

Ligações de elementos da envolvente de edifícios recentes com base em perfis de aço em "U" ancorados a elementos de betão armado



J. L. Miranda Dias¹

RESUMO

Em edifícios recentes com estrutura de betão armado, recorre-se em certos casos a ligações com base em perfis de aço em "U" (channel bars) com chumbadouros ancorados a elementos dessa estrutura, as quais visam a fixação, em particular, de painéis de fachada e de chapas de aço de revestimento de cobertura e de fachada, bem como de outros elementos da envolvente desses edifícios.

Pretende-se nesta comunicação descrever, sumariamente, os aspectos relevantes relacionados com as características de resistência mecânica e de deformação e outras características de desempenho e de durabilidade, das ligações entre os citados elementos da envolvente e os de betão armado, em particular das ancoragens dos referidos perfis de aço em "U". Incluem-se, ainda, alguns aspectos essenciais sobre as acções de prevenção e manutenção destinadas a minimizar o avanço do respectivo processo de degradação e a assegurar a vida útil prevista.

PALAVRAS-CHAVE

Perfis em "U", Ancoragens, Betão, Chumbadouros, Cavilhas

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 1700-058 Lisboa, Portugal. mirandadias@lnec.pt

1. INTRODUÇÃO

Na zona da envolvente de edifícios recentes verifica-se, em certos casos, a presença de elementos de fachada e de revestimento de cobertura solidarizados a elementos da estrutura de betão armado (pilares, vigas e lajes), em geral, através de ancoragens betonadas "in-situ" (cast-in-place) ou pós-instaladas (post-installed anchors), sendo a respectiva fixação de tipo mecânico ou por aderência (mechanical/bonded anchors). De entre os diferentes tipos de ancoragens betonadas "in situ", destaca-se a utilização de perfis de aço em "U" chumbados (channel bars) ou aparafusados aos elementos de betão armado (fig. 1). A sua função principal consiste em promover a fixação, em particular, de painéis de fachada e de chapas de aço de revestimento de cobertura e de fachada, bem como de outros elementos da envolvente desses edifícios, e suportar as cargas associadas transmitindo-as à estrutura de betão armado (figs. 1, 2, 3). Essas cargas são em geral transferidas para os suportes de betão através de dispositivos de ancoragem que se associam à base desses perfis.

Assim, pretende-se aqui destacar a solução de ligações com base em perfis de aço em "U" com chumbadouros, descrevendo-se, sumariamente, os aspectos relevantes relacionados com as características de resistência mecânica e de deformação e outras características de desempenho, em particular relacionadas com a segurança em caso de incêndio, a qual se considera como uma das exigências essenciais da construção mais relevantes a colocar relativamente a estes perfis. Referem-se ainda questões relacionadas com a durabilidade das ligações entre os atrás citados elementos da envolvente e os de betão armado, realizadas através dos referidos perfis em "U".

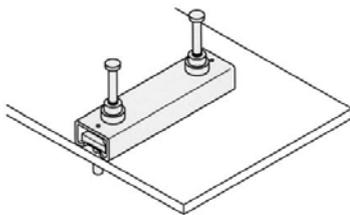


Fig. 1 - Esquema ilustrativo da solidarização de elementos de revestimento ao perfil em "U" e dos elementos de ancoragem ao elemento de betão

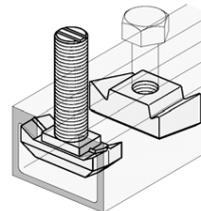


Fig. 2 - Pormenor do elemento de inserção aparafusado que interliga o perfil em "U" ao elemento de revestimento

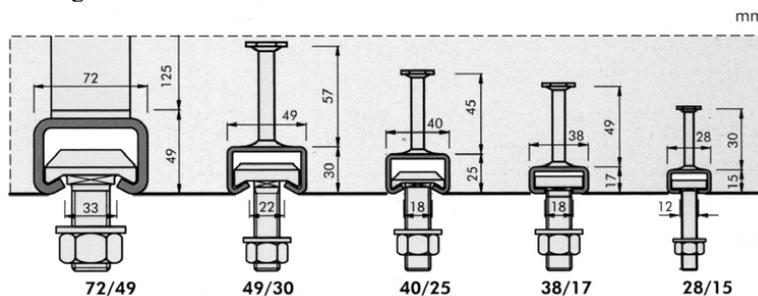


Fig. 3 - Esquema ilustrativo de perfis em "U" da gama corrente de utilização, sendo de destacar a ligação dos perfis ao elemento de betão através de ancoragens com diferentes profundidades de embestimento (altura), as quais variam em função das dimensões da secção transversal dos perfis (a inércia destes perfis, segundo o eixo horizontal, I_y , varia entre cerca de 0.5 cm^4 e 30 cm^4 , e a espessura apresenta valores entre 2.3 mm e 5 mm)

