

PROPOSTAS DE MODELOS DE BIELAS E TIRANTES PARA A LIGAÇÃO DO CÁLICE TOTALMENTE EMBUTIDO EM BLOCO DE FUNDAÇÃO

Rejane Martins Fernandes Canha¹, Rodrigo Rabelo de Carvalho² & Mounir Khalil El Debs³

Resumo

O presente trabalho apresenta uma análise teórica sobre o bloco de fundação com cálice totalmente embutido. Esta análise foi feita baseada no Método das Bielas e Tirantes, o qual se mostra bastante adequado ao dimensionamento de regiões de descontinuidade dentro de uma estrutura de concreto armado. Além disso, durante a análise foram levadas em consideração várias recomendações da literatura técnica referentes ao dimensionamento de blocos de fundação monolíticos e do cálice externo constituído pelo colarinho. O estudo foi basicamente dividida em duas etapas. A primeira se refere ao dimensionamento geométrico dos blocos, de forma a compatibilizar as recomendações construtivas dos blocos de fundação correntes com a presença do cálice embutido, e a segunda às aplicações do Método das Bielas e Tirantes. Foram avaliados blocos de fundação sobre duas, três e quatro estacas com cálice de paredes lisas, totalmente embutido e grande excentricidade da força normal. O estudo incluiu no total doze blocos, sendo quatro correspondentes a cada arranjo de estacas, variando-se as cargas, a seção e a orientação do pilar.

Palavras-chave: Concreto pré-moldado. Bloco de fundação. Cálice. Colarinho. Bielas e tirantes.

PROPOSED STRUT AND TIE MODELS FOR THE CONNECTION OF SOCKET FULLY EMBEDDED IN PILE CAP

Abstract

This paper presents a theoretical analysis about the pile cap with fully embedded socket. This analysis was based on the Strut-and-Tie Method, which is rather appropriate for the design of discontinuity regions within a reinforced concrete structure. In addition, during the analysis, several recommendations of the technical literature about the design of monolithic pile caps and the external socket constituted by pedestal walls were taken into account. The study was divided in two phases. The first one is referred to the geometric calculation of the pile caps, in order to make compatible the current recommendations of the pile caps and the embedded socket, and the second one is referred to the application of the Strut-and-Tie Models. The analysis included caps with two, three and four piles, smooth interfaces between the socket and column, fully embedded socket and axial load of large eccentricity. In total, twelve pile caps were evaluated, where four correspond to each layout of piles, varying the load, section and direction of column.

Keywords :Precast concrete. Pile cap. Socket. Pedestal walls. Struts and ties.

1 INTRODUÇÃO

O cálice consiste em uma conformação no elemento estrutural da fundação para o embutimento de um certo trecho do pilar, denominado de comprimento de embutimento (l_{emb}). Para o posicionamento do pilar em planta e referente ao nível, normalmente são utilizados dispositivos de centralização. A fixação temporária e o prumo são feitas através de cunhas de madeira. A ligação entre os dois elementos é efetuada após o preenchimento com concreto

¹ Doutora, Universidade Federal de Sergipe. Email: rejane_canha@yahoo.com.br

² Engenheiro Civil, Universidade Federal de Sergipe. Email: rodrigo.orabelo@hotmail.com

³ Doutor, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Email: mkdebs@sc.usp.br

moldado no local do espaço vazio entre o pilar e o cálice, o qual é denominado de junta. Apresenta-se como uma alternativa vantajosa para a ligação pilar-fundação devido principalmente às suas facilidades e rapidez na montagem e boa capacidade de transmissão de forças normais e momentos fletores.

Este elemento está contido tanto nas fundações rasas em sapatas como nas fundações profundas de blocos de fundação sobre estacas ou de tubulões. O cálice utilizado em blocos de fundação pode apresentar-se de três maneiras, conforme mostra a Figura 1: externo ao bloco, na forma de paredes salientes chamadas de colarinho; parcialmente embutido, contendo uma parte embutida e outra externa ao colarinho; e totalmente embutido no bloco de fundação.

Os métodos de dimensionamento para o cálice de fundação são baseados no tipo de conformação das paredes dos elementos, a qual pode ser lisa ou rugosa, e na grandeza da excentricidade da força normal, podendo esta ser classificada como pequena, intermediária ou grande.

