

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ATUALIZAÇÃO DA ABNT NBR 9062 NO DIMENSIONAMENTO DE CÁLCICES EXTERNOS DE FUNDAÇÕES SUBMETIDAS A AÇÕES DE PEQUENA EXCENTRICIDADE

Analysis of the influence of updating of ABNT 9062 in the design of external socket foundations with low excentricity loads

Gabriel Fernandes Sousa¹, Rodrigo Gustavo Delalibera²

Recebido em 27 de fevereiro de 2019; aceito em 16 de outubro de 2019; disponível on-line em 05 de agosto de 2020



PALAVRAS CHAVE:

Cálice de fundação;
Interface lisa;
Interface rugosa;
Chave de cisalhamento;
NBR 9062;

KEYWORDS:

Socket foundation;
Smooth interface;
Rough interfaces;
Shear key;
NBR 9062;

RESUMO: Ligações entre pilares e fundações por meio de cálice são as mais utilizadas no Brasil por possuir 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 os esforços provenientes do pilar pré-moldado sejam transferidos 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 pequena excentricidade, de modo a se analisar a diferença na força horizontal transferido 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.

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 low 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.

* Contato com os autores:

¹ e-mail: gfsousa@yahoo.com.br (G. F. Sousa)

Engenheiro Civil, mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PPGECV, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

² e-mail: delalibera@ufu.br (R. G. Delalibera)

Engenheiro Civil, Professor Associado I, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PPGECV, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

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 pré-fabricado de concreto e elemento de fundação, Campos (2010) 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 Canha (2004), a ligação entre pilar e fundação através de cálice consiste em se embutir uma parte do pilar no elemento de fundação, conforme pode-se observar na Figura 1. Em seu estudo referente à blocos sobre estacas Delalibera, Silva e Giongo (2014) abordam algumas variações com relação aos tipos de cálices, podendo os mesmos serem: externo, parcialmente embutido e totalmente embutido, conforme pode-se observar na Figura 2.

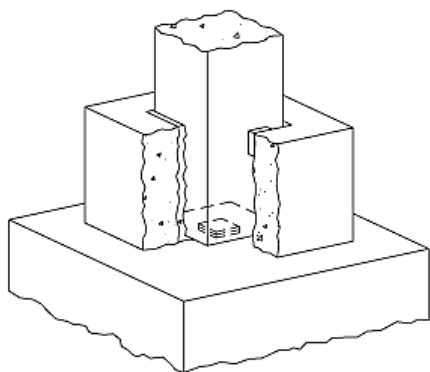


FIGURA 1: Pilar embutido na fundação.
FONTE: Campos (2010).

No Brasil, a norma que regulamenta o dimensionamento de cálices, bem como demais elementos pré-moldados de concreto, é a ABNT NBR 9062. Logo, de acordo com a NBR 9062 (ABNT, 2017), a ligação 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, tanto na superfície do cálice quanto na superfície do pilar, já 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.

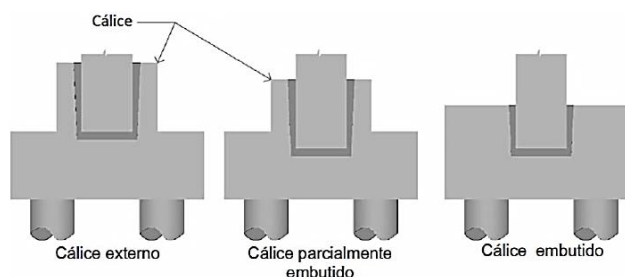


FIGURA 2: Variações dos blocos sobre estacas com cálice para pilares pré-moldados.

FONTE: Delalibera, Silva e Giongo (2014).

A ABNT NBR 9062, cuja última versão era de 2006, passou por atualização em 2017. Sendo assim, neste artigo foi feito um estudo comparativo entre o dimensionamento do colarinho de um cálice externo proposto pela NBR 9062 ABNT (2006) e pela atualização da referida norma, a NBR 9062 ABNT (2017).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar, de forma comparativa, os resultados obtidos entre o dimensionamento de um cálice externo submetido a ações de grande excentricidade, realizado pela NBR 9062 ABNT (2006) e por sua atualização, a NBR 9062 ABNT (2017). 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 transferido do pilar para o colarinho e consequentemente a taxa de armadura obtida.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

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 esforços do pilar para o colarinho. De acordo com El Debs (2017), o fato de se considerar a interface entre pilar e colarinho como sendo lisa ou rugosa, altera a forma como os esforços são transferidos para o colarinho. Segundo Jaguaribe (2005), as solicitações de momento e cortante são transferidas, diretamente, para as paredes transversais por meio da resultante das pressões superiores e inferiores.

