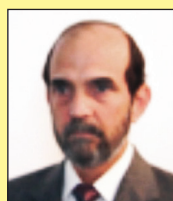


## Anchor Bolts under Tension Loads – Influence of Casting Position and Edge Distance

## Pinos de Ancoragens Sob Cargas de Tração – Influência da Posição e Proximidade da Borda



M. T. R. MEIRA <sup>a</sup>  
magnus\_meira@civ.puc-rio.br

R. B. GOMES <sup>b</sup>  
rgomes@eec.ufg.br

G. B. GUIMARÃES <sup>c</sup>  
giuseppe@civ.puc-rio.br

### Abstract

A series of 51 square headed anchor bars was tested in axial tension, in which the main variables were bonded length along the bar, distance of the embedment to an edge, effective depth, casting position (top, middle and bottom) and orientation (horizontal and vertical) of the embedment in the concrete block. Test results showed that the anchor strength decreases linearly with the decrease of the distance of the embedment to an edge, and that the anchor strength can increase 2.6 times when the effective depth increases from 50 to 100 mm for top and bottom bars. The increase in the anchor strength due to bond ranged from 3% to 50%. It was observed that the ultimate strength of anchor located at the bottom can be 32% higher than that of anchor located at the top, and that orientation of the anchor did not affect the failure load.

**Keywords:** Anchor bolt, free edge influence, bond, casting position, embedment orientation.

### Resumo

Neste trabalho foram testados 51 pinos de ancoragem curtos com cabeça quadrada, sujeitos a forças de tração, tendo como principais variáveis a distância do pino à borda, a altura efetiva, a existência de aderência ao longo da haste, a posição (superior, intermediário e inferior) e a orientação (horizontal e vertical) do pino no bloco de concreto. É demonstrado que a resistência da ancoragem diminui linearmente com a diminuição da distância até a borda e que com o aumento da altura efetiva, de 50 mm para 100 mm, a carga de ruptura pode aumentar 2,6 vezes nas ancoragens localizadas nas posições inferior e superior do bloco. O aumento na carga última decorrente da aderência ao longo da haste do pino varia de 3% a 50 %. É observado que a resistência das ancoragens inferiores chega a ser 32% maior do que as superiores e que não há variação na carga de ruptura com a mudança na orientação.

**Palavras-chave:** Pino de ancoragem, influência de borda, aderência, posição, orientação.

<sup>a</sup> Ph.D student, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, magnus\_meira@civ.puc-rio.br, Rua Diunísio Filgueira, 780, Apto. 401 – Petrópolis – CEP 59014-020, Natal, Brasil;

<sup>b</sup> Full Professor, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, rgomes@eec.ufg.br, Praça Universitária, s/nº – Setor Universitário – CEP 74605-220, Goiânia, Brasil;

<sup>c</sup> Associate Professor, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, giuseppe@civ.puc-rio.br, Rua Marquês de São Vicente, 225 – Gávea – CEP 22453-900, Rio de Janeiro, Brasil.

## 1 Introdução

Pinos de ancoragem são empregados em grande número em estruturas de usinas hidroelétricas e nucleares, onde equipamentos e tubulações são apoiados na estrutura de concreto. A sua função principal é fixar esses elementos, introduzindo cargas concentradas nas estruturas.

O pino estudado é constituído de uma barra de aço nervurada e uma placa quadrada (cabeça de ancoragem) na extremidade da barra. Esse tipo de ancoragem foi desenvolvido inicialmente para uso em nós de pórticos de plataformas *offshore* [1].

O objetivo desse trabalho é estudar o comportamento de um pino curto com ruptura pelo arrancamento de um cone de concreto, por meio de ensaios de 51 pinos sujeitos a tração axial. As principais variáveis são a existência de aderência ao longo da haste, a distância do pino até uma borda, a altura efetiva ( $h_{ef}$ ), a posição (superior, intermediária e inferior) e a orientação (horizontal e vertical) do pino no bloco.

### 1.1 Fatores que podem influenciar a capacidade resistente de um pino de ancoragem

As variáveis que afetam a capacidade última de uma ancoragem rasa com ruptura pelo arrancamento do cone de concreto são: resistência à compressão do concreto, comprimento aderente ao longo da barra (somente para barras nervuradas), distância à borda, altura efetiva, dimensão da cabeça de ancoragem, posição e orientação da ancoragem.

O tipo de ruptura pelo arrancamento do cone de concreto indica claramente que a capacidade última depende da resistência à tração do concreto. A aderência ao longo do

comprimento imerso reduz o deslocamento da ancoragem e aumenta ligeiramente a resistência da ancoragem [2].

O comportamento de ancoragens localizadas próximo a uma borda é similar ao de ancoragens em zonas fissuradas. De acordo com Eligehausen *et al.* [3], as fissuras influenciam a capacidade de carga da ancoragem por criar uma zona de distúrbio no estado de tensões, que diminui a área da superfície disponível para transmitir os esforços de tração e impede a transferência de carga na forma axi-simétrica (Figura 1).

A carga de ruptura aumenta com o aumento da altura efetiva  $h_{ef}$ . Supondo que não haja efeito de escala, a carga de ruptura aumenta na proporção de  $h_{ef}^2$ . Estudos baseados na mecânica da fratura (Eligehausen e Ozbolt [4]) têm mostrado que a carga de ruptura é afetada por um fator igual a  $h_{ef}^{-0.5}$ . A carga de ruptura resulta então proporcional a  $h_{ef}^{1.5}$ . De acordo com Ozbolt *et al.* [5], com o aumento da cabeça de ancoragem a ductilidade da ancoragem diminui, mas a sua capacidade última aumenta.

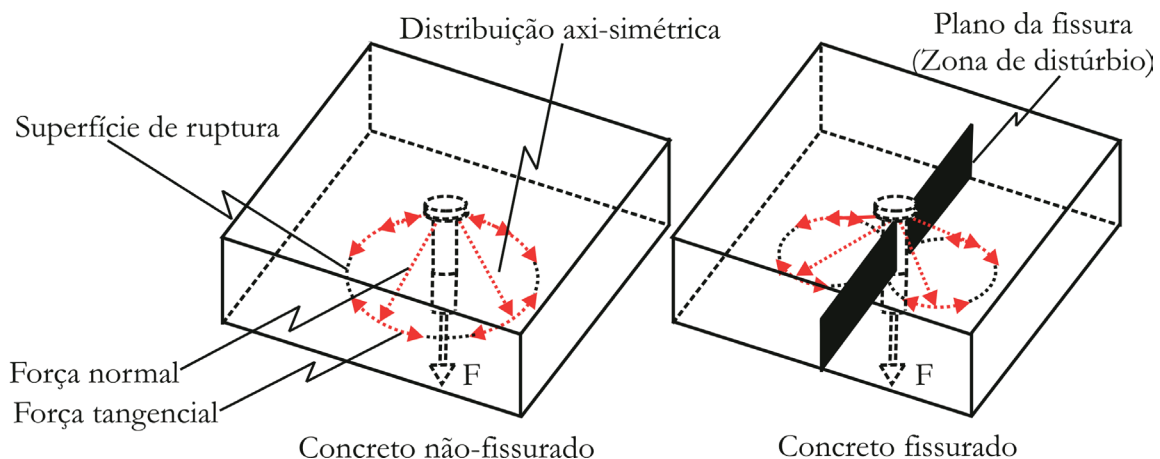
O termo posição de concretagem é referente à localização de uma barra dentro do concreto fresco e a orientação se refere à direção da barra em relação à direção em que o concreto é lançado. Luke *et al.* [6] observaram que a resistência de aderência de barras nervuradas localizadas próximo a uma borda diminui com o aumento da altura do concreto colocado abaixo da barra e que barras verticais (paralelas à direção de lançamento do concreto) apresentaram menor capacidade aderente do que as barras horizontais a uma mesma altura.

