

ARTIGO TÉCNICO

ESTUDO DE ANCORAGEM DE PILARES PRÉ-FABRICADOS NAS FUNDAÇÕES

ENG. ESP. JOÃO ALBERTO DE ABREU VENDRAMINI - Engenheiro civil, especialista em estruturas pré-moldadas de concreto pela UFSCar
 Professor do curso de Especialização em Projeto de Estruturas de Concreto para Edifícios – ABECE/TQS/MACKENZIE
 Diretor Técnico da VENDRAMINI ENGENHARIA Ltda. / joao@vendramini.eng.br

RESUMO

Trata-se de um estudo sobre o detalhe da ancoragem de pilares pré-fabricados de concreto nos cálices de fundação, com chaves de cisalhamento, levando em consideração a geometria usual preconizada pelas normas vigentes, o sistema de bielas na interface das armaduras pilar/cálice, e os critérios de verificação do comprimento da armadura do pilar, necessário para a devida ancoragem, com e sem barra transversal soldada.

Palavra-Chave: Pilar pré-moldado; Pilar pré-fabricado; Ancoragem de pilar pré-moldado; Ancoragem de pilar pré-fabricado; Cálice de fundação, ancoragem

ABSTRACT

This is a study on the detail of anchoring pre-cast concrete columns in the foundation sockets, with shear keys, taking into account the usual geometry recommended by current standards, the connecting strut system at the interface of the column/socket reinforcement., and the criteria for checking the length of the column reinforcement, necessary for proper anchoring, without and with a welded cross bar.

Keyword: Precast column, anchorage; Precast column anchorage; Foundation cup, anchoring

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA ESTUDADO

A ligação entre os pilares pré-fabricados de concreto e suas fundações, via embutimento em cálice, talvez seja uma das ligações mais analisadas pelos pesquisadores, laboratórios de estruturas, mestrandos e doutorandos. Contudo, a questão do comprimento de ancoragem das armaduras destes pilares, ainda não mereceu a mesma atenção. Neste estudo, analisaremos o comprimento mínimo de embutimento, para que a armadura do pilar esteja devidamente ancorada.

Inicialmente se poderia pensar que o comprimento

de ancoragem das armaduras do pilar estaria associado a ancoragem da armação longitudinal do pilar no cálice do bloco de fundação, sem considerar a existência do graute de solidarização entre as interfaces pilar/bloco, com previsão de chavetas de cisalhamento.

Porém a existência destas chavetas modifica o sistema de transferência de esforços, tornando bastante diferente da transferência por traspasse direto através das mossas existentes nos vergalhões, que passa a ser feita por pequenas bielas formadas entre a “rugosidade” existente nas chavetas.

O adequado entendimento deste mecanismo de transferência de esforços é fundamental para orientar os critérios de determinação dos comprimentos de ancoragem necessários, como veremos a seguir.

1.2 EXEMPLO DA LIGAÇÃO

A ligação dos pilares pré-fabricados e suas fundações, pode ser esquematizada conforme a Figura 1, que considera a utilização de chaves de cisalhamento, condição de análise deste estudo.

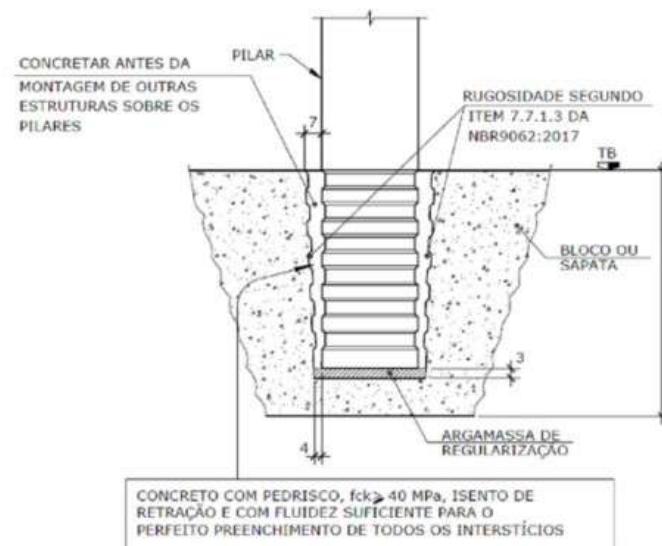


Figura 1 – Detalhe do embutimento de pilar pré-fabricado em elemento de fundação

1.3 ANÁLISE DO PROBLEMA

Ensaios de laboratório (Carvalho [4] [8], Campos [6] e Canha [7]), em escala real, tem demonstrado que não é todo o comprimento de embutimento que deve ser considerado para fazer a transmissão dos esforços por traspasse.