2. CARACTERÍSTICAS SIGNIFICATIVAS DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA

A fixação de elementos da envolvente aos elementos de apoio (betão ou alvenaria), em particular de chapas de revestimento da cobertura, pode ser efectuada de forma directa (ex: através de cavilhas metálicas para betão ou de injeção para alvenaria; e de cavilhas plásticas para betão e alvenaria) ou mediante a interposição de um perfil de aço em "U", sendo aqui de realçar as soluções de perfis (invertidos ou não) associados a diversos tipos de ancoragens, das quais se referem os chumbadouros

ou as cavilhas metálicas, e combinados com elementos de inserção que se ligam às chapas e se encaixam na zona em "rail" dos perfis (fig. 2).

Os referidos perfis em "U" são executados com base em aço enformado a frio ou laminado a quente (cold drawn/ hot rolled U-shaped steel profiles) e dispõem, na zona inferior, de elementos de ancoragem que, no caso particular do chumbadouro de cabeça (headed stud) para betão, consiste, basicamente, num fuste, em geral liso, soldado na base ao perfil, e numa cabeça localizada na respectiva extremidade.

Através de betonagem "in situ", estes chumbadouros ficam ancorados aos elementos de betão armado, permitindo que se transfira a carga do perfil para o elemento de betão, e conferindo-se a necessária ligação mecânica.

3. CAPACIDADE RESISTENTE E MODOS DE ROTURA DOS PERFIS EM "U"

A transmissão de carga ao betão, nos diferentes tipos de ancoragens dos perfis em "U", processa-se através de mecanismos de transferência por atrito/aderência, ou de transferência mecânica por fenómeno de blocagem (interlock effect) no extremo da ancoragem, ou até mesmo pela combinação desses mecanismos de transferência [1]. Para as cargas de corte, a distribuição é também influenciada pela distribuição das tensões na zona de contacto entre o perfil e o betão. No caso particular de ancoragens com base em chumbadouros, a transferência de cargas efectua-se por efeito mecânico, pelo contacto da cabeça do chumbadouro contra o betão no caso de tracção, e do fuste do chumbadouro contra o betão, no caso de corte [1], [2]. A transferência de esforços por aderência ao longo da superfície lateral dos chumbadouros não é muito significativa.

Os perfis em "U" ancorados no betão estão em geral sujeitos a dois principais modos de rotura: rotura no aço no betão, e rotura nas armaduras do elemento de betão armado, [1], os quais são apresentados no quadro 1. As situações mais comuns de rotura ocorrem quando as ancoragens, sujeitas a cargas de tracção normal, entram em colapso mediante um mecanismo de rotura de cone de betão (concrete cone failure) ou por fendilhação do betão (splitting failure).

A capacidade resistente das ancoragens individuais é influenciada por diversos factores, entre os quais se salientam: a resistência do aço e do betão; as imperfeições da respectiva instalação; a profundidade de embebimento da ancoragem; o espaçamento entre ancoragens vizinhas e a distância destas aos bordos do elemento de betão; e o grau de fendilhação do betão, o qual habitualmente se convencionou classificar de situação de betão fendilhado ou de betão não-fendilhado – salienta-se que a presença de fendas no betão reduz consideravelmente a capacidade das ancoragens [1].

A influência dos referidos factores é variável com a direcção de actuação da carga (tracção, corte ou combinação de tracção com corte). Com efeito, a capacidade resistente a cargas de tracção de ancoragens, nas quais os efeitos de extremidade sejam mínimos, fica mais sensível à presença de fendas, reduzindo-se de forma mais acentuada do que no caso de actuação de carga de corte, e, inversamente, no caso da ancoragem estar próxima de um bordo livre, a carga de corte tem um efeito negativo mais expressivo do que no caso de carga de tracção [1].

