

# ANCORAGENS DE PRÉ-ESFORÇO POR ADERÊNCIA: EXPLORAÇÃO DE UMA NOVA SOLUÇÃO

## PRESTRESSING ANCHORAGES BY BONDING: SEARCH OF A NEW SOLUTION

H. Fernandes<sup>1</sup>, V. Lúcio<sup>2</sup>, D. Faria<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Aluno de Doutoramento em Engenharia Civil da FCT - Universidade NOVA de Lisboa, Bolseiro da Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

<sup>2</sup> Professor Associado do Dep. de Eng. Civil da FCT - Universidade NOVA de Lisboa, UNIC – Centro de Investigação em Estruturas e Construção da UNL.

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Civil pela Universidade NOVA de Lisboa, Bolseiro de pós-doutoramento na École Polytechnique Fédérale de Lausanne.



### RESUMO

*O uso de cordões de aço de alta resistência no reforço por pré-esforço de estruturas de betão é recorrente devido ao seu efeito de reforço ativo. O reforço com pré-esforço é eficiente não só para efeitos dos Estados Limite Últimos, mas também em relação aos Estados Limite de Utilização. Em 2007 foi patenteado um sistema de ancoragem de pré-esforço por aderência, o qual foi posteriormente desenvolvido e aplicado ao reforço de lajes fungiformes. Com o objetivo de desenvolver novos sistemas de ancoragem mais eficientes, foi realizada uma campanha experimental de ancoragens híbridas, por aderência associada a efeitos mecânicos. Estes ensaios consistiram no arrancamento dos cordões selados no betão.*

### ABSTRACT

*Prestressing strands are being used in the retrofitting of concrete structures because of its active effect. The retrofitting with prestressing is efficient not only for the Ultimate Limit States but also for the Service Limit States. In 2007 an anchorage system with anchorages by bonding was patented, which was further developed and applied to the strengthening of flat slabs. Aiming to develop new systems for more efficient anchorages, an experimental campaign on hybrid anchorages, using bonding associated with mechanical effects, was performed. These tests consisted in pullout of strands sealed in concrete.*

## 1. INTRODUÇÃO

As zonas de ancoragem de pré-esforço em estruturas de betão possuem elevada importância pois garantem a integridade estrutural, apesar de estarem sujeitas a elevados gradientes de tensões devido à concentração das forças de pré-esforço e ao

seu elevado valor. Em elementos pós-tensionados a solução de ancoragem passa pela adoção de cabeças metálicas de ancoragem, que no caso do reforço por pós-esforço são muitas vezes elementos salientes da superfície, sendo pouco funcionais quer do ponto de vista estético quer do espaço ocupado. Uma solução

alternativa passa pelo embebimento da ancoragem no interior dos elementos, de modo semelhante ao caso de elementos pré-tensionados, através do embebimento dos cordões de aço com um agente de aderência. A pós-instalação de varões de aço (armaduras passivas) está caracterizada na literatura, assim como os possíveis mecanismos de rotura (Cook et al. 1991 e 1998).

As principais diferenças quando se consideram cordões de aço consistem na sua forma helicoidal (seis dos fios enrolados num fio central), a sua superfície lisa e as elevadas forças a que estão sujeitos. As principais características do comportamento e a capacidade resistente de cordões de aço ancorados utilizando um agente de aderência de base cimentícia estão identificadas e caracterizadas (Janney, 1954; Laldji, 1988), sendo semelhantes à solução do pré-esforço por pré-tensão, com os cordões embebidos diretamente no betão. O mecanismo resistente ilustrado na Figura 1 permite observar a transmissão das forças do cordão para o material base através do agente de aderência.

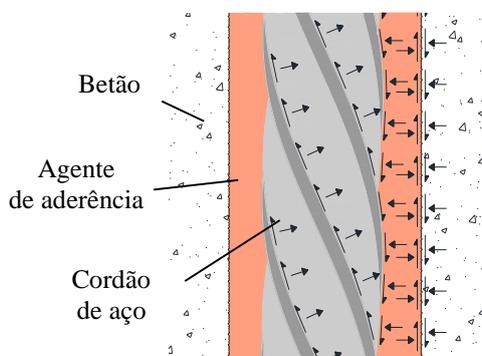


Fig. 1 – Mecanismo resistente para ancoragens de cordões pós-instalados.

Na análise destas ancoragens é normalmente usado um modelo de tensões de aderência uniformes ao longo do comprimento da ancoragem (Cook et al. 1998; Faria et al. 2011).

Faria et al. (2011) desenvolveu a solução de ancoragem de cordões de sete fios de aço de alta resistência com recurso a um agente de aderência epoxídico, tendo registado valores de tensão limite de aderência sem

deslizamento da ordem dos 6,0 MPa, cerca metade da tensão máxima de aderência da ancoragem, aproximadamente 12,0 MPa. O mesmo autor concluiu que para este tipo de ancoragem, com o agente de aderência usado, o modo de rotura por plastificação do cordão apenas ocorria para comprimentos de ancoragem superiores a 550 mm. Para ancoragens curtas, o modo de rotura predominante foi o deslizamento do cordão pela interface aço-resina.

