

Análise das novas prescrições da ABNT NBR 9062:2017 para o dimensionamento de cálices externos de fundações submetidos a ações de grande excentricidade

Analysis of the new prescripts of ABNT NBR 9062:2017 in the design of external socket foundations with high eccentricity loads

Gabriel Fernandes Sousa
Rodrigo Gustavo Delalibera

Resumo

Ligações entre pilares e fundações por meio de cálice são as mais utilizadas no Brasil por possuírem facilidade na montagem e boa capacidade de transmissão de força normal, bem como, momento fletor. Tal ligação consiste em se embutir uma parte do pilar no elemento de fundação de modo que as solicitações provenientes do pilar pré-moldado sejam transferidas para o colarinho do cálice e para a base. Sendo assim, neste artigo foi feito um estudo comparativo entre o dimensionamento do colarinho de um cálice externo proposto pela ABNT NBR 9062:2006 e pela atualização da referida norma, a ABNT NBR 9062:2017. Tal comparação foi realizada por meio do dimensionamento de cálices com interface lisa, rugosa e com chave de cisalhamento submetidos a ação de grande excentricidade, de modo a se analisar a diferença na força horizontal transferida do pilar para o colarinho e consequentemente a taxa de armadura obtida. Verificou-se que, como a NBR 9062:2017 considera o coeficiente de atrito no cálculo da força lateral transferida, em alguns casos pode-se ter um efeito favorável de modo a reduzir a força horizontal transferida para o cálice e consequentemente a taxa de armadura necessária.

Palavras-chave: Cálice de fundação / Colarinho / Pilar pré-moldado / Grande excentricidade / Interfaces lisa e rugosa / Chave de cisalhamento / ABNT NBR 9062:2017

Abstract

Connections between column and foundations through socket are the most used in Brazil for having ease of assembly and good capacity of normal load transmission, as well as, bending moment. This connection consists of embedding a part of the column in the foundation member such that stresses from the precast column are transferred to the socket foundation and to the base. Thus, in this paper a comparative study was made between the design of the pedestal wall of an external socket proposed by ABNT NBR 9062:2006 and by the updating of this code, ABNT NBR 9062:2017. Such comparison was made by design pedestal wall with a smooth, rough interface and with shear key with high eccentricity loads in order to analyze the difference in the horizontal load transferred from the column to the pedestal wall and consequently the obtained reinforcement rate. It has been found that, as NBR 9062:2017 considers the coefficient of friction in the calculation of lateral force transferred to socket, in some cases it can have a favorable effect in order to reduce the horizontal force transferred to socket and consequently the reinforcement rate require.

Keywords: Socket foundation / Pedestal / Wall precast column / High eccentricity / Rough and smooth interfaces / Shear key / ABNT NBR 9062:2017

Gabriel Fernandes Sousa

Engenheiro Civil, Mestrando em Engenharia de Estruturas
FECIV, Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia, Brasil
gfsousa@yahoo.com.br

Rodrigo Gustavo Delalibera

Professor Associado I
FECIV, Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia, Brasil
delalibera@ufu.br

1 Introdução

Em estruturas pré-moldadas de concreto o estudo de ligações apresenta grande importância, tanto na análise estrutural e dimensionamento da estrutura, quanto na possibilidade de execução da mesma. Com relação à ligação entre pilar prefabricado de concreto e elemento de fundação, Campos [1] afirma que a ligação por meio de cálice é a mais utilizada no Brasil e apresenta diversas vantagens como: facilidade na montagem, boa capacidade de transmissão de força normal (N_d), força cortante (V_d) e momentos fletores (M_d), dentre outras. Segundo a autora Canha [2], a ligação entre pilar e fundação através de cálice consiste em se embutir uma parte do pilar no elemento de fundação, conforme pode observar-se na Figura 1. Em seu estudo referente a blocos sobre estacas, Delalibera & Giongo [3] abordam algumas variações com relação aos tipos de cálices, podendo ser: externo, parcialmente embutido e totalmente embutido, conforme pode observar-se na Figura 2.

No Brasil, a norma que regulamenta o dimensionamento de cálices, bem como demais elementos pré-moldados de concreto, é a ABNT NBR 9062:2017 [4]. Logo, de acordo com esta norma, as ligações entre pilar e fundação por meio de cálice podem ser através de interface lisa, rugosa ou por chave de cisalhamento, sendo considerada interface rugosa quando houver uma rugosidade mínima de 3 mm a cada 3 cm, quer na superfície do cálice quer na superfície do pilar. A interface por chave de cisalhamento é obtida quando a configuração das chaves apresentar uma profundidade mínima de 1 cm a cada 5 cm nas superfícies do cálice e do pilar. Em casos onde essas condições não são atendidas a ligação é considerada com interface lisa.

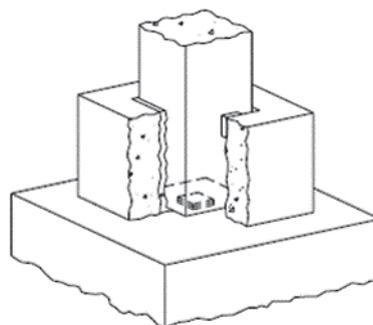


Figura 1 Pilar embutido na fundação [1]

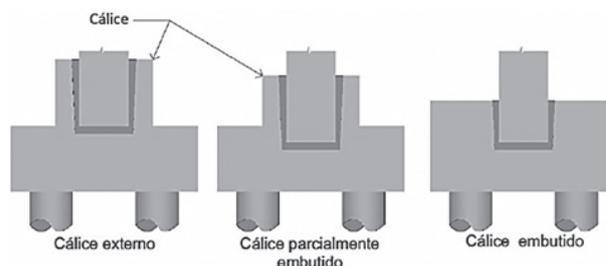


Figura 2 Variações dos blocos sobre estacas com cálice para pilares pré-moldados [3]

Aviso legal

As opiniões manifestadas na Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Legal notice

The views expressed in the Portuguese Journal of Structural Engineering are the sole responsibility of the authors.

