

## **A Influência de Diferentes Parâmetros no Comportamento da Ligação entre Fundações Existentes de Betão Armado e Micro-estacas de Reforço**



**J. Veludo<sup>1</sup>**



**E. Júlio<sup>2</sup>**



**P. Pinto<sup>3</sup>**

### **RESUMO**

A reabilitação de edifícios e pontes de betão armado implica frequentemente o reforço das respectivas fundações. Actualmente, uma percentagem significativa destas operações é realizada com o recurso a micro-estacas. O dimensionamento estrutural e geotécnico destes elementos é, regra geral, baseado na regulamentação em vigor. No entanto, o dimensionamento e a pormenorização da ligação das micro-estacas à fundação existente são efectuados de uma forma empírica, baseada em ensaios *in situ* ou na experiência dos projectistas. São várias as alternativas para a realização desta ligação, dependendo do tipo de obra, do tipo de cargas a suportar, do tipo de armadura utilizada na micro-estaca e da capacidade pretendida para a ligação.

Neste artigo, descreve-se um estudo experimental sobre o comportamento à compressão e à tracção das ligações micro-estaca / fundação existente, com o objectivo de avaliar a influência de diversos parâmetros, nomeadamente: 1) diâmetro do furo executado na fundação; 2) rugosidade das paredes do furo; 3) comprimento de selagem da micro-estaca; 4) textura da armadura utilizada na micro-estaca; e 5) reforço activo ao confinamento lateral da fundação existente. Foram realizados 34 ensaios à compressão e 30 ensaios à tracção em modelos micro-estaca / fundação. Discutem-se os resultados obtidos e apresentam-se as principais conclusões deste estudo.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Reforço; fundação; micro-estaca; ligação; aderência.

<sup>1</sup> ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Leiria, [veludo@estg.iplei.pt](mailto:veludo@estg.iplei.pt)

<sup>2</sup> ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, [ejulio@dec.uc.pt](mailto:ejulio@dec.uc.pt)

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, [ppinto@dec.uc.pt](mailto:ppinto@dec.uc.pt)

## **1. INTRODUÇÃO**

As micro-estacas têm sido utilizadas desde o início da década de 50 do século passado, tendo-se assistido, nos últimos anos, a um grande incremento da sua aplicação, quer como elementos de fundações novas, quer como reforço de fundações existentes, tornando-se cada vez mais competitivas por comparação com as soluções tradicionais. A utilização deste tipo de elementos é particularmente indicada para reforço de fundações em locais de difícil acesso, em espaços reduzidos e em situações em que a vibração admissível, induzida na estrutura ou em estruturas vizinhas, seja reduzida [1].

Um dos aspectos mais importantes quando se recorre a esta solução de reforço é a sua ligação à estrutura. As ligações entre as micro-estacas e a estrutura são variadas, dependendo dos seguintes factores: tipo de obra, tipo de fundação, tipo de solicitação, capacidade pretendida para a ligação, tipo de armadura utilizada e pormenores da ligação [1,2,3].

No caso de ligações a fundações de betão armado existentes recorre-se, normalmente, a uma amarração directa da armadura, através da selagem desta com calda de cimento num furo previamente executado. Complementarmente, é possível utilizar chapas soldadas ou aparafusadas no topo da micro-estaca para aumentar a capacidade de carga da ligação. O furo pode ser realizado por carotagem ou por percussão, com ou sem tratamento posterior da superfície (escova de aço ou denteação). Para melhorar a aderência da ligação tubo/calda é usual a colocação de anéis ou cintas metálicos soldados no tubo. Nestas situações, a transferência de carga da estrutura para a fundação é feita por aderência na interface betão / calda e na interface calda/armadura (varão, tubo).

Outro aspecto a ter em conta quando se opta por uma ligação micro-estaca / fundação existente, resulta do facto de as fundações não terem sido dimensionadas para transferir as cargas deste modo, podendo verificar-se uma insuficiência de armaduras longitudinais e transversais. Nestas situações, pode recorrer-se à colocação de armaduras pré-esforçadas, à colagem de polímeros reforçados com fibras de carbono, ao alargamento da fundação ou a outras soluções que garantam a segurança da ligação.[2]

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O conhecimento da tensão de rotura da aderência nas interfaces betão / calda e calda / armaduras é fundamental para o dimensionamento do reforço de fundações existentes com micro-estacas. No caso das micro-estacas serem seladas em furos previamente executados, a capacidade da ligação depende do diâmetro do furo, da resistência do betão da fundação existente e da calda de selagem utilizada [1].