Para efeitos da utilização destas ancoragens no reforço por numa solução de reforço por pré-esforço, realizou também ensaios de fluência com comprimentos de 400mm e 600mm selados com o mesmo agente de aderência, tendo concluído que a força na ancoragem estabiliza após uma perda de 13% da força inicial.

O mecanismo resistente das ancoragens por aderência deste tipo de cordões possui três componentes principais, referidas por Janney (1954) e ilustradas na Figura 2: adesão, atrito e ação mecânica.

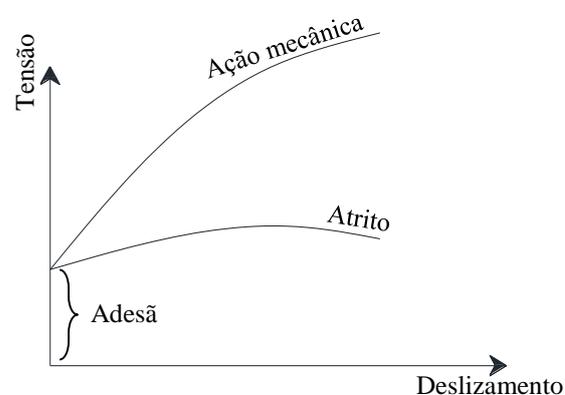


Fig. 2 – Componentes do mecanismo resistente de cordões de aço.

A primeira consiste no interbloqueamento microscópico da rugosidade da superfície de aço do cordão e da matriz resistente do cimento do betão ou do agente de aderência, geralmente sem deslizamento ou muito reduzido (Janney, 1954). A segunda ocorre como consequência das tensões radiais da ancoragem influenciadas pelo efeito de “Hoyer” quando existe deslizamento do cordão. A terceira, como consequência da forma dos cordões, consiste na restrição à rotação de torção

livre do cordão com o aumento da tensão instalada, pelo betão ou pelo agente de aderência entre os fios exteriores. De notar que quando a adesão é vencida, o atrito e a ação mecânica mantêm-se até à rotura da ancoragem.

O confinamento da zona de ancoragem é conhecido por aumentar a performance das ancoragens, sendo uma das principais soluções a analisar neste trabalho. Este pretende reduzir as tensões radiais no betão, ou no agente de aderência, controlando a propagação de fendas transversais à ancoragem ou o *splitting* do betão. Pode ser mobilizado, segundo Fusco (2000), através dos três mecanismos principais ilustrados na Figura 3: aplicação de uma pressão exterior na ancoragem (a), armadura helicoidal (b) ou transversal (c) a envolver a ancoragem.

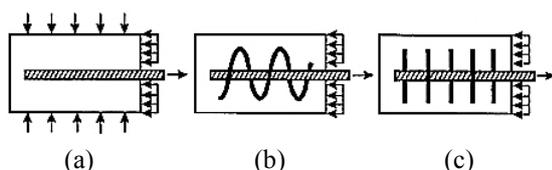


Fig. 3 – Soluções para o confinamento de ancoragens, segundo Fusco (2000).

Devido à superfície lisa dos fios de aço, a aderência depende sobretudo da adesão ao agente de aderência, podendo este parâmetro ser alterado aumentando a área de contacto entre os dois materiais ou alterando as condições da interface onde a rotura é esperada. Uma solução possível para aumentar a aderência consiste na aplicação de um segundo agente com boa performance na superfície do aço, que seja quimicamente compatível com o agente de aderência a utilizar.

Assim, foram consideradas cinco soluções para aumentar a eficiência da ancoragem por aderência: o confinamento da ancoragem com tubos ou espirais de aço envolvendo o cordão, a redução localizada do furo de embestimento do cordão, o aumento localizado do diâmetro nominal do cordão e, por último, a aplicação de um segundo agente na superfície do cordão.

## 2. SOLUÇÕES ENSAIADAS

Foram ensaiadas cinco soluções de ancoragem, com 150 mm de comprimento. Nestes ensaios foi usado o agente de aderência utilizado por Faria et al (2011) HILTI HIT-RE500.

Para o confinamento da zona da ancoragem foram usados elementos metálicos, conforme ilustram as Figuras 4 e 5. A adição de um tubo de aço (TUB) ou de uma cinta helicoidal em fio aço (SPR) pretende promover o confinamento armando o agente de aderência e limitando a propagação de eventuais fendas radiais.



Fig. 4 – Tubo de aço como elemento de confinamento (TUB).



Fig. 5 – Cinta helicoidal de aço como elemento de confinamento (SPR).

Outra solução de confinamento consistiu na redução localizada do diâmetro do furo de 25mm para 18mm, como ilustrado na Figura 6, que resulta numa concentração de tensões radiais de compressão nessa zona, de direção oposta à da força aplicada no cordão.

Num segundo grupo de soluções realizou-se uma intervenção direta ao nível da interface aço-resina. Numa solução alterou-se a superfície de contacto entre os dois materiais, através do aumento localizado do diâmetro nominal do cordão. Esta (PHI) é materializada com recurso a espaçadores metálicos cilíndricos inseridos entre os fios de aço exteriores, conforme o esquema da Figura 7.