No sentido de se estimar a capacidade de carga de rotura de ancoragens individuais ou de grupos de ancoragens, foi inicialmente proposto por Fuchs et al. (1995) o "método CC" (Concrete Capacity Design Method, [3]) que permitia a previsão da carga de rotura de ancoragens com base em chumbadouros de cabeça betonados in-situ (cast-in-place headed anchors) e cavilhas pós-instaladas (post-installed mechanical anchors) sujeitas a tracção e corte, que exibissem uma rotura do betão (concrete breakout failure) com a formação de cone completo de rotura (full concrete cone). O "método CC" tem sido amplamente reconhecido, nomeadamente pelo Comité Euro-International du Béton (CEB), [4]. Refira-se, ainda, que o método foi incorporado no ACI 318-02 (Appendix D, [5]) e no guia ETAG 001, [6], sobre cavilhas para betão (1997), bem como nos guias preparados posteriormente (ETAG 014, ETAG 029 - ver www.eota.be).

Ligações de elementos da envolvente de edifícios recentes com base em perfis de aço em "U" ancorados a elementos de betão armado

Neste método considera-se o cone de rotura de betão através da sua projecção rectangular na superfície de betão, e assume-se que a inclinação desse cone é de cerca de 35° em relação ao elemento de betão. Para o grupo de cavilhas é assumido que a placa de fixação é suficientemente rígida para distribuir uniformemente as cargas em todas as cavilhas.

De acordo com o método [1], [3], o valor médio da capacidade de rotura de uma ancoragem individual (mean concrete breakout capacity) executada "in-situ" (cast-in-place anchor) em betão não-fendilhado e não influenciada pela presença de ancoragens vizinhas ou pelo efeito de extremidade e de canto, é dado pela seguinte expressão:

$$N_{Rk,c}^0 = 15.5 \cdot h_{ef}^{1.5} \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

h_{ef} - profundidade efectiva de embebimento (mm)

f_{ck} (cubos) - valor característico da tensão de rotura à compressão (aos 28 dias de idade) determinada com base no ensaio de compressão de provetes cúbicos com 150 mm de aresta (valor da classe de resistência do betão, de acordo com a EN 206) [N/mm²].

O valor de $N_{Rk,c}$ refere-se à capacidade de rotura de grupos de ancoragens ou de ancoragens localizadas na proximidade de bordos livres, sujeitos a carga de tracção normal, sendo definido pela seguinte expressão:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \quad (2)$$

O valor de $\psi_{s,N}$ traduz o efeito de extremidade do elemento de betão sobre a distribuição das tensões, e pode ser expresso da seguinte forma:

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \quad c < c_{cr,N} \quad c - \text{distância da ancoragem ao bordo do elemento} \quad (3)$$

O valor de $A_{c,N}^0$ refere-se à área ao nível da superfície do elemento de betão (ver fig. 4), relativa a uma ancoragem individual com elevado espaçamento e distância à extremidade, que resulta de se idealizar o cone de rotura de betão como uma pirâmide com altura h_{ef} e base $s_{cr,N}$ (espaçamento crítico que assegura a rotura do cone sem efeitos de bordo e de extremidade).