## 2 Programa experimental e materiais

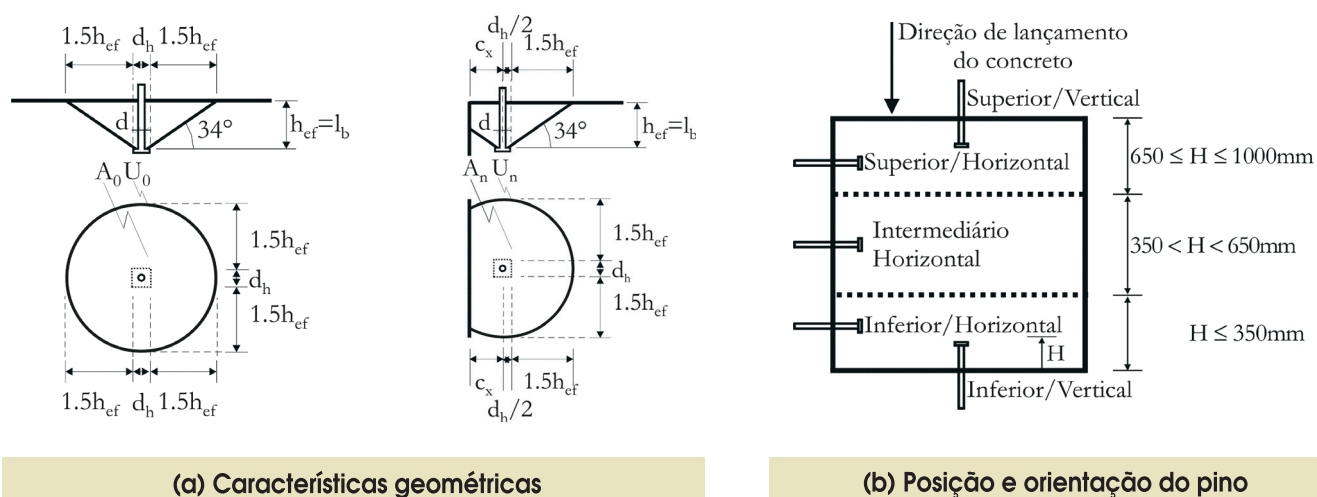
### 2.1 Programa experimental

A resistência  $f_c$  à compressão do concreto, o diâmetro  $d$  da haste do pino e a dimensão  $d_h$  da cabeça foram manti-

Figura 1 – Exemplo da transferência de carga (Eligehausen et al. (3))



**Figura 2 – (a) Características geométricas dos pinos; (b) Posição e orientação do pino**



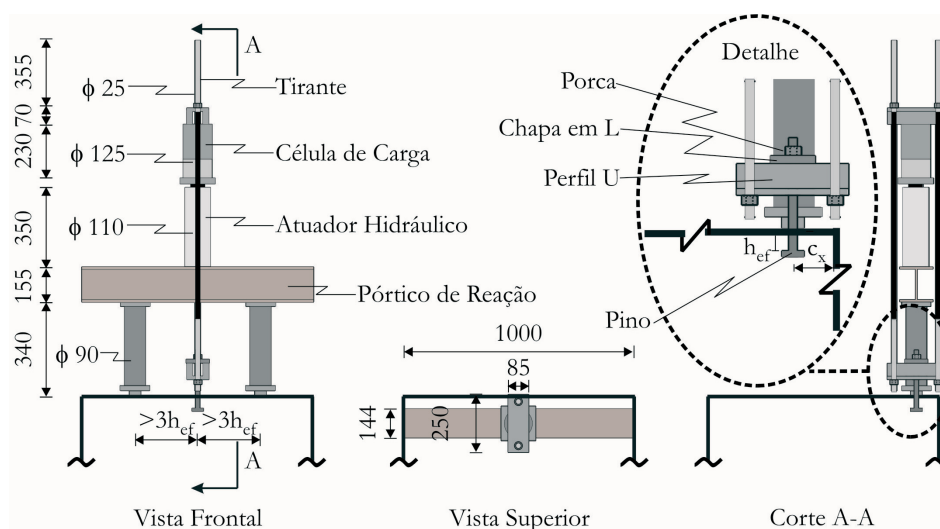
das constantes. As variáveis estudadas neste trabalho são:

- Distância  $C_x$  à borda: distância entre o eixo do pino e a superfície lateral de concreto mais próxima (Figura 2a);
- Altura efetiva  $h_{ef}$ : distância entre a superfície da cabeça de ancoragem e a superfície do bloco (Figura 2a);
- Comprimento de aderência  $l_b$ : é o comprimento em que há aderência entre o concreto e o aço da haste, sendo neste trabalho usado como igual a altura efetiva ou igual a zero (Figura 2a);

- **Posição:** posição em que o pino se encontra em relação a altura bloco de concreto no momento do lançamento do concreto; três diferentes posições são consideradas: superior, intermediária e inferior (Figura 2b);
- **Orientação:** direção horizontal ou vertical do eixo do pino (Figura 2b).

De acordo com a distância à borda, obtiveram-se duas variáveis dependentes: a relação entre a área projetada parcial  $A_n$ , formada por um cone de ruptura teórico interrompido por uma borda, e a área projetada do cone

**Figura 3 – Representação esquemática da montagem dos ensaios (medidas em mm)**



total  $A_o$  e 2º a relação entre o perímetro  $U_n$  da área  $A_n$  e o perímetro  $U_o$  da área  $A_o$ . O raio de ambas as áreas é igual a  $1,5h_{ef} + d_h/2$  (Figura 2a).

Quatro blocos de concreto com dimensões 1000 x 1000 x 1000 mm foram construídos. Em cada bloco, os espécimes eram espaçados a uma distância suficiente para evitar a sobreposição dos cones de ruptura. A distância entre os apoios do pórtico de reação (Figura 3), era superior a seis vezes a altura efetiva do pino ensaiado, como forma de minimizar o confinamento do concreto provocado pela força do pórtico de reação exercida sobre o bloco de concreto. O deslocamento axial da ancoragem relativo a um ponto fora do cone de ruptura foi medido com um relógio comparador digital. Este deslocamento inclui o alongamento da barra e o deslocamento da cabeça de ancoragem devido à deformação do concreto. A carga foi aplicada com pequenos incrementos e foi medida com uma célula de carga.

## 2.2 Materiais

As hastes dos pinos eram de aço CA-50 com diâmetro de 20 mm. Suas propriedades mecânicas foram obtidas através do ensaio de duas amostras com 400 mm de comprimento, retiradas de um lote único, de acordo com a NBR 6152/92 [7]. Os valores da tensão de escoamento e de

ruptura foram 570 MPa e 677 MPa respectivamente, com módulo de elasticidade de 211 GPa e deformação no início do escoamento da barra de 2,7 mm/m.