A disposição dessas ações pode ser observada na Figura 3(a) e 3(b), sendo importante salientar que a Figura 3(a) se refere à transferência de esforços para o colarinho com interface lisa e rugosa, enquanto a Figura 3(b) está relacionada à transferência de esforços para o colarinho na presença de interface com chave de cisalhamento. Na análise da atualização da ABNT NBR 9062, percebeu-se alteração no cálculo da força resultante que atua no colarinho H_{supf} . De acordo

com a NBR 9062 ABNT (2006), para cálices com interface lisa, tal resultante poderia ser calculado 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].

$$H_{supf} = M_d / 0,67 \cdot \ell_{emb} + 1,25 \cdot V_d \quad \text{Eq. [1]}$$

$$H_{supf} = M_d / 0,85 \cdot \ell_{emb} + 1,20 \cdot V_d \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

H_{supf} = força transferida para o colarinho (kN);

M_d = momento fletor solicitante de cálculo (kN.cm);

V_d = força cortante solicitante de cálculo (kN.cm);

ℓ_{emb} = comprimento de embutimento do pilar (cm).

Tendo como referência Canha (2004), a resultante atuante no colarinho sofreu alteração e, de acordo com a NBR 9062 ABNT (2017), 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 a NBR 9062 ABNT (2017) e Eurocode 2 (2004), para interface lisa deve-se utilizar $\mu \leq 0,3$ e para interface rugosa $\mu \leq 0,6$.

$$H_{supf} = \frac{M_d - N_d \left[\mu \left(\frac{0,167 \cdot \ell_{emb} - 0,75 \cdot \mu \cdot h}{1 - \mu^2} \right) \right] + V_d \left[\ell_{emb} - \left(\frac{0,167 \cdot \ell_{emb} - 0,75 \cdot \mu \cdot h}{1 - \mu^2} \right) \right]}{0,8 \cdot \ell_{emb} + \mu \cdot h} \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

H_{supf} = força transferida para o colarinho (kN);

M_d = momento fletor solicitante de cálculo (kN.cm);

V_d = força cortante solicitante de cálculo (kN.cm);

ℓ_{emb} = comprimento de embutimento do pilar (cm);

h = dimensão do pilar na direção do momento fletor (cm);

μ = coeficiente de atrito;

Com relação à interface com chave de cisalhamento, a ABNT NBR 9062:2017 propõe a Equação [4] e a Equação [5], conforme pode-se observar na Figura 3(b), uma parcela da resultante é transferida para a parede frontal, enquanto outra é transferida para a parede posterior.

$$H_{supf} = \frac{[M_d + V_d \cdot \ell_{emb} + N_d(0,5 \cdot d_c)]}{2,60 \cdot d_c} \quad \text{Eq. [4]}$$

$$H_{supf} = \frac{[M_d + V_d \cdot \ell_{emb} + N_d(0,4 \cdot d_c)]}{0,63 \cdot d_c} \geq 0 \quad \text{Eq. [5]}$$

Em que:

d_c = distância entre o eixo central dos colarinhos (cm);

Deve-se levar em consideração, ainda, o ponto de aplicação (y) dessa resultante, que pode ser observado na Figura 3(a) e Figura 3(b). De acordo com a NBR 9062 ABNT (2006),

para paredes lisas y era calculado conforme a Equação [6], enquanto que para interfaces rugosas e por chave de cisalhamento era calculado conforme a Equação [7]. Tal parâmetro também sofreu alteração e, segundo a NBR 9062 ABNT (2017), deve ser calculado com base na Equação [8], para as interfaces lisa, rugosa e com chave de cisalhamento.

$$y = h - 0,150 \cdot \ell_{emb} \quad \text{Eq. [6]}$$

$$y = h - 0,167 \cdot \ell_{emb} \quad \text{Eq. [7]}$$

$$y = \frac{\ell_{emb}}{6} \quad \text{Eq. [8]}$$

Em que:

ℓ_{emb} = comprimento de embutimento do pilar (cm);

h = dimensão do pilar na direção do momento fletor (cm);

y = é o ponto de aplicação da resultante H_{supf} em relação à borda superior (cm);

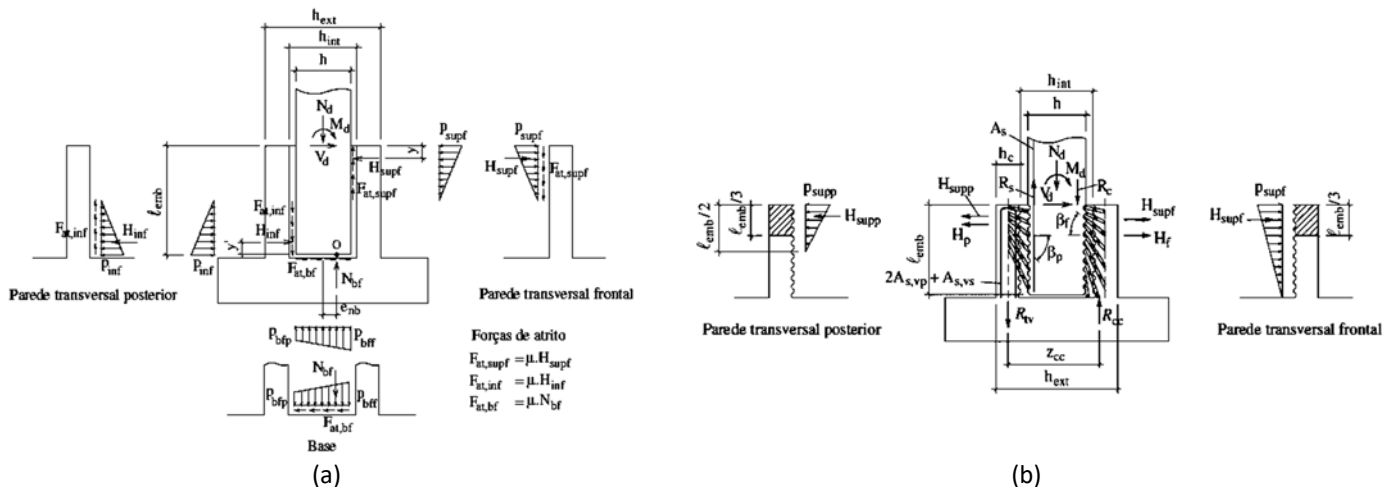


FIGURA 3: Transferência de esforços para o colarinho – (a) interface lisa ou rugosa; (b) interface com chave de cisalhamento.