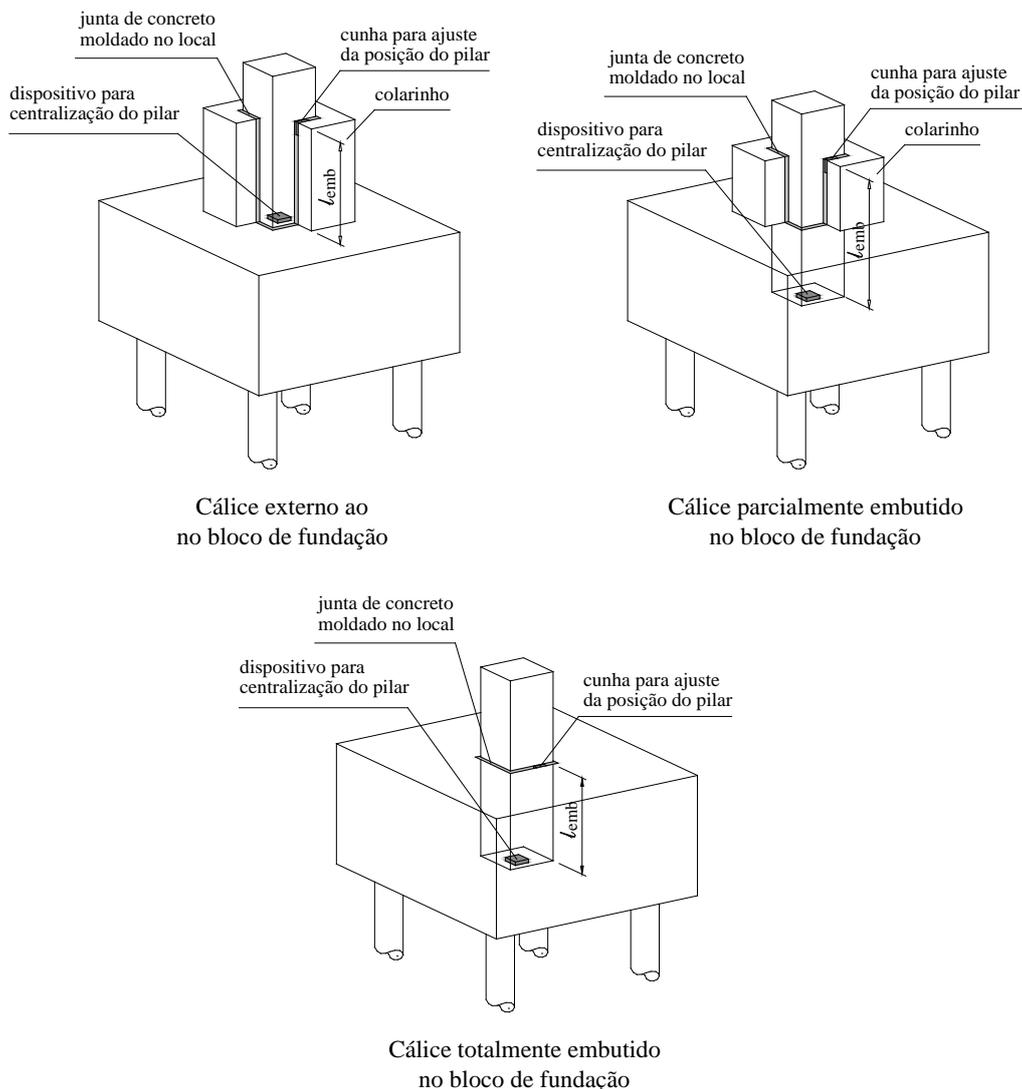


Figura 1 – Variantes do cálice para blocos de fundação.

Sabe-se que os elementos estruturais correntes, como lajes, vigas e pilares, são dimensionados, satisfatoriamente dentro de certos limites, pela hipótese de Bernoulli. Contudo, as ligações são regiões de descontinuidade do sistemas estruturais, sejam pelas suas características geométricas ou pela natureza de suas ações concentradas, e, portanto, não obedecem ao comportamento enunciado naquela hipótese. Para tanto, devem-se utilizar outros métodos de análise mais apropriados, tais como o Modelo de Bielas e Tirantes, o Método Corda Painei, o Modelo de Atrito-Cisalhamento e o Método dos Elementos Finitos.

O bloco de fundação é um elemento estrutural responsável por resistir e transmitir as cargas oriundas da superestrutura para as estacas. Este elemento pode ser classificado como flexível ou rígido, conforme suas dimensões. Sua geometria depende basicamente do número de estacas ao qual está ligado. O método de dimensionamento utilizado para o bloco depende de sua classificação. Os blocos flexíveis apresentam o comportamento semelhante aos elementos lineares e, portanto, são dimensionados conforme tal. Já os blocos rígidos devem ser dimensionados por métodos alternativos como modelos tridimensionais lineares ou não e modelos de bielas e tirantes, sendo esses últimos os preferidos por definir melhor a distribuição de esforços pelos tirantes, conforme a NBR 6118 (2007).

Este trabalho apresenta propostas de modelos de bielas e tirantes para o dimensionamento de blocos de fundação com cálice totalmente embutido, baseado em recomendações e estudos técnicos e científicos sobre o cálice externo e o bloco de fundação moldado in loco monoliticamente. Foram estudados blocos sobre duas, três e quatro estacas, todos com cálice de parede lisa e grande excentricidade da força normal.

2 MODELOS DE BIELAS E TIRANTES PROPOSTOS

2.1 Considerações iniciais

A primeira etapa do desenvolvimento deste trabalho foi definir a geometria dos blocos seguindo as principais recomendações da literatura técnica para blocos de fundação monolíticos, tais como a NBR 6118 (2007), MONTROYA (2000) e ALONSO (1983), e para o cálice externo, os modelos e recomendações propostos em CANHA (2004) e CAMPOS (2010). Genericamente, formou-se um bloco padrão para cada classificação conforme o número de estacas. A geometria dos blocos foi definida de forma a recair no caso de bloco rígido, considerando-se o cálice embutido, paredes de conformação lisa e o caso de grande excentricidade da força normal. O objetivo neste momento foi fundir a geometria do bloco com a do cálice, ou seja, escrever as equações que definiam uma em termo das variáveis da outra, já que a geometria do bloco dependia da geometria do cálice e vice-versa. Maiores detalhes sobre a geometria e o seu equacionamento são encontrados em CARVALHO (2012).

De posse da geometria dos blocos, aplicou-se o método das bielas e tirantes, inicialmente, através do processo do caminho de carga, definindo a quantidade e posição das bielas e dos tirantes de forma que fossem compatibilizados os esforços com a geometria determinada, anteriormente.

Por apresentarem características tridimensionais, as treliças com suas correspondentes forças aplicadas e condições de apoio representando as ligações em estudo foram processadas com o auxílio do software Cype do módulo Metálicas 3D, para o qual é possível utilizar barras de concreto e de aço. A partir deste processamento, foi possível a obtenção dos esforços em cada biela e tirante. Cabe ressaltar que embora as dimensões e o material das barras influenciem teoricamente nos esforços resultantes das barras, nos modelos estudados apenas a geometria e os esforços solicitantes apresentaram-se como aspectos determinantes na análise da treliça. Portanto, optou-se por padronizar todas as barras de todos os modelos como sendo de concreto de seção circular de 10 cm de diâmetro.

A seguir, foram feitos os dimensionamentos das armaduras e, por fim, as verificações quantos aos limites dos ângulos adotados, à resistência das bielas e à espessura mínima das paredes do cálice embutido no bloco.