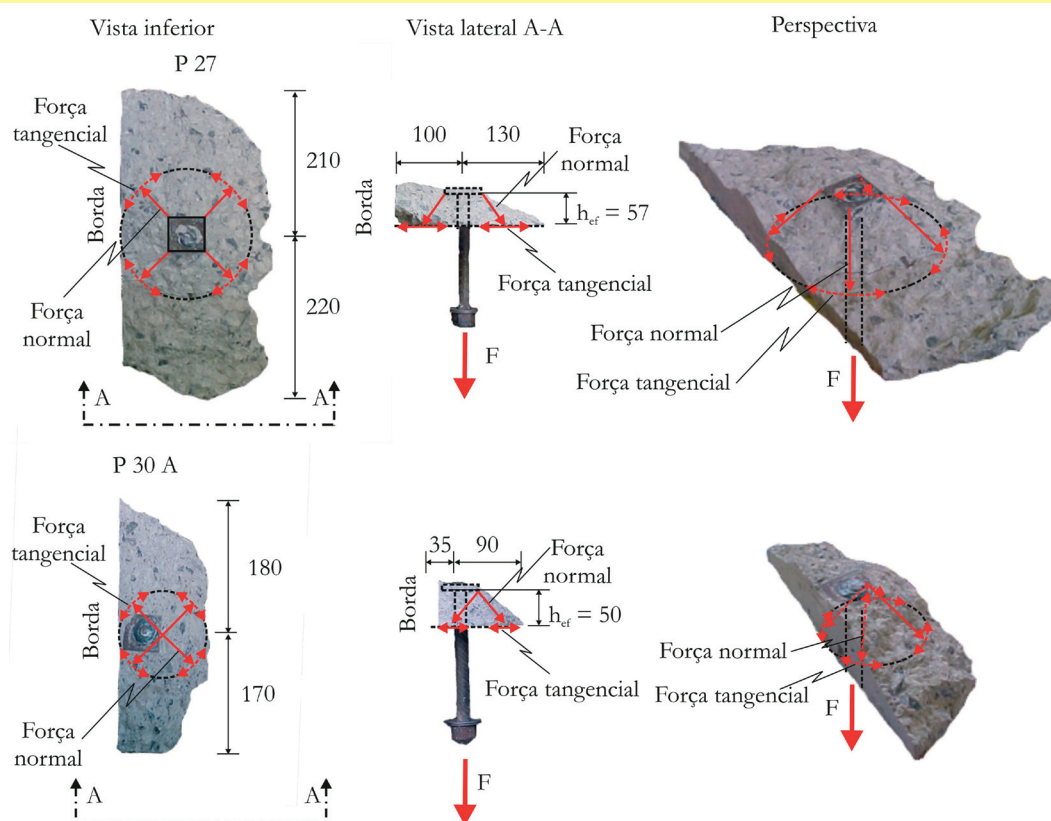
O concreto foi dosado para alcançar resistência à compressão de 20 MPa aos 28 dias. O agregado graúdo utilizado foi brita 1 e o abatimento do cone de concreto requerido  $90 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ . Para cada concretagem foram moldados corpos-de-prova cilíndricos de 150 x 300 mm, para a obtenção da resistência à compressão [8], do módulo de elasticidade [9] e da resistência à tração do concreto [10] aos 28 dias. Os valores obtidos referentes aos blocos 1 e 2 e aos blocos 3 e 4 foram: 19,7 e 20,3 MPa para resistência à compressão, 2,43 e 2,50 MPa para a resistência à tração e 21,6 e 22,6 GPa para o módulo de elasticidade, respectivamente.

## 3 Resultados e discussões

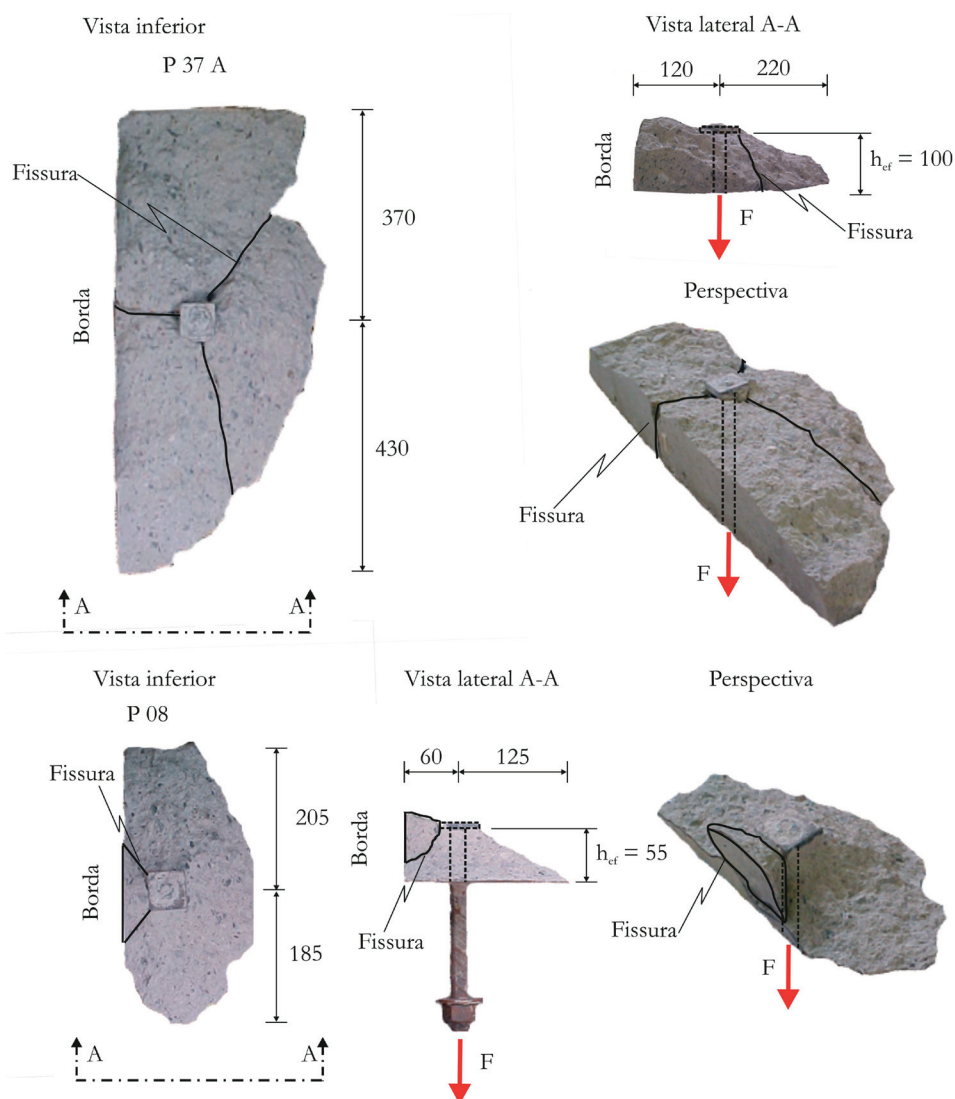
### 3.1 Modo de ruptura e carga última

Em todos os casos a ruptura ocorreu com o arrancamento de um cone de concreto delimitado por uma superfície que iniciava-se na cabeça do pino e seguia em direção à face do bloco como apresentado na Figura 4. Em alguns casos ocorreu o surgimento de fissuras

**Figura 4 – Vistas em perspectiva, inferior e lateral da ruptura pelo cone de concreto (medidas em mm)**



**Figura 5 – Vistas em perspectiva, inferior e lateral do surgimento de fendilhamento e fissuras laterais (medidas em mm)**



na região da cabeça do pino indicando um início de ruptura lateral e/ou fissuras de fendilhamento que separaram o cone de concreto em blocos distintos, como visto na Figura 5.

A carga última e o modo de ruptura das ancoragens com altura efetiva de 50 mm e 100 mm são apresentadas na Tabela 1 e na Tabela 2, respectivamente, juntamente com o comprimento aderente, posição e orientação do pino, valores de  $f_c$  e  $f_t$ , além das relações medidas de  $A_n/A_0$ ,  $U_n/U_0$  e  $c_x/h_{ef}$ .

### 3.2 Influência da aderência

A comparação entre as cargas de ruptura  $F_{u,c/ader}$ , dos pinos com comprimento aderente  $l_b$  igual a altura efetiva,

e as cargas de ruptura  $F_{u,s/ader}$ , dos pinos com  $l_b$  igual a zero é feita na Tabela 3. Todos os valores da relação  $F_{u,c/ader}/F_{u,s/ader}$  são maiores do que 1,00.

Isso pode ser justificado pela menor tensão exercida pela cabeça da ancoragem sobre o concreto quando parte da capacidade final é suportada pela aderência [2].

O valor médio da relação  $F_{u,c/ader}/F_{u,s/ader}$  variou de 1,21 (pinos com altura efetiva de 50 mm na posição superior e de 100 mm na posição inferior) a 1,43 (pinos com altura efetiva de 50 mm na posição intermediária).

Considerando todos os dados, o aumento médio na resistência da ancoragem dos pinos com  $l_b/h_{ef}$  é de 32,0%, com coeficiente de variação de 18,5%.