FONTE: Adaptado de Campos (2010).

Com relação à armadura horizontal principal $A_{s,hpl}$, Campos (2010) afirma que sua principal função é transferir a força H_{supf} por meio das paredes longitudinais até a armadura vertical principal. De acordo com Canha, Campos e El Debs (2012) 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 $A_{s,hpl}$. Campos (2010) afirma, ainda, que a armadura horizontal principal deve estar disposta no primeiro terço do comprimento de embutimento, conforme pode-se observar na Figura 4(a).

Como pode-se observar na Figura 5(a), a

força H_{supf} se aplica na parede frontal e é então absorvida pelas paredes longitudinal devido à sua grande rigidez na direção da força. A armadura horizontal principal, referente às paredes longitudinais, pode ser calculada mediante a Equação [9].

$$A_{s,hpl} = \frac{H_{supf}}{2 \cdot f_{yd}} \quad \text{Eq. [9]}$$

Em que:

$A_{s,hpl}$ = área de aço da armadura horizontal longitudinal principal do colarinho (cm^2);

f_{yd} = tensão de escoamento de cálculo do aço (kN/cm^2);

H_{supf} = força transferida para o colarinho (kN);

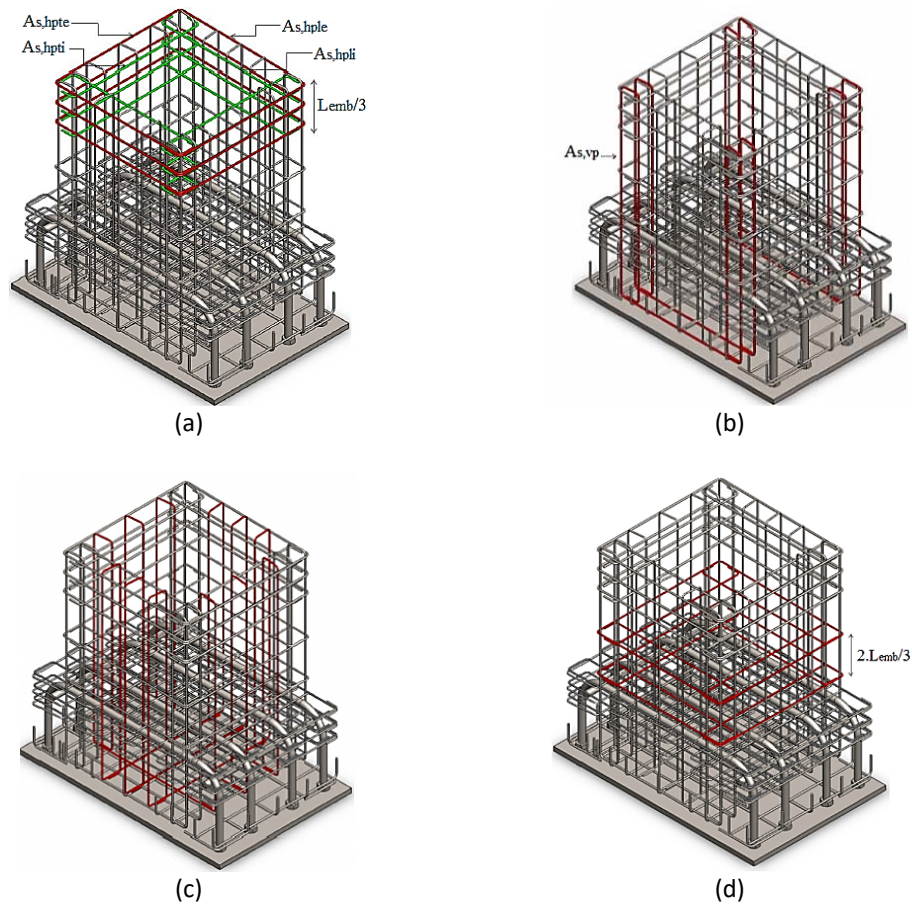


FIGURA 4: Disposição das armaduras com destaque para a especificidade: (a) $A_{s,hp}$; (b) $A_{s,vp}$; (c) $A_{s,vs}$ (costura); (d) $A_{s,hs}$ (distribuição)

FONTE: Adaptado de Campos (2010)

No dimensionamento da $A_{s,hpt}$, admite-se que a parede frontal estará sujeita às solicitações de tração e flexão conforme Figura 5(b), sendo por vezes a tração preponderante com relação à flexão. De acordo com Canha et al. (2009), 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} . Canha et al. (2009) afirmam, ainda, que pode-se considerar 85% de H_{supf} tende a causar tração na parede frontal, enquanto os 15% restantes produzem solicitação de flexão, no entanto recomenda que seja verificada a situação em que 100% de H_{supf} gere solicitação de tração na parede frontal.