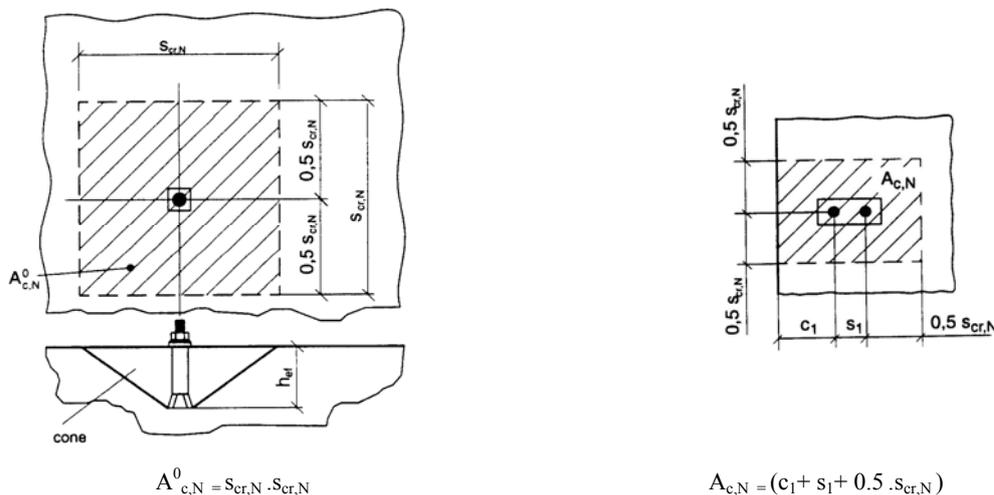


Fig. 4 – Características das ancoragens relevantes para o respectivo cálculo

Para ancoragens betonadas "in situ" (cast-in-place anchors), de acordo com a experiência e conhecimento actual, adopta-se o espaçamento crítico, $s_{cr,N}$, igual a $3 \cdot h_{ef}$, e a distância crítica ao bordo do elemento (sem efeitos de bordo e de extremidade), $c_{cr,N}$, igual a $1.5 \cdot h_{ef}$ ($s_{cr,N} = 2 \cdot c_{cr,N} = 3 \cdot h_{ef}$).

O "método CC" pode ser utilizado para perfis em "U" com ancoragens afastadas entre si de uma distância s , [7] e [8]. A resistência é calculada para cada ancoragem considerando a respectiva área de influência; na realidade, a sua soma no perfil é, em geral, menor que a respectiva soma individual [8].

Alguns estudos experimentais recentes [9] têm evidenciado a necessidade de se considerar a influência positiva das armaduras do betão, a qual não é explicitamente tida em conta no método, o que pode conduzir em certos casos a resultados conservativos.

Quadro 1 - Situações de rotura no aço, no betão, e nas armaduras do elemento de betão armado

Rotura do aço	Tracção	<p>a) rotura da ancoragem: atingida a resistência do aço em secção da ancoragem;</p> <p>b) rotura na ligação entre a ancoragem e o perfil em “U”: fractura das soldaduras (weld fracture) ou outras ligações que solidarizam os elementos de ancoragem ao perfil.</p> <p>c) flexão local da aba do perfil (local flexure of channel lip): flexão/distorção (bending/distortion) dos membros do perfil em “U” com o subsequente arrancamento (pull-out) do elemento de inserção aparafusado</p> <p>d) flexão de parafuso específico (special screw)</p> <p>e) flexão do perfil (flexure of the channel)</p>
	Corte	<p>a) corte sem momento aplicado (shear without lever arm)</p> <p>b) corte com momento aplicado (shear with lever arm)</p>
Rotura no betão	Tracção	<p>Rotura por arrancamento da ancoragem (pull-out failure): situação de reduzida área de contacto da cabeça do chumbadouro (no caso de chumbadouro de cabeça), e onde as tensões instaladas na zona de betão, sobre a cabeça do chumbadouro, excedem a respectiva resistência à compressão, o que conduz ao gradual esmagamento do betão e ao arrancamento completo do chumbadouro do elemento de betão.</p> <p>Rotura por arrancamento de cone de betão (cone failure): situação mais frequente de insuficiente profundidade de embebimento, a qual favorece a formação e destacamento de um cone de betão que inclui a ancoragem, com eventual fendilhação longitudinal do betão sob o perfil, e coincidindo a extremidade da ancoragem com o vértice da superfície cónica de rotura.</p> <p>Rotura por fendilhação do betão (splitting failure): situação de proximidade entre ancoragens ou entre estas e o bordo da peça de betão que propicia a formação de fendas.</p>
	Corte	<p>Rotura por rebentamento na face da peça de betão (blow-out failure): situação de proximidade entre a ancoragem (caso particular de chumbadouro de cabeça em que $c > 0.5 \cdot h_{cp}$) e o bordo da peça de betão que se pode traduzir no destacamento de uma zona de betão entre a cabeça do chumbadouro e a face desse bordo.</p>
		<p>Rotura por arrancamento através de efeito de alavanca (pry-out failure): situação de rotura por arrancamento das ancoragens, através de efeito de alavanca, com formação de cone de betão na zona oposta à da direcção da carga de corte.</p>
Armaduras (tracção-corte)	<p>a) Rotura do aço (tracção/corte) da armadura suplementar do elemento de betão</p> <p>b) Rotura da ancoragem da armadura suplementar</p>	

4. DISTRIBUIÇÃO DE CARGA PARA AS ANCORAGENS DOS PERFIS EM “U”

Uma das questões relevantes que se colocam no caso de perfis em “U” ancorados no betão, sujeitos a cargas de tracção e corte, relaciona-se com a avaliação da distribuição da carga que, aproximadamente, cabe a cada uma das suas ancoragens (percentagem em relação ao total da carga aplicada). Com vista a essa avaliação, existe um método de cálculo simplificado, denominado de “método triangular”, [1], [8], válido para cargas de tracção normal ou de corte actuando no perfil, desde que, no caso da carga de corte, a sua direcção seja perpendicular ao eixo longitudinal do perfil, não sendo este método aplicável aos casos em que essa carga de corte seja paralela a esse eixo.