SOUSA, G. F. [et al.] – Análise das novas prescrições da ABNT NBR 9062:2017 para o dimensionamento de cálices externos de fundações submetidos a ações de grande excentricidade. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*. Ed. LNEC. Série III. n.º 8. ISSN 2183-8488. (novembro 2018) 49-58.

A ABNT NBR 9062:2006 [5], na sua última versão, passou por atualização em 2017. Sendo assim, neste artigo foi feito um estudo comparativo entre o dimensionamento do colarinho de um cálice externo proposto por [5] e por [4]. Tal comparação foi feita por meio do dimensionamento de cálices com interface lisa, rugosa e com chave de cisalhamento de modo a se analisar a diferença na ação horizontal transferida do pilar para o colarinho e consequentemente a taxa de armadura obtida.

2 Características geométricas

De modo a se apresentar as características geométricas dos cálices de fundação, devem-se observar as Figuras 3(a) e 3(b). Na Figura 3(a) é apresentada a vista em planta do cálice, observam-se nas colorações azul e amarelo as paredes frontal e posterior respectivamente; já as colorações verde e vermelho representam a posição das paredes longitudinais. Essa representação torna-se importante uma vez que a direção do momento fletor e da força cortante definirá quais serão essas paredes. Na Figura 3(b) é apresentado um corte que representa as dimensões variáveis do cálice de fundação.

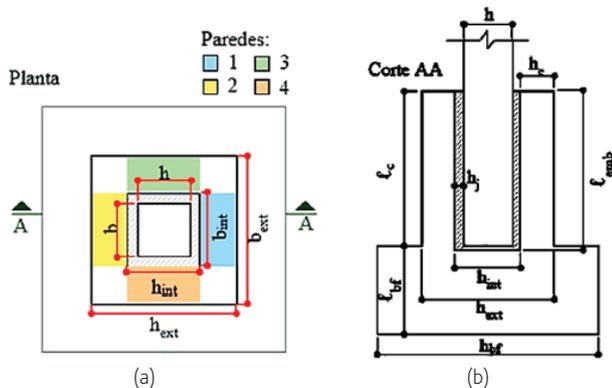


Figura 3 Propriedades geométricas gerais do cálice: (a) planta; (b) corte [6]

As variáveis que caracterizam a geometria do modelo, apresentadas na Figura 3, são listadas e caracterizadas a seguir. Na Tabela 1, são apresentados os valores das variáveis utilizadas para o cálice estudado no presente artigo.

- h Medida da seção transversal do pilar na direção horizontal;
- b Medida da seção transversal do pilar na direção vertical;
- b_{int} Medida entre as faces internas das paredes do cálice na direção vertical;
- h_{int} Medida entre as faces internas das paredes do cálice na direção horizontal;
- b_{ext} Medida entre as faces externas das paredes na direção vertical;
- h_{ext} Medida entre as faces externas das paredes na direção horizontal;
- h_c Espessura da parede do cálice;
- h_j Espessura da junta entre a face interna do cálice e a face do pilar;
- e_{emb} Comprimento de embutimento do pilar no cálice;
- e_c Altura externa do cálice.

Tabela 1 Dimensões do cálice

Parâmetro	Dimensão (cm)
b	50
h	50
b_{int}	60
h_{int}	60
h_c	15
b_{ext}	90
h_{ext}	90
e_{emb}	-
e_c	$e_{emb} - 1$ cm
h_j	5

Observou-se que [5] não faz distinção entre interface rugosa e interface por chave de cisalhamento conforme é apresentado em [4], no entanto afirma que, para situações em que as faces do cálice e do pilar apresentem uma rugosidade mínima de 1 cm a cada 10 cm, permite-se considerar apenas 80% do comprimento de embutimento estabelecido para interface lisa. Sendo assim, com base nas equações apresentadas na Tabela 2, pode-se calcular os comprimentos de embutimento de acordo com [4] e [5]. Neste artigo foi feita análise de um modelo com ações de grande excentricidade, sendo $M_d = 25000$ kN.cm, $V_d = 50$ kN e $N_d = 250$ kN. Com base nas solicitações obteve-se uma relação $M_d/N_d \cdot h = 2$.

Tabela 2 Comprimentos mínimos de embutimento do pilar [4]

Interfaces	$\frac{M_d}{N_d \cdot h} \leq 0,15$	$\frac{M_d}{N_d \cdot h} \geq 2,00$
Lisas ou rugosas	$1,5h$	$2,0h$
Com chave de cisalhamento	$1,2h$	$1,6h$

Logo, pode-se analisar a comparação entre os comprimentos de embutimento para as três interfaces com base na norma de 2006 e a de 2017. Como pode observar-se na Figura 4 para ações de grande excentricidade, não houve alterações na consideração do e_{emb} , percebe-se que a consideração de chave de cisalhamento permite a redução do comprimento de embutimento. É importante salientar que ambas as normas sugerem a não utilização de um comprimento de embutimento menor que 40 cm.

