2250,07	438,01	9171,83	-841,28	438,01	948,47
	M _{z,máx}	8610,86	-1145,13	708,56	8610,86	177,50	708,56	730,46
Seção Base	N _{máx}	10435,49	-22,47	-875,99	10435,49	1580,42	-875,99	1806,96
	N _{mín}	5374,34	-76,24	-199,89	5374,34	749,26	-199,89	775,47
	M _{y,máx}	7178,67	-1161,02	-506,23	7178,67	-58,37	-506,23	509,59
	M _{z,máx}	10054,39	-15,50	-884,72	10054,39	1528,85	-884,72	1766,39

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
\phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 36,00 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
\end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 289 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

30. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7489,84$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 398,94$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -823,49$$

$$H_L \text{ (kN)} = 153,94$$

$$H_T \text{ (kN)} = -153,99$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2400,00	250,00	220,00	333,02
	Menos carregada	1645,00	250,00	220,00	333,02
Seção Tubular	Mais carregada	2510,00	80,00	100,00	128,06
	Menos carregada	1730,00	80,00	100,00	128,06

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 134,18$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 5464,81$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -7,00$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -461,24$$

$$H_L \text{ (kN)} = 83,66$$

$$H_T \text{ (kN)} = -88,19$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 290 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1725,00	150,00	135,00	201,80
	Menos carregada	1305,00	150,00	135,00	201,80
Seção Tubular	Mais carregada	1835,00	40,00	55,00	68,01
	Menos carregada	1390,00	40,00	55,00	68,01

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 92,54$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6580,79$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -407,70$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -496,08$$

$$H_L \text{ (kN)} = 121,41$$

$$H_T \text{ (kN)} = -93,65$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2165,00	215,00	135,00	253,87
	Menos carregada	1425,00	215,00	135,00	253,87
Seção Tubular	Mais carregada	2275,00	50,00	65,00	82,01
	Menos carregada	1510,00	50,00	65,00	82,01

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 114,23$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 7235,77$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 400,20$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -834,95$$

$$H_L \text{ (kN)} = 151,68$$


$$H_T \text{ (kN)} = -157,75$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2355,00	250,00	225,00	336,34
	Menos carregada	1565,00	250,00	225,00	336,34
Seção Tubular	Mais carregada	2460,00	80,00	100,00	128,06
	Menos carregada	1650,00	80,00	100,00	128,06

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 132,06$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 291 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de N_{\max}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 10435,49 & M_L \text{ (kN.m)} = 248,56 & M_T \text{ (kN.m)} = -1221,38 \\
H_L \text{ (kN)} = 180,69 & & H_T \text{ (kN)} = -230,26
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3305,00	300,00	325,00	442,30
	Menos carregada	2215,00	300,00	325,00	442,30

- Situação de N_{\min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 5374,34 & M_L \text{ (kN.m)} = 62,76 & M_T \text{ (kN.m)} = -280,63 \\
H_L \text{ (kN)} = 92,66 & & H_T \text{ (kN)} = -53,83
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1645,00	165,00	85,00	185,61
	Menos carregada	1345,00	165,00	85,00	185,61

- Situação de $|M_{L,\max}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 7178,67 & M_L \text{ (kN.m)} = -1013,38 & M_T \text{ (kN.m)} = -708,64 \\
H_L \text{ (kN)} = 98,42 & & H_T \text{ (kN)} = -134,94
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2600,00	200,00	190,00	275,86
	Menos carregada	1285,00	200,00	190,00	275,86

	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	292 / 320

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

N (kN) = 10054,39

M_L (kN.m) = 250,44

M_T (kN.m) = -1238,57

H_L (kN) = 177,30

H_T (kN) = -235,89

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3230,00	300,00	335,00	449,69
	Menos carregada	2095,00	300,00	335,00	449,69

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

ϕ (m) = 0,775

f_{yk} (kN/cm²) = 50,0

f_{ck} (MPa) = 25,0

c (m) = 0,060

γ_s = 1,15

γ_c = 1,5

$A_{s,min1}$ (cm²) = 18,87

f_{yd} (tf/cm²) = 43,478

f_{cd} (MPa) = 16,667

$A_{s,min2}$ (cm²) = 11,40

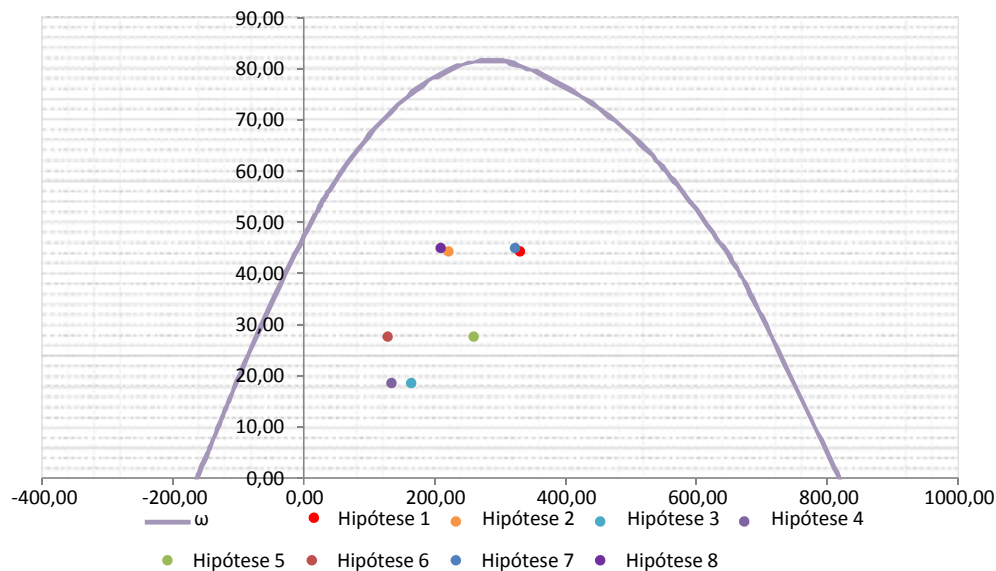
E_s (kN/cm²) = 20000

σ_{cd} = 0,85 x f_{cd}

A_c (m²) = 0,47

A_s (cm²) = 37,70

ω = 0,208



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$A_{s,min}$ (cm²) = 18,9

$A_{c,Nás}$ = 0,08 A_c

$A_{s,máx}$ (cm²) = 377,4

$A_{s,adotado}$ (cm²) = 37,70

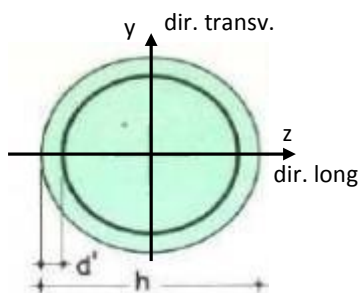
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 293 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

30. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil} (m) = 1,20 \quad h_{pil} (m) = 9,60 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo} (m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base} (m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z} (m) = 6,60$$

$$l_{e,z} (m) = 19,20$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y} (m) = 6,60$$

$$l_{e,y} (m) = 7,80$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y (m^4) = 0,10179$$

$$A (m^2) = 1,1310$$

$$i_z (m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 64,00$$

- segundo a direção y

$$I_z (m^4) = 0,10179$$


$$i_y (m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 26,00$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(u+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad u = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