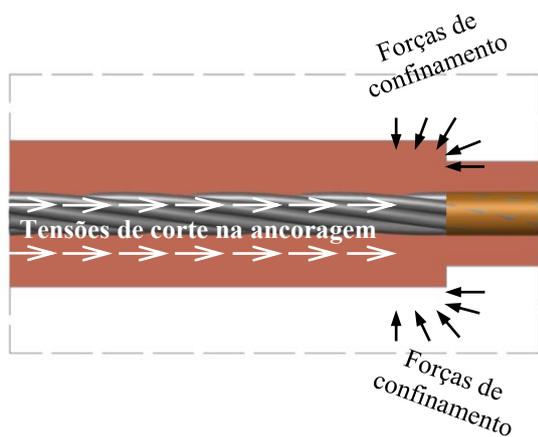


Fig. 6 – Forças de confinamento na ancoragem (ESP).



Fig. 7 – Aumento localizado no diâmetro nominal do cordão de aço (PHI).

Noutra solução adicionou-se um segundo agente DELO METALIX S à superfície do cordão (RES), de acordo com o esquema da Figura 8, o qual possui uma adesão a elementos metálicos superior à do agente HILTI HIT-RE500, e é compatível com este, permitindo assim aumentar a tensão limite da adesão.

### 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

#### 3.1 Caracterização dos materiais

Os cordões de aço de alta resistência utilizados neste trabalho possuíam sete fios de aço, com superfície lisa e 5,0 mm de diâmetro, onde seis fios se enrolam num fio central, resultando num diâmetro nominal de 15,2 mm e um passo de hélice de 220 mm. Os cordões foram ensaiados para caracterização do seu comportamento e capacidade resistente de acordo com a norma E453:2002 do LNEC (2002), que permitiu determinar a relação tensão-deformação dos cordões (Figura 9).

Na figura estão representados os cordões de referência e os cordões “alargados”, cu-



Fig. 8 – Adição de um segundo agente de aderência na interface (RES).

jo diâmetro foi aumentado localmente com recurso a espaçadores metálicos para a solução “PHI” (ver Figura 10).

Os cordões de referência apresentam uma tensão limite de proporcionalidade a 0,1% de 1699 MPa e uma tensão máxima na rotura de 1947 MPa. O módulo de elasticidade avaliado foi de 196,1GPa. Para os cordões alargados localmente para um diâmetro de 21,1 mm, os valores de tensão limite de proporcionalidade a 0,1% e máxima foram semelhantes aos dos cordões de referência, com uma redução de 8,5% no valor do módulo de elasticidade para 179,4 GPa.

Para caracterizar o betão dos blocos onde se chumbaram os cordões foram realizados ensaios de compressão simples de provetes cú-

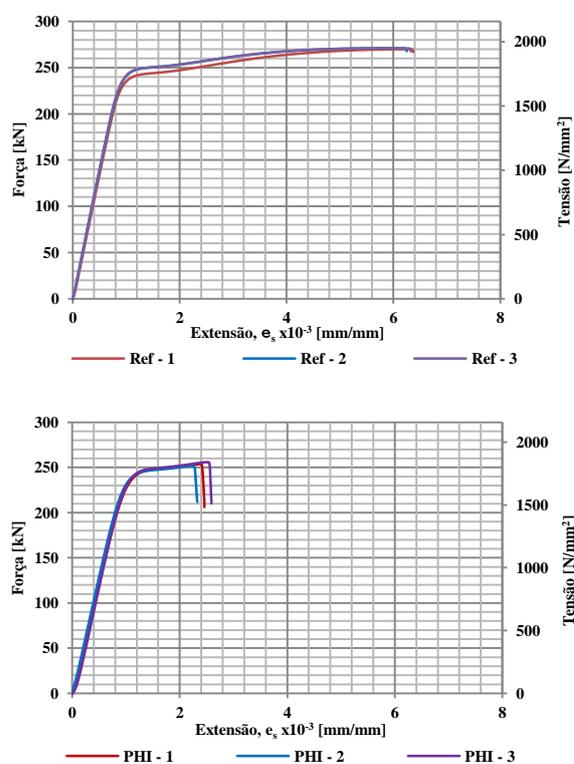


Fig. 9 – Relação tensão-deformação dos cordões de referência (em cima) e dos cordões “alargados” (em baixo).



Fig. 10 – Alargamento do cordão e colocação de espaçadores metálicos.

bicos de 150 mm de aresta, aos 56 dias de idade, tendo-se obtido uma tensão média de 32,4 MPa.

Para a caracterização do agente de aderência foram realizados ensaios de flexão de três pontos e de compressão simples, de acordo com as normas RILEM PCM-8 (1995) e RILEM PC-5 (1995), em provetes prismáticos com 40 mm de aresta e 160 mm de comprimento. Foi respeitado um tempo de cura de pelo menos 24 horas de acordo com a ficha técnica do fabricante. Obtiveram-se os seguintes valores médios para as resistências de compressão e de tração por flexão, respetivamente:  $f_{pc} = 118,4$  MPa;  $f_{pct} = 35,8$  MPa.