Tabela 1 – Carga e modo de ruptura para ancoragens com altura efetiva de 50 mm

| Posição       | $l_b$ | Orientação                                                                          | (mm)       | $A_n/A_0$ 1.00<br>$U_n/U_0$ 1.00<br>$c_x/h_{ef}$ 10.00 |                           | $A_n/A_0$ 1.00<br>$U_n/U_0$ 1.00<br>$c_x/h_{ef}$ 2.00                             |             | $A_n/A_0$ 0.90<br>$U_n/U_0$ 0.75<br>$c_x/h_{ef}$ 1.40                             |             | $A_n/A_0$ 0.80<br>$U_n/U_0$ 0.68<br>$c_x/h_{ef}$ 1.04                               |             | $A_n/A_0$ 0.70<br>$U_n/U_0$ 0.61<br>$c_x/h_{ef}$ 0.70                               |             |
|---------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|               |       |                                                                                     |            | Isolado                                                |                           |  |             |  |             |  |             |  |             |
| Superior      | 50    |    | Horizontal | <b>P</b>                                               | <b>F<sub>u</sub> (kN)</b> | <b>P01</b>                                                                        | <b>29.5</b> | <b>P02</b>                                                                        | <b>21.6</b> | <b>P03A</b>                                                                         | <b>21.5</b> | <b>P04</b>                                                                          | <b>16.4</b> |
|               |       |                                                                                     |            | Bloco                                                  | F. M.                     | 1                                                                                 | cc          | 1                                                                                 | cc/f        | 3                                                                                   | cc/f        | 1                                                                                   | cc          |
|               |       |                                                                                     |            | $h_{ef}^{med.}$                                        | $c_x/h_{ef}^{med.}$       | 52                                                                                | 1.92        | 52                                                                                | 1.35        | 53                                                                                  | 1.04        | 50                                                                                  | 0.84        |
|               |       |                                                                                     |            | $A_n/A_0$                                              | $U_n/U_0$                 | 1.00                                                                              | 0.92        | 0.89                                                                              | 0.74        | 0.81                                                                                | 0.68        | 0.74                                                                                | 0.64        |
|               |       |                                                                                     |            | $f_c$                                                  | $f_t$                     | 19.70                                                                             | 2.43        | 19.70                                                                             | 2.43        | 20.30                                                                               | 2.50        | 19.70                                                                               | 2.43        |
|               | 50    |    | Vertical   | <b>P05</b>                                             | <b>32.0</b>               | <b>P06</b>                                                                        | <b>28.4</b> | <b>P07</b>                                                                        | <b>22.4</b> | <b>P08B</b>                                                                         | <b>23.0</b> | <b>P09B</b>                                                                         | <b>17.0</b> |
|               |       |                                                                                     |            | 2                                                      | cc                        | 1                                                                                 | cc          | 1                                                                                 | cc          | 3                                                                                   | cc/rl       | 3                                                                                   | cc/rl       |
|               |       |                                                                                     |            | 55                                                     | 9.09                      | 55                                                                                | 1.91        | 50                                                                                | 1.30        | 55                                                                                  | 1.00        | 50                                                                                  | 0.70        |
|               |       |                                                                                     |            | 1.00                                                   | 1.00                      | 1.00                                                                              | 0.93        | 0.87                                                                              | 0.73        | 0.80                                                                                | 0.67        | 0.70                                                                                | 0.61        |
|               |       |                                                                                     |            | 19.70                                                  | 2.43                      | 19.70                                                                             | 2.43        | 19.70                                                                             | 2.43        | 19.20                                                                               | 2.36        | 19.50                                                                               | 2.40        |
|               | 0     |    | Horizontal | -                                                      | -                         | <b>P10</b>                                                                        | <b>21.3</b> | <b>P11</b>                                                                        | <b>20.1</b> | -                                                                                   | -           | <b>P12</b>                                                                          | <b>14.0</b> |
|               |       |                                                                                     |            | -                                                      | -                         | 3                                                                                 | cc          | 3                                                                                 | cc          | -                                                                                   | -           | 3                                                                                   | cc/rl       |
|               |       |                                                                                     |            | -                                                      | -                         | 50                                                                                | 2.00        | 50                                                                                | 1.40        | -                                                                                   | -           | 50                                                                                  | 0.80        |
|               |       |                                                                                     |            | -                                                      | -                         | 1.00                                                                              | 1.00        | 0.90                                                                              | 0.75        | -                                                                                   | -           | 0.73                                                                                | 0.63        |
| Intermediário | 50    |  | Horizontal | <b>P13</b>                                             | <b>34.1</b>               | <b>P14</b>                                                                        | <b>32.3</b> | <b>P15A</b>                                                                       | <b>27.8</b> | <b>P16</b>                                                                          | <b>24.0</b> | <b>P17</b>                                                                          | <b>19.9</b> |
|               |       |                                                                                     |            | 2                                                      | cc                        | 1                                                                                 | cc          | 3                                                                                 | cc          | 1                                                                                   | cc          | 1                                                                                   | cc          |
|               |       |                                                                                     |            | 50                                                     | 10.00                     | 50                                                                                | 2.00        | 52                                                                                | 1.44        | 49                                                                                  | 1.02        | 52                                                                                  | 0.65        |
|               |       |                                                                                     |            | 1.00                                                   | 1.00                      | 1.00                                                                              | 1.00        | 0.91                                                                              | 0.76        | 0.80                                                                                | 0.67        | 0.69                                                                                | 0.61        |
|               |       |                                                                                     |            | 19.70                                                  | 2.43                      | 19.70                                                                             | 2.43        | 20.30                                                                             | 2.50        | 19.70                                                                               | 2.43        | 19.70                                                                               | 2.43        |
|               | 0     |  | Horizontal | <b>P18</b>                                             | <b>26.6</b>               | <b>P19</b>                                                                        | <b>31.4</b> | -                                                                                 | -           | <b>P20</b>                                                                          | <b>12.5</b> | <b>P21</b>                                                                          | <b>13.2</b> |
|               |       |                                                                                     |            | 4                                                      | cc                        | 3                                                                                 | cc          | -                                                                                 | -           | 3                                                                                   | cc          | 3                                                                                   | cc          |
|               |       |                                                                                     |            | 50                                                     | 10.00                     | 55                                                                                | 1.91        | -                                                                                 | -           | 50                                                                                  | 1.00        | 53                                                                                  | 0.75        |
|               |       |                                                                                     |            | 1.00                                                   | 1.00                      | 1.00                                                                              | 0.93        | -                                                                                 | -           | 0.79                                                                                | 0.67        | 0.72                                                                                | 0.62        |
|               |       |                                                                                     |            | 20.30                                                  | 2.50                      | 20.30                                                                             | 2.50        | -                                                                                 | -           | 20.30                                                                               | 2.50        | 20.30                                                                               | 2.50        |
| Inferior      | 50    |  | Horizontal | -                                                      | -                         | <b>P22</b>                                                                        | <b>37.0</b> | <b>P23</b>                                                                        | <b>33.0</b> | <b>P24</b>                                                                          | <b>26.8</b> | <b>P25</b>                                                                          | <b>22.1</b> |
|               |       |                                                                                     |            | -                                                      | -                         | 1                                                                                 | cc/f        | 1                                                                                 | cc          | 1                                                                                   | cc          | 1                                                                                   | cc          |
|               |       |                                                                                     |            | -                                                      | -                         | 50                                                                                | 2.10        | 55                                                                                | 1.22        | 55                                                                                  | 1.00        | 50                                                                                  | 0.84        |
|               |       |                                                                                     |            | -                                                      | -                         | 1.00                                                                              | 1.00        | 0.86                                                                              | 0.71        | 0.80                                                                                | 0.67        | 0.74                                                                                | 0.64        |
|               |       |                                                                                     |            | -                                                      | -                         | 19.70                                                                             | 2.43        | 19.70                                                                             | 2.43        | 19.70                                                                               | 2.43        | 19.70                                                                               | 2.43        |
|               | 50    |  | Vertical   | <b>P26</b>                                             | <b>39.1</b>               | <b>P27</b>                                                                        | <b>40.6</b> | <b>P28</b>                                                                        | <b>32.7</b> | <b>P29</b>                                                                          | <b>24.8</b> | <b>P30A</b>                                                                         | <b>22.4</b> |
|               |       |                                                                                     |            | 2                                                      | cc                        | 1                                                                                 | cc          | 1                                                                                 | cc/f        | 1                                                                                   | cc/f        | 3                                                                                   | cc          |
|               |       |                                                                                     |            | 52                                                     | 9.62                      | 57                                                                                | 1.75        | 50                                                                                | 1.40        | 50                                                                                  | 1.10        | 50                                                                                  | 0.70        |
|               |       |                                                                                     |            | 1.00                                                   | 1.00                      | 0.98                                                                              | 0.86        | 0.90                                                                              | 0.75        | 0.85                                                                                | 0.70        | 0.70                                                                                | 0.61        |
|               |       |                                                                                     |            | 19.70                                                  | 2.43                      | 19.70                                                                             | 2.43        | 19.70                                                                             | 2.43        | 19.70                                                                               | 2.43        | 20.30                                                                               | 2.50        |
|               | 0     |  | Horizontal | -                                                      | -                         | <b>P31</b>                                                                        | <b>24.7</b> | <b>P32</b>                                                                        | <b>24.4</b> | <b>P33</b>                                                                          | <b>24.6</b> | <b>P34</b>                                                                          | <b>16.0</b> |
|               |       |                                                                                     |            | -                                                      | -                         | 3                                                                                 | cc          | 3                                                                                 | cc          | 3                                                                                   | cc          | 3                                                                                   | cc/f/rl     |
|               |       |                                                                                     |            | -                                                      | -                         | 50                                                                                | 2.05        | 50                                                                                | 1.30        | 54                                                                                  | 1.02        | 55                                                                                  | 0.73        |
|               |       |                                                                                     |            | -                                                      | -                         | 1.00                                                                              | 1.00        | 0.87                                                                              | 0.73        | 0.80                                                                                | 0.67        | 0.72                                                                                | 0.62        |
|               |       |                                                                                     |            | -                                                      | -                         | 20.30                                                                             | 2.50        | 20.30                                                                             | 2.50        | 20.30                                                                               | 2.50        | 20.30                                                                               | 2.50        |