2.2 Blocos analisados

Foram analisados no total doze ligações do cálice totalmente embutido em bloco de fundação, sendo quatro para blocos sobre duas estacas, quatro para blocos sobre três estacas e quatro para blocos sobre quatro estacas. As dimensões da seção transversal do pilar foram escolhidas

baseadas na pesquisa de CAMPOS (2010), sendo 40 e 60 centímetros. Desta maneira, obtiveram-se quatro combinações, sendo 40x40, 40x60, 60x40, 60x60. Os blocos foram nomeados conforme a quantidade de estacas, e os lados a e b do pilar, respectivamente. Por exemplo, o bloco 346 se refere a três estacas com pilar de lados $a = 40$ cm e $b = 60$ cm. Durante o desenvolvimento da formulação proposta nesta pesquisa, procurou-se manter a coerência e analogia com o dimensionamento do colarinho externo e da base do bloco para estruturas de concreto armado moldado in loco, de forma a possibilitar futuras comparações entre trabalhos semelhantes. Nas Figuras 2, 3 e 4, são apresentadas, respectivamente, as configurações com as respectivas treliças para os blocos sobre duas, três e quatro estacas com cálice totalmente embutido. A planta baixa das treliças para os blocos sobre duas, três e quatro estacas conforme as quatro variações das dimensões do pilar são mostradas, respectivamente, nas Figuras 5, 6 e 7.

Para todos os blocos, foram adotados os seguintes parâmetros e hipóteses:

- Grande excentricidade da força normal;
- O lado a do pilar é paralelo à direção longitudinal do bloco;
- Resistência característica do concreto à compressão, $f_{ck} = 20$ MPa, valor este utilizado nas análises teóricas do cálice externo feitas por CAMPOS (2010). Vale destacar que, pela NBR 6118 (2007), a classe de agressividade ambiental para elementos submersos, que é o caso de fundações, é a classe I, para a qual é definido o f_{ck} mínimo de 20 MPa;
- Resistência característica do aço ao escoamento, $f_{yk} = 500$ MPa;
- Cobrimento, $c = 5$ cm;
- Espessura das juntas laterais entre o pilar e o bloco, $c_j = 5$ cm
- Espessura da junta inferior entre o pilar e o bloco, $c_{inf} = 1$ cm.
- Coeficiente de atrito, $\mu = 0,30$;
- Ângulo de pré-dimensionamento, $\beta_{pré} = 45^\circ$;
- Ângulo máximo admitido para as bielas 1, 2 e β , $\theta_{máx} = 45^\circ$;
- Ângulo mínimo admitido para as bielas 1, 2 e β , $\theta_{mín} = 30^\circ$
- Os apoios próximos aos pontos de aplicação de $H_{sup,d}$ foram considerados do primeiro gênero com a direção longitudinal do bloco liberada. Já os apoios do lado oposto foram considerados do segundo gênero com restrições para deslocamentos em todas as direções. Os apoios foram considerados desta forma visto que este foi o arranjo que a treliça calculada mais se aproximou da treliça idealizada em termos de esforços nas barras, classificando-as como bielas ou tirantes;
- Todos os nós de todos os modelos foram considerados rotulados para que não ocorresse a transferência de momento entre as barras.

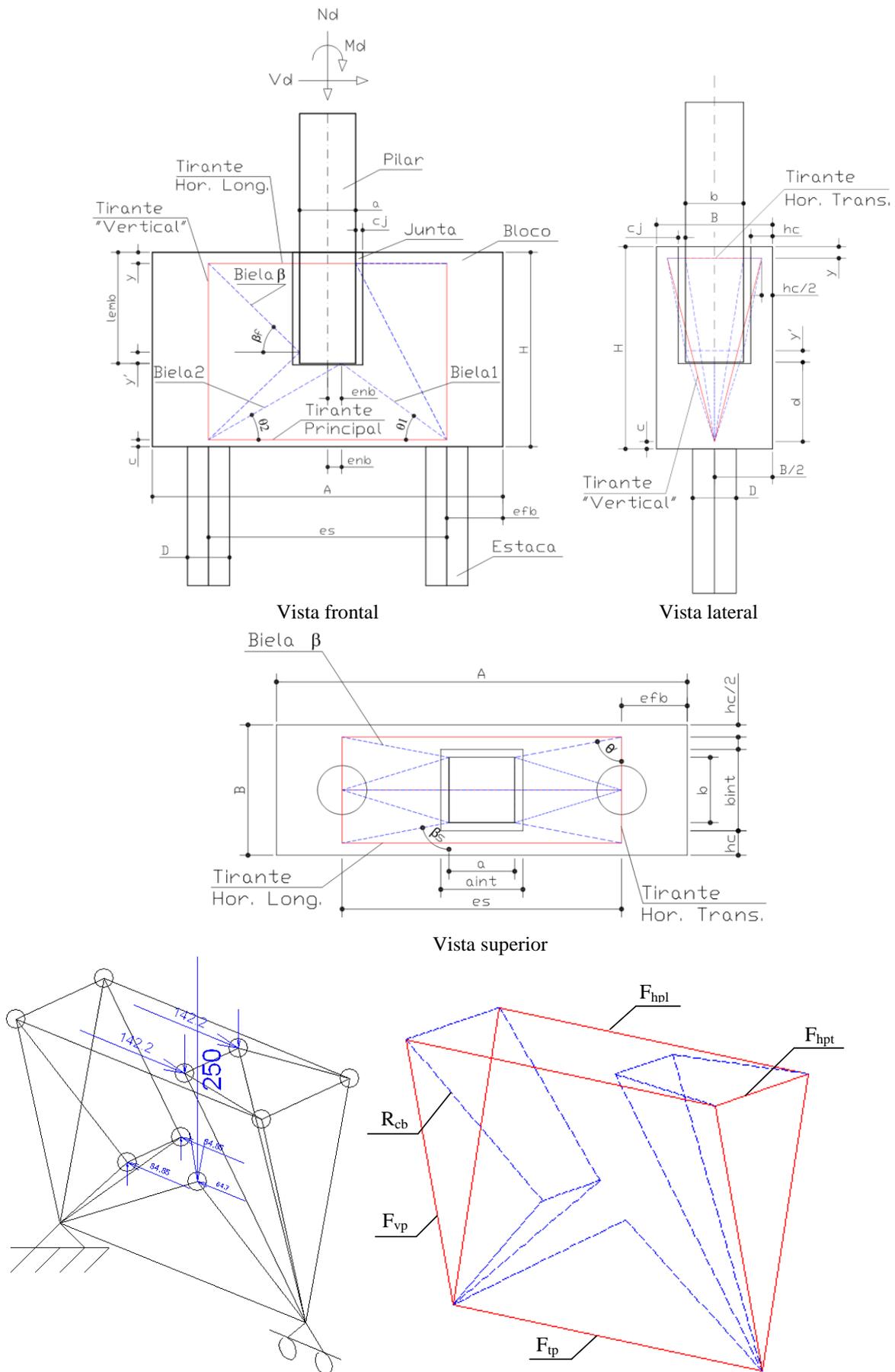


Figura 2 – Configuração do bloco sobre duas estacas com cálice totalmente embutido.