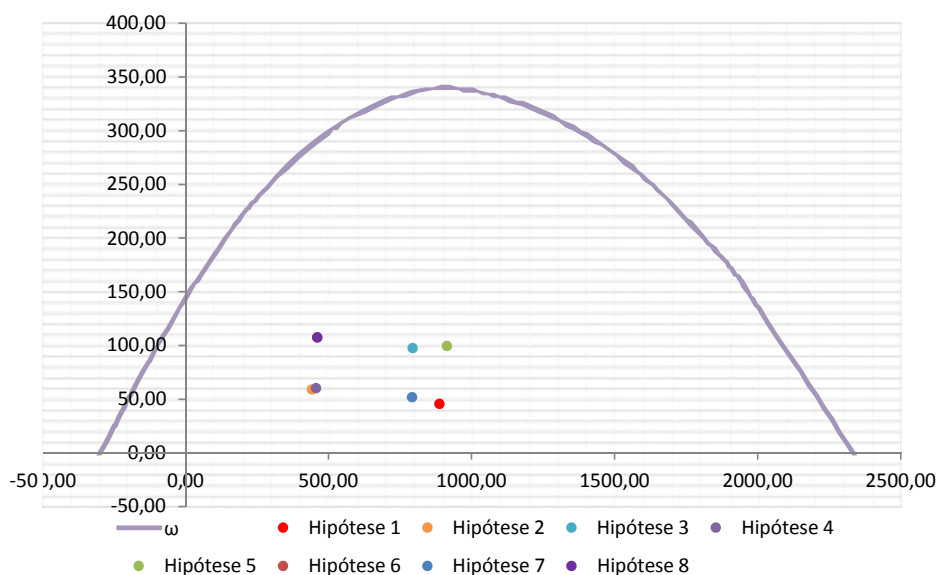
	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	294 / 320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	8896,02	-1189,81	95,92	8896,02	176,62	95,92	453,70
	N _{mín}	4428,53	-667,07	588,67	4428,53	13,15	588,67	588,81
	M _{y,máx}	7954,69	-2150,01	289,42	7954,69	-928,16	289,42	972,24
	M _{z,máx}	4575,53	-591,55	589,63	4575,53	111,25	589,63	600,03
Seção Base	N _{máx}	9147,94	-425,91	-168,49	9147,94	979,21	-168,49	993,60
	N _{mín}	4615,15	-22,04	-826,64	4615,15	686,85	-826,64	1074,76
	M _{y,máx}	7931,98	-1233,60	-516,84	7931,98	-15,25	-516,84	517,07
	M _{z,máx}	4615,15	-22,04	-826,64	4615,15	686,85	-826,64	1074,76

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
 c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
 A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
 A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 31,56 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
 A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 295 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

30. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{máx}$, $N_{mín}$, $M_{L,máx}$ e $M_{T,máx}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{máx}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6514,92$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -101,56$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -433,85$$

$$H_L \text{ (kN)} = 92,74$$

$$H_T \text{ (kN)} = -81,42$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1970,00	165,00	125,00	207,00
	Menos carregada	1585,00	165,00	125,00	207,00
Seção Tubular	Mais carregada	2080,00	40,00	50,00	64,03
	Menos carregada	1670,00	40,00	50,00	64,03

$$\sigma_{tub}^{máx} \text{ (MPa)} = 102,06$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{mín}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4762,28$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 344,63$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -809,69$$

$$H_L \text{ (kN)} = 119,40$$

$$H_T \text{ (kN)} = -151,63$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 296 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1675,00	195,00	215,00	290,26
	Menos carregada	1005,00	195,00	215,00	290,26
Seção Tubular	Mais carregada	1790,00	60,00	100,00	116,62
	Menos carregada	1090,00	60,00	100,00	116,62

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 101,18$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5774,57$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = -477,93$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -529,25$$

$$H_L \text{ (kN)} = 107,09$$

$$H_T \text{ (kN)} = -98,48$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1970,00	195,00	140,00	240,05
	Menos carregada	1215,00	195,00	140,00	240,05
Seção Tubular	Mais carregada	2080,00	45,00	70,00	83,22
	Menos carregada	1300,00	45,00	70,00	83,22

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 106,22$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4762,28$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 344,63$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -809,69$$

$$H_L \text{ (kN)} = 119,40$$


$$H_T \text{ (kN)} = -151,63$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1675,00	200,00	215,00	293,64
	Menos carregada	1005,00	200,00	215,00	293,64
Seção Tubular	Mais carregada	1785,00	60,00	100,00	116,62
	Menos carregada	1090,00	60,00	100,00	116,62

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 100,97$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 297 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de N_{\max}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 9147,94 & M_L \text{ (kN.m)} &= -252,30 & M_T \text{ (kN.m)} &= -228,59 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 115,74 & H_T \text{ (kN)} &= -40,06
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2585,00	210,00	75,00	222,99
	Menos carregada	2285,00	210,00	75,00	222,99

- Situação de N_{\min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 4615,15 & M_L \text{ (kN.m)} &= 124,56 & M_T \text{ (kN.m)} &= -1148,30 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 97,73 & H_T \text{ (kN)} &= -214,44
 \end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1800,00	165,00	300,00	342,38
	Menos carregada	810,00	165,00	300,00	342,38

- Situação de $|M_{L,\max}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 7931,98 & M_L \text{ (kN.m)} &= -1068,08 & M_T \text{ (kN.m)} &= -712,76 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 110,34 & H_T \text{ (kN)} &= -130,61
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2720,00	220,00	190,00	290,69
	Menos carregada	1545,00	220,00	190,00	290,69

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 298 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4615,15$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 124,56$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -1148,30$$

$$H_L \text{ (kN)} = 97,73$$

$$H_T \text{ (kN)} = -214,44$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1800,00	170,00	300,00	344,82
	Menos carregada	810,00	170,00	300,00	344,82

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 9,38$$

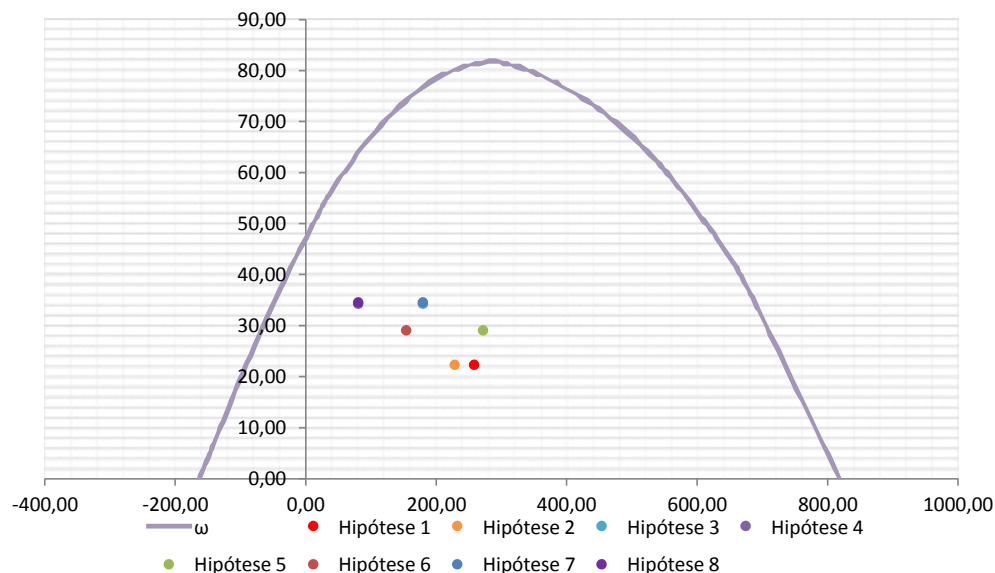
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