 $l_b$  - Comprimento aderente.

P - Nome do pino.

 $h_{ef}$  e  $h_{ef}^{med.}$  - Altura efetiva requerida e medida. $c_x/h_{ef}$  e  $c_x/h_{ef}^{med.}$  - Relação entre a distância do eixo do pino à borda ( $c_x$ ) e a altura efetiva ( $h_{ef}$ ) requerida e medida. $A_n/A_0$  e  $A_n/A_0^{med.}$  - Relação entre as áreas projetadas do suposto cone de tensão total ( $A_0$ ) e parcial ( $A_n$ ) requerida e medida. $U_n/U_0$  e  $U_n/U_0^{med.}$  - Relação entre os perímetros das áreas projetadas do suposto cone de tensão total ( $U_0$ ) e parcial ( $U_n$ ) requerido e medido. $F_u$  - Failure load.

M.R. - Modo de ruptura.

cc - Ruptura pelo cone de concreto (cc).

cc/rl - Ruptura pelo cone de concreto (cc) com surgimento de fissura lateral (rl).

cc/f - Ruptura pelo cone de concreto (cc) com surgimento de fissura de fendilhamento (f).

cc/f/rl - Ruptura pelo cone de concreto (cc) com surgimento de fissura de fendilhamento (f) e fissura lateral (rl).

### 3.3 Influência da proximidade da borda

Para estimar a perda na resistência da ancoragem devido à proximidade de uma borda, a carga última  $F_{u,n}$  de cada pino foi dividida pela carga última  $F_{u,Iso}$  do pino isolado (Tabela 4). Os pinos com altura efetiva de 50 mm, na posição superior e orientados verticalmente, apresentaram valores de  $F_{u,n}/F_{u,Iso}$  decrescendo de 1,00 até 0,53 para valores de  $A_n/A_0$  iguais a 1,00 (pino isolado) e a 0,70, respectivamente. Essa redução de  $F_{u,n}/F_{u,Iso}$  também ocorre nas demais situações quanto à posição e orientação do pino.

Os pinos com altura efetiva de 100 mm, na posição in-

termediária e dispostos horizontalmente, apresentaram os menores valores de  $F_{u,n}/F_{u,Iso}$ , pois nos cantos do bloco o concreto pode ser de pior qualidade.

### 3.4 Influência da altura efetiva

As cargas de ruptura  $F_{u,100}$  e  $F_{u,50}$  das ancoragens com altura efetiva de 100 mm e 50 mm são comparadas na Tabela 5 para ancoragens que têm a mesma posição, orientação e relação  $A_n/A_0$ . Os pinos localizados nas posições superior e inferior apresentaram valores muito próximos quanto ao valor médio da relação  $F_{u,100}/F_{u,50}$  e coeficiente de variação; se fossem considerados juntos,

**Tabela 2 – Carga e modo de ruptura para ancoragens com altura efetiva de 100 mm**

| Posição | $I_b$ | Orientação | $A_n/A_0$ |  | $U_n/U_0$ |  | $c_x/h_{ef}$ |  | $A_n/A_0$ |  | $U_n/U_0$ |  | $c_x/h_{ef}$ |  |
|---------|-------|------------|-----------|--|-----------|--|--------------|--|-----------|--|-----------|--|--------------|--|
|         |       |            | 1.00      |  | 1.00      |  | 1.00         |  | 0.90      |  | 0.80      |  | 0.70         |  |
|         |       |            | 1.00      |  | 1.00      |  | 1.00         |  | 0.75      |  | 0.68      |  | 0.61         |  |
|         |       |            | 5.00      |  | 1.75      |  | 1.21         |  | 0.88      |  | 0.58      |  |              |  |
|         |       |            | Isolado   |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |
|         |       |            |           |  |           |  |              |  |           |  |           |  |              |  |

esses valores seriam 2,62 e 8,0% respectivamente.

Os pinos intermediários apresentaram os menores valores da razão  $F_{u,100}/F_{u,50}$  devido a maior perda na resistência dos pinos com altura efetiva de 100 mm próximos a borda. O valor médio da relação  $F_{u,100}/F_{u,50}$  foi igual a 2,29 e o coeficiente de variação foi 0,23.

### 3.5 Influência da posição do pino

A influência da posição do pino é verificada comparando-se os valores das cargas de ruptura dos pinos localizados na posição inferior ( $F_{u,Inf.}$ ) e na posição intermediária ( $F_{u,Int.}$ ) com as cargas de ruptura dos pinos localizados na posição superior ( $F_{u,Sup.}$ ), como mostrado na Tabela 6. Todos os pinos nas posições inferior e intermediária apresentaram cargas de ruptura maiores do que as dos pinos na posição superior.

Os valores médios da carga de ruptura dos pinos nas posições inferior e intermediária foram, respectivamente, 1,32 e 1,18 vezes maiores do que o valor médio das cargas dos pinos superiores. Esse aumento é atribuído ao melhor adensamento do concreto na parte inferior, onde existe uma maior concentração de agregado graúdo se compara-

do à parte superior e uma maior quantidade de concreto acima do pino.

### 3.6 Influência da orientação do pino

A Tabela 7 fornece as cargas de ruptura dos grupos de pinos com orientações horizontal e vertical, localizados nas posições superior e inferior dos blocos. Observa-se que a relação  $F_{u,H.}/F_{u,V.}$ , entre a carga de ruptura  $F_{u,H.}$  de um pino horizontal e a carga de ruptura  $F_{u,V.}$  de um pino vertical, apresenta uma pequena variação em torno do valor unitário para os pinos localizados na parte superior e inferior do bloco de concreto. O valor médio desta relação é de 0,99 com coeficiente de variação igual a 5,6%. Esses resultados mostram que a orientação do pino não tem influência sobre a resistência da ancoragem nos casos aqui analisados para a altura efetiva de 50 mm.