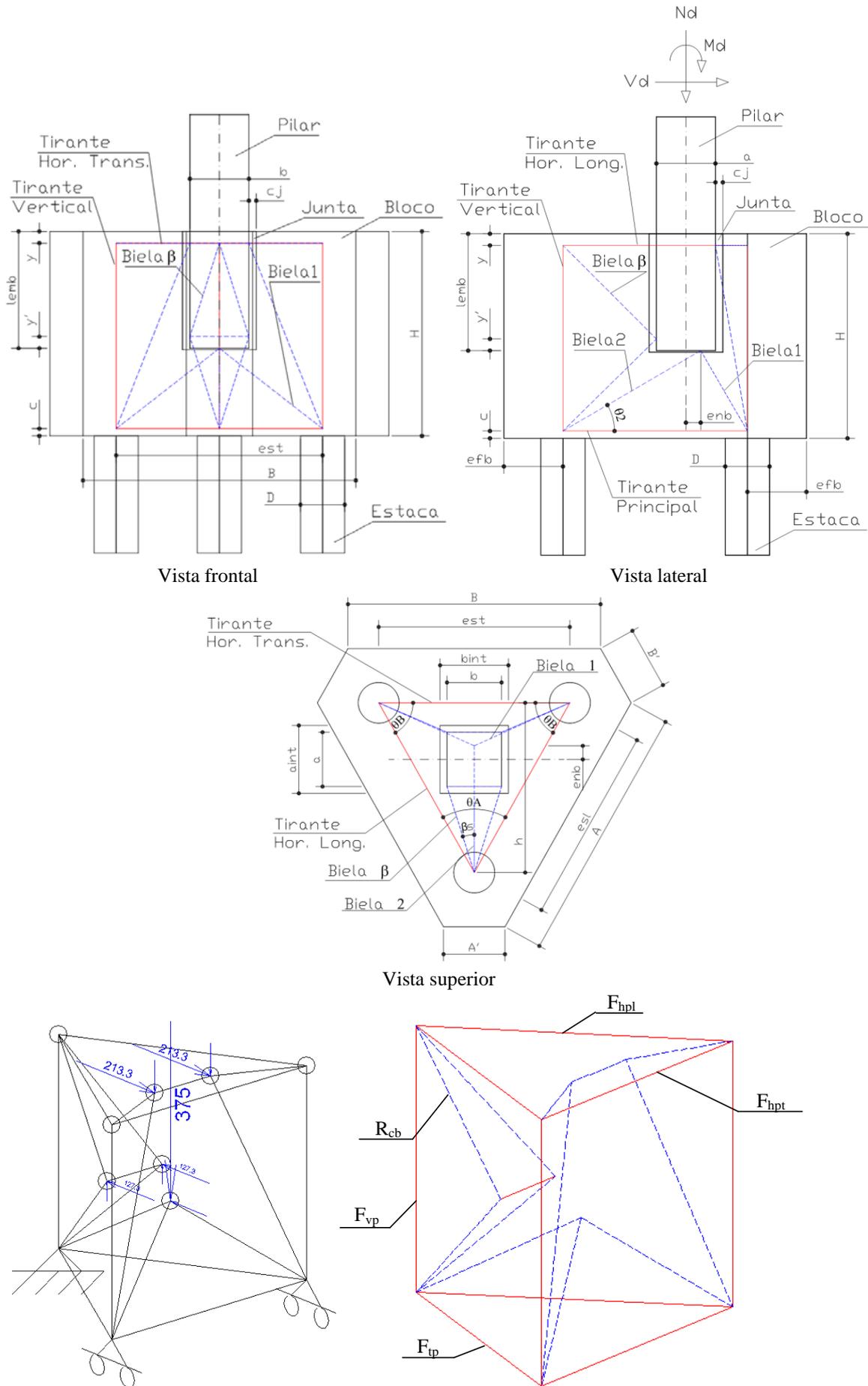


Figura 3 – Configuração do bloco sobre três estacas com cálice totalmente embutido.

Propostas de modelos de bielas e tirantes para a ligação do cálice totalmente embutido em bloco de fundação