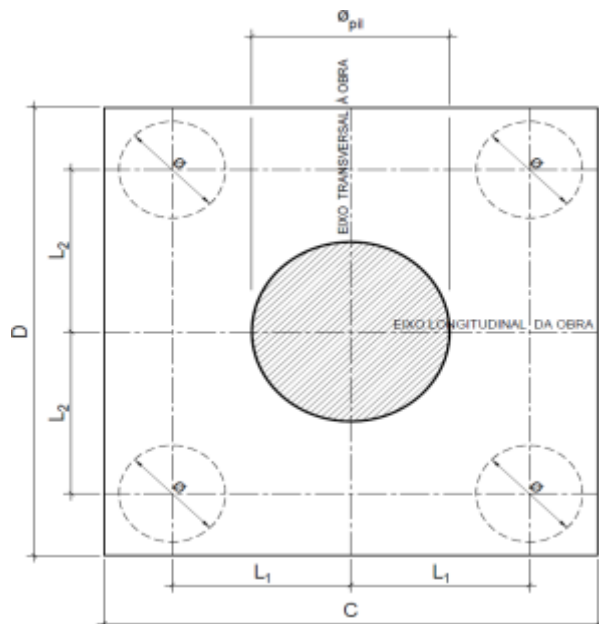
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	299
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	/320
	MC-F01-B03-1004	A	

30. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\varnothing_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\varnothing_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

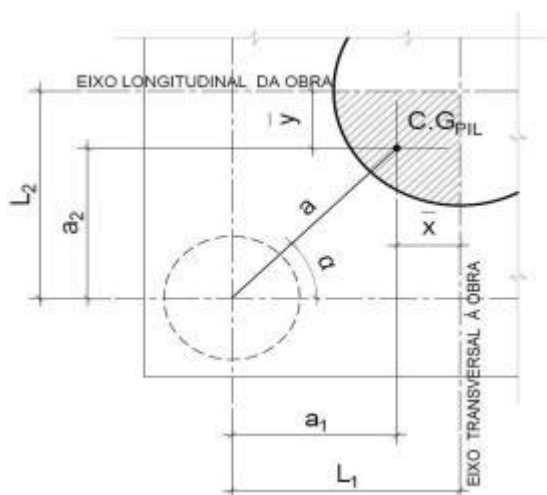
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	300 /320
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	

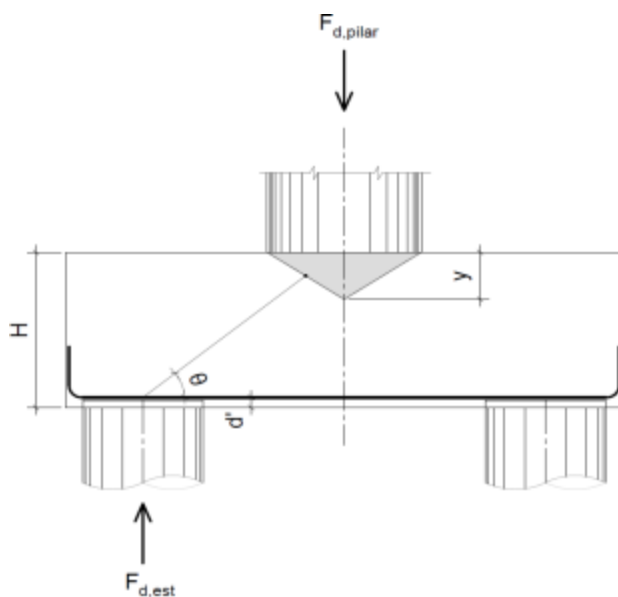
- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\begin{aligned}\bar{x} &= 0,255 \text{ m} \\ \bar{y} &= 0,255 \text{ m} \\ a_1 &= 0,95 \text{ m} \\ a_2 &= 0,95 \text{ m} \\ a &= 1,34 \text{ m} \\ \alpha &= 45,00^\circ\end{aligned}$$

Projeção vertical da biela:




$$\begin{aligned}H &= 1,50 \text{ m} \\ d' &= 0,15 \text{ m} \\ d &= 1,35 \text{ m} \\ y &= 0,15 \text{ m} \\ z &= 1,28 \text{ m} \\ \theta &= 43,64^\circ \\ F_{d,est} &= 3305,00 \text{ kN} \\ F_{d,pilar} &= 13220,00 \text{ kN}\end{aligned}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

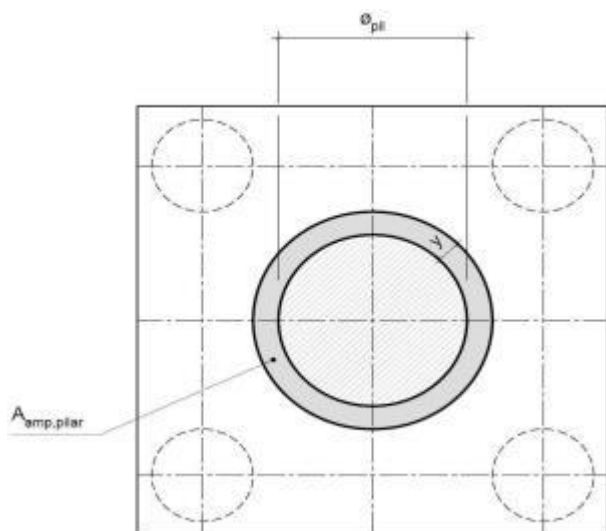
Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

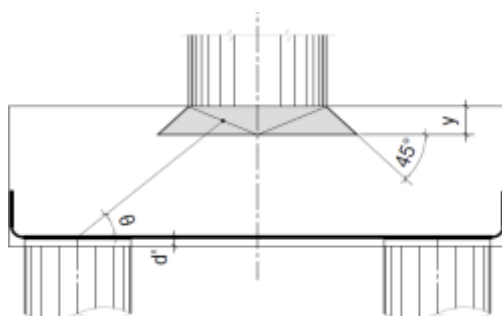
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 301 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{anp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

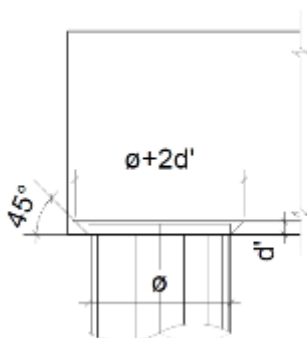
$$A_{amp,pilar} = 1,77 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 15,71 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 302 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 7,30 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3465,53 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 2450,50 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 56,36 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2450,50 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 56,36 \text{ cm}^2$$


Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 45,09 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 45,09 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 11,27 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 11,27 \text{ cm}^2$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 303 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

31. Cálculo do Apoio de AP-5

31. 1. Travessa

As cargas atuantes nos pilares, demonstradas anteriormente, foram aplicadas no modelo e combinadas de acordo com as hipóteses de carregamento adotadas. Das diversas combinações de carga, as solicitações extremas em cada peça foram obtidas da envoltória de combinações para o dimensionamento de cada peça.