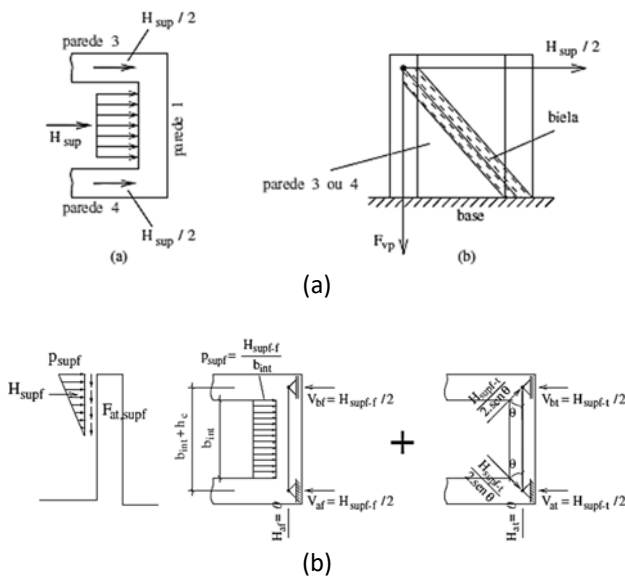


FIGURA 5: Transferência de esforço para as paredes do cálice – (a) longitudinais; (b) transversais.

FONTE: Canha et al. (2009).

O momento fletor e a força normal de tração, na parede do cálice, podem ser calculados mediante as Equações [10] e [11] respectivamente.

$$M_{supf-f} = H_{supf-f} \left(\frac{b_{int} + h_c}{4} - \frac{b_{int}}{8} \right) \quad \text{Eq. [10]}$$

$$N_{supf-t} = \frac{H_{supf-t}}{2} \cdot \cos \theta \quad \text{Eq. [11]}$$

Em que:

M_{supf-f} = momento fletor na parede frontal do cálice devido à força H_{supf} (kN.cm);

b_{int} = dimensão do colarinho contígua ao pilar – ver Figura xxx – (cm);

N_{supf-t} = força normal de tração na parede frontal do cálice devido à força H_{supf} (kN);

θ = ângulo que a componente da parcela de H_{supf-f} faz com a quina do cálice ($\theta = 45^\circ$)

H_{supf-f} = força transferida para o colarinho (kN);

H_{supf-t} = força transferida para o colarinho (kN);

Na Figura 6(a), e conforme apresentado na Figura 4, 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 os esforços de momento e tração em forças paralelas à parede frontal com as Equações [12] e [13], sendo z o braço de alavanca que forma o binário do momento fletor, calculado pela Equação [14]. Os sinais positivo e negativo, para a parcela de momento fletor, nas Equações [12] e [13] se refere 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).

$$R_{s,hpte} = \frac{N_{supf-t}}{2} + \frac{N_{supf-f}}{z} \quad \text{Eq. [12]}$$

$$R_{s,hpti} = \frac{N_{supf-t}}{2} - \frac{N_{supf-f}}{z} \quad \text{Eq. [13]}$$

$$z = d - d' \quad \text{Eq. [14]}$$

Em que:

$R_{s,hpte}$ = força referente à borda externa da parede frontal (kN);

$R_{s,hpti}$ = força referente à borda interna da parede frontal (kN);

N_{supf-t} = força normal de tração na parede frontal do cálice devido à força H_{supf} (kN);

z = braço de alavanca que forma o binário – ver Figura 6 – (cm);

d = comprimento útil da parede frontal (cm);

d' = distância da face interna da parede frontal à posição do centroide da primeira armadura horizontal da parede frontal – ver Figura 6 (cm);

d' = distância da face interna da parede frontal à posição do centroide da primeira armadura horizontal da parede frontal – ver Figura 6 (cm);

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

$$A_{s,hpte} = \frac{R_{s,hpte}}{f_{yd}} \quad \text{Eq. [15]}$$

$$A_{s,hpti} = \frac{R_{s,hpti}}{f_{yd}} \quad \text{Eq. [16]}$$

Fazendo-se menção à armadura vertical principal $A_{s,vp}$, Canha, Campos e El Debs (2012) salientam que a mesma deve ser distribuídas nos cantos das paredes longitudinais e transversais de acordo com a Figura 4(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 Campos (2010) 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 6(b) é apresentada a formação da biela e do tirante para a parede longitudinal do cálice.

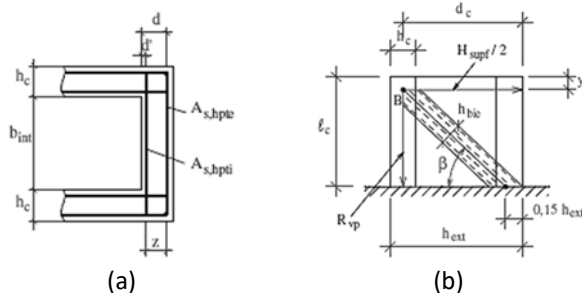


FIGURA 6: Representação – (a) armaduras transversais; (b) biela e tirante na parede longitudinal.

