

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, mestrados 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.

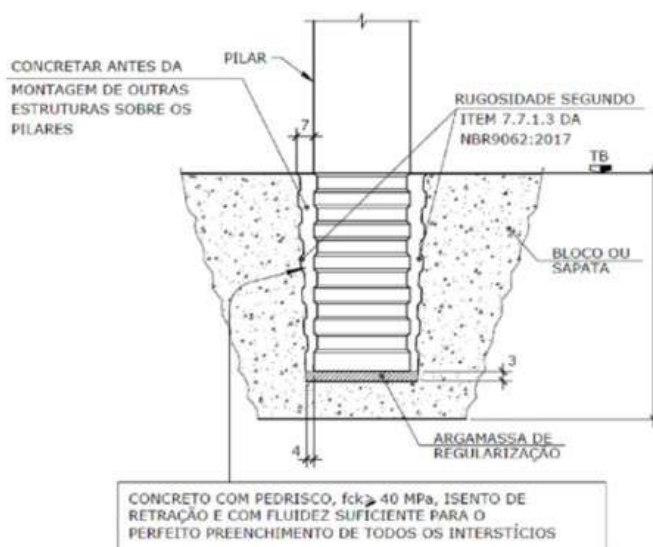


Figura 1 – Detalhe do embutimento de pilar pré-fabricado em elemento de fundação

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.

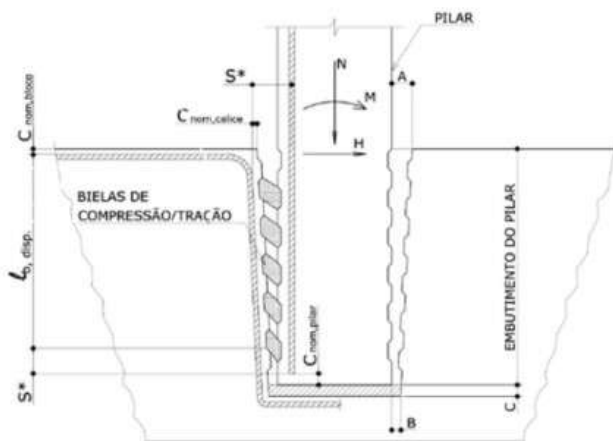


Figura 2 – Esquema geral do funcionamento do traspasse das armaduras, na ligação pilar/fundação

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

$$S^* = S + C_{nom, pilar} + C_{nom, cálice} + \frac{\varnothing_{pilar}}{2} + \frac{\varnothing_{cálice}}{2}$$

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

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

$$l_{b, disponível} = \text{Embutimento do pilar} - (C_{nom, pilar} + C_{nom, bloco} + S^*)$$

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 ANCORAGEM 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\eta_3 = 1,0 \text{ para } \varnothing < 32 \text{ mm}$$

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 ANCORAGEM

2.2.1 COMPRIMENTO DE ANCORAGEM 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:

$$l_b = f_{yd} \varnothing / f_{bd} \cdot 4$$

$$l_b \geq 25 \varnothing$$

2.2.2 COMPRIMENTO DE ANCORAGEM NECESSÁRIO

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

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

Onde:

$$\alpha = 1,0, \text{ para barras sem gancho}$$

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

$A_{s,calc}$ = área de armadura necessária, dimensionada

$A_{s,ef}$ = área de armadura efetivamente instalada

$l_{b,min} \geq 0,3 \vartheta_b, 10\varnothing, 100\text{mm}$

2.2.3 COMPRIMENTO DE TRASPASSE 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:

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

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

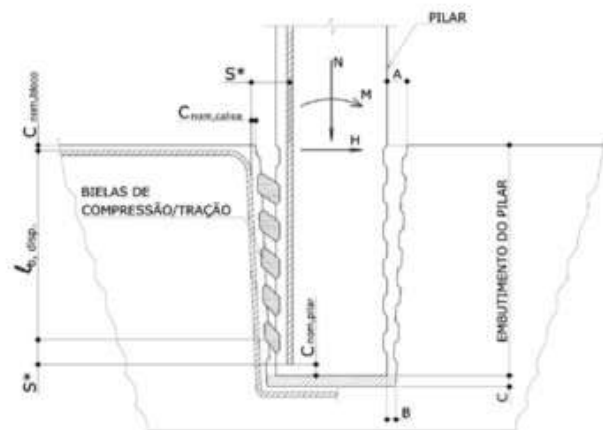


Figura 3 – Esquema geral do funcionamento do mecanismo de transferência de esforços, na ligação pilar/fundação

E adotando:

- f_{ck} do concreto do pilar = 30 MPa, e 40 MPa;
- f_{ck} 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