### 3.2 Sistema de ensaio

Os cordões de aço foram chumbados em blocos de betão com  $600 \times 600 \times 800 \text{ mm}^3$ , com recurso a um agente de aderência epoxídico HILTI HIT-RE500. O sistema de ensaio, ilustrado na figura 11, consistiu num cordão com 1,50m de comprimento, perfis metálicos RHS150x150x10 para apoio de uma viga composta por dois perfis UPN100, onde se apoiou o macaco hidráulico de 300kN ENERPAC RRH307 para aplicação da força no cordão, e uma célula de carga TML-CLC300KNA para monitorização da carga durante o ensaio.

O deslizamento da ancoragem foi medido com recurso a dois defletómetros TML-CDP100 instalados diametralmente ao eixo do cordão, apoiados num disco metálico.

A aplicação da força na ancoragem foi controlada através da central hidráulica WALTER + BAI PKNS 19 D e *software*

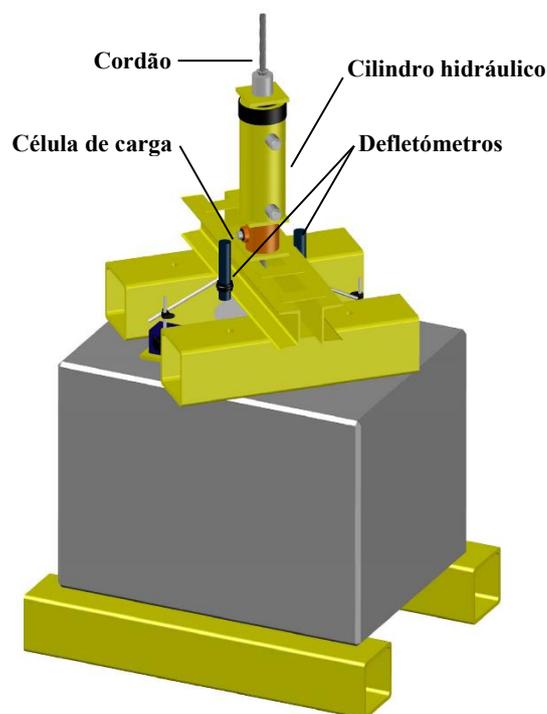


Fig. 11 – Esquema geral do sistema de ensaio de arrancamento dos cordões de aço.

W+B PROTEUS. Os dados de força e deslocamento foram registados com recurso a unidades *datalogger* HBM SPIDER 8 ligadas a *software* CATMAN 4.0.

### 3.3 Preparação dos ensaios

Os furos foram executados nos blocos de betão com uma broca HILTI TE-XY e limpos. De acordo com cada solução, foi colocado o cordão de aço, sendo este selado no fundo com betume de pedra. A injeção do agente de aderência foi realizada de baixo para cima.

Os cordões da solução PHI foram alargados com o auxílio de espaçadores de 4 mm de diâmetro, como mostra a Figura 12, ficando o cordão com um diâmetro variável, com um máximo de 21,1 mm, ao longo de um comprimento de 150 mm.

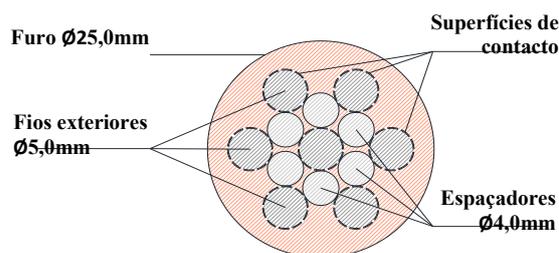


Fig. 12 – Esquema da secção dos cordões na zona do alargamento.

#### 4. RESULTADOS

Em todos os ensaios, incluindo na solução RES, o mecanismo de rotura ocorreu por deslizamento do cordão na interface aço-resina.

Analisando o aspeto das ancoragens após os ensaios observa-se que a resina preencheu corretamente o espaço entre o cordão e a superfície do furo, apenas pontualmente surgindo uma bolha de ar como ilustrado na Figura 13. Apesar da dificuldade de garantir que o cordão estava centrado no furo, considerou-se aceitável a pequena excentricidade observada.

A descoloração pontual observada na resina permitiu identificar as zonas mais solicitadas e atestar a natureza da rotura, como ilustrada a Figura 14. Este fenómeno foi especialmente observado na solução PHI onde a resina entre os fios exteriores apresenta esta descoloração.

A tensão de aderência  $\tau$  na ancoragem foi considerada para a superfície de rotura observada e considerando uma distribuição uniforme ao longo do comprimento da ancoragem  $l_a$ . O deslocamento foi quantificado subtraindo ao deslocamento medido no topo dos blocos a deformação elástica do cordão no comprimento não aderente (Eq. 1), onde  $\delta$  é o deslizamento da ancoragem,  $l_{\text{não-aderente}}$  o comprimento não aderente do cordão entre a ancoragem e o topo dos blocos,  $A_p$  é a área nominal do cordão e  $E_p$  o respetivo módulo de elasticidade.