Para a transmissão da força de tração do pilar para a fundação, a ancoragem das armaduras do pilar e da fundação é, na verdade, feita com o comprimento disponível, correspondente à parcela referente a aderência aço-concreto, mais o espaçamento entre estas armaduras, conforme Figura 2.

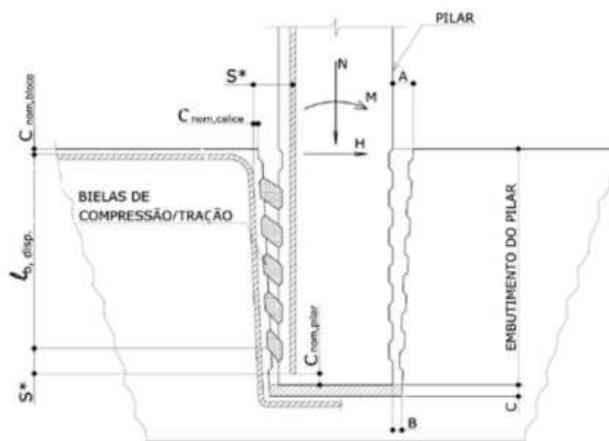


Figura 2 – Esquema geral do funcionamento do traspasse das armaduras, na ligação pilar/fundação.

Onde:

$C_{nom,pilar}$ = distância entre a face da armadura longitudinal até a face externa do pilar

$C_{nom,cálice}$ = distância entre a face da armadura longitudinal até a face externa do cálice

S^* = distância média entre a barra longitudinal do pilar até a armadura de suspensão do cálice

$$S^* = S + C_{nom,pilar} + C_{nom,cálice} + \emptyset_{pilar}/2 + \emptyset_{cálice}/2$$

$$S = (A + B)/2$$

$\ell_{b,ot}$ disponível = comprimento disponível para traspasse ($\ell_{b,ot}$) da barra longitudinal do

pilar

ℓ_b , disponível = Embutimento do pilar - ($C_{nom,pilar} + C_{nom,bloco}$ + S^*)

Devem ser dispostos estribos horizontais, para união destas armaduras, no trecho de ancoragem.

Outra questão relevante é a possibilidade do aparecimento de esforços de tração nas armaduras do pilar, seja por tração pura no fuste ou pela combinação dos esforços normais com os de flexão. Nestes casos, a análise deve ser feita considerando-se emendas tracionadas.

2 ANCORAÇÃO DAS ARMADURAS

2.1 VALORES DAS RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA – ARMADURA PASSIVA

O cálculo da resistência de aderência, para armaduras passivas, entre a armadura e o concreto, pode ser feito através do que preconiza a ABNT NBR 6118:2023 [1], conforme

segue:

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c$$

$f_{ctd} = 0,21 f_{ck}^{2/3}/1,4$ valor de cálculo da resistência a tração do concreto, MPa

$\eta_1 = 1,0$ para barras lisas CA 25

$\eta_1 = 1,0$ para barras entalhadas CA 60

$\eta_1 = 2,25$ para barras de alta aderência CA 50

$\eta_2 = 1,0$ para situações de boa aderência

$\eta_2 = 0,7$ para situações de má aderência

$\eta_3 = 1,0$ para $\emptyset < 32$ mm

Uma análise importante pode ser feita quanto ao critério de consideração das situações de boa ou má aderência, usualmente associadas às concretagens "in loco", onde o fenômeno de exsudação causa problemas de aderência. No caso dos pilares pré-fabricados, com rigoroso controle de cura e vibração, entendemos que a consideração de má aderência é excessivamente conservadora. Além disto, o mecanismo de transferência de carga, através de bielas de compressão, conforme Figura 2, afasta esta consideração.