### 3.7 Deslocamentos

O deslocamento  $\Delta l$  medido no eixo da haste do pino em relação ao bloco de concreto incorpora a parcela  $\Delta l_{aco}^c$  correspondente ao alongamento do trecho externo da

Tabela 3 – Influência da aderência

| h <sub>ef</sub><br>(mm) | Posição               | Orient.   | A <sub>n</sub> /A <sub>0</sub>               | Com aderência                   |                                | Sem aderência                   |                               | F <sub>u,c/ade.</sub> /F <sub>u,s/ade.</sub> |
|-------------------------|-----------------------|-----------|----------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|
|                         |                       |           |                                              | l <sub>b</sub> =h <sub>ef</sub> |                                | l <sub>b</sub> =0               |                               |                                              |
|                         |                       |           |                                              | Pinos                           | F <sub>u,c/ade.</sub><br>(kN)  | Pinos                           | F <sub>u,s/ade.</sub><br>(kN) |                                              |
| 50                      | Superior              | Horizont. | 10                                           | P01                             | 29,5                           | P10                             | 21,3                          | 1.38                                         |
|                         |                       |           | 0.9                                          | P02                             | 21.6                           | P11                             | 20.1                          | 1.07                                         |
|                         |                       |           | 0.7                                          | P04                             | 16.4                           | P12                             | 14.0                          | 1.17                                         |
|                         | Intermed.             | Horizont. | Iso -1.0                                     | P13                             | 34.1                           | P18                             | 26.6                          | 1.28                                         |
|                         |                       |           | 1.0                                          | P14                             | 32.3                           | P19                             | 31.4                          | 1.03                                         |
|                         |                       |           | 0.8                                          | P16                             | 24.0                           | P20                             | 12.5                          | 1.92                                         |
|                         |                       |           | 0.7                                          | P17                             | 19.9                           | P21                             | 13.2                          | 1.51                                         |
|                         |                       |           | Inferior                                     | Horizont.                       | 1.0                            | P22                             | 37.0                          | P31                                          |
|                         | 0.9                   | P23       |                                              |                                 | 33.0                           | P32                             | 24.4                          | 1.35                                         |
|                         | 0.8                   | P24       |                                              |                                 | 26.8                           | P33                             | 24.6                          | 1.09                                         |
|                         | 0.7                   | P25       |                                              |                                 | 22.1                           | P34                             | 16.0                          | 1.38                                         |
| 100                     | Inferior              | Vertical  | 0.9                                          | P47                             | 77.6                           | P51                             | 71.0                          | 1.09                                         |
|                         |                       |           | 0.7                                          | P49                             | 60.9                           | P53                             | 45.9                          | 1.33                                         |
| Valor                   |                       |           | F <sub>u,c/ade.</sub> /F <sub>u,s/ade.</sub> |                                 |                                |                                 |                               |                                              |
|                         |                       |           | Superior<br>h <sub>ef</sub> 50               | Intermed.<br>h <sub>ef</sub> 50 | Inferior<br>h <sub>ef</sub> 50 | Inferior<br>h <sub>ef</sub> 100 | Todos                         |                                              |
|                         | Máximo                |           | 1.38                                         | 1.92                            | 1.50                           | 1.33                            | 1.92                          |                                              |
|                         | Mínimo                |           | 1.07                                         | 1.03                            | 1.09                           | 1.09                            | 1.03                          |                                              |
|                         | Média                 |           | 1.21                                         | 1.43                            | 1.33                           | 1.21                            | 1.32                          |                                              |
|                         | Coef. de Variação (%) |           | 13.1                                         | 26.4                            | 13.0                           | 13.7                            | 18.5                          |                                              |

haste do pino e o deslocamento  $\delta$  devido à deformação do concreto mais o alongamento do trecho imerso da haste do pino (Figura 6). A parcela  $\Delta l_{aco}^c$  pode ser calculada (enquanto o pino permanecer no regime linear) pela expressão  $Fl / EA$  ( $E = 210 \text{ GPa}$ ).

Quando há aderência entre o concreto e a haste do pino ( $l_b = h_{ef}$ ), o deslocamento  $\delta = \Delta l - \Delta l_{aco}^c$  é igual ao deslocamento resultante da deformação do trecho imerso da haste do pino mais o deslocamento da cabeça de ancoragem. Quando não há aderência na haste ( $l_b = 0$ ) esse deslocamento é igual ao deslocamento da cabeça de ancoragem apenas.

A Figura 7 apresenta o deslocamento  $\delta$  em função da porcentagem da carga de ruptura, para os pinos com altu-

ras efetivas de 50 mm e 100 mm, nas posições e orientações superior/vertical, intermediária/horizontal e inferior/vertical e com valor da relação  $A_n/A_0$  igual a 0,90.

Os pinos localizados na posição superior (P37A e P07) apresentaram os maiores deslocamentos  $\delta$ , em relação a cada altura efetiva, para uma mesma porcentagem da carga de ruptura.

Com o aumento da altura efetiva de 50 mm para 100 mm, há um aumento no deslocamento  $\delta$  para a mesma porcentagem da carga de ruptura devido à diminuição da relação entre o diâmetro da cabeça de ancoragem e a altura efetiva. Essa diminuição gera um aumento das tensões de cisalhamento no perímetro da cabeça de ancoragem que provoca uma redução da altura efetiva do

Tabela 4 – Influência de borda

| $h_{ef}$<br>(mm) | Posição       | Orientação | Pinos | $A_n/A_0$ | $F_{u,n}$<br>(kN) | $F_{u,n}/F_{u,Iso}$ |
|------------------|---------------|------------|-------|-----------|-------------------|---------------------|
| 50               | Superior      | Vertical   | P05   | Iso-1.0   | 32.0              | 1.00                |
|                  |               |            | P06   | 1.0       | 28.4              | 0.89                |
|                  |               |            | P07   | 0.9       | 22.4              | 0.70                |
|                  |               |            | P08B  | 0.8       | 23.0              | 0.72                |
|                  |               |            | P09B  | 0.7       | 17.0              | 0.53                |
|                  | Intermediária | Horizontal | P13   | Iso-1.0   | 34.1              | 1.00                |
|                  |               |            | P14   | 1.0       | 32.3              | 0.95                |
|                  |               |            | P15A  | 0.9       | 27.8              | 0.82                |
|                  |               |            | P16   | 0.8       | 24.0              | 0.70                |
|                  |               |            | P17   | 0.7       | 19.9              | 0.58                |
|                  | Inferior      | Vertical   | P26   | Iso-1.0   | 39.1              | 1.00                |
|                  |               |            | P27   | 1.0       | 40.6              | 1.04                |
|                  |               |            | P28   | 0.9       | 32.7              | 0.84                |
|                  |               |            | P29   | 0.8       | 24.8              | 0.63                |
|                  |               |            | P30A  | 0.7       | 22.4              | 0.57                |
| 100              | Superior      | Vertical   | P35   | Iso-1.0   | 77.9              | 1.00                |
|                  |               |            | P36A  | 1.0       | 67.9              | 0.87                |
|                  |               |            | P37A  | 0.9       | 65.6              | 0.84                |
|                  |               |            | P38   | 0.8       | 61.9              | 0.79                |
|                  |               |            | P39   | 0.7       | 43.9              | 0.56                |
|                  | Intermediária | Horizontal | P40   | Iso-1.0   | 102.6             | 1.00                |
|                  |               |            | P41   | 1.0       | 85.4              | 0.83                |
|                  |               |            | P42A  | 0.9       | 52.8              | 0.51                |
|                  |               |            | P43A  | 0.8       | 50.4              | 0.49                |
|                  |               |            | P44A  | 0.7       | 35.6              | 0.35                |
|                  | Inferior      | Vertical   | P45   | Iso-1.0   | 108.7             | 1.00                |
|                  |               |            | P46   | 1.0       | 99.2              | 0.91                |
|                  |               |            | P47   | 0.9       | 77.6              | 0.71                |
|                  |               |            | P48   | 0.8       | 71.9              | 0.66                |
|                  |               |            | P49   | 0.7       | 60.9              | 0.56                |

pino devido ao esmagamento do concreto na região acima da cabeça [5].

A Figura 8 apresenta a curva carga x deslocamento  $\delta$  para os pinos com e sem aderência ( $l_b = h_{ef}$  e  $l_b = 0$ ) que têm, para cada altura efetiva, a mesma relação  $A_n/A_0$ , posição e orientação. O deslocamento  $\delta$  é relativo somente à cabeça de ancoragem para os pinos sem aderência.