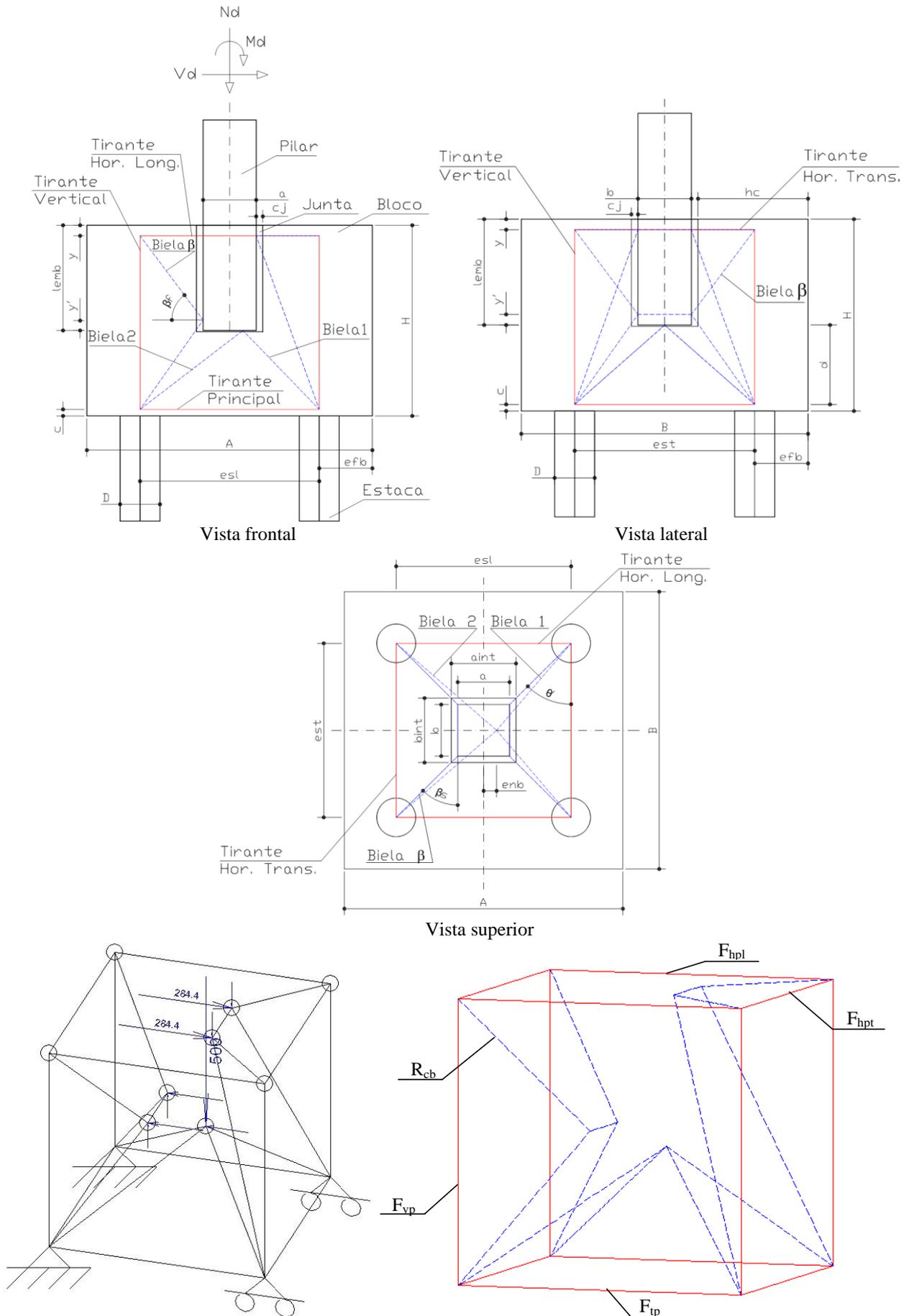
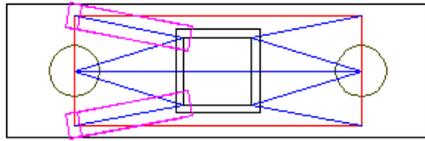
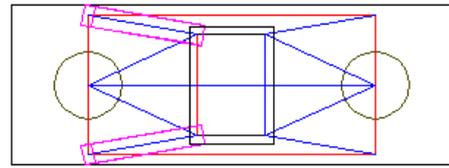


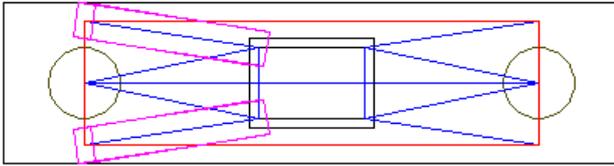
Figura 4 – Configuração do bloco sobre quatro estacas com cálice totalmente embutido.



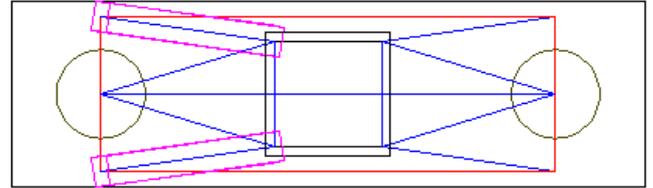
Bloco 244



Bloco 246

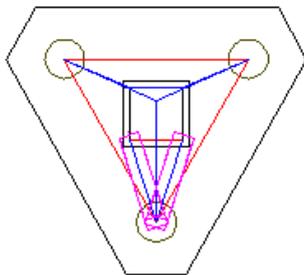


Bloco 264

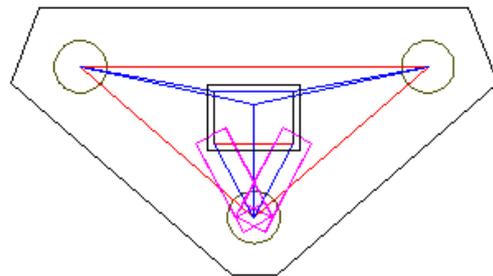


Bloco 266

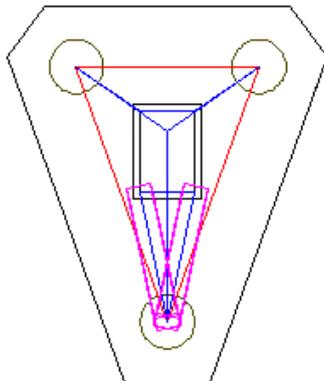
Figura 5 – Planta baixa dos blocos sobre duas estacas.



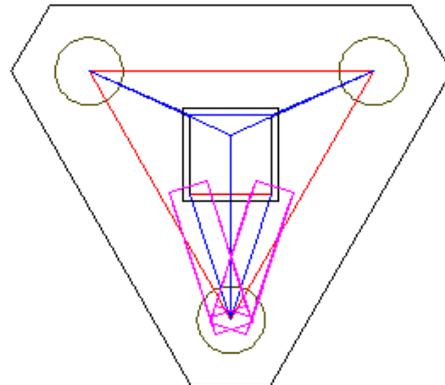
Bloco 344



Bloco 346



Bloco 364



Bloco 366

Figura 6 – Planta baixa dos blocos sobre três estacas.