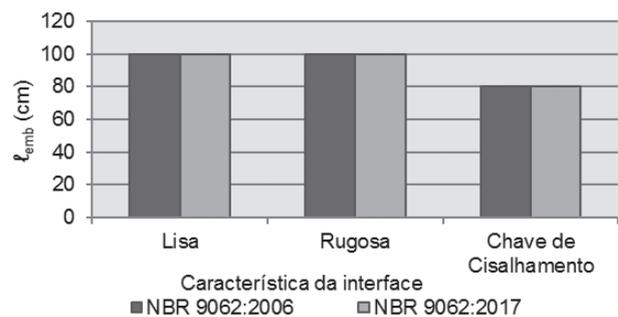


Figura 4 Comprimentos de embutimento

3 Dimensionamento do colarinho

Para um correto dimensionamento e obtenção da armadura necessária para combater as tensões atuantes no elemento estrutural em estudo, torna-se necessário o entendimento dos mecanismos de transferência de solicitações do pilar para o colarinho. De acordo com o autor [7], o fato de se considerar a interface entre pilar e colarinho como sendo lisa ou rugosa altera a forma como as solicitações são transferidas para o colarinho. As solicitações de momento e cortante são transferidas, diretamente, para as paredes transversais por meio da resultante das pressões superiores e inferiores [8]. Utilizou-se, para o dimensionamento, concreto com $f_{ck} = 20$ MPa e aço CA-50 com diâmetro de 10 mm.

3.1 Solicitações atuantes

Com relação às solicitações provenientes do pilar e transferidas para o colarinho, nesse trabalho, foi considerado que o pilar está submetido a momento fletor (M_d) em uma direção, força cortante (V_d) em uma direção e força normal (N_d). A disposição dessas ações pode ser observada nas Figuras 5(a) e 5(b), sendo importante salientar que a Figura 5(a) se refere à transferência de solicitações para o colarinho com interface lisa e rugosa, enquanto a Figura 5(b) está relacionada à transferência de solicitações para o colarinho na presença de interface com chave de cisalhamento. Na análise da atualização da ABNT NBR 9062:2017, percebeu-se alteração no cálculo da força resultante que atua no colarinho H_{supf} .

Conforme se observou em [5], para cálices com interface lisa, tal resultante poderia ser calculada com base na Equação (1), já para cálices com interface rugosa, a resultante seria calculada conforme a Equação (2). Presumiu-se que, para interface com chave de cisalhamento, o cálculo também seria feito conforme a Equação (2).

$$H_{supf} = M_d / 0,67 \ell_{emb} + 1,25V_d \quad (1)$$

$$H_{supf} = M_d / 0,85 \ell_{emb} + 1,2V_d \quad (2)$$

Nestas equações H_{supf} é a força transferida para o colarinho (kN), M_d o momento fletor solicitante de cálculo (kN.cm), V_d a força cortante solicitante de cálculo (kN) e ℓ_{emb} o comprimento de embutimento do pilar (cm).

Tendo como referência a autora [2], a resultante atuante no colarinho sofreu alteração e, de acordo com [4], passou a levar em consideração o coeficiente de atrito (μ) entre as interfaces, sendo utilizada a Equação (3) para o cálculo de cálices com interface lisa ou rugosa. Segundo [4] e [9], para interface lisa deve-se utilizar $\mu \leq 0,3$ e para interface rugosa $\mu \leq 0,6$.

No presente artigo utilizou-se $\mu = 0,3$ para cálices com interface lisa e $\mu = 0,6$ para cálices com interface rugosa.

$$H_{supf} = K_1 + K_2 \quad (3)$$

sendo:

$$K_1 = \frac{M_d - N_d \left[0,25h + \mu \left(\frac{0,1 \ell_{emb} - 0,75 \mu \cdot h}{1 + \mu^2} \right) \right]}{0,8 \ell_{emb} + \mu \cdot h} \quad (4)$$

$$K_2 = \frac{V_d \left[\ell_{emb} - \left(\frac{0,1 \ell_{emb} - 0,75 \mu \cdot h}{1 + \mu^2} \right) \right]}{0,8 \ell_{emb} + \mu \cdot h} \quad (5)$$

onde H_{supf} é a força transferida para o colarinho (kN), M_d o momento fletor solicitante de cálculo (kN.cm), V_d a força cortante solicitante de cálculo (kN), ℓ_{emb} o comprimento de embutimento do pilar (cm), h a dimensão do pilar na direção do momento fletor (cm) e μ o coeficiente de atrito.

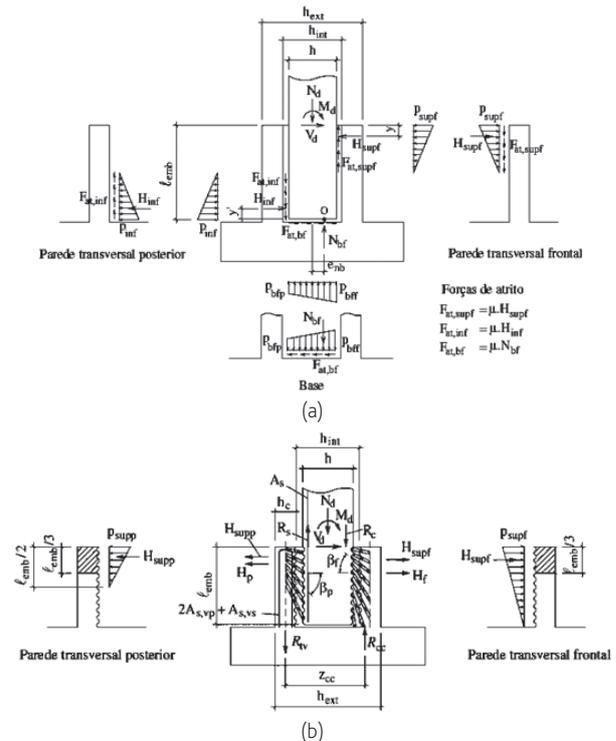


Figura 5 Transferência de solicitações para o colarinho: (a) interface lisa ou rugosa; (b) interface com chave de cisalhamento [1]

Com relação à interface com chave de cisalhamento [4] propõe a Equação (6) e a Equação (7); conforme se pode observar na Figura 5(b), uma parcela da resultante é transferida para a parede frontal, enquanto outra é transferida para a parede posterior.

$$H_{supf} = \frac{[M_d + V_d \cdot \ell_{emb} + N_d (0,5d_c)]}{2,60d_c} \quad (6)$$

$$H_{supf} = \frac{[M_d + V_d \cdot \ell_{emb} - N_d (0,4d_c)]}{0,63d_c} \geq 0 \quad (7)$$

sendo d_c a distância entre o eixo central dos colarinhos.