O mecanismo de transferência de tensões por aderência entre as armaduras e o betão é conhecido, tendo sido objecto de variados estudos. Pelo contrário, o mecanismo de transferência de tensões da micro-estaca para a fundação ainda não se encontra totalmente esclarecido [4]. A transferência de uma força entre um varão de aço e o betão adjacente é conseguida por adesão, pela resistência das nervuras e por atrito entre o betão e o aço. É possível encontrar expressões em regulamentos e normas em vigor que permitem obter os valores de cálculo da tensão de rotura por aderência desta ligação.

De acordo com o REBAP [5], o Eurocódigo 2 [6] e o ACI 408R-03 [7] a tensão de rotura da aderência depende da classe do betão, das condições de envolvimento das armaduras e das características de aderência destas. O Eurocódigo 2 [6] apresenta, igualmente, uma expressão para o cálculo da resistência ao corte de interfaces entre betões de diferentes idades. Para interfaces sem armadura específica, a resistência ao corte depende das propriedades do betão, da rugosidade da superfície e das tensões normais aplicadas. Embora as expressões existentes permitam obter valores da tensão de rotura da aderência, assim como limites da resistência ao corte na interface betão / calda, não têm em conta o estado de tensão no interior do furo, nem o grau de confinamento da sapata, justificando-se plenamente o presente estudo.

A utilização de caldas de elevada resistência permite reduzir o comprimento de selagem de uma micro-estaca selada num furo previamente executado numa fundação existente, podendo ser utilizados comprimentos variando entre 15Ø a 20Ø, sendo Ø o diâmetro da armadura, valores esses inferiores aos recomendados pelos regulamentos e normas de betão armado [2].

GOMEZ e CADDEN [4] realizaram uma série de ensaios em blocos  $1200 \times 1200 \times 600 \text{ mm}^3$ , com micro-estacas com um diâmetro de 114 mm (tubo liso e texturado), seladas em furos previamente executados através de percussão. O valor da tensão de rotura da aderência na interface calda / tubo, para micro-estacas de tubo liso, variou entre 2,33 e 3,93 MPa, e, para tubo texturado, entre 4,79 e 6,10 MPa.

### 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

#### 3.1 Introdução

O estudo experimental, descrito neste artigo, foi desenvolvido com o objectivo de avaliar o comportamento à compressão e à tracção das ligações micro-estaca / fundação de betão armado existente, tendo sido desenvolvido em duas fases. Os parâmetros avaliados foram os seguintes: 1) rugosidade das paredes do furo; 2) diâmetro do furo executado na fundação; 3) comprimento de selagem da micro-estaca; 4) textura da armadura utilizada na micro-estaca; e 5) reforço activo ao confinamento lateral da fundação existente. Para além dos parâmetros em análise, os restantes foram mantidos constantes em todos os testes, incluindo a classe de betão, a calda utilizada, o método de furação e a direcção do carregamento.

A primeira fase consistiu na realização de trinta e quatro ensaios à compressão e, a segunda, na realização de trinta ensaios à tracção. Nestes ensaios foram utilizados blocos de betão com dimensões  $450 \times 450 \times 500 \text{ mm}^3$ . Vinte e oito dias após a betonagem, foram realizados furos com diferentes diâmetros e comprimentos, através de carotagem. As micro-estacas foram seladas nos furos previamente executados com calda de cimento.

#### 3.2 Materiais

##### 3.2.1 Betão

Para o fabrico dos blocos foi utilizado betão pronto. A composição do betão (por  $\text{m}^3$ ) é a indicada no Quadro 1.

Quadro 1. Composição do betão					
Cimento CEM II-42,5R [kg/m <sup>3</sup> ]	Água [l]	Areia [kg/m <sup>3</sup> ]		Brita [kg/m <sup>3</sup> ]	Adjuvante (Pozzolith) [%C]
		Areia 1	Areia 2		
80	180	250	710	880	1

Foram realizados ensaios à compressão em provetes cúbicos de 150 mm aos 1, 3, 7, 14, 21, 28, 56 e 90 dias. O valor nominal da tensão de rotura à compressão obtido aos 28 dias foi de 32,81 MPa. O valor do módulo de elasticidade estático, medido aos 28 dias em provetes prismáticos com dimensões  $150 \times 150 \times 600 \text{ mm}^3$ , foi de 35,19 GPa.