FONTE: Campo (2010).

O ângulo β pode ser calculado conforme

a Equação [17], a força no tirante é calculada pela Equação [18] e a área de aço conforme a Equação [19].

$$\beta = \frac{\ell_c - y}{0,85 \cdot h_{ext} - \frac{h}{2}} \quad \text{Eq. [17]}$$

$$R_{vp} = \frac{H_{supf}}{2} \cdot \text{tg}\beta \quad \text{Eq. [18]}$$

$$A_{s,vp} = \frac{R_{vp}}{f_{yd}} \quad \text{Eq. [19]}$$

Em que:

β = ângulo de inclinação da biela comprimida (graus);

ℓ_c = 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} = medida entre as faces externas das paredes do colarinho na direção do momento fletor (cm);

h = dimensão do pilar na direção do momento fletor (cm);

H_{supf} = força transferida para o colarinho (kN);

R_{vp} = força atuante no tirante (kN);

$A_{s,vp}$ = área de aço calculada do tirante (cm²);

f_{yd} = tensão de escoamento do aço (kN/cm²);

Para as interfaces com chave de cisalhamento, utilizou-se a teoria de flexão para se calcular $A_{s,vp}$, pois conforme Canha, Campos e El Debs (2012), o modelo com tal interface apresenta comportamento semelhante ao de uma ligação monolítica, sendo transferidos, totalmente, os esforços do pilar para o cálice. A Figura 7 representa a conformação dos esforços na seção transversal do cálice. Fazendo-se o equilíbrio da seção transversal, obtém-se a Equação (22). Fazendo-se o equilíbrio da seção transversal, obtém-se a Equação (22).

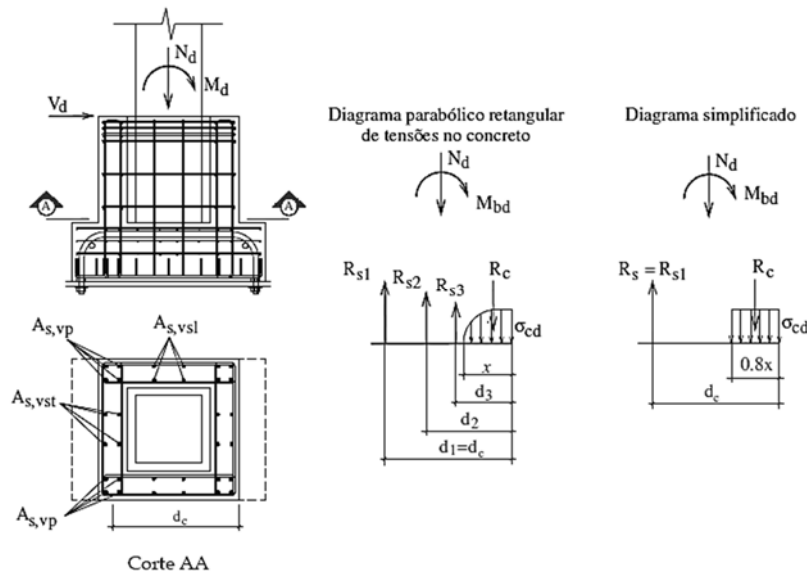


FIGURA 7: Esforços na seção do cálice com chave de cisalhamento.

FONTE: Campos (2010)

Fazendo-se o equilíbrio da seção transversal, obtém-se a Equação [20].

$$R_{cd} = R_{sd} + N_d \quad \text{Eq. [20]}$$

Em que:

R_{cd} = resultante das forças atuantes no centroide da seção comprimida de concreto (kN);

R_{sd} = resultante das forças de tração atuantes nas barras de aço (kN);

N_d = força normal de cálculo atuante no pilar (kN);

$$R_{cd} = A_c \cdot \sigma_{cd} = 0,8 \cdot x \cdot h_{ext} \cdot \sigma_{cd} \quad \text{Eq. [21]}$$

$$R_{sd} = A_{s,tot} \cdot f_{yd} \quad \text{Eq. [22]}$$

Em que:

σ_{cd} = tensão de compressão no concreto (kN/cm²);

A_c = área de concreto submetida às tensões de compressão (cm²);

x = posição da linha neutra (cm);

$A_{s,tot}$ = área total de aço necessária para equilibrar a seção (cm²);

Conforme a Figura 7, fazendo-se momento com relação à resultante das armaduras,

obtem-se a Equação [23] para obtenção da linha neutra.

$$M_{bd} + N_d(0,5 \cdot d_c) - A_c \cdot \sigma_{cd}(d_c - 0,4 \cdot x) = 0 \quad \text{Eq. [23]}$$

Em que:

M_{bd} = somatória do momento fletor atuante M_d mais o momento oriundo da força cortante atuante V_d (kN.cm);

d_c = distância útil do cálice – ver Figura 7 – (cm)

x = posição da linha neutra da seção (cm)

Logo, substituindo-se as Equações [22] e [23] na Equação [20] e aplicando-se a linha neutra obtém-se $A_{s,tot}$. Pode-se então obter a $A_{s,vp}$, conforme a Equação [24].

$$A_{s,vp} = \frac{A_{s,tot}}{2 + 0,40} \quad \text{Eq. [24]}$$

Na Equação [24], o número 2 no denominador se refere ao fato de a armadura vertical estar presente nas duas paredes longitudinais e o fator 0,40 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 Campos (2010), as armaduras secundárias tem a

função de resistir os esforços secundários e controlar a formação de fissuras nas paredes do colarinho. Conforme apresentado na Figura 4(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 da ABNT NBR 9062:2017, 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. Campo (2010) salienta, ainda que em caso de consolos longos, a armadura de costura deve ser calculada como armadura de pele.