Os pinos com aderência ( $l_b = h_{ef}$ ), P22 e P47, apresentaram os menores deslocamentos  $\Delta l - \Delta l_{aço}^c$  comparados aos pinos sem aderência ( $l_b = 0$ ), pois as nervuras atuam como uma ancoragem mecânica adicional, que aumenta a rigidez e reduz o deslocamento do pino [11].

#### 4 Conclusões

Neste trabalho foi estudado o comportamento de um pino de ancoragem curto com ruptura pelo arrancamento do cone de concreto, por meio de ensaios de 51 pinos sujeitos a tração axial. Os resultados obtidos mostraram que:

- a aderência entre o concreto e a haste do pino provoca um aumento na carga de ruptura da ancoragem, que varia

de 3% a 50%, com ganho médio de 32% e coeficiente de variação de 18,5%;

- a proximidade de uma borda causa uma redução na carga de ruptura da ancoragem que pode chegar a 35% da carga de ruptura de um pino isolado;

- o aumento da altura efetiva de 50 mm para 100 mm, resultou num aumento da resistência da ancoragem de até 2,29 vezes, para os pinos localizados na posição intermediária, e de até 2,62 vezes para os pinos localizados na posição superior e inferior;

- a carga de ruptura das ancoragens nas posições inferior e intermediária foram 32% e 18% maiores do que a carga observada numa ancoragem na posição superior, respectivamente;

- nos pinos com altura efetiva de 50 mm, observou-se que a orientação (horizontal e vertical) do pino da ancoragem não influencia a resistência da ancoragem;

- o deslocamento devido à deformação do concreto mais o alongamento do trecho imerso da haste do pino, dos pinos superiores, foi maior do que nas demais posições;

Tabela 5 – Influência da altura efetiva

| Posição      | Orientação            | A <sub>n</sub> /A <sub>0</sub> | h <sub>ef</sub> = 50 mm |                            | h <sub>ef</sub> = 100 mm |                             | F <sub>u,100</sub> /F <sub>u,50</sub> |
|--------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
|              |                       |                                | Pinos                   | F <sub>u, 50</sub><br>(kN) |                          | F <sub>u, 100</sub><br>(kN) |                                       |
| Superior     | Vertical              | Iso -1.0                       | P05                     | 32.0                       | P35                      | 77.9                        | 2.43                                  |
|              |                       | 1.0                            | P06                     | 28.4                       | P36A                     | 67.9                        | 2.39                                  |
|              |                       | 0.9                            | P07                     | 22.4                       | P37A                     | 65.6                        | 2.93                                  |
|              |                       | 0.8                            | P08B                    | 23.0                       | P38                      | 61.9                        | 2.69                                  |
|              |                       | 0.7                            | P09B                    | 17.0                       | P39                      | 43.9                        | 2.58                                  |
| Intermed.    | Horizontal            | Iso -1.0                       | P13                     | 34.1                       | P40                      | 102.6                       | 3.01                                  |
|              |                       | 1.0                            | P14                     | 32.3                       | P41                      | 85.4                        | 2.64                                  |
|              |                       | 0.9                            | P15A                    | 27.8                       | P42A                     | 52.8                        | 1.90                                  |
|              |                       | 0.8                            | P16                     | 24.0                       | P43A                     | 50.4                        | 2.10                                  |
|              |                       | 0.7                            | P17                     | 19.9                       | P44A                     | 35.6                        | 1.79                                  |
| Inferior     | Vertical              | Iso -1.0                       | P26                     | 39.1                       | P45                      | 108.7                       | 2.78                                  |
|              |                       | 1.0                            | P27                     | 40.6                       | P46                      | 99.2                        | 2.44                                  |
|              |                       | 0.9                            | P28                     | 32.7                       | P47                      | 77.6                        | 2.37                                  |
|              |                       | 0.8                            | P29                     | 24.8                       | P48                      | 71.9                        | 2.90                                  |
|              |                       | 0.7                            | P30A                    | 22.4                       | P49                      | 60.9                        | 2.72                                  |
| Fu,100/Fu,50 |                       |                                |                         |                            |                          |                             |                                       |
| Valor        |                       |                                | Superior                | Intermed.                  | Inferior                 | Superior e Inferior         |                                       |
|              | Máximo                |                                | 2.93                    | 3.01                       | 2.90                     | 2.93                        |                                       |
|              | Mínimo                |                                | 2.39                    | 1.79                       | 2.37                     | 2.37                        |                                       |
|              | Média                 |                                | 2.61                    | 2.29                       | 2.64                     | 2.62                        |                                       |
|              | Coef. de Variação (%) |                                | 8,3                     | 22,7                       | 8,5                      | 8,0                         |                                       |

- os pinos com altura efetiva de 100 mm apresentaram deslocamentos maiores do que aqueles observados nos pinos com altura efetiva de 50 mm para uma mesma porcentagem da carga de ruptura;
- a presença de aderência entre a haste do pino e o concreto resulta em maior rigidez e menor deslocamento em comparação com os pinos sem aderência.

## 5 Agradecimentos

À Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro através do PROCAD – Programa Nacional de Cooperação Acadêmica e pela bolsa de estudos.

Às empresas: Carlos Campos Consultoria; Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira; Furnas Centrais Elétricas S. A.; IMPERCA – Produtos Químicos para Construção; Perfinasa – Perfilados e Ferros Nossa Senhora Aparecida Ltda; Presmetal – Indústria & Prestação de Serviço Metalúrgicos Ltda; Realmix – Concreto e Argamassa, por terem colaborado no fornecimento de diversos materiais e na realização de ensaios de caracterização.

## 6 Referências bibliográficas

- [01] THOMPSON, M. K.; JIRSA, J. O.; BREEN, J.E; KLINGNER, R.E. Anchorage behavior of

**Tabela 6 – Influência da posição**

| Tabela 6 – Influência da posição |            |                                |                       |                             |               |                                          |                                          |
|----------------------------------|------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
| h <sub>ef</sub><br>(mm)          | Orientação | A <sub>n</sub> /A <sub>0</sub> | Superior              |                             | Inferior      |                                          | F <sub>u,inf.</sub> /F <sub>u,sup.</sub> |
|                                  |            |                                | Pinos                 | F <sub>u,sup.</sub><br>(kN) | Pinos         | F <sub>u,inf.</sub><br>(kN)              |                                          |
| 50                               | Horizontal | 1.0                            | P01                   | 29.5                        | P22           | 37.0                                     | 1.25                                     |
|                                  |            | 0.9                            | P02                   | 21.6                        | P23           | 33.0                                     | 1.53                                     |
|                                  |            | 0.8                            | P03A                  | 21.5                        | P24           | 26.8                                     | 1.25                                     |
|                                  |            | 0.7                            | P04                   | 16.4                        | P25           | 22.1                                     | 1.35                                     |
|                                  | Vertical   | Iso - 1.0                      | P05                   | 32.0                        | P26           | 39.1                                     | 1.22                                     |
|                                  |            | 1.0                            | P06                   | 28.4                        | P27           | 40.6                                     | 1.43                                     |
|                                  |            | 0.9                            | P07                   | 22.4                        | P28           | 32.7                                     | 1.46                                     |
|                                  |            | 0.8                            | P08B                  | 23.0                        | P29           | 24.8                                     | 1.08                                     |
|                                  |            | 0.7                            | P09B                  | 17.0                        | P30A          | 22.4                                     | 1.32                                     |
| 100                              | Vertical   | Iso - 1.0                      | P35                   | 77.9                        | P45           | 108.7                                    | 1.40                                     |
|                                  |            | 1.0                            | P36A                  | 67.9                        | P46           | 99.2                                     | 1.46                                     |
|                                  |            | 0.9                            | P37A                  | 65.6                        | P47           | 77.6                                     | 1.18                                     |
|                                  |            | 0.8                            | P38                   | 61.9                        | P48           | 71.9                                     | 1.16                                     |
|                                  |            | 0.7                            | P39                   | 43.9                        | P49           | 60.9                                     | 1.39                                     |
| h <sub>ef</sub><br>(mm)          | Orientação | A <sub>n</sub> /A <sub>0</sub> | Superior              |                             | Intermediário |                                          | F <sub>u,inf.</sub> /F <sub>u,sup.</sub> |
|                                  |            |                                | Pinos                 | F <sub>u,sup.</sub><br>(kN) | Pinos         | F <sub>u,inf.</sub><br>(kN)              |                                          |
| 50                               | Horizontal | 1.0                            | P01                   | 29.5                        | P14           | 32.3                                     | 1.09                                     |
|                                  |            | 0.9                            | P02                   | 21.6                        | P15A          | 27.8                                     | 1.29                                     |
|                                  |            | 0.8                            | P03A                  | 21.5                        | P16           | 24.0                                     | 1.12                                     |
|                                  |            | 0.7                            | P04                   | 16.4                        | P17           | 19.9                                     | 1.21                                     |
|                                  |            |                                | Valor                 |                             |               | F <sub>u,inf.</sub> /F <sub>u,sup.</sub> | F <sub>u,inf.</sub> /F <sub>u,sup.</sub> |
|                                  |            |                                | Máximo                |                             |               | 1.53                                     | 1.29                                     |
|                                  |            |                                | Mínimo                |                             |               | 1.08                                     | 1.09                                     |
|                                  |            |                                | Média                 |                             |               | 1.32                                     | 1.18                                     |
|                                  |            |                                | Coef. de Variação (%) |                             |               | 10.0                                     | 7.6                                      |