2.2 COMPRIMENTO DE ANCORAÇÃO

2.2.1 COMPRIMENTO DE ANCORAÇÃO BÁSICO

Conforme item 9.4.2.4 da NBR 6118:2023 [1], o comprimento reto de uma barra passiva, ℓ_b , necessário para ancorar a força máxima nesta barra dada por $A_s * f_{yd}$, considerando-se que neste comprimento tenhamos uma resistência de aderência uniforme igual a f_{bd} é denominado de comprimento de ancoragem básico, e pode ser calculado conforme segue:

$$\ell_b = f_{yd} \emptyset / f_{bd} 4$$

$$\ell_b \geq 25 \emptyset$$

2.2.2 COMPRIMENTO DE ANCORAÇÃO NECESSÁRIO

O comprimento de ancoragem necessário, $\ell_{b,nec}$, pode ser calculado pela expressão:

$$\ell_{b,nec} = \alpha \ell_b A_{s,calc} / A_{s,ef} \geq \ell_{b,min}$$

Onde:

$\alpha = 1,0$, para barras sem gancho

$\alpha = 0,7$, para barras instaladas com barra transversal soldada

$A_{s,calc}$ = área de armadura necessária, dimensionada
 As,ef = área de armadura efetivamente instalada
 $l_{b,min} \geq 0,3 \varnothing_b, 10\varnothing, 100\text{mm}$

2.2.3 COMPRIMENTO DE TRASPASSO DE BARRAS TRACIONADAS, ISOLADAS

Considerando-se que a distância livre entre as barras emendadas não supera $4f$, o comprimento do trecho de traspasse pode ser definido como:

$$l_{ot} \geq \begin{cases} \alpha_{ot,lb,nec} \\ 200 \text{ mm} \\ 15 \varnothing \\ 0,3 \alpha_{ot} l_{lb} \end{cases}$$

Onde:

α_{ot} é o coeficiente função da porcentagem de barras emendadas na mesma

Barras emendadas na mesma seção %	≥ 20	25	33	50	≥ 50
Valores de α_{ot}	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

Tabela 1 – valores do coeficiente α_{ot}

2.2.4 ARMADURA TRANSVERSAL NA REGIÃO DA EMENDA

Quando forem utilizadas barras de diâmetro menor que 16 mm e a proporção de barras emendadas na mesma seção for menor que 25% do total de barras, a armadura transversal, ao longo de todo o comprimento de ancoragem, deve ser capaz de resistir a 25% da força longitudinal de uma das barras ancoradas, prevalecendo a de maior diâmetro, em caso de ocorrência de barras de diâmetros diferentes na ancoragem.

Usualmente, nos pilares pré-moldados de concreto, as barras de armadura longitudinal são de diâmetro maior ou igual a 16 mm, e todas as barras emendadas na mesma seção.

Nestes casos a armadura transversal deve atender ao seguinte:

- Ser capaz de resistir a uma força igual à de uma barra emendada, considerando os ramos paralelos ao plano da emenda;
- Ser constituída de barras fechadas, se a distância entre duas barras mais próximas de duas emendas na mesma seção for menor que $10 \varnothing$;
- Concentrar-se nos terços extremos da emenda.

BARRAS TRACIONADAS

Também neste caso, as prescrições acima são de difícil execução e normalmente é substituído pela utilização de estribos com a metade do espaçamento normal do pilar adotado para o restante do lance, o que tem se mostrado satisfatório para atender as condições de serviço, sem o aparecimento de patologias, mas que requer comprovação experimental.

3 ANÁLISE NUMÉRICA

Considerando os mecanismos de transferência de esforços indicados na Figura 3, abaixo

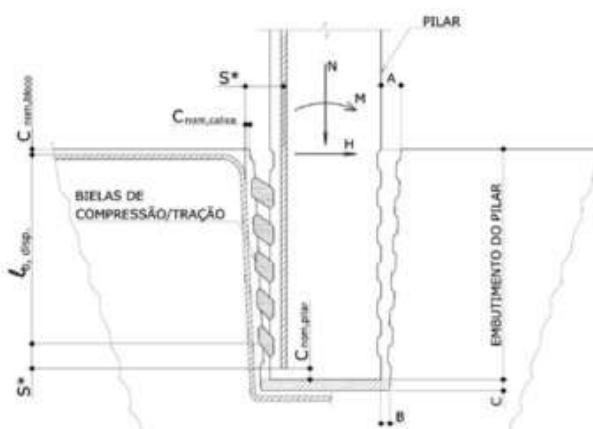


Figura 3 – Esquema geral do funcionamento do mecanismo de transferência de esforços, na ligação pilar/fundação