- Dimensionamento das travessas:

- Dimensionamento a flexão:

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 30 \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500 \quad f_{ctk,sup} \text{ (MPa)} = 3,765$$

$$b_w \text{ (m)} = 1,05 \quad h \text{ (m)} = 3,00 \quad d \text{ (m)} = 2,85$$

- Amadura mínima:

$$M_{d,N_{\min}} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,cup} \quad A_{c,N_{\min}} = 0,15\% \cdot A_c \quad A_{s,\min} = 47,25 \text{ cm}^2$$

$$W_0 \text{ (cm}^3\text{)} = 1,57500 \quad M_{d,\min} = 4744,41 \quad A_{s,\min} = 38,89 \text{ cm}^2$$

	$M_d \text{ (kN.m)}$	$d \text{ (m)}$	x	z	k_{md}	$A_s \text{ (cm}^2\text{/m)}$
Superior	-5938,60	2,85	0,139	2,794	0,032	48,88
Inferior	5500,00	2,85	0,128	2,799	0,030	45,20

- Dimensionamento ao cisalhamento:

- Cisalhamento - Cortante:

$$V_{d,máx} \text{ (kN)} = 5492,20 \quad \rho_{sw}^{\min} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$


$$V_{rd2} \text{ (kN)} = 15236,10 \quad a_s^{1\text{perna}} \text{ (cm}^2\text{)} = 2,011$$

$$V_c \text{ (kN)} = 2600,30 \quad n^{\text{pernas}} = 4$$

$$V_{swd} \text{ (kN)} = 2891,90 \quad A_{sw}/s \text{ (cm}^2\text{/m)} = 25,93$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 24,70$$

$$\rho_{sw}^{máx/mín} \text{ (cm}^2\text{/m}^2\text{)} = 24,70$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 304 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Cisalhamento - Torção:

$$T_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 1305,00$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 8,69 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl}/U \text{ (cm}^2/\text{m)} = 8,69$$

$$h_e \text{ (m)} = 0,389$$

$$A_e \text{ (m}^2) = 1,726$$

$$U_e \text{ (m)} = 6,544$$

$$A_{sl} \text{ (cm}^2) = 56,90$$

$$A_{sl,costela} \text{ (cm}^2) = 21,07 \quad \text{por face}$$

$$A_{sl,flex\acute{o}e} \text{ (cm}^2) = 7,38 \quad \text{por face}$$

$$T_{rd2} \text{ (kN.m)} = 6329,53 \quad \text{OK!!}$$

- Cisalhamento - Suspensão:

$$R_{d,m\acute{a}x} \text{ (kN.m)} = 2085,00$$

$$i.e_{vigas} \text{ (m)} = 2,75$$

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 34,88$$

Estribos externos mínimos

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 16,56$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2) = 2,011$$

$$n^{ramos/faces} = 2$$

- Cisalhamento - Cortante + Torção + Suspensão:

Cortante:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 25,93$$

Torção:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 17,39$$

Suspensão:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 34,88$$

Arm. mínima:

$$\rho_{sw}^{min} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 11,59$$

$$\phi \text{ (mm)} = 16$$

$$a_s^{1perna} \text{ (cm}^2) = 2,011$$

$$n^{pernas} = 4$$

Total:

$$A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)} = 78,20$$

$$s \text{ (cm)} = 10,3$$

$$\rho_{sw} \text{ (cm}^2/\text{m}^2) = 74,47$$

Verificação das ações conjuntas:

$$V_{sd}^1 / V_{rd}^1 + T_{sd}^1 / T_{rd}^1 = 0,567 \quad \text{OK!!}$$

- Armadura de pele:

$$A_{c,pele} = 0,10\% \cdot A_{c,a\acute{s}Na} \leq 5,0 \text{ cN}^2/\text{N}$$


$$A_{s,pele}^{min} \text{ (cm}^2/\text{m)} = 5,00 \quad \text{(Por face)}$$

- Resumo das armaduras totais calculadas:

	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2)$
Long. Superior	56,25
Long. Inferior	52,58

	$\phi \text{ (mm)}$	n_{pernas}	esp. (cm)
Estribos	16	4	10,3

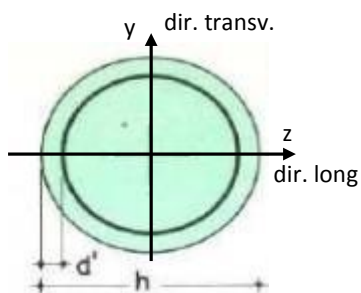
	$A_{s,tot} \text{ (cm}^2/\text{m)}$
Long. Pele	7,02

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 305 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

31. 2. Pilar Esquerdo

$$h = \phi_{pil}(m) = 1,20 \quad h_{pil}(m) = 10,50 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z}(m) = 7,50$$

$$l_{e,z}(m) = 21,00$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y}(m) = 7,50$$

$$l_{e,y}(m) = 8,70$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y(m^4) = 0,10179$$

$$A(m^2) = 1,1310$$

$$i_z(m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 70,00$$

- segundo a direção y

$$I_z(m^4) = 0,10179$$

$$i_y(m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 29,00$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

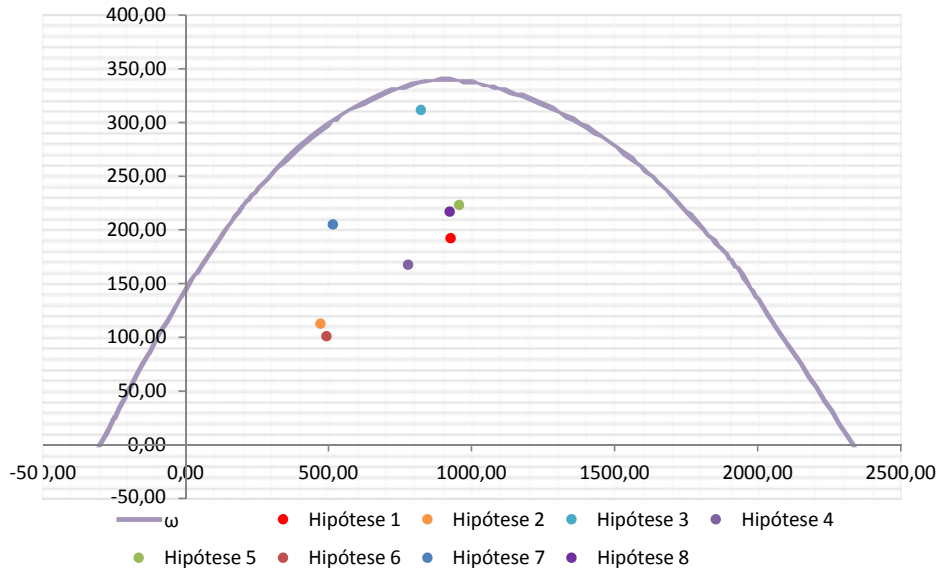
$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(u+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad u = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	9286,91	123,33	584,81	9286,91	1829,80	584,81	1920,98
	N _{mín}	4728,97	245,81	145,64	4728,97	1114,76	145,64	1124,23
	M _{y,máx}	8238,80	1580,81	350,29	8238,80	3094,69	350,29	3114,46
	M _{z,máx}	7796,05	110,46	645,64	7796,05	1542,99	645,64	1672,62
Seção Base	N _{máx}	9573,19	324,05	-799,41	9573,19	2083,13	-799,41	2231,25
	N _{mín}	4941,03	83,32	-189,32	4941,03	991,23	-189,32	1009,15
	M _{y,máx}	5164,17	1043,97	-469,02	5164,17	1992,89	-469,02	2047,33
	M _{z,máx}	9250,36	312,96	-807,80	9250,36	2012,71	-807,80	2168,77