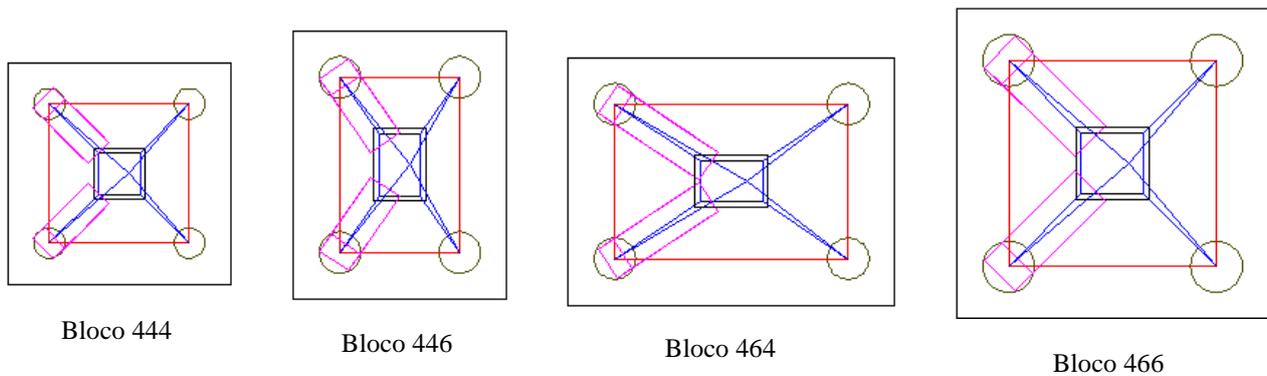


Figura 7 – Planta baixa dos blocos sobre quatro estacas.

Neste trabalho, houve a avaliação da seção transversal da biela *beta*. Esta biela foi escolhida e priorizada devido ao fato de ser a biela que mais se aproxima, em termos visuais, da biela *beta* avaliada para os casos correntes de cálice externo com a prerrogativa de possibilitar até certo ponto a ocorrência de comparações.

Como o valor da espessura da junta é muito inferior às dimensões do bloco, 5 cm nas laterais do pilar e 1 cm em sua base, os próprios arredondamentos por critério de projeto podem absorver esta diferença mínima, tornando-se mais prático desprezá-la.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os parâmetros geométricos de cada bloco e os esforços solicitantes utilizados na análise, sendo estes baseados em CAMPOS (2010), que avaliou o caso de cálice externo. Na Tabela 2, são apresentados os principais resultados dos blocos, como as forças internas nas barras, as armaduras correspondentes aos tirantes e a verificação da biela *beta*.

Geometricamente, os blocos apresentam dimensões mais robustas em termos de comprimento longitudinal e altura quando a maior dimensão da seção transversal do pilar é disposta paralelamente a maior dimensão em planta do bloco.

Em todos os modelos os ângulos θ_1 e θ_2 entre as bielas β_1 e β_2 e o plano horizontal considerado como a posição do tirante principal, respectivamente, apresentaram-se dentro da faixa limite recomendada pela norma brasileira para projetos de estruturas de concreto, ou seja, maiores que 30° e inferiores a 45° . Já o ângulo θ' entre o tirante principal horizontal transversal e a biela β' que liga aquele tirante ao ponto de aplicação de $H_{sup,d}$ mostrou grande variação indo desde $10,14^\circ$ no bloco 346 até $81,97^\circ$ no bloco 266. É claro notar a íntima relação entre o valor do ângulo θ' e o esforço no tirante principal horizontal transversal, sendo que quanto maior for o ângulo menor será o esforço no tirante citado e vice-versa. Isso é possível perceber nos blocos sobre três e quatro estacas, nos quais a relação entre as dimensões transversais não foi maior que 1,5.

Dentre os blocos sobre duas estacas, as maiores áreas de armadura concentram-se no tirante principal, seguindo-se pela armadura horizontal principal longitudinal. Fato oposto ocorreu com o bloco sobre três estacas, no qual em nenhum caso a armadura do tirante principal foi superior a todas as outras. Nos casos em que a seção transversal do pilar foi quadrada, ou seja, nos blocos 344 e 366, a maior área de armadura está concentrada no tirante horizontal principal transversal. É importante destacar que as maiores taxas de armadura estão presentes nos blocos sobre três estacas, com especial atenção a armadura horizontal principal transversal do bloco 346, que a mais alta entre todos os blocos analisados. A intensa concentração de armadura nesta região está intimamente ligada ao valor de θ' , o qual foi o menor dentre todos os blocos. Portanto, percebe-se que há uma relação inversamente proporcional entre estas variáveis. Recomenda-se que, na medida do possível, o ângulo θ' também seja limitado pelos valores máximo e mínimo para as bielas, a fim de evitar que esta expressiva concentração de armadura venha a ocorrer.