E adotando:

- fck do concreto do pilar = 30 MPa, e 40 MPa;
- fck do concreto de preenchimento do nicho = 40 MPa
 - diâmetro da barra de armadura longitudinal do pilar, variando entre 12,5 e 25 mm
 - espaço disponível para encaixe do pilar no elemento de fundação A = 10 cm
 - espaço disponível para encaixe do pilar no fundo de cálice B = 5 cm
 - espaçamento entre fundo do cálice com o fundo do pilar C = 5 cm
 - concretagem com rigoroso controle de exsudação, possibilitando a consideração de situação de boa aderência
 - existência, ou não, de barra transversal soldada na armadura longitudinal do pilar
 - relação entre as armaduras calculadas para o pilar e as armaduras efetivamente instaladas no pilar = 1
 - não existência grampos auxiliares
 - $\alpha_{ot} = 2,0$, mais de 50% das barras emendadas na mesma seção

- $\varnothing_{\text{long pilar}}$ = diâmetro da armadura longitudinal do pilar
- $\varnothing_{\text{cálice}}$ = diâmetro da armadura de suspensão do cálice $\leq 12,5$ mm
- $C_{\text{nom, pilar}} = 2,5$ cm
- $C_{\text{nom, cálice}} = 1,0$ cm

Podemos obter as tabelas abaixo:

$\varnothing_{\text{long pilar}}$	Comprimento de traspasse (Lb1*2)			
	Fck 30 MPa		Fck 40 MPa	
	Sem solda (cm)	Com solda (cm)	Sem solda (cm)	Com solda (cm)
12,5	83	58	69	48
16	107	75	88	62
20	133	93	110	77
25	167	117	138	96

Maior dimensão do pilar (cm)	Embutimento do pilar (cm)	Lb disp (cm)
30	60	41
35	70	51
40	80	61
45	90	71
50	100	81
55	110	91
60	120	101
65	130	111
70	140	121
75	150	131
80	160	141
85	170	151
90	180	161

Tabela 3 – valores de Lb, disponível em função da maior dimensão do pilar



Figura 4 – detalhe de barra de ancoragem soldada

4 CONCLUSÃO

Após a avaliação dos itens anteriores, verificamos que o embutimento mínimo do pilar no cálice de fundação poderá variar de acordo com o seguinte:

- fck do concreto do pilar
- diâmetro da barra de armadura longitudinal do pilar
- espaço disponível para encaixe do pilar no elemento

de fundação

- concretagem com rigoroso controle de exsudação
- existência, ou não, de barra transversal soldada na armadura longitudinal do pilar
- relação entre as armaduras calculadas para o pilar e as armaduras efetivamente instaladas no pilar
- existência, ou não, de grampos auxiliares
- a consideração de região e má aderência, devido ao fenômeno de exsudação, não é pertinente em função do mecanismo de transferência de esforços

O presente trabalho foi realizado para uma situação particular, e não pretende esgotar os estudos sobre o assunto, diferentes soluções podem ser encontradas de acordo com o arranjo da ligação, contudo, imaginamos que sirva como sugestão e base de entendimento para que a comissão de estudos de revisão da ABNT NBR 9062:2017 [2], possa incluir o assunto, numa próxima revisão da norma.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR-6118 – Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2.023.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.
- [3] LEONHARDT, F. & MÖNNIG, E. **Construções de concreto**. Ed. Interciência, v. 01, 02, 03 e 04, Rio de Janeiro, 1978.
- [4] Carvalho, R. R., Canha, R. M. F., El Debs, M. K. **Propostas de modelos de bielas e tirantes para ligações do cálice totalmente embutido em bloco de fundação**. 3º Encontro Nacional de Pesquisa – Projeto - Produção em Concreto Pré-Moldado, 2013.
- [5] El Debs, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. Projeto REENGE. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.
- [6] Campos, G. M. **Recomendações para o projeto de cálices de fundação**. 183 f. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.
- [7] Canha, R. M. F. **Estudo teórico-experimental da ligação pilar fundação por meio de cálice em estruturas de concreto pré-moldado**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.
- [8] Carvalho, R. R., Canha. **Análise da ligação do cálice embutido em bloco de fundação**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe - SE, Brasil, 2012.