headed reinforcement: literature review, Research Report N°1855-1, Center for Highway Research, The University of Texas at Austin, Texas, May 2002, 116 p.

- [02] DE VRIES, R. A.; JIRSA, J. O.; BASHANDY, T. Anchorage capacity in concrete of headed reinforcement with shallow embedments, *ACI Structural Journal*, v. 96, n. 5, p. 728 – 736, Sep.-Oct. 1999.
- [03] ELIGEHAUSEN, R.; FUCHS, W.; MAYER, B. Tragverhalten von dübelbefestigungen bei zugbeanspruchung Teil 2 (Bearing behaviour

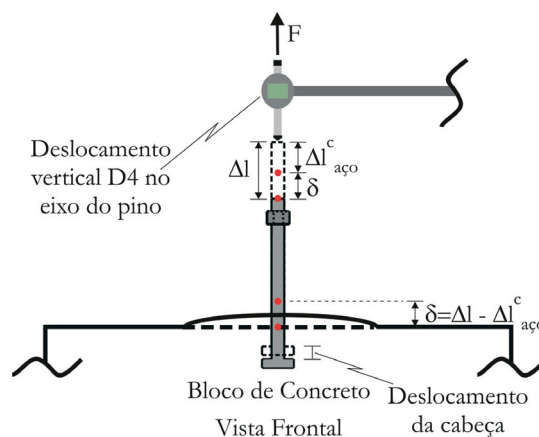
of anchor fastenings under tension, Part 2), *Betonwerk +Fertigteil-Technik*, n. 1, p.29–35, 1988.

- [04] ELIGEHAUSEN, R.; OZBOLT, J. Size effect in anchorage behavior, *Proceedings of the 8th European Conference on Fracture – Fracture Behavior and Design of Materials and Structures*, p. 2671– 2677, 1990.
- [05] OZBOLT, J.; ELIGEHAUSEN, R. and REINHARDT, H. W. Size effect on the concrete cone pull-out load, *International Journal of Fracture*, v. 95, p.391–404, 1999.

**Tabela 7 – Influência da orientação do pino**

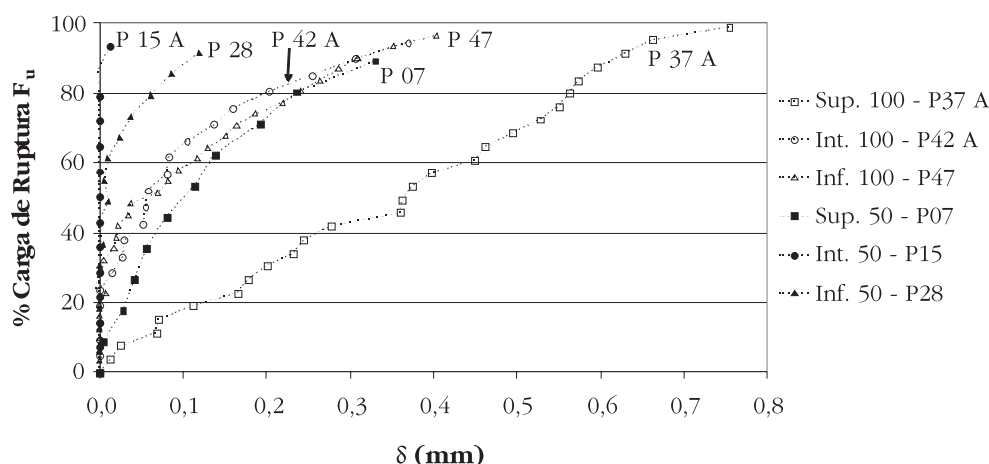
| h <sub>ef</sub><br>(mm) | Posição  | A <sub>n</sub> /A <sub>0</sub> | Horizontal |                           | Vertical |                                      | F <sub>u,H.</sub> /F <sub>u,V.</sub> |
|-------------------------|----------|--------------------------------|------------|---------------------------|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                         |          |                                | Pinos      | F <sub>u,H.</sub><br>(kN) | Pinos    | F <sub>u,V.</sub><br>(kN)            |                                      |
| 50                      | Superior | 1.0                            | P01        | 29.5                      | P06      | 28.4                                 | 1.04                                 |
|                         |          | 0.9                            | P02        | 21.6                      | P07      | 22.4                                 | 0.96                                 |
|                         |          | 0.8                            | P03A       | 21.5                      | P08B     | 23.0                                 | 0.93                                 |
|                         |          | 0.7                            | P04        | 16.4                      | P09B     | 17.0                                 | 0.96                                 |
|                         | Inferior | 1.0                            | P22        | 37.0                      | P27      | 40.6                                 | 0.91                                 |
|                         |          | 0.9                            | P23        | 33.0                      | P28      | 32.7                                 | 1.01                                 |
|                         |          | 0.8                            | P24        | 26.8                      | P29      | 24.8                                 | 1.08                                 |
|                         |          | 0.7                            | P25        | 22.1                      | P30A     | 22.4                                 | 0.99                                 |
|                         |          |                                |            |                           |          |                                      |                                      |
| Valor                   |          |                                |            |                           |          | F <sub>u,H.</sub> /F <sub>u,V.</sub> |                                      |
| Máximo                  |          |                                |            |                           |          | 1.08                                 |                                      |
| Mínimo                  |          |                                |            |                           |          | 0.91                                 |                                      |
| Média                   |          |                                |            |                           |          | 0.99                                 |                                      |
| Coef. de Variação (%)   |          |                                |            |                           |          | 5.6                                  |                                      |

**Figura 6 – Deslocamento vertical D4 no eixo do pino em relação ao bloco de concreto**



- [06] LUKE, J. J.; HAMAD, B. S.; JIRSA, J.O.; BREEN, J.E. The influence of casting position on development and splice length of reinforcing bars, Research Report 242-1, Center for Highway Research, The University of Texas at Austin, Texas, June 1981, 174 p.
- [07] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais metálicos – Determinação das propriedades mecânicas à tração. – NBR 6152/92, Rio de Janeiro, 1992.
- [08] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto. – NBR 5739/94, Rio de Janeiro, 1994.
- [09] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação – Método e ensaio. – NBR 8522/84, Rio de Janeiro, 1984.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio. – NBR 7222/94, Rio de Janeiro, 1994.
- [11] MEIRA, M. T. R. Resistência a tração de pinos de ancoragem – Influência de borda, comprimento de aderência, posição e orientação do pino, Goiânia, 2005, Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 168 p.

**Figura 7 – Curva do deslocamento  $\delta$  em função da porcentagem da carga de ruptura ( $F_u$ ), para os pinos com alturas efetivas de 50 mm e 100 mm em diferentes posições do bloco**



**Figura 8 – Curva do deslocamento  $\delta$  em função da porcentagem da carga de ruptura ( $F_u$ ), para os pinos com alturas efetivas de 50 mm e 100 mm com e sem aderência**