De acordo com El Debs (2017) $A_{s,hs}$, representada na Figura 4(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, a NBR 9062 ABNT (2006) estabelece uma espessura mínima de 10 cm, enquanto a NBR 9062 ABNT (2017), propõe uma espessura mínima de 15 cm. Segundo El Debs (2017) a tensão na biela não pode ultrapassar o limite de $0,85f_{cd}$.

4. MÉTODO

O método empregado consistiu em um cálculo analítico de um cálice externo submetido a ações de baixa excentricidade tendo como referência as recomendações da NBR 9062:2006 e NBR 9062:2017, sendo assim, de modo a se apresentar as características geométricas do cálice de fundação estudado, deve-se observar as Figura 8(a) e Figura 8(b). Na Figura 8(a) é apresentada a vista em planta do cálice, observa-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 definirão quais serão essas paredes. Na Figura 8(b) é apresentado um corte que representa as dimensões variáveis do cálice de fundação.

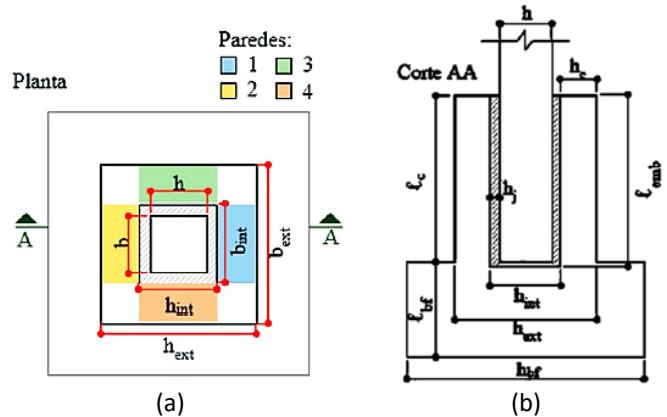


FIGURA 8: Propriedades geométricas gerais do cálice – (a) planta; (b) corte

FONTE: Adaptado de Perialisi e Machado (2017)

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

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
l_{emb}	-
l_c	$l_{emb} - 1$
h_j	5

FONTE: Autores (2018)

Foi observado que a ABNT NBR 9062:2006 não faz distinção entre interface rugosa e interface por chave de cisalhamento conforme apresenta a ABNT NBR 9062:2017, 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 tanto para a ABNT NBR 9062:2006 quanto para a ABNT NBR 9062:2017. Por se tratar de uma análise de um modelo com ações de pequena excentricidade, o momento fletor, a força cortante e a força normal utilizadas no cálculo foram $M_d = 1125$ kN.cm, $V_d = 10$ kN e $N_d = 250$ kN respectivamente.

TABELA 2: Comprimentos mínimos de embutimento do pilar.		
Interfaces	$\frac{M_d}{N_d h} \leq 0,15$	$\frac{M_d}{N_d h} \geq 2,00$
Lisas ou rugosas	1,5h	2,0h
Com chave de cisalhamento	1,2h	1,6h

FONTE: Adaptado da NBR 9062, ABNT(2017)

Com relação aos coeficientes de atrito, no presente trabalho utilizou-se $\mu = 0$ para cálices com interface lisa e $\mu = 0,3$ para cálices com interface rugosa, conforme recomenda a NBR 9062 ABNT (2017) para ações de baixa excentricidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. COMPRIMENTO DE EMBUTIMENTO (ℓ_{emb})

Inicialmente pode-se realizar a comparação entre os comprimentos de embutimento para as três interfaces com base na norma de 2006 e a de 2017. Como pode-se observar na Figura 9, para ações de pequena excentricidade, não houveram alterações na consideração do ℓ_{emb} devido a atualização normativa, no entanto 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.

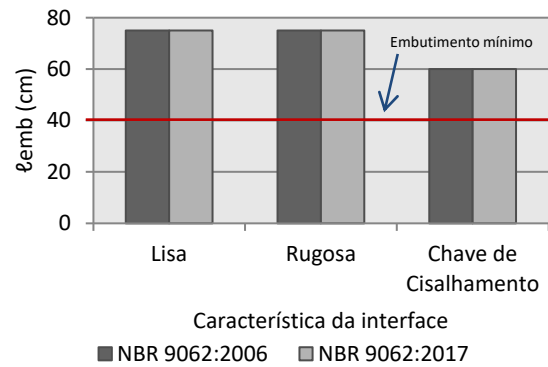


FIGURA 9: Comprimentos de embutimento
FONTE: Autores (2018)

5.2. FORÇA TRANSFERIDA PARA O CÁLICE (H_{supf})

Na Figura 10 pode-se observar os valores de H_{supf} transferidos para o cálice, submetido a ações de pequena excentricidade, considerando-se os três tipos de interface pilar-cálice conforme NBR 9062 ABNT (2006) e NBR 9062 ABNT (2017). 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 19,6% e 25,2% respectivamente. Para a interface com chave de cisalhamento o valor da força repassada para o colarinho, proposto pela norma atualizada, foi 67,7% maior que o obtido para a NBR 9062 ABNT (2006). Isso pode se justificar pelo fato de o cálculo proposto pela NBR 9062 ABNT (2017) levar em consideração a parcela referente à força normal (N_d) no mecanismo de transferência de força.