De acordo com o método, a capacidade resistente de um perfil em “U”, com mais de duas ancoragens e com qualquer posição da carga, é calculada admitindo que cada troço entre ancoragens pode ser considerado como um vão simples de viga (“simple span beams” - fig. 5). Assim, a distribuição das cargas de tracção actuando no perfil pode ser calculada considerando, em termos de sistema estático, uma viga sobre apoios elásticos (ancoragens) com restrições parciais conferidas pela zona do perfil confinante com cada ancoragem. Utilizando o referido método, as forças de tracção actuantes sobre cada ancoragem, $N_{Sd,i}^a$, podem ser calculadas de acordo a seguinte expressão:

$$N_{Sd,i}^a = N_{Sd} \cdot A_i \cdot k \quad [\text{N/mm}^2] \quad \text{sendo} \quad l_i = 13 \cdot I_y^{0.05} \cdot s^{0.5} \geq s \quad [\text{mm}] \quad \text{e} \quad k = \frac{1}{\sum A_i}$$

A_i - ordenada na posição da ancoragem i de um triângulo com altura unitária na posição da carga N e com o comprimento da base $2 \cdot l_i$ (fig. 5);

I_y - momento de inércia do perfil relativo ao eixo y-y [mm^4] (eixo horizontal da secção do perfil: y-y; valores de inércia que, correntemente, podem variar entre $0.5 \text{ cm}^4 \leq I_y \leq 35 \text{ cm}^4$);
 s - espaçamento entre ancoragens; l_i - comprimento efectivo.

Caso se verifique a actuação simultânea de forças de tracção, pode-se considerar a sobreposição linear dos efeitos das forças sobre as ancoragens do perfil. O momento flector no perfil sujeito a cargas de tracção pode ser calculado admitindo que se trata de uma viga com vão correspondente ao espaçamento entre as ancoragens. A distribuição de cargas de corte actuantes sobre o perfil, perpendicularmente ao seu eixo longitudinal, pode ser efectuada de forma análoga à apresentada para o caso de cargas de tracção. Parte-se do pressuposto que as forças de corte são transferidas através do efeito de flexão do perfil sobre as ancoragens e destas para o betão, pelo que uma parte substancial dessa carga é transferida para o betão através de tensões de compressão na zona de interface entre o betão e o perfil, ficando as ancoragens sujeitas a forças de tracção. Torna-se necessário ter, ainda, em conta as forças de tracção induzidas na armadura suplementar, quer no caso de forças de tracção, quer de corte actuantes no perfil.

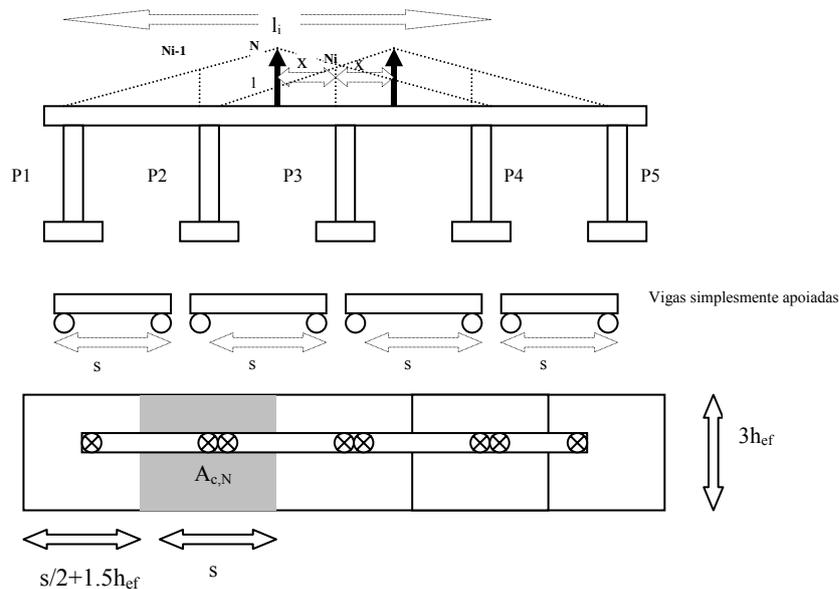


Fig. 5 - Esquema de aplicação do “método triangular” de cálculo ao perfil em “U” com 5 ancoragens