Deve-se levar em consideração, ainda, o ponto de aplicação (y) dessa resultante, que pode ser observado na Figura 5(a) e 5(b). De acordo com [5], para paredes lisas y era calculado conforme a Equação (8), enquanto que para interfaces rugosas e por chave de cisalhamento era calculado conforme a Equação (9). Tal parâmetro

também sofreu alteração e, segundo [4], deve ser calculado com base na Equação (10), para as interfaces lisa, rugosa e com chave de cisalhamento, submetidas a ações de grande excentricidade.

$$y = h - 0,167 \ell_{emb} \quad (8)$$

$$y = h - 0,15 \ell_{emb} \quad (9)$$

$$y = \frac{\ell_{emb}}{10} \quad (10)$$

nas quais h é a dimensão do pilar na direção da flexão e y o ponto de aplicação da força resultante H_{supf}

Na Figura 6 pode-se observar os valores de H_{supf} transferidos para o cálice, submetido a ações de grande excentricidade, considerando-se os três tipos de interface pilar-cálice conforme [5] e [4]. Verifica-se que para as interfaces lisa e rugosa, a atualização normativa propiciou uma redução no módulo do esforço transferido para as paredes do cálice na ordem de 53,17% e 35,66% respectivamente, no entanto para a interface com chave de cisalhamento o valor da força repassada para o colarinho, proposto pela norma atualizada, foi 6,4% maior que o obtido conforme [5].

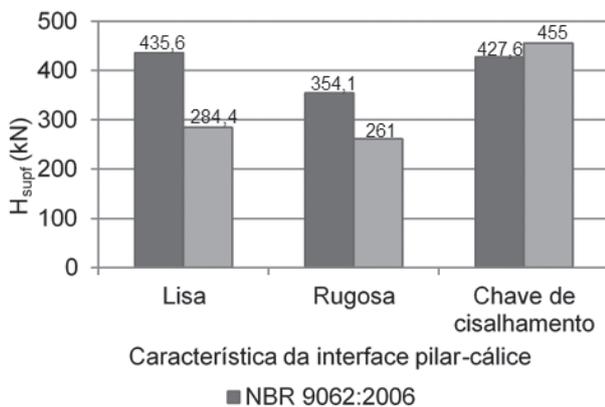


Figura 6 Força horizontal H_{supf} transferida para o cálice

3.2 Armaduras

Com relação à armadura horizontal principal $A_{s,hpl}$ pode-se dizer que sua principal função é transferir a força H_{supf} por meio das paredes longitudinais até a armadura vertical principal [1]. De acordo com [10], a $A_{s,hpl}$ é constituída de duas parcelas, uma referente à armadura horizontal principal transversal $A_{s,hpt}$ e outra parcela referente à armadura horizontal principal longitudinal $A_{s,hpl}$. A autora [1] afirma, ainda, que a armadura horizontal principal deve estar disposta no primeiro terço do comprimento de embutimento, conforme se pode observar na Figura 7(a).

Como pode observar-se na Figura 8(a), a força H_{supf} se aplica na parede frontal e é então absorvida pelas paredes longitudinais devido à sua grande rigidez na direção da força. A armadura horizontal principal, referente às paredes longitudinais, pode ser calculada mediante a Equação (11).

$$A_{s,hpl} = \frac{H_{supf}}{2 \cdot f_{yd}} \quad (11)$$

na qual f_{yd} é a tensão de escoamento de cálculo do aço (kN/cm^2) e $A_{s,hpl}$ a área de aço da armadura horizontal longitudinal principal do colarinho (cm^2).

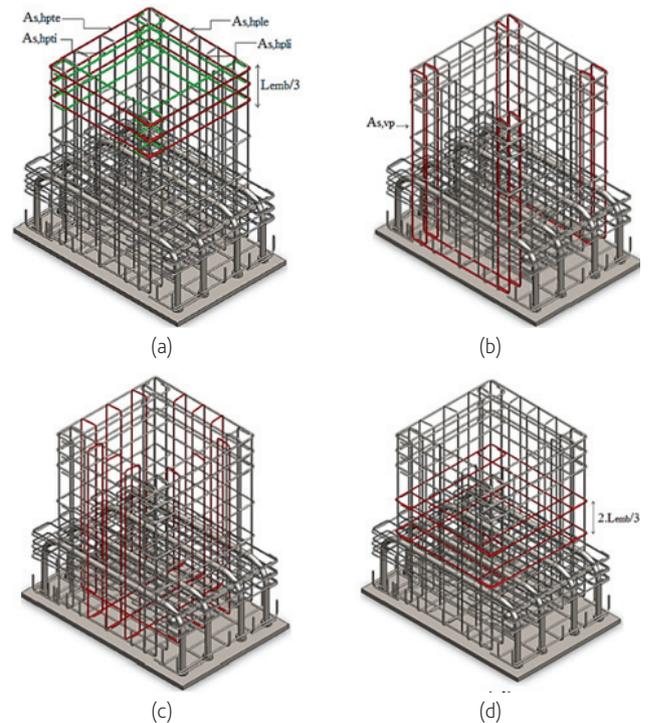


Figura 7 Disposição das armaduras com destaque para a especificidade: (a) $A_{s,hpl}$; (b) $A_{s,vp}$; (c) $A_{s,vs}$ (costura); (d) $A_{s,hs}$ (distribuição) [1]