##### 3.2.2 Calda

No Quadro 2 é apresentada a composição da calda utilizada. De acordo com as Normas Europeias EN 445 [8], EN 447 [9] e EN 196-1 [10], foram realizados ensaios à compressão aos 1, 3, 7, 14, 21, 28, 56 e 90 dias. O valor nominal da resistência à compressão aos 28 dias foi de 49,48 MPa. O valor do módulo de elasticidade estático, medido aos 28 dias em provetes prismáticos com dimensões  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ , foi de 14,88 GPa. A massa volúmica determinada foi de 19,2 kN/m<sup>3</sup>. Foram ainda

realizados os seguintes ensaios, de acordo com a Norma Europeia EN 445 [8]: ensaio de exsudação, ensaio de variação de volume e ensaio de fluidez.

Quadro 2. Composição da calda

Cimento CEM I-42.5R ( $\text{kg/m}^3$ )	Água (l)	Adjuvantes		A/C (%)	Porcentagem de ar (%)	Fluidez (s)	V. de Volume (%)	Exsudação (%)
		Adj. 1 (%C)	Adj. 2 (%C)					
1326,9	530,4	1,0	1,0	0,40	1,5	11	0,0	0,45

### 3.2.3 Armaduras

Para a armadura das micro-estacas foi utilizada uma secção composta de tubo reforçado com um varão. Para os ensaios de compressão foi utilizado um tubo da classe API N80 com diâmetro de 60 mm e espessura 6 mm e, para os ensaios de tracção, utilizou-se um tubo da classe K55-J55 com diâmetro de 60 mm e espessura 5,5 mm. O tubo foi reforçado com um varão Dywidag da classe BSt 500, de diâmetro de 16 mm. No topo de cada micro-estaca foi soldada uma chapa metálica com uma geometria de 150×150×20 mm<sup>3</sup>. Em ambas as fases do estudo experimental foram utilizadas micro-estacas de superfície lisa e texturizada. A textura da superfície da micro-estaca foi obtida por soldadura de anéis metálicos com 5 mm de espessura e 5 mm altura. A soldadura dos anéis ao tubo foi realizada na parte superior dos anéis, para os ensaios de compressão e, na face inferior, para os ensaios de tracção. O espaçamento considerado dos anéis foi de 75 mm.

Nos ensaios de compressão foi colocada em cada bloco uma armadura constituída por uma malha ortogonal com varões de diâmetro 8 mm afastados de 75 mm e recobrimento de 50 mm.

### 3.4 Modelos utilizados

A Figura 1 ilustra as fases de fabrico dos blocos.



Figura 1. Preparação dos blocos a) cofragem; b) betonagem; c) carotagem; d) selagem das micro-estacas

Para os ensaios à compressão, a betonagem e a cura dos blocos foi realizada no interior do laboratório e, para os ensaios à tracção, a betonagem e a cura dos blocos foi realizada ao ar livre.

A Figura 2 ilustra as características geométricas dos blocos e os parâmetros avaliados neste estudo experimental.

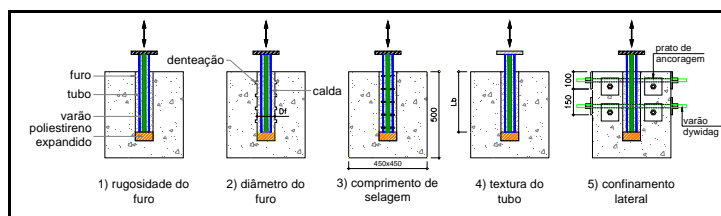


Figura 2. Características geométricas dos blocos e parâmetros avaliados

Foram considerados três diâmetros de furo e três comprimentos de selagem. Para os ensaios de compressão, consideraram-se três tipos de tratamento do furo: furo liso, tratamento com escova de aço e denteação (dentes com 10 mm de profundidade e 15 mm de altura, produzidos com equipamento desenvolvido especificamente para este fim). Para os ensaios de tracção apenas se considerou superfície do furo lisa e denteada. Nos ensaios em que foram utilizadas micro-estacas com superfície