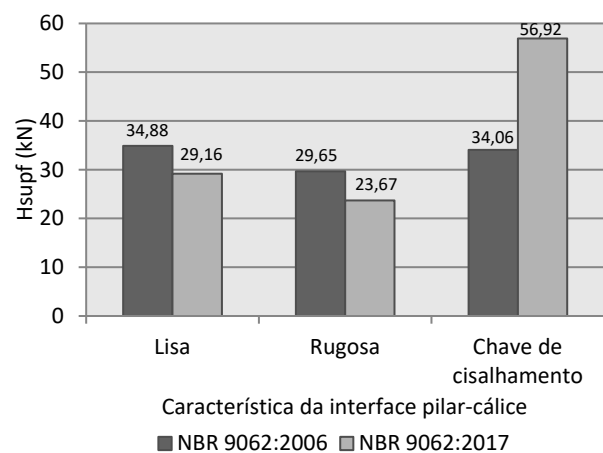


FIGURA 10: Força horizontal H_{supf} transferida para o cálice.
FONTE: Autores (2018).

5.3. VARIAÇÕES NAS ÁREAS DE AÇO

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 a NBR 9062 ABNT (2006) e NBR 9062 ABNT (2017).

Acerca dos cálices com interface lisa, observa-se na Figura 11 que a atualização da NBR 9062, promoveu uma redução das armaduras horizontais $A_{s,hpl}$ e $A_{s,hpt}$ de aproximadamente 21%. Verificou-se que $A_{s,vp}$ (armadura do tirante) apresentou um valor inferior ao mínimo em ambas as normas, sendo necessário considerar uma área de aço mínima que, segundo a NBR 6118 ABNT (2014), seria de 0,15% da área de concreto. Logo, obteve-se para $A_{s,vp}$ um valor de 2,02 cm² e de forma consequente para $A_{s,vs}$ e $A_{s,hs}$ um valor de 0,505 cm² e 0,808 cm² respectivamente.

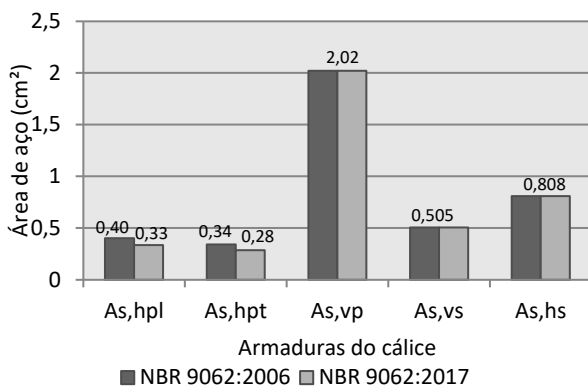


FIGURA 11: Áreas de aço para interface lisa ($\mu = 0$)
FONTE: Autores (2018)

Já o cálice com interface rugosa sujeito a ações de pequena excentricidade, observa-se na Figura 12 que a atualização da NBR 9062, promoveu uma redução das armaduras horizontais $A_{s,hpl}$ e $A_{s,hpt}$ em torno de 25,9% e 26%, respectivamente. De forma semelhante ao que ocorreu com o cálice de interface lisa, $A_{s,vp}$ apresentou um valor inferior ao mínimo em ambas as normas sendo necessário adotar armadura mínima. Sendo assim, obteve-se para $A_{s,vp}$ um valor de 2,02 cm² e de forma consequente para $A_{s,vs}$ e $A_{s,hs}$ um valor de 0,505 cm² e 0,808 cm² respectivamente.

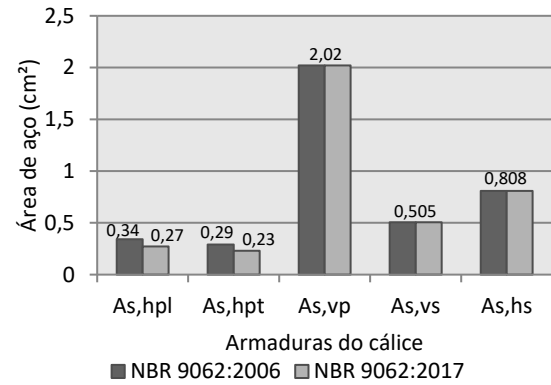


FIGURA 12: Áreas de aço para interface rugosa ($\mu = 0,3$)
FONTE: Autores (2018)

Com relação ao cálice sujeito a ação de pequena excentricidade, a atualização normativa provocou nas áreas de aço $A_{s,hpl}$ e $A_{s,hpt}$ um aumento de aproximadamente 66% e 69% respectivamente, com relação à área de aço calculada segundo a NBR 9062 ABNT (2006). Essa área de aço superior é justificada pelo fato de o mecanismo de transferência de carregamento para o colarinho proposto pela NBR 9062 ABNT (2017) ser mais conservador que o proposto pela NBR 9062 ABNT (2006). Assim como ocorreu para as interfaces lisa e rugosa, para $A_{s,vp}$ (tirante), foi necessário utilizar armadura mínima, conforme pode-se observar na Figura 13.