Como se reconhece que o tipo de distribuição das cargas (traduzida pelo comprimento l_i da base do triângulo) depende, essencialmente, da geometria do perfil e do espaçamento entre as ancoragens, e no sentido de melhor classificar e graduar as situações mais correntes, define-se o parâmetro “ Z ”, com o qual se pretende representar a relação entre a dimensão da base do triângulo e o espaçamento entre ancoragens, e estimar o grau de distribuição da carga pelas diferentes ancoragens:

$$Z = l_i/s = \frac{13 \cdot I_y^{0.05}}{s^{0.5}} \quad \text{- como decorre das condições de aplicação do método deve ser } Z \geq 1$$

De acordo com o definido, um valor crescente de “ Z ” corresponde a uma maior repartição da carga pelas ancoragens; num sentido oposto, caso “ Z ” se aproxime de um valor unitário, tal significa que na situação particular de carga de tracção colocada sobre uma ancoragem do perfil em “U” (com espaçamento constante entre ancoragens), os dois vértices da base do triângulo coincidem com as duas ancoragens imediatamente vizinhas da ancoragem sujeita a carga e, em consequência, a carga transferida para elas é nula. Como se pode constatar (fig. 6), o valor de “ Z ” vai crescendo com o aumento da inércia do perfil. E com o aumento do espaçamento entre ancoragens, o valor de “ Z ” vai decrescendo até se acercar do valor unitário, ficando tanto mais próximo dele, quanto mais reduzida for a inércia do perfil, de modo que para $s = 375 \text{ mm}$ e $I_y = 0.5 \text{ mm}^4$, o valor de $Z \approx 1$.