texturada (anéis soldados), procedeu-se a um reforço activo do confinamento lateral dos blocos com quatro varões Dywidag BSt 500, com 16 mm de diâmetro, em cada uma das faces. Foram adoptados três níveis de confinamento, correspondendo à aplicação de uma carga de 30 kN, 45 kN e 60 kN. A ligação dos varões ao bloco foi realizada através de chapa com geometria 100×100×10 mm<sup>3</sup> e porcas hexagonais com dimensões 32×40 mm<sup>3</sup>. Nos ensaios de compressão, foi colocado na base de cada furo um disco de poliestireno expandido com 50 mm de espessura para permitir o deslizamento da micro-estaca.

No Quadro 3 é apresentado um resumo das características dos ensaios de compressão realizados.

Quadro 3. Resumo das características dos blocos ensaiados à compressão						
Bloco n°	Micro-estaca	Superfície do tubo	Diâmetro do furo (mm)	Superfície do furo	Comp. selagem (mm)	Confinamento
C 1-2	Tubo+varão	Lisa	102	Lisa	350	Não
C 3-4	Tubo+varão	Lisa	102	Rugosa	350	Não
C 5-6	Tubo+varão	Lisa	102	Denteada	350	Não
C 7-8	Tubo+varão	Texturada	102	Denteada	350	Não
C 9-10	Tubo+varão	Texturada	102	Rugosa	350	Nível 1
C 11-12	Tubo+varão	Texturada	102	Denteada	350	Nível 1
C 13-14	Tubo+varão	Texturada	102	Rugosa	350	Não
C 17-18	Tubo+varão	Texturada	102	Denteada	350	Nível 2
C 19-20	Tubo+varão	Texturada	102	Denteada	350	Nível 3
C 21-22	Tubo+varão	Lisa	92	Rugosa	350	Não
C 23-24	Tubo+varão	Texturada	92	Rugosa	350	Nível 1
C 25-26	Tubo+varão	Lisa	122	Rugosa	350	Não
C 27-28	Tubo+varão	Texturada	122	Rugosa	350	Nível 1
C 29-30	Tubo+varão	Lisa	102	Rugosa	275	Não
C 31-32	Tubo+varão	Texturada	102	Rugosa	275	Nível 1
C 33-34	Tubo+varão	Lisa	102	Rugosa	200	Não
C 35-36	Tubo+varão	Texturada	102	Rugosa	200	Não

No Quadro 4 é apresentado um resumo das características dos ensaios de tracção realizados.

Quadro 4. Resumo das características dos blocos ensaiados à tracção						
Bloco n°	Micro-estaca	Superfície do tubo	Diâmetro do furo D <sub>f</sub> (mm)	Superfície do furo	Comp. selagem Lb (mm)	Confinamento
T 1-2	Tubo+varão	Lisa	102	Lisa	300	Não
T 3-4	Tubo+varão	Lisa	102	Denteada	300	Não
T 5-6	Tubo+varão	Texturada	102	Lisa	300	Nível 2
T 7-8	Tubo+varão	Texturada	102	Denteada	300	Nível 1
T 9-10	Tubo+varão	Texturada	102	Denteada	300	Nível 2
T 11-12	Tubo+varão	Texturada	102	Denteada	300	Nível 3
T 13-14	Tubo+varão	Lisa	102	Lisa	225	Não
T 15-16	Tubo+varão	Texturada	102	Lisa	225	Nível 2
T 17-18	Tubo+varão	Lisa	102	Lisa	150	Não
T 19-20	Tubo+varão	Texturada	102	Lisa	150	Nível 2
T 21-22	Tubo+varão	Lisa	92	Lisa	300	Não
T 23-24	Tubo+varão	Texturada	92	Lisa	300	Nível 2
T 25-26	Tubo+varão	Lisa	122	Lisa	300	Não
T 27-28	Tubo+varão	Texturada	122	Lisa	300	Nível 2
T 29	Tubo+varão	Lisa	102	Lisa	300	Não
T 30	Tubo+varão	Texturada	102	Denteada	300	Nível 2