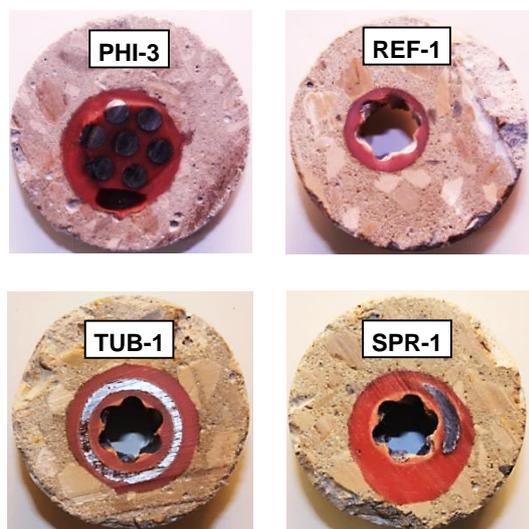


Fig. 13 – Aspeto e particularidades das ancoragens após os ensaios de arrancamento.

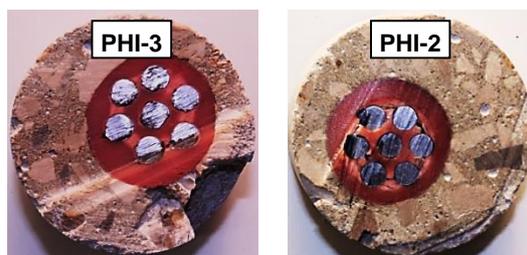


Fig. 14 – Descoloração da resina devido a tensões elevadas.

$$\delta = \Delta l_{\text{topo}} - \frac{F_{PO} \times l_{\text{não-aderente}}}{A_p \times E_p} \quad (1)$$

A relação tensão-deslizamento para a solução de referência (REF) está representada na Figura 15.a, servindo de comparação para as restantes soluções. Para a solução com o diâmetro variável do furo (Figura 15.b) são apresentados os resultados de uma ancoragem com alargamento concêntrico do furo (ESP-1) e excêntrico (ESP-2 e ESP-3). O primeiro resultou num comportamento e capacidade resistente semelhantes à ancoragem de referência, enquanto os restantes apresentam uma redução da performance da ancoragem. Constata-se assim que o comportamento da ancoragem não depende sobremaneira da espessura do agente de aderência, tal como já constatado por Cook et al. (1991) e Krishnamurty (1996).

A relação entre a tensão-deslizamento da solução TUB resultou numa ligação mais frágil, como mostra a Figura 15.c. Observando os resultados da solução SPR (Figura 15.d), pode-se concluir que foi das soluções de confinamento a que resultou no maior aumento da performance da ancoragem, com uma maior tensão de aderência na rotura, maior deslizamento e, consequentemente, comportamento mais dúctil.

As soluções com alteração direta da interface aço-resina resultaram na maior alteração do comportamento, ilustrado na Figura 16, tendo inclusive resultado na maior tensão de adesão e na maior tensão máxima na rotura. Para a solução PHI foram realizados seis ensaios, dado que esta foi a solução que maiores alterações introduziu na ancoragem, e foi também a que resultou na melhor performance de to-