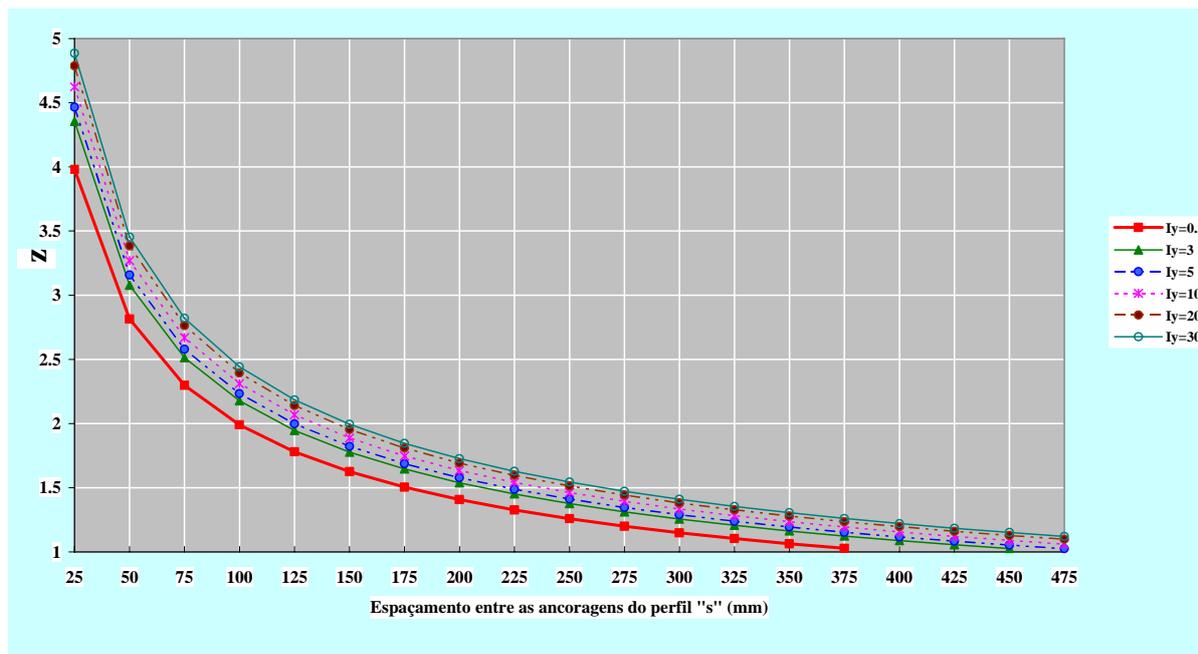


Fig. 6 - Valores do parâmetro “Z” em função do espaçamento entre ancoragens do perfil “s” (sendo a altura do perfil h , a largura c , espessura t - I_y apresenta aproximadamente os seguintes valores para os perfis mais correntes no caso de: $30 \text{ mm} < c < 40 \text{ mm} \rightarrow 0.5 \text{ cm}^4 < I_y < 2 \text{ cm}^4$; $40 \text{ mm} < c < 50 \text{ mm} \rightarrow 2 \text{ cm}^4 < I_y < 5 \text{ cm}^4$; $50 \text{ mm} < c < 70 \text{ mm} \rightarrow 5 \text{ cm}^4 < I_y < 30 \text{ cm}^4$ - (considera-se c/h com valores entre 0,4 e 0,65 e t entre 2,5 mm e 5 mm))

No âmbito de estudos sobre o comportamento mecânico dos perfis em “U”, Kraus, [7], [8], efectuou o cálculo numérico, com base no método dos elementos finitos, de diversos tipos de perfis em “U”. Do referido estudo, pretende-se aqui analisar o caso particular do perfil 50/30 (características aproximadas: altura=50 mm; largura=30 mm; espessura=2.75mm; $I_y= 5.24 \text{ cm}^4$) colocado próximo dos bordos, e sujeito a cargas de tracção aplicadas em diferentes posições ao longo do eixo do perfil.

O modelo do perfil em análise tem 5 ancoragens (chumbadouros de cabeça), igualmente espaçadas de uma distância s , apresenta o comprimento de 1800 mm e a distância à extremidade, c , igual a 75 mm, tendo sido adoptado: o espaçamento entre ancoragens de 300 mm e de 100 mm, e a ancoragem com profundidade efectiva, h_{ef} , de 85 mm. O diâmetro do fuste (d_1) e da cabeça da ancoragem (d_2) eram, respectivamente, de 16 mm e de 24 mm. Adoptaram-se as seguintes propriedades dos materiais: resistência à compressão do betão ($F_{c,cil}$) de 25 N/mm^2 ; resistência à tracção do betão (f_t) de 2 N/mm^2 ; módulo de elasticidade do betão e do aço, respectivamente de 28000 N/mm^2 e de 210000 N/mm^2 . Em todos os casos, a rotura no modelo ocorre no betão, e conduz à rotura do sistema.

No modelo aplica-se uma carga dupla simétrica em relação à ancoragem central (P_3), cada uma ocupando uma posição variável entre a ancoragem central (3) e as duas ancoragens vizinhas (à esquerda (P_2) e à direita (P_4)); no modelo (fig. 5), cada uma das cargas fica distanciada da ancoragem central de um valor, x , contado quer para direita (no sentido da ancoragem P_4), quer para esquerda (no sentido da ancoragem P_2). A carga é variada entre $x=0$ (sobre a ancoragem central A) e $x=100 \text{ mm}$ ou $x=300 \text{ mm}$ (de acordo com o valor de s). A carga é aplicada segundo o eixo Z-Z e seu ponto de aplicação localiza-se no topo do perfil.

Procurando-se enquadrar o presente caso do perfil 50/30 ($I_y= 5.24 \text{ cm}^4$) na gama de comportamento dos diferentes tipos de perfil, e aplicando o “método triangular” a este perfil, verifica-se que, para um espaçamento entre ancoragens, s , igual a 100 mm, o valor de Z é cerca de 2.22; e para s igual a 300 mm, o valor Z é da ordem de 1.30. Saliente-se que, para s igual a 100 mm e a 300 mm, o valor de Z, respectivamente, varia: entre 2.0 ($I_y= 0.5 \text{ mm}^4$) e 2.4 ($I_y= 30 \text{ mm}^4$); e entre 1.1 ($I_y= 0.5 \text{ mm}^4$) e 1.4 ($I_y= 30 \text{ mm}^4$). Saliente-se assim que, embora o perfil 50/30 ocupe, para ambos casos de s igual a 100 mm e a 300 mm, um lugar intermédio na faixa de variação de Z atrás descrita, os valores do perfil 50/30, na situação de s igual a 100 mm, aproximam-se, em termos relativos, sensivelmente mais dos

Ligações de elementos da envolvente de edifícios recentes com base em perfis de aço em "U" ancorados a elementos de betão armado

correspondentes ao perfil com I_y igual a 0.5 mm^4 , indiciando, por conseguinte, características de repartição de carga pelas ancoragens mais próximas deste último perfil.