No dimensionamento da $A_{s,hpl}$, admite-se que a parede frontal estará sujeita a solicitações de tração e flexão conforme Figura 8(b), sendo por vezes a tração preponderante com relação à flexão. De acordo com [11], a força H_{supf} deve ser desmembrada em duas parcelas, uma referente à flexão H_{supf-f} e outra referente à tração H_{supf-t} . Os autores afirmam, ainda, que se pode considerar que 85% de H_{supf} tende a causar tração na parede frontal, enquanto os 15% restantes produzem solicitação de flexão, no entanto recomendam que seja verificada a situação em que 100% de H_{supf} gere solicitação de tração na parede frontal.

O momento fletor e a força normal de tração, na parede do cálice, podem ser calculados mediante as Equações (12) e (13) respectivamente.

$$M_{supf-f} = H_{supf-f} \cdot \left(\frac{b_{int} + h_c}{4} - \frac{b_{int}}{8} \right) \quad (12)$$

$$N_{supf-t} = \frac{H_{supf-t}}{2 \cdot \sin \theta} \cdot \cos \theta \quad (13)$$

onde M_{supf-f} é o momento fletor na parede frontal do cálice devido à força H_{supf-f} ($\text{kN} \cdot \text{cm}$), b_{int} a dimensão do colarinho contígua ao pilar –

ver Figura 3 – (cm), N_{supf-t} a força normal de tração na parede frontal do cálice devido à força H_{supf} (kN), θ o ângulo que a componente da parcela de H_{supf-f} faz com a quina do cálice ($\theta = 45^\circ$), H_{supf-f} a força transferida para o colarinho (kN) e H_{supf-t} a força transferida para o colarinho (kN).

Na Figura 9(a), e conforme apresentado na Figura 7(a), são utilizados estribos com 2 ramos nas paredes do colarinho para as armaduras horizontais, logo, $A_{s,hpt}$ deve ser separada em $A_{s,hpti}$ referindo-se ao ramo interno, e $A_{s,hpte}$ referindo-se ao ramo externo.

Deve-se então converter as solicitações de momento e tração em forças paralelas à parede frontal com as Equações (14) e (15), sendo z o braço de alavanca que forma o binário do momento fletor, calculado pela Equação (16).

Os sinais, positivo e negativo, para a parcela de momento fletor, nas Equações (14) e (15) se referem ao fato de o ramo externo estar sujeito à tração e o ramo interno estar sujeito à compressão (flexão devida ao momento fletor traciona as fibras externas da parede frontal e comprime as fibras internas).

Sendo $R_{s,hpte}$ a força referente à borda externa da parede frontal (kN), $R_{s,hpti}$ a força referente à borda interna da parede frontal (kN), N_{supf-t} a força normal de tração na parede frontal do cálice devido à força H_{supf} (kN), z o braço de alavanca que forma o binário – ver Figura 9 – (cm), d o comprimento útil da parede frontal (cm) e d' a distância da face interna da parede frontal à posição do centroide da primeira armadura horizontal da parede frontal – ver Figura 9 – (cm).

Logo, pode-se armar a seção por meio das Equações (17) e (18). A soma das duas parcelas resultará em $A_{s,hpt}$.

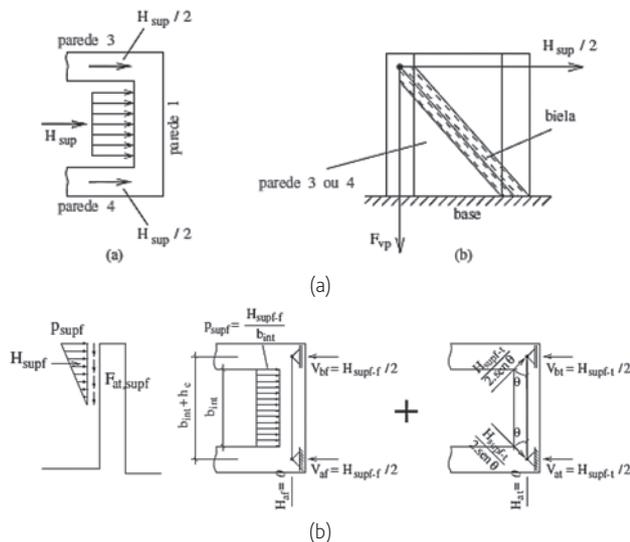


Figura 8 Transferência de esforço para as paredes do cálice: (a) longitudinais; (b) transversais [11]

$$R_{s,hpte} = \frac{N_{supf-t}}{2} + \frac{M_{supf-f}}{z} \quad (14)$$

$$R_{s,hpti} = \frac{N_{supf-t}}{2} - \frac{M_{supf-f}}{z} \quad (15)$$

$$z = d - d' \quad (16)$$

$$A_{s,hpte} = \frac{R_{s,hpte}}{f_{yd}} \quad (17)$$

$$A_{s,hpti} = \frac{R_{s,hpti}}{f_{yd}} \quad (18)$$

Fazendo-se menção à armadura vertical principal $A_{s,vp}$, [10] salientam que a mesma deve ser distribuída nos cantos das paredes longitudinais e transversais de acordo com a Figura 7(b). Para interfaces lisas e rugosas, o cálculo dessa armadura foi feito considerando que a parede do colarinho apresenta comportamento de consolo, sendo necessário verificar se o consolo seria calculado como longo, curto ou muito curto, uma vez que tal consideração influencia na escolha do modelo de cálculo.