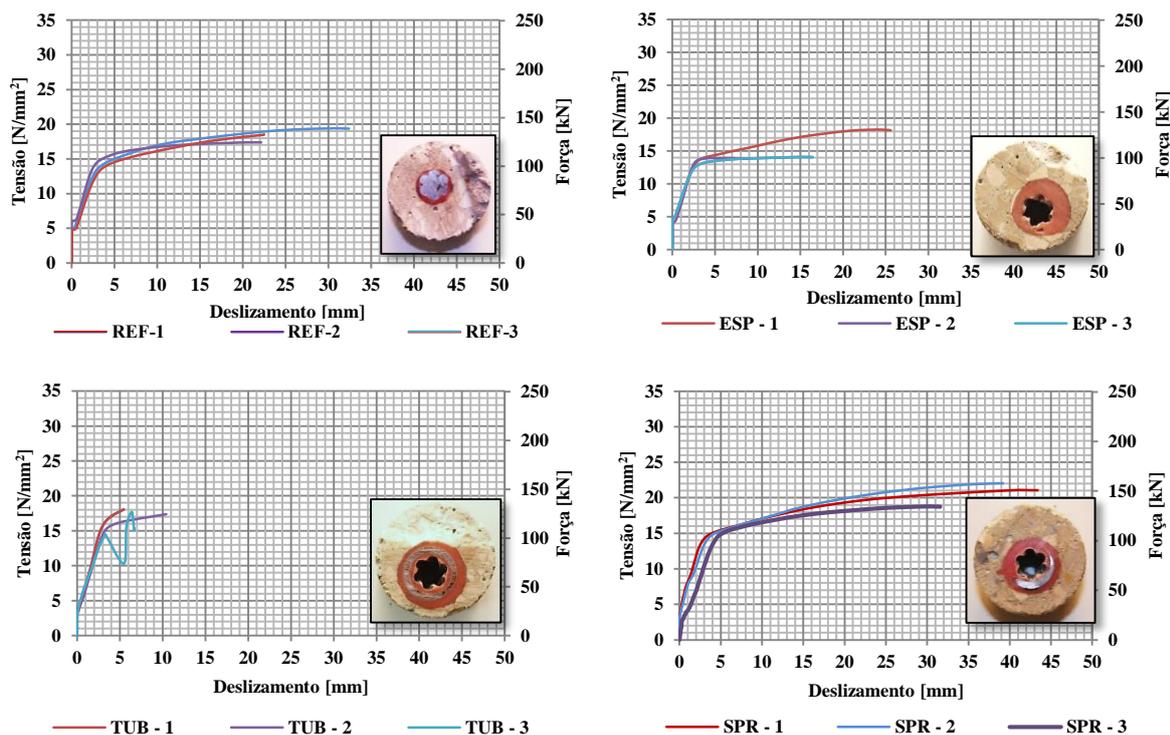


Fig. 15 – Relação tensão-deslizamento para: (a) a ancoragem padrão REF e soluções de confinamento (b) ESP, (c) TUB e (d) SPR.

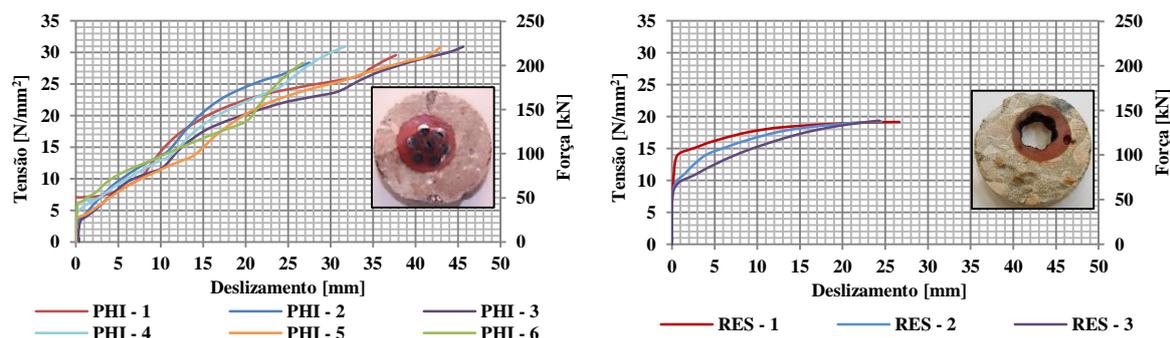


Fig. 16 – Relação tensão-deslizamento para as ancoragens com alteração da interface: (a) PHI e (b) RES.

das as soluções consideradas. Analisando a relação tensão-deslizamento pode-se observar uma substancial alteração do comportamento após atingir o limite de adesão. A tensão máxima na rotura e o respectivo deslizamento resultaram nos maiores valores de todas as soluções. O aumento da capacidade resistente após o limite de adesão foi acompanhado de uma rigidez constante.

Analisando os resultados para a solução RES observa-se um ligeiro incremento da capacidade resistente da ancoragem. A maior diferença de comportamento da ancoragem residiu no limite da componente de adesão, tendo mobilizado tensões da ordem do dobro da solução de referência para este limite.

Contabilizando todas as soluções, foi possível categorizar um comportamento específico para cada solução de ancoragem através da divisão da relação tensão-deslizamento em três troços para as soluções de referência e de confinamento, e em dois troços para as soluções com alteração das condições da interface, como ilustrado na Figura 17.

Da observação dos resultados obtidos foi possível identificar um padrão no comportamento das ancoragens sem alteração das condições da interface, ilustrado na Figura 18, que se consegue relacionar diretamente com as três componentes do mecanismo resistente das ancoragens pós-instaladas, adesão, atrito e ação mecânica.

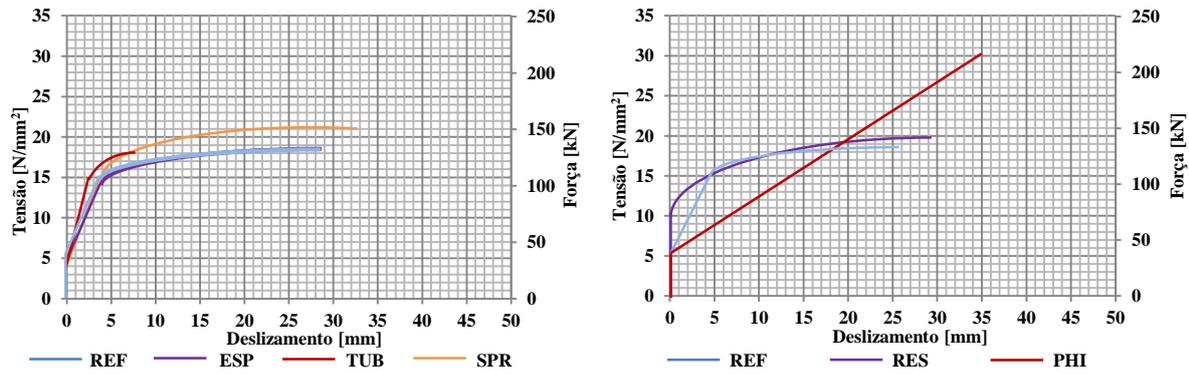


Fig. 17 – Relação entre tensão e deslizamento característica para cada solução (valores médios).