Os ensaios de compressão foram realizados numa prensa AMSLER de 500 tf, com controlo de deformação. Foi adoptada uma velocidade 0,025 kN/s. Para medir a carga aplicada foram utilizadas células de carga TML CLC 100. Para medir o deslocamento relativo entre a base do prato da micro-



#### 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Apresentam-se valores médios da tensão de aderência, calculados considerando o comprimento de selagem em cada ensaio. Da análise dos ensaios instrumentados, verificou-se que o valor da tensão de aderência decrescia ao longo do comprimento de selagem, desde um valor máximo, observado no topo do bloco, até um valor mínimo, observado na base da micro-estaca. Com o propósito de interpretar e comparar os resultados obtidos, o valor médio da tensão de aderência nos blocos com micro-estaca de superfície lisa foi calculado na interface calda/tubo (onde se verificou a rotura), enquanto nos blocos com micro-estaca com superfície texturada foi calculado no perímetro dos anéis. Cada ponto dos gráficos seguintes representa a média de dois ensaios com as mesmas características. Os resultados obtidos indicam que a rotura se verificou na interface calda / tubo para micro-estaca com superfície lisa e na interface calda / betão para tubo texturado, tanto nos ensaios de compressão como nos ensaios de tracção.

O tratamento da superfície do furo não tem influência no valor da tensão de rotura da aderência para micro-estacas com tubo liso, devido ao facto de a rotura, nestas situações, ser na interface calda/tubo (ver Figuras 7 e 8). No caso de micro-estacas com anéis soldados na superfície do tubo verifica-se que a denteação da superfície do furo aumenta a capacidade resistente da ligação (ver Figuras 9 e 10).

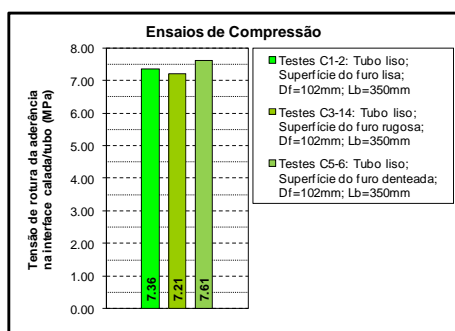


Figura 7. Relação entre a tensão de aderência e a rugosidade do furo para tubos lisos nos ensaios de compressão

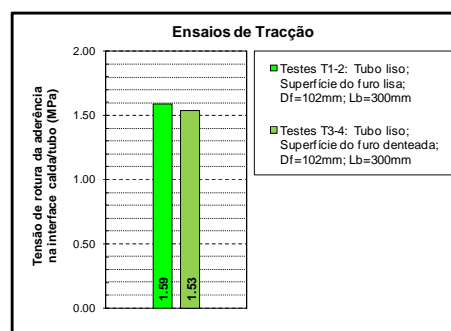


Figura 8. Relação entre a tensão de aderência e a rugosidade do furo para tubos lisos nos ensaios de tracção

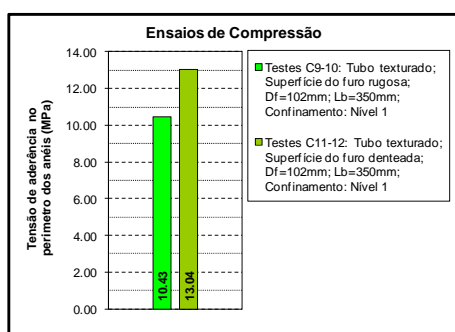


Figura 9. Relação entre a tensão de aderência e a rugosidade do furo para tubos texturados nos ensaios de compressão

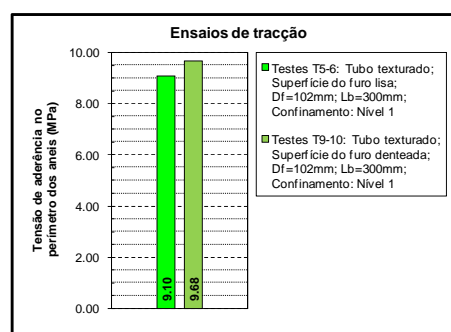


Figura 10. Relação entre a tensão de aderência e a rugosidade do furo para tubos texturados nos ensaios de tracção

O diâmetro do furo tem uma influência significativa na capacidade resistente, verificando-se um aumento dessa capacidade para diâmetros do furo menores, sendo as maiores diferenças verificadas nos ensaios de compressão (ver Figuras 11 a 14). Os resultados dos ensaios de tracção com diâmetros de furos de 92 mm não foram conclusivos, tendo havido uma grande disparidade entre os dois ensaios realizados para cada situação.