De acordo com [1] é necessário, em caso de consolo longo ou muito curto, calcular o mesmo como sendo curto (modelo de bielas e tirantes) para verificar se tal análise conduz a uma taxa de armadura superior. No presente estudo verificou-se que o colarinho calculado como consolo curto conduziu a uma $A_{s,vp}$ superior em todos os casos. Na Figura 9(b) é apresentada a formação da biela e do tirante para a parede longitudinal do cálice.

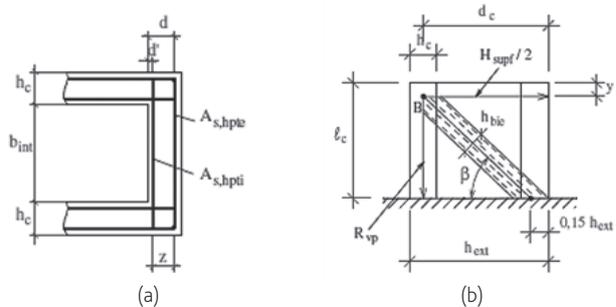


Figura 9 Representação: (a) armaduras transversais; (b) biela e tirante na parede longitudinal [1]

O ângulo β pode ser calculado conforme a Equação (19), a força no tirante é calculada pela Equação (20) e a área de aço conforme a Equação (21).

$$\beta = \arctg \frac{\ell_c - y}{0,85 \cdot h_{ext} - \frac{h}{2}} \quad (19)$$

$$R_{vp} = \frac{H_{supf}}{2} \cdot \text{tg}\beta \quad (20)$$

$$A_{s,vp} = \frac{R_{vp}}{f_{yd}} \quad (21)$$

sendo β o ângulo de inclinação da biela comprimida (graus), ℓ_c a dimensão vertical externa da parede do cálice (cm), y é o ponto de aplicação da resultante H_{supf} em relação à borda superior (cm), h_{ext} a medida entre as faces externas das paredes do colarinho na direção do momento fletor (cm), h a dimensão do pilar na direção do momento fletor (cm), R_{vp} a força atuante no tirante (kN) e $A_{s,vp}$ a

área de aço calculada do tirante (cm^2).

Para as interfaces com chave de cisalhamento, utilizou-se a teoria de flexão para se calcular $A_{s,vp}$, pois, conforme [10], o modelo com tal interface apresenta comportamento semelhante ao de uma ligação monolítica, sendo transferidas, totalmente, as solicitações do pilar para o cálice. A Figura 10 representa a conformação das solicitações na seção transversal do cálice.

Fazendo-se o equilíbrio da seção transversal, obtém-se a Equação (22).

$$R_{cd} = R_{sd} + N_d \quad (22)$$

sendo R_{cd} a força resultante das tensões de compressão no concreto (kN), calculado pela Equação (23), R_{sd} a resultante das tensões de tração nas barras de aço (kN), calculado pela Equação (24), e N_d a solicitação normal (kN).

$$R_{cd} = A_c \cdot \sigma_{cd} = 0,8 \cdot x \cdot h_{ext} \cdot \sigma_{cd} \quad (23)$$

$$R_{sd} = A_{s,tot} \cdot f_{yd} \quad (24)$$

nas quais σ_{cd} é a tensão de compressão no concreto, A_c a área submetida à tensão de compressão no concreto (cm^2), x a posição da linha neutra (cm) e $A_{s,tot}$ a área total de aço necessária para equilibrar a seção (já inclusa armadura de costura).

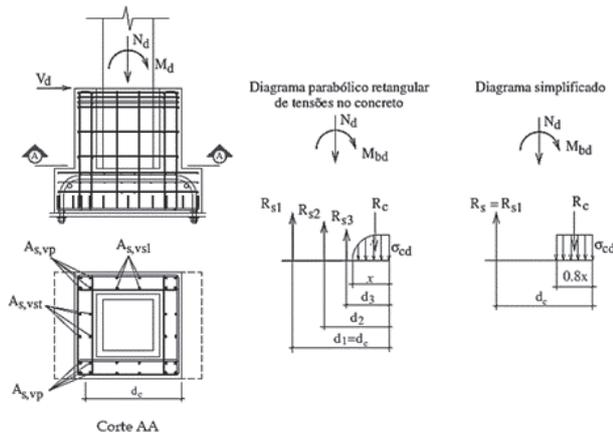


Figura 10 Solicitações na seção do cálice com chave de cisalhamento [1]

Conforme a Figura 10, fazendo-se momento com relação à resultante das armaduras, obtém-se a Equação (25) para obtenção da linha neutra.

$$M_{bd} + N_d \cdot (0,5 \cdot d_c) - A_c \cdot \sigma_{cd} \cdot (d_c - 0,4x) = 0 \quad (25)$$

em que M_{bd} é a somatória do momento atuante M_d mais o momento oriundo da força cortante atuante V_d .

Logo, substituindo-se as Equações (23) e (24) na Equação (22) e aplicando-se a linha neutra obtém-se $A_{s,tot}$. Pode-se então obter a $A_{s,vp}$ conforme a Equação (26).

$$A_{s,vp} = \frac{A_{s,tot}}{2 + 0,4} \quad (26)$$

Na Equação (26), o número 2 no denominador se refere ao fato de a armadura vertical estar presente nas duas paredes longitudinais e o fator 0,4 se refere à armadura de costura.