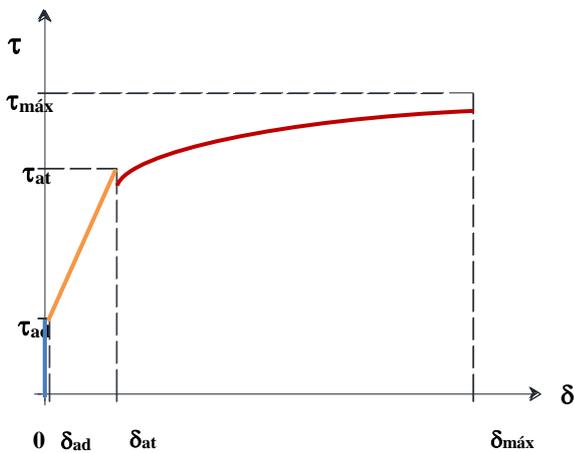


Fig. 18 – Modelo de comportamento característico das ancoragens sem alteração da interface.

Estas componentes sucedem-se pela mesma ordem, de acordo com a divisão:

$0 < \delta \leq \delta_{ad}$  – Inicialmente identifica-se um troço de rigidez quase infinita, que se caracteriza pela deformação conjunta, elástica do cordão e do agente de aderência, considerada até um deslizamento de 0,1mm;

$\delta_{ad} < \delta \leq \delta_{at}$  – Segue-se um troço aproximadamente linear, correspondendo à componente de atrito, sendo que este surge devido à ação mecânica de torção do cordão, até valores da tensão entre 13 e 15MPa;

$\delta_{at} < \delta \leq \delta_{máx}$  – O último troço é caracterizado por uma redução acentuada da rigidez da ancoragem, que se pode justificar pela quebra das nervuras reentrantes de resina entre os fios exteriores, segundo o esquema da Figura 19.

Note-se que para as soluções com alteração da interface, o troço intermédio da Figura 18 pode ser substituído por  $\delta_{ad} < \delta \leq \delta_{máx}$ , dado que apenas dois tro-

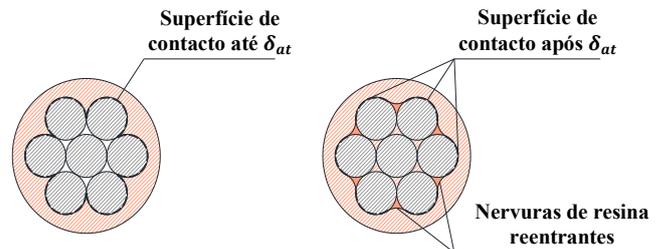


Fig. 19 – Superfície de rotura antes e após  $\delta_{at}$ .

ços são necessários para caracterizar o comportamento destas soluções. Comum a todas foi o troço quase vertical correspondente à componente de adesão. Nas soluções com alteração da interface, o segundo e terceiro troços referidos caracterizaram respetivamente a solução PHI e RES até final do carregamento.

## 5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

É possível então sintetizar nos Quadros 1 a 3 os resultados obtidos, quantificando e identificando as principais diferenças das ancoragens em valores absolutos para a solução de referência em termos de tensão limite de adesão ( $\tau_{el}$ ), tensão máxima de aderência ( $\tau_{máx}$ ), e deslizamento na rotura ( $\delta_{máx}$ ).

No Quadro 1 pode-se observar os ganhos e as perdas de cada solução considerada, em relação à tensão limite de adesão.

Nas soluções de confinamento da ancoragem foi observado um ligeiro aumento da capacidade resistente acompanhado de uma ligeira redução da componente de adesão, devido à restrição da deformação de corte do agente de

aderência. A maior perda neste campo foi de 32% para a solução SPR, que foi também das soluções de confinamento a que apresentou o maior incremento em termos de capacidade resistente. Uma justificação possível prende-se com a redução da deformação de corte do agente de aderência quando confinado, rigidificando-o e impedindo que se deforme com o cordão devido ao aumento da força instalada no mesmo.

**Quadro 1** – Sintetização de resultados para a tensão limite de adesão.

Solução	$\tau_{ad,m}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão (N/mm <sup>2</sup> )	CV (-)	$\frac{\tau_{ad}}{\tau_{ad,ref}}$ (%)
REF	5,3	0,7	0,14	-
ESP	4,7	0,3	0,08	90
TUB	3,7	0,2	0,06	70
SPR	3,6	0,4	0,11	68
RES	8,9	1,0	0,11	170
PHI	5,3	1,3	0,25	100

Devido à natureza adesiva do problema, o maior incremento em termos desta componente do mecanismo resistente foi registado na solução RES, 70% superior à solução de referência.

O Quadro 2 mostra os valores de  $\tau_{máx}$  para as diferentes soluções, e compara-os com os da solução de referência.