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned} \phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\ c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\ A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\ A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 33,03 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\ A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 307 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

31. 3. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Esquerdo

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6896,82$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 824,19$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -712,26$$

$$H_L \text{ (kN)} = 106,62$$

$$H_T \text{ (kN)} = -119,77$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2445,00	150,00	170,00	226,72
	Menos carregada	1300,00	150,00	170,00	226,72
Seção Tubular	Mais carregada	2550,00	80,00	85,00	116,73
	Menos carregada	1390,00	80,00	85,00	116,73

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 133,42$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 5028,34$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 427,50$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -399,32$$

$$H_L \text{ (kN)} = 38,00$$

$$H_T \text{ (kN)} = -67,87$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 308 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1695,00	55,00	100,00	114,13
	Menos carregada	1120,00	55,00	100,00	114,13
Seção Tubular	Mais carregada	1805,00	30,00	50,00	58,31
	Menos carregada	1200,00	30,00	50,00	58,31

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 89,16$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de |M_{L,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 5171,03$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 888,81$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -677,07$$

$$H_L \text{ (kN)} = 112,70$$

$$H_T \text{ (kN)} = -115,40$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2020,00	155,00	165,00	226,38
	Menos carregada	865,00	155,00	165,00	226,38
Seção Tubular	Mais carregada	2130,00	80,00	80,00	113,14
	Menos carregada	955,00	80,00	80,00	113,14

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 114,84$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de |M_{T,máx}|

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6681,60$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 816,93$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -722,40$$

$$H_L \text{ (kN)} = 106,71$$


$$H_T \text{ (kN)} = -122,80$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2395,00	150,00	180,00	234,31
	Menos carregada	1250,00	150,00	180,00	234,31
Seção Tubular	Mais carregada	2505,00	80,00	85,00	116,73
	Menos carregada	1335,00	80,00	85,00	116,73

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 131,51$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 309 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 9573,19 & M_L \text{ (kN.m)} = 364,20 & M_T \text{ (kN.m)} = -1076,25 \\
H_L \text{ (kN)} = 26,76 & & H_T \text{ (kN)} = -184,56
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3075,00	50,00	260,00	264,76
	Menos carregada	2010,00	50,00	260,00	264,76

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 4941,03 & M_L \text{ (kN.m)} = 50,82 & M_T \text{ (kN.m)} = -256,31 \\
H_L \text{ (kN)} = -21,67 & & H_T \text{ (kN)} = -44,66
\end{array}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1505,00	40,00	70,00	80,62
	Menos carregada	1260,00	40,00	70,00	80,62

- Situação de $|M_{L,m\acute{a}x}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{array}{lll}
N \text{ (kN)} = 5164,17 & M_L \text{ (kN.m)} = 1314,56 & M_T \text{ (kN.m)} = -627,58 \\
H_L \text{ (kN)} = 180,39 & & H_T \text{ (kN)} = -105,71
\end{array}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2160,00	245,00	150,00	287,27
	Menos carregada	720,00	245,00	150,00	287,27

	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	310 / 320

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 9250,36$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 353,31$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -1091,46$$

$$H_L \text{ (kN)} = 26,90$$

$$H_T \text{ (kN)} = -189,10$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	3000,00	50,00	270,00	274,59
	Menos carregada	1925,00	50,00	270,00	274,59

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 10,61$$

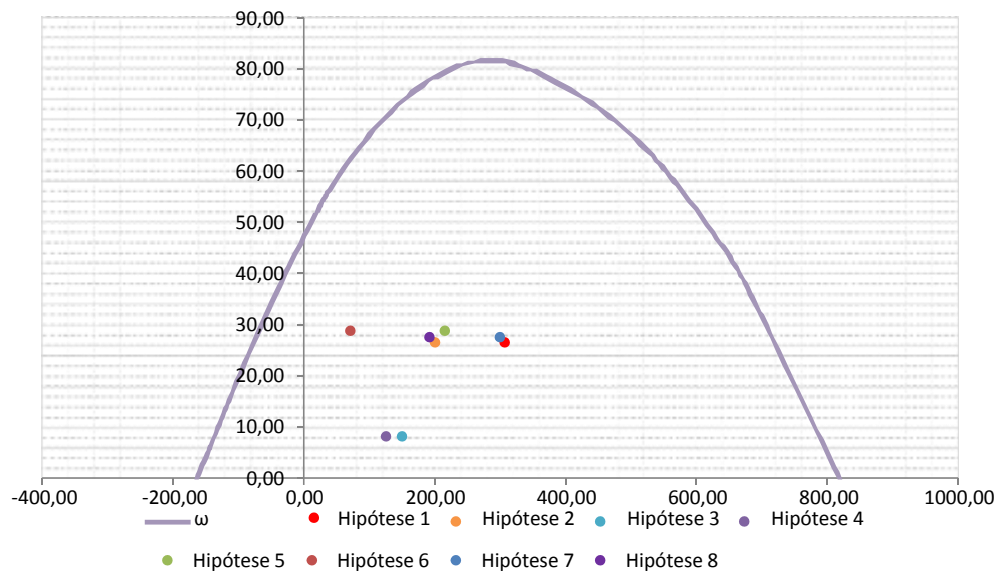
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

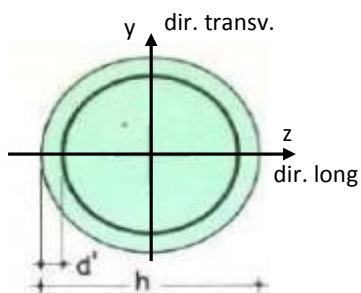
Ok! (Mesmo em região de emendas)

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 311 / 320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

31. 4. Pilar Direito

$$h = \phi_{pil}(m) = 1,20 \quad h_{pil}(m) = 10,50 \quad (\text{altura do pilar + travessa})$$

- Dimensões do pilar:



- Dimensões dos elementos de travamento:

$$\begin{aligned} h_{z,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção z}) \\ h_{z,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção z}) \\ h_{y,topo}(m) &= 3,00 & (\text{altura da travessa na direção y}) \\ h_{y,base}(m) &= 1,50 & (\text{altura do bloco na direção y}) \end{aligned}$$

- Determinação do comprimento efetivo:

- segundo a direção z

$$l_{0,z}(m) = 7,50$$

$$l_{e,z}(m) = 21,00$$

- segundo a direção y

$$l_{0,y}(m) = 7,50$$

$$l_{e,y}(m) = 8,70$$

- Determinação do índice de esbeltez:

- segundo a direção z

$$I_y(m^4) = 0,10179$$

$$A(m^2) = 1,1310$$

$$i_z(m) = 0,30000$$

$$\lambda_z = 70,00$$

- segundo a direção y

$$I_z(m^4) = 0,10179$$


$$i_y(m) = 0,30000$$

$$\lambda_y = 29,00$$

- Esforços finais de dimensionamento:

Simplificadamente serão considerados como pilares medianamente esbeltos os pilares cujo índice de esbeltez esteja entre 35 e 90, independentemente da esbeltez limite λ_1 . Nesses casos o momento total (1ª + 2ª ordem) será obtido pela expressão simplificada do método do pilar padrão com curvatura aproximada, considerando α_b igual a 1. A expressão segue detalhada a seguir.