Por fim, além das armaduras principais, deve-se colocar no cálice armaduras secundárias horizontais ($A_{s,hs}$) e verticais ($A_{s,vs}$). Segundo [1], as armaduras secundárias têm a função de resistir às solicitações secundárias e controlar a formação de fissuras nas paredes do colarinho. Conforme apresentado na Figura 7(c), a $A_{s,vs}$ também chamada de armadura de costura, possui a mesma forma da armadura principal, e é distribuída nas paredes do colarinho.

Uma vez que a armadura vertical principal é calculada considerando a parede longitudinal como sendo um consolo, a armadura de costura é calculada seguindo a metodologia de [4], para consolos. Deve-se considerar para $A_{s,vs}$ 40% de $A_{s,vp}$ em caso de consolos curtos e 50% de $A_{s,vp}$ em caso de consolos muito curtos. Em caso de consolos longos, a armadura de costura deve ser calculada como armadura de pele [1].

De acordo com [7], a armadura $A_{s,hs}$ representada na Figura 7(d), é calculada como sendo 25% da armadura vertical principal e deve ser distribuída nos 2/3 (dois terços) do comprimento de embutimento restantes.

Com relação à espessura do colarinho, [5] estabelece uma espessura mínima de 10 cm, enquanto [4] propõe uma espessura mínima de 15 cm. Conforme pode-se observar na Figura 11, para uma interface cálice-pilar lisa, variou-se a espessura do colarinho de modo a se observar o comportamento da tensão na biela comprimida das paredes longitudinais do cálice para as solicitações propostas. Segundo [7], a tensão na biela não pode ultrapassar o limite de $0,85 f_{cd}$ logo, para as solicitações propostas, uma espessura de 10 cm apresentou-se inviável, sendo adotado o proposto em [4] de 15 cm.

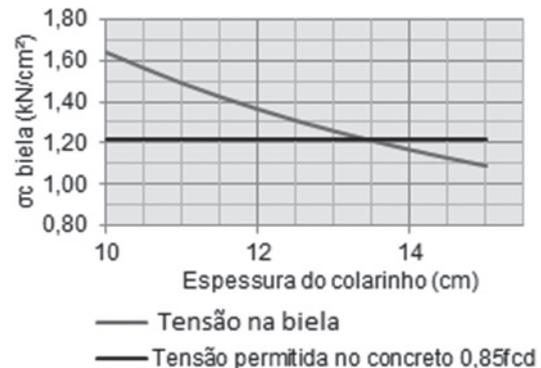


Figura 11 Tensão na biela comprimida em função da espessura do colarinho

4 Resultados e discussões

De modo a analisar-se as diferenças obtidas nas áreas de aço, foram traçados gráficos de barras, para as três interfaces, sendo comparadas as áreas de aço calculadas conforme [4] e [5].

Analisando-se o cálice com interface lisa, Figura 12, verificou-se que a atualização normativa conduziu à redução em todas as áreas de

ação: com relação à $A_{s,hpl}$ e $A_{s,hpt}$ observou-se uma redução de 53,16%, para $A_{s,vp}$ foi verificada uma redução de 41,6%, enquanto para $A_{s,vs}$ e $A_{s,hs}$ houve uma redução de 41,6% e 41,6% respectivamente.

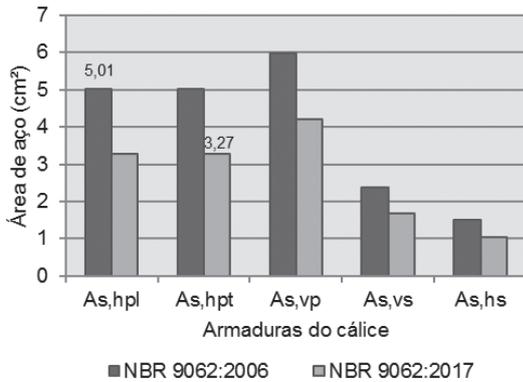


Figura 12 Interface lisa

Com relação aos cálices com interface rugosa sujeitos a ações de grande excentricidade, de acordo com a Figura 13, observou-se que a atualização normativa proporcionou uma redução de 35,6% na armadura horizontal principal, no entanto com relação às áreas de aço $A_{s,vp}$, $A_{s,vs}$ e $A_{s,hs}$ verificou-se uma redução em torno de 25,4%, 25,4% e 25,4% respectivamente.

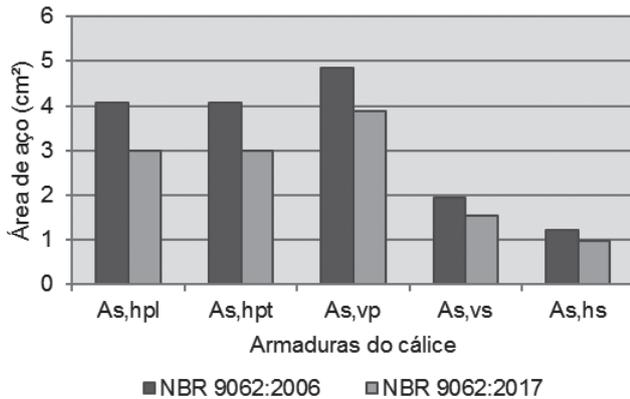


Figura 13 Interface rugosa

Para cálice de interface com chave de cisalhamento, conforme pode-se observar na Figura 14, a atualização normativa provocou nas áreas de aço $A_{s,hpl}$ e $A_{s,hpt}$ um aumento de aproximadamente 6% com relação à área de aço calculada segundo [5], no entanto, observou-se que $A_{s,vp}$, $A_{s,vs}$ e $A_{s,hs}$ não apresentaram variação uma vez que o dimensionamento dessas armaduras foi realizado com base na teoria de flexão, levando em conta apenas as solicitações atuantes (M_d , V_d e N_d), a geometria do elemento estrutural e as propriedades dos materiais (f_{ck} e f_{yk}).