Nas soluções de confinamento, o maior incremento em termos da tensão máxima de aderência foi registado para a solução SPR, com um aumento de 12% quando comparada com a solução de referência. As restantes apresentaram um decréscimo desta tensão quando comparadas com a mesma solução.

**Quadro 2** – Sintetização de resultados para a tensão máxima de cada ancoragem.

Solução	$\tau_{máx}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão (N/mm <sup>2</sup> )	CV (-)	$\frac{\tau_{máx}}{\tau_{máx,ref}}$ (%)
REF	18,4	1,0	0,05	-
ESP	18,3	2,5	0,16	99
TUB	17,7	0,3	0,02	96
SPR	20,7	1,7	0,08	112
RES	19,4	0,4	0,02	105
PHI	29,8	1,1	0,04	162

As soluções com alteração das condições da interface, por incidirem sobre a origem

do problema, resultaram em incrementos de 5% para a solução RES e 62% para a solução PHI, tendo esta apresentado o maior incremento de todas as soluções consideradas.

Em termos de deslizamento da ancoragem pode-se verificar no Quadro 3 a diferença das soluções consideradas para a solução de referência.

**Quadro 3** – Sintetização de resultados para o deslizamento máximo de cada ancoragem.

Solução	$\delta_{máx}$ (mm)	Desvio Padrão (mm)	CV (-)	$\frac{\delta_{máx}}{\delta_{máx,ref}}$ (%)
REF	24,9	4,5	0,21	-
ESP	24,4	7,4	0,49	98
TUB	7,41	2,2	0,29	30
SPR	36,9	4,7	0,13	149
RES	27,7	3,1	0,11	112
PHI	35,4	7,3	0,21	142

Pode-se constatar que o confinamento com a solução TUB resultou no comportamento mais frágil e que as soluções de cada grupo com maior aumento de performance foram também as mais dúcteis.

## 6. CONCLUSÕES

Após a avaliação de todas as soluções consideradas neste trabalho pode-se atestar que a rotura ocorreu para todas as soluções pela interface entre o aço e o agente de aderência, sendo condicionantes a área de contacto entre os dois materiais e as condições da superfície dos cordões.

Devido à natureza adesiva do problema, as soluções de confinamento não são relevantes para o aumento da performance destas ancoragens.

As soluções com alteração da interface permitiram os maiores incrementos de performance da ancoragem, tendo a solução com recurso ao alargamento localizado do cordão resultado no maior aumento de performance de todas as soluções analisadas. Esta permitiu ainda um maior deslizamento da ancoragem na rotura, apresentando um comportamento mais previsível e constante após o limite da componente da adesão.

A utilização do tubo de aço para confinamento da ancoragem não é recomendável na medida em que conduziu a um comportamento frágil na rotura. Já a solução em que se utilizou uma cintagem em fio de aço proporcionou uma maior ductilidade no comportamento da ancoragem.

Como trabalhos futuros recomenda-se o estudo de uma solução com a combinação das duas soluções analisadas de alteração da interface, com vista a um aumento da tensão limite de adesão e da tensão máxima de aderência da ancoragem.

O desenvolvimento de um modelo teórico também é de grande interesse para quantificar fisicamente as grandezas que interferem diretamente no comportamento e capacidade resistente da ancoragem.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à HILTI Portugal, à VSL Sistemas Portugal SA, e à CONCREMAT- Préfabricação e Obras Gerais SA, o apoio prestado na realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

Cook, R.; Fagundo, F.; Biller, M.; Richardson, D., "Tensile Behaviour and Design of single Adhesive Anchors", Structures and Materials Research Report, Universidade da Florida, 1991.

Cook, R.; Kunz, J.; Fuchs, W.; Konz, R., "Behavior and Design of Single Adhesive Anchors under Tensile Load in Uncracked Concrete," ACI Structural Journal, Vol. 95, Nº. 1, pp. 9-26, Janeiro, 1998.

Faria, D.; Lúcio, V.; Ramos, A., "Pull-out and push-in tests of bonded steel strands", Magazine of Concrete Research, Thomas Telford, Vol. 63, Nº. 9, pp 689-705, Setembro, 2011.

Fusco, P., "Técnica de Armar as Estruturas de Concreto", Editora Pini, São Paulo, 2000.

Janney, J., "Nature of Bond in Pretensioned Prestressed Concrete", Journal of the American Concrete Institute, Vol. 25, Nº. 9, pp. 717-737, Maio, 1954.

Krishnamurthy, K., "Development of a Viscoplastic Consistent-Tangent FEM Model with Applications to Adhesive-Bonded Anchors", Dissertação de Mestrado, Gainesville, 1996.

Laldji, S.; Young, A., "Bond Between Steel Strand and Cement Grout in Ground Anchorages", Magazine of Concrete Research, Vol. 40, Nº. 143, pp. 90-98, Junho, 1988.

LNEC, "Cordões de aço para pré-esforço. Características e ensaios", E453:2002, Especificações LNEC, Lisboa, 2002.

RILEM, "PC-5: Method of test for compressive strength of polymer concrete and mortar", 1995.

RILEM, "PCM-8: Method of test for flexural strength and deflection of polymer-modified mortar", TC 113-CPT, 1995.