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,E} + N_d \frac{l_e^2}{10 r} \geq M_{1d,E} \quad r = \frac{1}{h(1+0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad U = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

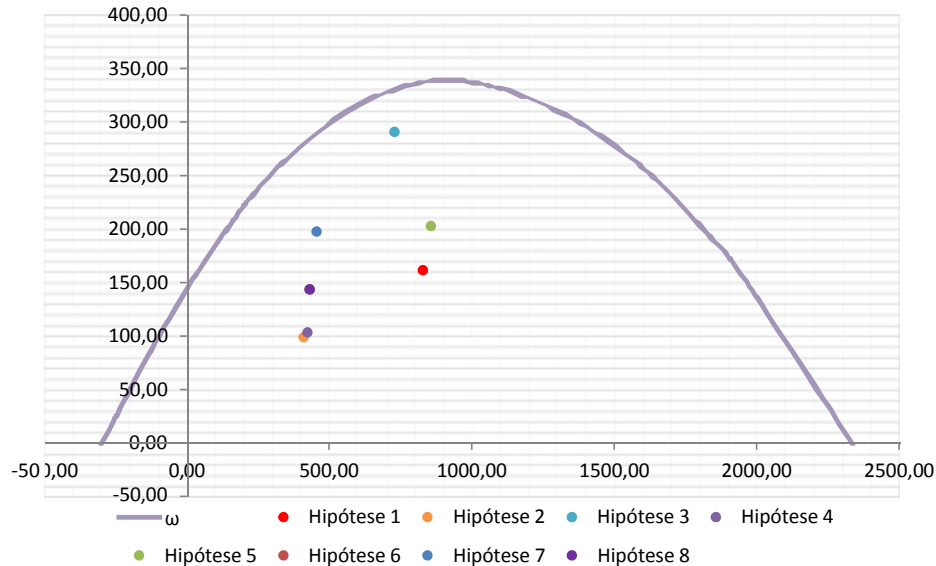
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	312 /320

		Esforços sem 2ª ordem			Esforços com 2ª ordem			
	Hip.	N _d (kN)	M _{y,d} (kN.m)	M _{z,d} (kN.m)	N _d (kN)	M _y (kN.m)	M _z (kN.m)	M _R (kN.m)
Seção Topo	N _{máx}	8296,05	75,41	200,65	8296,05	1599,81	200,65	1612,34
	N _{mín}	4106,64	5,71	632,68	4106,64	760,31	632,68	989,12
	M _{y,máx}	7300,31	1540,73	358,79	7300,31	2882,17	358,79	2904,41
	M _{z,máx}	4243,75	35,61	633,81	4243,75	815,40	633,81	1032,75
Seção Base	N _{máx}	8582,33	435,88	-224,76	8582,33	2012,88	-224,76	2025,39
	N _{mín}	4318,70	383,54	-819,80	4318,70	1177,10	-819,80	1434,45
	M _{y,máx}	4570,95	1050,29	-571,11	4570,95	1890,20	-571,11	1974,59
	M _{z,máx}	4318,70	383,54	-819,80	4318,70	1177,10	-819,80	1434,45

- Verificação da Armadura Adotada:

$$\begin{aligned}
\phi \text{ (m)} &= 1,200 & f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 50,0 & f_{ck} \text{ (MPa)} &= 30,0 \\
c \text{ (m)} &= 0,060 & \gamma_s &= 1,15 & \gamma_c &= 1,4 \\
A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} &= 45,24 & f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} &= 43,478 & f_{cd} \text{ (MPa)} &= 21,429 \\
A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} &= 29,61 & E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} &= 20000 & \sigma_{cd} &= 0,85 \times f_{cd} \\
A_c \text{ (m}^2\text{)} &= 1,13
\end{aligned}$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \omega = 0,124$$




$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 45,2$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 904,8$$

$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 69,12 \quad \text{Ok! (Mesmo em região de emendas)}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 313 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

31. 5. Cálculo do Estaqueamento do Pilar Direito

A fundação será analisada através de um modelo espacial em elementos finitos, elaborado no programa CSiBridge, com molas simulando o confinamento lateral das estacas pelo terreno.

As rijezas das molas foram estabelecidas em função da caracterização do terreno pelas sondagens executadas, através da tabela de correlação do livro Pontes de Concreto Armado, do Prof. Walter Pfeil.



Assim como para o dimensionamento dos pilares, para a análise das fundações as ações na base dos pilares, para cada hipótese de carregamento, foram combinadas de acordo com a NBR 8681 e reduzidas ao fundo do bloco, com seus momentos correspondentes. Foram, então, escolhidas as combinações de ações mais desfavoráveis - $N_{m\acute{a}x}$, $N_{m\acute{i}n}$, $M_{L,m\acute{a}x}$ e $M_{T,m\acute{a}x}$ - no fundo do bloco e somados os efeitos de segunda, para cada combinação analisada.

- Esforços em serviço:

- Situação de $N_{m\acute{a}x}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 6120,21$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 372,36$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -484,78$$

$$H_L \text{ (kN)} = 34,07$$

$$H_T \text{ (kN)} = -87,31$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1990,00	55,00	130,00	141,16
	Menos carregada	1365,00	55,00	130,00	141,16
Seção Tubular	Mais carregada	2100,00	30,00	60,00	67,08
	Menos carregada	1455,00	30,00	60,00	67,08

$$\sigma_{tub}^{m\acute{a}x} \text{ (MPa)} = 103,57$$

$$\sigma_{tub}^{adm} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $N_{m\acute{i}n}$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):


$$N \text{ (kN)} = 4466,20$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 870,65$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -817,47$$

$$H_L \text{ (kN)} = 113,63$$

$$H_T \text{ (kN)} = -144,41$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 314 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1905,00	155,00	200,00	253,03
	Menos carregada	630,00	155,00	200,00	253,03
Seção Tubular	Mais carregada	2015,00	85,00	100,00	131,24
	Menos carregada	715,00	85,00	100,00	131,24

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 113,89$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{L,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4558,49$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 898,49$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -792,20$$

$$H_L \text{ (kN)} = 114,58$$

$$H_T \text{ (kN)} = -141,50$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1925,00	155,00	200,00	253,03
	Menos carregada	655,00	155,00	200,00	253,03
Seção Tubular	Mais carregada	2035,00	85,00	100,00	131,24
	Menos carregada	740,00	85,00	100,00	131,24

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 114,74$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

- Situação de $|M_{T,\text{máx}}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4466,20$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 870,65$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -817,47$$

$$H_L \text{ (kN)} = 113,63$$


$$H_T \text{ (kN)} = -144,41$$

Seção	Estaca	N _d (kN)	M _{L,d} (kN.m)	M _{T,d} (kN.m)	M _d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1905,00	155,00	200,00	253,03
	Menos carregada	630,00	155,00	200,00	253,03
Seção Tubular	Mais carregada	2015,00	80,00	100,00	128,06
	Menos carregada	715,00	80,00	100,00	128,06

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{máx}} \text{ (MPa)} = 113,20$$

$$\sigma_{\text{tub}}^{\text{adm}} \text{ (MPa)} = 175$$

Ok!