As Figuras 15 a 18 ilustram a relação comprimento de selagem/tensão de aderência para micro-estacas com tubo liso e com tubo texturado seladas em furos com diâmetro de 102 mm. Os resultados indicam que a tensão de aderência diminui com a diminuição do comprimento de selagem.

# A Influência de Diferentes Parâmetros no Comportamento da Ligação entre Fundações Existentes de Betão Armado e Micro-estacas de Reforço

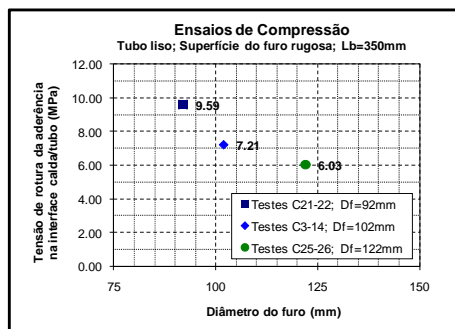


Figura 11. Relação entre a tensão de aderência e o diâmetro do furo para tubos lisos nos ensaios de compressão

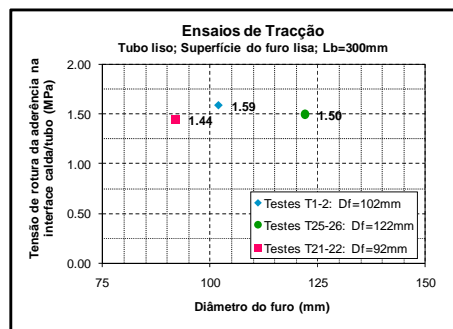


Figura 12. Relação entre a tensão de aderência e o diâmetro do furo para tubos lisos nos ensaios de tracção

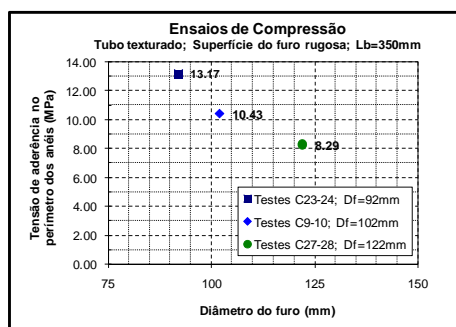


Figura 13. Relação entre a tensão de aderência e o diâmetro do furo para tubos texturados nos ensaios de compressão

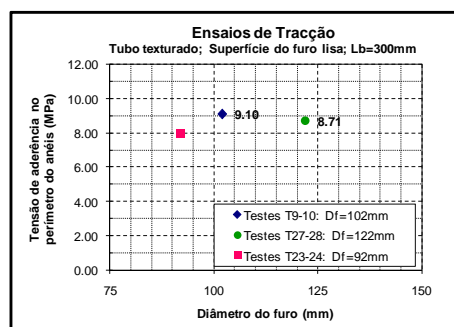


Figura 14. Relação entre a tensão de aderência e o diâmetro do furo para tubos texturados nos ensaios de tracção

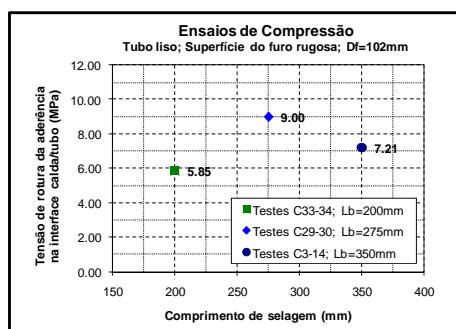


Figura 15. Relação entre a tensão de aderência e o comprimento de selagem para tubos lisos nos ensaios de compressão

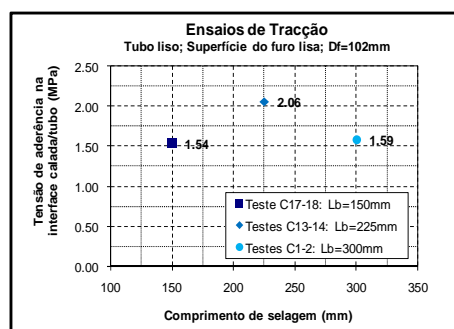


Figura 16. Relação entre a tensão de aderência e o comprimento de selagem para tubos lisos nos ensaios de tracção