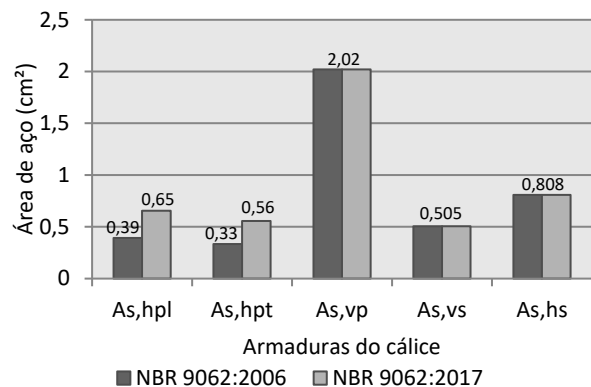


FIGURA 13: Áreas de aço para interface com chave de cisalhamento
FONTE: Autores (2018)

Por fim, realizou-se uma comparação entre as áreas de aço para as três interfaces, com o intuito de se analisar qual seria mais viável,

visando um menor consumo de aço. Conforme pode-se observar na Figura 14, nos cálices submetidos a ações de pequena excentricidade, nas três interfaces, verificou-se que a atualização normativa não provocou uma variação nas armaduras $A_{s,vp}$, $A_{s,vs}$ e $A_{s,hs}$, uma vez que estão relacionadas à armadura mínima. No entanto observou-se que, para pequenas excentricidades, verificou-se que a consideração de interface com chave de cisalhamento conduziu a áreas de aço superiores às interfaces lisa e rugosa no que se refere a $A_{s,hpl}$ e $A_{s,hpt}$. Comparando-se a interface lisa e rugosa, verificou-se que o fato de se considerar um coeficiente de atrito $\mu = 0,3$ para a interface rugosa em detrimento de um coeficiente de atrito $\mu = 0$ para interface lisa, proporcionou um efeito favorável, reduzindo a força H_{supf} transferida para a parede do cálice e conseqüentemente uma área de aço menor para $A_{s,hpl}$ e $A_{s,hpt}$.

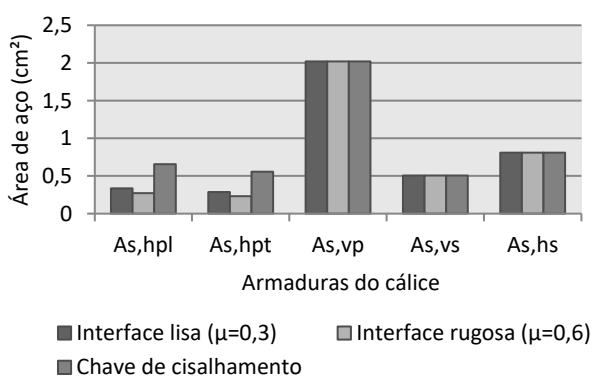


FIGURA 14: Comparação entre as áreas de aço para as interfaces

FONTE: Autores (2018)

6. CONCLUSÕES

Com relação à força transferida para o cálice, verificou-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 19,6% e 25,2% respectivamente. Para a interface com chave de cisalhamento o valor da força repassada para o colarinho, proposto pela norma atualizada, foi

67,7% maior que o obtido para a NBR 9062 ABNT (2006). Verificou-se que para as 3 interfaces, a armadura calculada para o tirante mostrou-se inferior ao mínimo estabelecido pela NBR 6118 ABNT (2014), sendo então adotado o valor mínimo. Com relação ao cálice com interface lisa, verificou-se que a atualização normativa proporcionou uma redução de aproximadamente 21% nas armaduras horizontais, enquanto que para os cálices com interface rugosa verificou-se que a NBR 9062 ABNT (2017) conduz a um aumento de aproximadamente 26% na armadura horizontal. Em relação ao cálice com chave de cisalhamento, a atualização da referida norma promoveu um aumento nas armaduras horizontais na ordem de aproximadamente 66%.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9062:2006 – **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9062:2017 – **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.

CAMPOS, G. M.; CANHA, R. M. F.; EL DEBS, M. K. **Design of precast columns bases embedded in socket foundations with smooth interfaces**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 4, n. 2, p. 304-323, 2011.

CANHA, R. M. F. **Theoretical-experimental study of column-foundation connection through socket of precast concrete structures**, São Carlos, 2004, PhD Thesis – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, 279 p.

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.

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.

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.

aplicações. São Carlos. 2 ed. REENGE, EESC, USP, 2017.

ECF, Standardization. Eurocode 2: **Design of Concrete Structures-Part 1-1: General rules and rules for buildings**. EN 1992-1-1, 2004.

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.

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.