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 315 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Esforços de dimensionamento:

Solicitações nas estacas:

- Situação de N_{\max}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 8582,33 & M_L \text{ (kN.m)} &= 507,97 & M_T \text{ (kN.m)} &= -309,84 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 48,06 & H_T \text{ (kN)} &= -56,72
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2580,00	75,00	90,00	117,15
	Menos carregada	2010,00	75,00	90,00	117,15

- Situação de N_{\min}

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 4318,70 & M_L \text{ (kN.m)} &= 459,11 & M_T \text{ (kN.m)} &= -1110,30 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 50,38 & H_T \text{ (kN)} &= -193,67
 \end{aligned}$$


Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1825,00	75,00	265,00	275,41
	Menos carregada	630,00	75,00	265,00	275,41

- Situação de $|M_{L,\max}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$\begin{aligned}
 N \text{ (kN)} &= 4570,95 & M_L \text{ (kN.m)} &= 1323,48 & M_T \text{ (kN.m)} &= -782,27 \\
 & & H_L \text{ (kN)} &= 182,13 & H_T \text{ (kN)} &= -140,77
 \end{aligned}$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	2090,00	245,00	200,00	316,27
	Menos carregada	500,00	245,00	200,00	316,27

	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	316 / 320

- Situação de $|M_{T,máx}|$

Ações no fundo do bloco (sem peso próprio do bloco):

$$N \text{ (kN)} = 4318,70$$

$$M_L \text{ (kN.m)} = 459,11$$

$$M_T \text{ (kN.m)} = -1110,30$$

$$H_L \text{ (kN)} = 50,38$$

$$H_T \text{ (kN)} = -193,67$$

Seção	Estaca	N_d (kN)	$M_{L,d}$ (kN.m)	$M_{T,d}$ (kN.m)	M_d (kN.m)
Topo	Mais carregada	1825,00	75,00	265,00	275,41
	Menos carregada	630,00	75,00	265,00	275,41

- Verificação da Armadura Adotada:

Diagrama de iteração para as estacas no trecho mais solicitado:

- parâmetros das estacas

$$\phi \text{ (m)} = 0,775$$

$$f_{yk} \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 50,0$$

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 25,0$$

$$c \text{ (m)} = 0,060$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$A_{s,min1} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,87$$

$$f_{yd} \text{ (tf/cm}^2\text{)} = 43,478$$

$$f_{cd} \text{ (MPa)} = 16,667$$

$$A_{s,min2} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,90$$

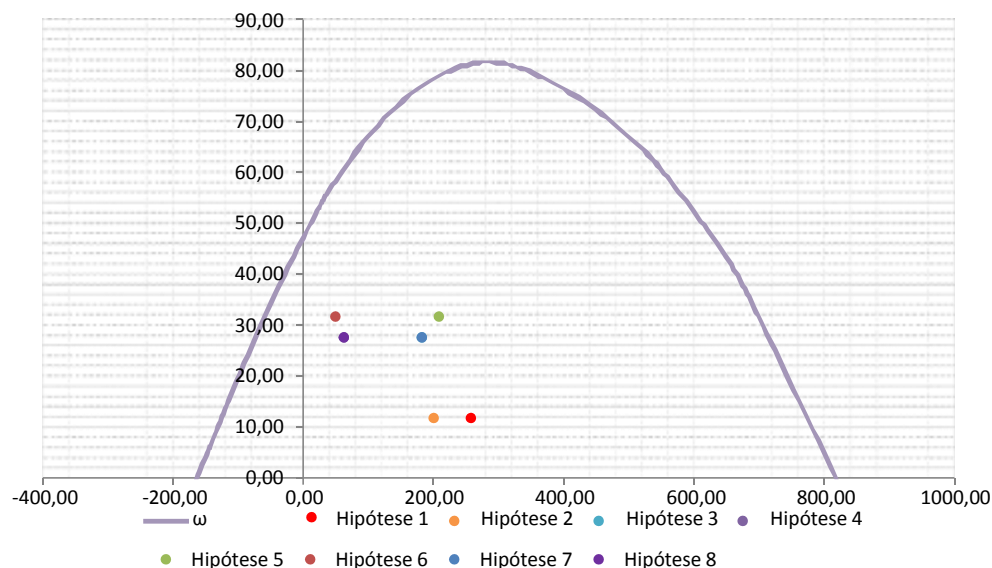
$$E_s \text{ (kN/cm}^2\text{)} = 20000$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \times f_{cd}$$

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = 0,47$$

$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

$$\omega = 0,208$$



$$A_{s,min} = 0,15 \times \frac{N_d}{f_{yd}} \geq 0,004 \times A_c$$


$$A_{s,min} \text{ (cm}^2\text{)} = 18,9$$

$$A_{c,Nás} = 0,08A_c$$

$$A_{s,máx} \text{ (cm}^2\text{)} = 377,4$$

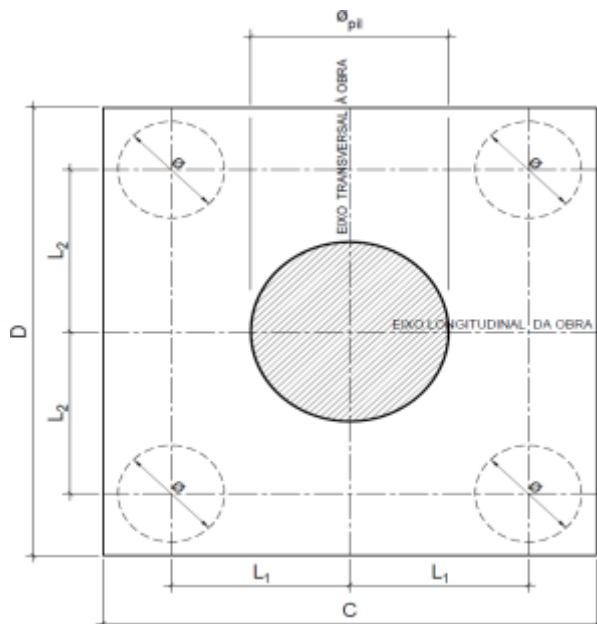
$$A_{s,adotado} \text{ (cm}^2\text{)} = 37,70$$

Ok! (Mesmo em região de emendas)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 317 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

31. 6. Cálculo do Bloco

- Geometria:



$$\varnothing_{pil} = 1,20 \text{ m}$$

$$C = 4,00 \text{ m}$$

$$D = 4,00 \text{ m}$$

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,20 \text{ m}$$

$$\varnothing_{est} = 0,80 \text{ m}$$

- Resistência de cálculo das bielas e regiões nodais:

$$f_{cd1} = 0,85 \alpha_{v2} f_{cd}$$

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

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{cd3} = 0,72 \alpha_{v2} f_{cd}$$


$$f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{v2} = 0,88$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

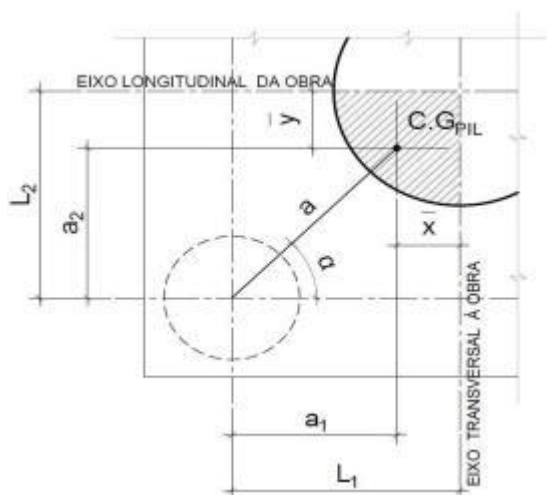
$$f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$

$$f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-204-lv	1	318 /320
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1004	A	