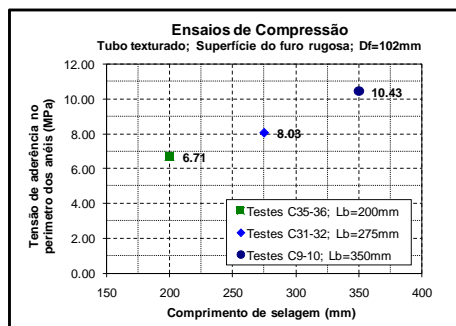


Figura 17. Relação entre a tensão de aderência e o comprimento de selagem para tubos texturados nos ensaios de compressão

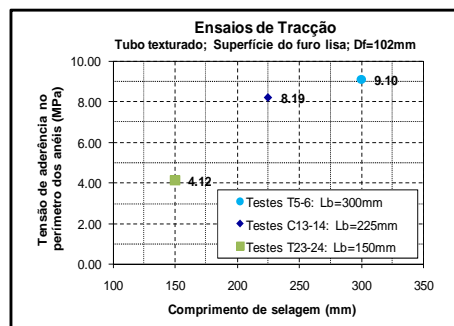


Figura 18. Relação entre a tensão de aderência e o comprimento de selagem para tubos texturados nos ensaios de tracção

As Figuras 19 e 20 ilustram a relação entre a tensão de aderência e o nível de confinamento inicial dos blocos. Os resultados obtidos indicam um aumento da tensão de aderência com o nível de confinamento.

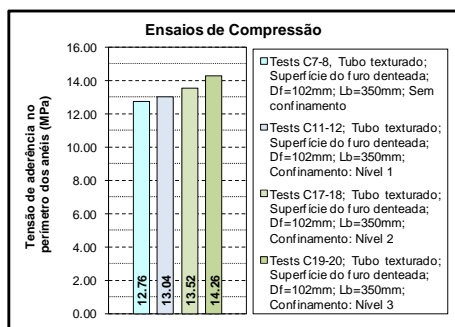


Figura 19. Relação entre a tensão de aderência e o nível de confinamento para tubos texturados nos ensaios de compressão

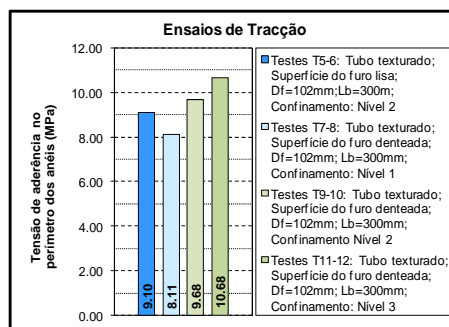


Figura 20. Relação entre a tensão de aderência e o nível de confinamento para tubos texturados nos ensaios de tracção

As Figuras 21 e 22 ilustram a relação carga / deslocamento obtida nos ensaios de compressão e tracção realizados com tubos texturados, com superfície do furo denteada e em blocos confinados (Nível 3). Nos ensaios de compressão com blocos confinados verificou-se uma rotura dúctil e nos ensaios de tracção com blocos confinados uma rotura frágil com perda total de resistência da ligação. Esta tendência verificou-se em todos os ensaios realizados.

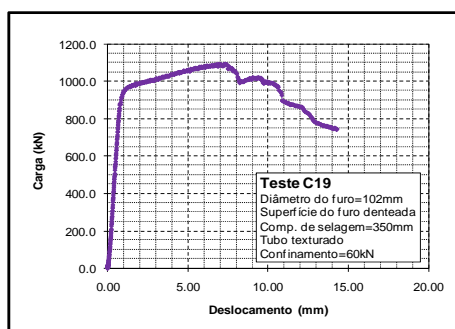


Figura 21. Relação carga/deslocamento no ensaio de compressão C19

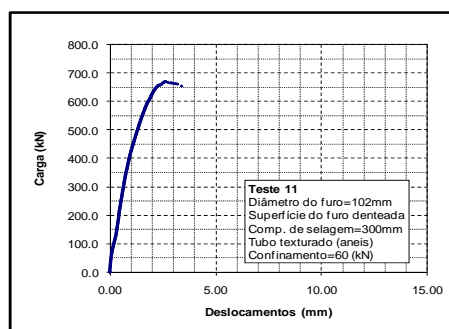


Figura 22. Relação carga/deslocamento no ensaio de tracção T11

Nos ensaios de compressão e tracção realizados com tubos lisos verificou-se uma rotura frágil com uma resistência residual significativa após a rotura.