Tabela 1 – Características e esforços solicitantes dos blocos analisados

| N° Bloco | 244 | 246 | 264 | 266 | 344 | 346 | 364 | 366 | 444 | 446 | 464 | 466 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|
| N° Estacas | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| axb (cmxcm) | 40x40 | 40x60 | 60x40 | 60x60 | 40x40 | 40x60 | 60x40 | 60x60 | 40x40 | 40x60 | 60x40 | 60x60 |
| D (cm) | 30 | 40 | 40 | 50 | 30 | 40 | 40 | 50 | 30 | 40 | 40 | 50 |
| N _d (kN) | 250 | 375 | 375 | 560 | 375 | 562,5 | 562,5 | 840 | 500 | 750 | 750 | 1120 |
| V _d (kN) | 50 | 75 | 112,5 | 168,7 | 75 | 112,5 | 168,75 | 253,125 | 100 | 150 | 225 | 337,5 |
| M _d (kN.m) | 200 | 300 | 450 | 675 | 300 | 450 | 675 | 1012,5 | 400 | 600 | 900 | 1350 |
| e _{sl} (cm) | 170 | 170 | 255 | 255 | 143 | 175 | 202 | 213 | 135 | 115 | 225 | 200 |
| e _{st} (cm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 140 | 265 | 135 | 210 | 135 | 170 | 150 | 200 |
| H (cm) | 140 | 140 | 210 | 210 | 140 | 165 | 207 | 205 | 145 | 150 | 215 | 215 |
| θ _A (°) | 0 | 0 | 0 | 0 | 58,5 | 98,1 | 39,1 | 59,2 | 90,0 | 90,0 | 90,0 | 90,0 |
| A' (cm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 47 | 34 | 64 | 58 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A (cm) | 250 | 260 | 345 | 355 | 190 | 223 | 257 | 271 | 215 | 205 | 315 | 300 |
| θ _B (°) | 0 | 0 | 0 | 0 | 60,8 | 41,0 | 70,4 | 60,4 | 90,0 | 90,0 | 90,0 | 90,0 |
| B' (cm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 46 | 62 | 47 | 57 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B (cm) | 80 | 95 | 90 | 105 | 186 | 327 | 182 | 267 | 215 | 260 | 240 | 300 |
| e _{nb} (cm) | 40 | 45 | 45 | 50 | 40 | 45 | 45 | 50 | 40 | 45 | 45 | 50 |
| ℓ _{emb} (cm) | 80 | 80 | 120 | 120 | 80 | 80 | 120 | 120 | 80 | 80 | 120 | 120 |
| e _{nb} (cm) | 10 | 10 | 15 | 15 | 10 | 10 | 15 | 15 | 10 | 10 | 15 | 15 |
| θ ₁ (°) | 36,3 | 36,3 | 37,1 | 37,1 | 35,6 | 30,6 | 44,6 | 34,9 | 34,1 | 33,7 | 36,2 | 34,4 |
| θ ₂ (°) | 30,1 | 30,1 | 30,8 | 30,8 | 30,5 | 42,7 | 30,0 | 30,0 | 30,3 | 30,9 | 31,3 | 30,6 |
| θ' (°) | 79,1 | 80,2 | 81,3 | 82,0 | 23,4 | 10,1 | 35,1 | 22,9 | 45,8 | 35,5 | 57,5 | 48,2 |
| tg β | 0,97 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,96 | 1,00 | 0,97 | 0,98 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,97 |
| y (cm) | 8 | 8 | 12 | 12 | 8 | 8 | 12 | 12 | 8 | 8 | 12 | 12 |
| y' (cm) | 8 | 8 | 12 | 12 | 8 | 8 | 12 | 12 | 8 | 8 | 12 | 12 |
| H _{sup,d} (kN) | 284 | 427 | 467 | 700 | 427 | 640 | 700 | 1050 | 569 | 853 | 933 | 1400 |
| H _{inf,d} (kN) | 170 | 255 | 260 | 391 | 255 | 382 | 390 | 587 | 339 | 509 | 520 | 782 |
| F _{at, sup,d} (kN) | 85,3 | 128 | 140 | 210 | 1298 | 192 | 210 | 315 | 171 | 256 | 280 | 420 |
| F _{at, inf,d} (kN) | 50,9 | 76,4 | 78,0 | 117 | 76,4 | 115 | 117 | 176 | 102 | 153 | 156 | 235 |
| F _{at, bf,d} (kN) | 64,7 | 97,0 | 93,9 | 140 | 97,0 | 146 | 141 | 210 | 129 | 194 | 188 | 280 |

Percebe-se novamente a ocorrência do fato de a armadura horizontal principal transversal ser a maior entre todas nos blocos 444 e 466, ou seja, blocos sobre quatro estacas com pilares de seção transversal quadrada. Já para o bloco sobre duas estacas, observa-se que esta armadura está entre as menos solicitadas.

Em relação aos parâmetros β_s e β_f para obtenção das dimensões da biela beta, nota-se que o primeiro apresenta um valor médio típico para os blocos sobre a mesma configuração de estaca e o segundo apresenta o valor de 45° para blocos sobre duas ou três estacas e 55° graus para blocos sobre quatro estacas, sendo considerados valores médios.

Ao observar a verificação da tensão sofrida pela biela beta, é fácil perceber que em todos os modelos averiguados que a mesma apresentou-se satisfatoriamente bem, exceto no modelo 246, o qual apresenta a menor dimensão na seção transversal do pilar perpendicular a direção do momento aplicado por este. Logo, sabe-se que esta condição é bastante desfavorável tanto para o pilar quanto para a biela beta. A solução de projeto mais conveniente seria aumentar o f_{ck} do concreto para 25 MPa ($f_{be} = 15,18$ MPa), para que a resistência da biela beta seja atendida.