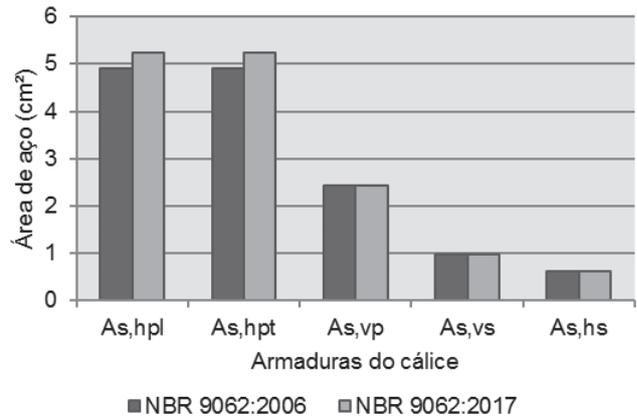


Figura 14 Interface com chave de cisalhamento

Por fim, fez-se um comparativo entre as áreas de aço obtidas para as três interfaces mediante o cálculo proposto em [4], de acordo com a Figura 15. Observou-se que a utilização de interface rugosa conduziu a taxas de armaduras inferiores às obtidas mediante interface lisa (respeitados os coeficientes de atrito, μ , propostos), observou-se, também, que embora se tenha obtido uma área de aço horizontal principal superior às interfaces lisa e rugosa, a interface com chave de cisalhamento conduziu a uma $A_{s,vp}$ cerca de 72% e 58,7% menor que as obtidas com interface lisa e rugosa respectivamente.

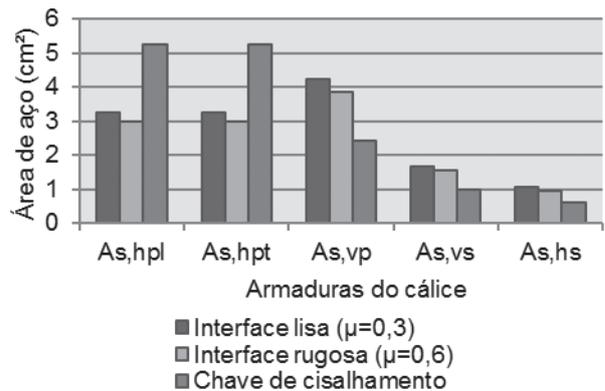


Figura 15 Comparação entre interfaces – grande excentricidade (ABNT NBR 9062:2017)

5 Conclusões

Com base nos resultados obtidos para o dimensionamento do colarinho de um cálice externo com grande excentricidade, verificou-se, em relação ao cálice com interface lisa, que a atualização da NBR 9062:2006 promoveu uma redução significativa nas áreas de aço, chegando a 53% na armadura horizontal e 41,6% na

vertical. Já para o cálice com interface rugosa, verificou-se uma redução na armadura horizontal na ordem de 35,6% e na armadura vertical em torno de 25,4%. Para o cálice com interface com chave de cisalhamento, observou-se que a atualização da norma proporcionou um aumento na armadura horizontal na ordem de 6%, no entanto não apresentou variação na armadura do tirante pelo fato de o cálculo de tal armadura ser feito com base na teoria de flexão. Por fim, comparou-se as taxas de armadura obtidas para as três interfaces conforme [4]. Verificou-se que todas as armaduras obtidas para interface rugosa ($\mu = 0,6$) foram inferiores às obtidas com interface lisa ($\mu = 0,3$), no entanto a interface com chave de cisalhamento apresentou armadura horizontal superior às interfaces lisa e rugosa, mas apresentou uma redução significativa nas armaduras do tirante e na armadura de costura.

Referências

- [1] Campos, G. M. – *Recomendações para o projeto de cálices de fundação*. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 183 f. 2010.
- [2] Canha, R. M. F. – *Theoretical-experimental study of column-foundation connection through socket of precast concrete structures*. PhD Thesis – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 279 p., 2004.
- [3] Delalibera, R. G.; Silva, W. A.; Giongo, J. S. – "Análise numérica de blocos sobre duas estacas com cálice embutido submetido à ação de força horizontal". *Ciência & Engenharia*, v. 23, n. 1, p. 83-91, 2014.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 9062:2017 – *Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. Rio de Janeiro, 2017.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 9062:2006 – *Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. Rio de Janeiro, 2006.
- [6] Pieralisi, R.; Machado, R. D. – "Influence of standard recommendations for the calculation of the column-base connection by socket according to ABNT NBR 9062: 2006". *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 10, n. 1, p. 244-259, 2017.
- [7] El Debs, M. K. – *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. São Carlos. 2 ed. REENGE, EESC, USP, 2017
- [8] Jaguaribe, K. B. J. – *Ligação pilar-fundação por meio de cálice em estruturas de concreto pré-moldado com profundidade de embutimento reduzida*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [9] ECF, Standardization – *Eurocode 2: Design of Concrete Structures-Part 1-1: General rules and rules for buildings*. EN 1992-1-1, 2004.
- [10] Canha, R. M. F.; Campos, G. M.; El Debs, M. K. – "Design model and recommendations of column-foundation connection through socket with rough interfaces". *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 5, n. 2, p. 182-218, 2012.
- [11] Canha, R. M. F.; Jaguaribe, K. B.; El Debs, A. L. H. C.; El Debs, M. K. – "Analysis of the behavior of transverse walls of socket base connections". *Engineering Structures*, v. 31, n. 3, p. 788-798, 2009.