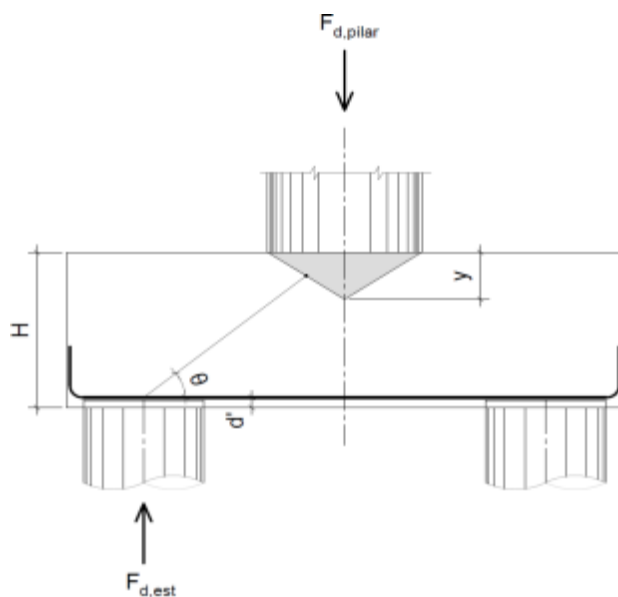
- Verificação da biela de compressão:

Projeção horizontal da biela:



$$\begin{aligned}\bar{x} &= 0,255 \text{ m} \\ \bar{y} &= 0,255 \text{ m} \\ a_1 &= 0,95 \text{ m} \\ a_2 &= 0,95 \text{ m} \\ a &= 1,34 \text{ m} \\ \alpha &= 45,00^\circ\end{aligned}$$


Projeção vertical da biela:



$$\begin{aligned}H &= 1,50 \text{ m} \\ d' &= 0,15 \text{ m} \\ d &= 1,35 \text{ m} \\ y &= 0,15 \text{ m} \\ z &= 1,28 \text{ m} \\ \theta &= 43,64^\circ \\ F_{d,est} &= 3075,00 \text{ kN} \\ F_{d,pilar} &= 12300,00 \text{ kN}\end{aligned}$$

A favor da Segurança, a força de dimensionamento do pilar foi considerada como a reação máxima de dimensionamento da estaca mais carregada, multiplicada pelo número de estacas.

Como a inclinação da biela deu menor que 45° , o bloco será dimensionado segundo a classificação de bloco semi-rígido, proposta no livro do IBRACON (ABNT NBR 6118:2014 - Comentários e Exemplos de Aplicação), em que o modelo de biela direta pode ser considerado, contanto que a rigidez do bloco seja avaliada na determinação dos esforços nas estacas. Como o dimensionamento das estacas foi feito por modelo de elementos finitos, a proposta é aceita se a inclinação da biela obedecer:

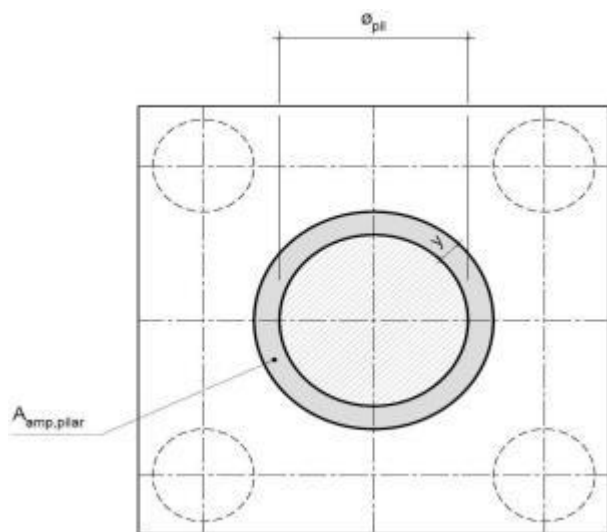
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 319 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

Blocos rígidos: $\theta \geq 45^\circ$

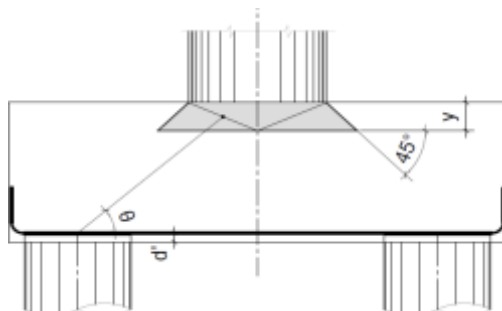
Blocos semi-rígidos: $33,7^\circ \geq \theta > 45^\circ$

- Verificação das tensões na biela de compressão junto ao pilar:

$$\sigma_{cd,piSar}^{bie} = \frac{F_{d,piSar}}{A_{aNp,piSar} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd1} \quad f_{cd1} = 16,03 \text{ MPa}$$




Detalhe da área ampliada do pilar em planta



Detalhe da área ampliada do pilar em corte

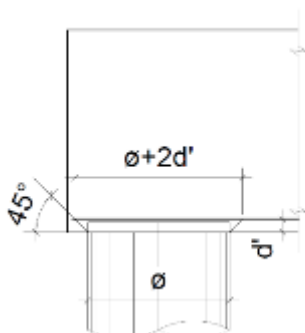
$$A_{amp,pilar} = 1,77 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,pilar} = 14,61 \text{ MPa}$$

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-204-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 320 /320
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1004	REV. PLANAVE A	

- Verificação das tensões na biela sobre a estaca:

$$\sigma_{cd,ect}^{bie} = \frac{F_{d,ect}}{A_{anp,ect} \times (\sin \theta)^2} \leq f_{cd3} \quad f_{cd3} = 13,58 \text{ MPa}$$



Detalhe da área ampliada da estaca em corte

$$A_{amp,est} = 0,95 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cd,est} = 6,79 \text{ MPa}$$

- Armadura principal inferiorl:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_{td1} = F_{d,ect} \times \cot \theta$$

$$F_{td1} = 3224,36 \text{ kN}$$

Decompondo a força em planta para que as armaduras possam ser dispostas sobre as estacas de forma ortogonal, temos:

$$F_{td1,Long} = F_{td1} \times \cos \alpha$$

$$F_{td1,trans} = F_{td1} \times \sin \alpha$$

$$F_{td1,long} = 2279,97 \text{ kN} \quad A_{s,tir,long} = 52,44 \text{ cm}^2$$

$$F_{td1,trans} = 2279,97 \text{ kN} \quad A_{s,tir,trans} = 52,44 \text{ cm}^2$$

Considerando que 80% da armadura do tirante encontra-se sobre as estacas, e os 20% restantes distribuídos entre as estacas, têm-se:

$$80\% A_{s,tir,long} = 41,95 \text{ cm}^2$$

$$80\% A_{s,tir,trans} = 41,95 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,long} = 10,49 \text{ cm}^2$$

$$20\% A_{s,tir,trans} = 10,49 \text{ cm}^2$$