A resistência da ligação nos ensaios de compressão foi significativamente mais elevada do que nos ensaios de tracção. Isto deve-se ao facto de se terem utilizado tubos rugosos nos ensaios de compressão enquanto que nos ensaios de tracção foram utilizados tubos completamente lisos. Outro aspecto importante tem a ver com a denteação realizada. Nos ensaios de compressão com tubos texturados foram executados cinco dentes na superfície do furo enquanto que nos ensaios de tracção apenas se executaram três. Outro factor que influencia os resultados obtidos é a flexão do bloco. No caso dos ensaios de compressão a flexão provoca compressões na zona superior do bloco enquanto que nos ensaios de tracção provoca tracções.

## 5. CONCLUSÕES

A rugosidade da superfície do furo não tem influência na tensão de rotura da aderência nos ensaios realizados com tubos lisos, já que a rotura ocorre na interface calda/tubo. No caso de ensaios realizados com tubos texturados, a execução de denteação na superfície do furo aumenta a tensão de rotura da aderência.

O diâmetro do furo parece ter uma influência significativa na capacidade resistente. Os resultados obtidos indicam um aumento da capacidade resistente para diâmetros do furo menores, tanto à compressão como à tracção.

Nos ensaios realizados com tubo liso, a tensão de rotura da aderência não é influenciada pelo comprimento de selagem. No caso dos ensaios realizados com tubo texturado, a capacidade resistente da ligação aumenta com o comprimento de selagem.

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão indicam tipos de rotura diferentes em função da superfície da micro-estaca: rotura frágil, para micro-estaca com superfície lisa, e rotura dúctil, para micro-estaca com superfície texturada. Em ambas as situações, o valor da tensão de aderência residual é significativa. No caso dos ensaios de tracção observou-se sempre rotura frágil com perda total da capacidade resistente da ligação nos ensaios com tubos texturados.

O valor da tensão de aderência aumenta com o aumento do nível de confinamento. Nos ensaios de compressão com tubos texturados, o reforço activo ao confinamento reduz significativamente a fendilhação dos blocos e aumenta a ductilidade da ligação.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi possível graças à colaboração das seguintes empresas: Dywidag, Sika, Hilti e Secil.

## **REFERÊNCIAS**

- [1] ARMOUR, T. et al., "*FHWA-SA-97-070 - Micropile Design and Construction Guidelines - Implementaion manual*", Federal Highway Administration - US Department of Transportation, 2000.
- [2] CYNA, H. et al., "*FOREVER: Synthèse des résultats et recommandations du project national sur les micropieux (1999-2003)*", IREX, 2002, p. 347.
- [3] RASINES, J.M.E., "*Conexión de micropilotes a estructuras*", in Jornadas técnicas SEMSIG-AETESS. 3ª Sesión : Micropilotes 2003, p. 131-141.
- [4] GÓMEZ, J. e CADDEN, A., "*Connection capacity between micropiles and existing footings-bond strength to concrete*", in 7th International Workshop on Micropiles, 2006, Schrobenuhausen, Germany.
- [5] REBAP, "*Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado*", Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1983.
- [6] CEN, "*EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*", European Committee for Standardization (CEN), 2004.
- [7] ACI, "*ACI 408R-03: Bond Development of Straight Reinforcing Bars in Tension*", in ACI Commimtee 408 Report, American Concrete Institute, Detroit, MI, 2003.
- [8] IPQ, "*NP EN 445: Caldas de injeccção para armaduras de pré-esforço. Métodos de ensaio*", Instituto Português da Qualidade, 2000.
- [9] IPQ, "*NP EN 447: Caldas de injeccção para armaduras de pré-esforço. Especificações para caldas correntes*", Instituto Português da Qualidade, 2000.
- [10] IPQ, "*NP EN 196-1: Métodos de ensaios de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas*", Instituto Português da Qualidade, 1996.