Tabela 2 – Resultados dos blocos analisados

| N° Bloco | 244 | 246 | 264 | 266 | 344 | 346 | 364 | 366 | 444 | 446 | 464 | 466 |
|--------------------------------|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| F_{hpl} (kN) | 87,7 | 131 | 142 | 213 | 164 | 572 | 238 | 402 | 188 | 276 | 291 | 440 |
| F_{hpt} (kN) | 20,1 | 27,1 | 26,3 | 36,3 | 307 | 1954 | 310 | 792 | 221 | 816 | 232 | 535 |
| F_{vp} (kN) | 75,4 | 115 | 118 | 179 | 256 | 758 | 394 | 630 | 205 | 468 | 271 | 468 |
| F_{tp} (kN) | 260 | 390 | 403 | 603 | 145 | 286 | 192 | 349 | 204 | 266 | 358 | 498 |
| $A_{s,hpl}$ (cm ²) | 2,02 | 3,02 | 3,26 | 4,90 | 3,77 | 13,15 | 5,48 | 9,24 | 4,32 | 6,35 | 6,70 | 10,13 |
| $A_{s,hpt}$ (cm ²) | 0,46 | 0,62 | 0,60 | 0,83 | 7,05 | 44,95 | 7,12 | 18,2 | 5,09 | 18,76 | 5,34 | 12,31 |
| $A_{s,vp}$ (cm ²) | 1,73 | 2,64 | 2,72 | 4,12 | 5,90 | 17,44 | 9,06 | 14,5 | 4,71 | 10,76 | 6,24 | 10,76 |
| $A_{s,tp}$ (cm ²) | 5,99 | 8,98 | 9,27 | 13,86 | 3,34 | 6,57 | 4,43 | 8,04 | 4,69 | 6,12 | 8,24 | 11,47 |
| $A_{s,hs}$ (cm ²) | 0,43 | 0,66 | 0,68 | 1,03 | 1,47 | 4,36 | 2,26 | 3,62 | 1,18 | 2,69 | 1,56 | 2,69 |
| $A_{s,vs}$ (cm ²) | 0,69 | 1,06 | 1,09 | 1,65 | 2,36 | 6,97 | 3,62 | 5,79 | 1,88 | 4,30 | 2,49 | 4,30 |
| $R_{\beta 1}$ (kN) | 219 | 328 | 330 | 493 | 247 | 570 | 297 | 586 | 237 | 341 | 349 | 552 |
| $R_{\beta 2}$ (kN) | 230 | 345 | 331 | 493 | 208 | 170 | 249 | 448 | 237 | 366 | 330 | 504 |
| $R_{cmáx}$ (kN) | 230 | 345 | 332 | 493 | 433 | 2545 | 487 | 1102 | 317 | 890 | 426 | 766 |
| R_{cb} (kN) | 105 | 157 | 167 | 250 | 184 | 537 | 282 | 450 | 296 | 697 | 390 | 672 |
| β_s (°) | 79,1 | 80,2 | 81,3 | 82,0 | 17,5 | 27,9 | 11,7 | 17,8 | 45,0 | 34,3 | 56,3 | 45,0 |
| β_f (°) | 44,6 | 44,6 | 44,6 | 44,6 | 44,5 | 46,9 | 44,5 | 45,0 | 53,4 | 59,6 | 49,3 | 53,9 |
| h_{ie} (m) | 0,10 | 0,09 | 0,14 | 0,12 | 0,13 | 0,19 | 0,14 | 0,20 | 0,23 | 0,29 | 0,25 | 0,34 |
| h_b (m) | 0,15 | 0,12 | 0,20 | 0,17 | 0,19 | 0,27 | 0,20 | 0,29 | 0,28 | 0,34 | 0,33 | 0,42 |
| σ_{cb} (MPa) | 6,90 | 14,73 | 6,10 | 11,88 | 7,22 | 10,45 | 10,51 | 7,80 | 4,61 | 7,07 | 4,64 | 4,62 |
| f_{be} (MPa) | 12,14 | 12,14 | 12,14 | 12,14 | 12,14 | 12,14 | 12,14 | 12,14 | 12,14 | 12,14 | 12,14 | 12,14 |
| Verificação | OK! | NÃO OK! | OK! |

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A realização deste trabalho teve o intuito de entender melhor o método das bielas e tirantes aplicado ao bloco de fundação sobre duas, três e quatro estacas com cálice de interfaces lisas totalmente embutido e submetido à flexo-compressão com grande excentricidade da força normal, através da formulação de uma análise teórica.

Os blocos analisados foram divididos conforme a quantidade de estacas dispostas em sua base. Desta forma, tiveram-se três grupos: blocos sobre duas estacas, blocos sobre três estacas e blocos sobre quatro estacas. Em seguida, os elementos de cada grupo foram nomeados conforme a disposição e geometria da seção transversal do pilar. Os nomes de cada bloco avaliado são compostos por três números, sendo que o primeiro representa a quantidade de estacas presentes e ligadas ao bloco, o segundo a dimensão do pilar paralela à direção longitudinal do bloco e o terceiro a dimensão do pilar paralela à direção transversal do bloco.

A variação das cargas aplicadas no bloco e oriundas da superestrutura representada pelo pilar nos modelos foi em função do atendimento a condição de grande excentricidade da força normal e da proporcionalidade entre seção transversal e conjunto de esforços solicitantes.

Baseando-se nos resultados teóricos obtidos por esta pesquisa, pode-se concluir que a formulação modelada foi capaz de fundir o método das bielas e tirantes com as diversas recomendações da literatura técnica para o cálice externo e o bloco de fundação monolítico, a ponto de se obter um roteiro no processo de dimensionamento, desde a geometria no bloco, passando pela verificação das bielas até o dimensionamento das armaduras. Durante a aplicação do modelo, é possível perceber o monitoramento das variáveis envolvidas, principalmente as relacionadas aos esforços nas bielas e nos tirantes. Este fato motiva o desenvolvimento experimental de futuras pesquisas, haja vista a riqueza de detalhes e clareza em termos de diversidade de informações, as quais possibilitam compreender melhor a correspondência entre o experimento e a teoria aplicada.

É válido lembrar que, para uma melhor resposta dos modelos propostos e por se tratarem de estruturas tridimensionais complexas, ou seja, de difícil decomposição em problemas sobre duas dimensões, todas as bielas devem ser verificadas e não só a biela *beta* como feito nesta pesquisa. Este fato ocorreu como forma de desmistificar o problema da análise tridimensional e também para ilustrar o procedimento a ser adotado para todas as outras bielas. Esta verificação não deverá limitar-se apenas a resistência estrutural, mas também com relação aos ângulos formados com os tirantes de forma a não sobrecarregá-los com armaduras demasiadamente altas, como ocorreu com o bloco 346. Além disso, os nós também deverão ser verificados quanto a resistência e ancoragem das armaduras. Porém, deve-se ressaltar que os nós tridimensionais tendem a ser mais resistentes que os bidimensionais em virtude do estado múltiplo de tensão a que está submetido, ou seja, ao estado de confinamento, principalmente se for contínuo.

5 REFERÊNCIAS

ALONSO, U. R. (1983). **Exercícios de Fundações**. Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007). **NBR 6118:2007 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro.

CAMPOS, G.M. (2010). **Recomendações para o projeto de cálices de fundação**. 183p. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CANHA, R.M.F. (2004). **Estudo teórico-experimental da ligação pilar-fundação por meio de cálice em estruturas de concreto pré-moldado**. 279 p. Tese (Doutorado em Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CARVALHO, R. R. (2012). **Análise da ligação do cálice embutido em bloco de fundação**. 67 p. Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

MONTOYA, P. J.; MESEGUER, A.; CABRE, M. (2000). **Hormigón armado**. 14ª Edición basada em EHE ajustada al Código Modelo y al Eurocódigo. Gustavo Gili, Barcelona, Espanha.