No referido estudo, analisaram-se diferentes posições da carga, para o espaçamento s de 100 mm e de 300 mm, e determinaram-se as cargas transmitidas ao betão através de cada uma das ancoragens (P_1 a P_5), tendo-se verificado, através dos resultados, que a soma da carga absorvida por cada uma das ancoragens não coincide com a carga total aplicada ao sistema, justificando-se a diferença, essencialmente, por existir uma ligeira capacidade de transmissão de tensões de tracção nos elementos de contacto entre as zonas de betão e do aço.

Ainda no referido estudo, verifica-se que, para s igual a 100 mm e carga dupla sobre P_3 , as ancoragens P_1 e P_5 praticamente não são activadas; no caso de carga dupla a 75 mm de P_3 , as ancoragens P_1 e P_5 já são activadas; para a carga máxima aplicada ao sistema (CMS) a rotura do sistema é causada pela rotura da ancoragem central (P_3). Consta-se uma tendência de aumento gradual, com o acréscimo da distância x , da carga máxima (CMS), ligeiramente mais acentuado para valores superiores a 75 mm e até o valor de x igual a 100 mm; verifica-se que a carga máxima absorvida pela ancoragem central (P_3), apresenta, com o acréscimo da distância x , uma tendência decrescente ou de reduzida variação (variação positiva ou negativa), embora seja claramente superior ao valor absorvido pelas restantes ancoragens, registando-se o valor mais alto para a carga dupla sobre P_3 ($x=0$).

Procurando-se confrontar os resultados do estudo com os dados do “método triangular”, tendo em vista avaliar as potencialidades do método na interpretação e extrapolação desses resultados, pode-se constatar que, no caso deste perfil com 5 ancoragens e com a carga de tracção sobre a ancoragem central, a base do triângulo do método seria tal que: na situação de $s=100$ mm, e para o perfil mais ligeiro ($I_y=0.5 \text{ mm}^4$), esta estaria quase coincidente com o troço compreendido entre as duas ancoragens extremas (P_1 e P_5), ou seja, de acordo com o método de cálculo, estas não absorvem carga ($Z=2$) ao passo que a ancoragem P_3 recebe a maior parcela da carga; enquanto que, para o perfil mais robusto ($I_y=30 \text{ mm}^4$), essa base estende-se para além dessas ancoragens extremas (P_1 e P_5) e, por conseguinte, estas já absorvem alguma carga ($Z=2.4$). Como o perfil 50/30 se aproxima, tal como atrás se expôs, significativamente mais da situação limite do perfil mais ligeiro ($I_y=0.5 \text{ mm}^4$), e existe uma certa concordância entre os dados do método e os resultados do estudo, os quais apontam para uma situação inactiva para P_1 e P_5 quando a carga está aplicada em P_3 ($x=0$), assim como para o registo do valor mais alto da carga máxima absorvida por esta, então tal pode indiciar que um comportamento muito análogo ao atrás traçado poderá ser verificado para esse perfil mais ligeiro. Através do método, para valores de x próximos de 100 mm, seria de prever, pela posição da base do triângulo de cada uma das cargas simétricas, que as ancoragens extremas absorvessem alguma carga, o que de facto se confirma com os resultados do estudo, para x igual a 75 mm.

Para s igual a 300 mm, estudaram-se através do modelo numérico, várias posições da carga (x igual a 0 mm, 50 mm, 150 mm, 200 mm e 300 mm) tendo-se verificado uma tendência de aumento, com o acréscimo da distância x , da carga máxima (CMS), mais acentuado para valores superiores a 100 mm e até o valor de x igual a 200 mm, valor a partir do qual se verificou um decréscimo dessa carga máxima, até x igual a 300 mm (carga sobre P_2 e P_4), onde o respectivo valor era, ainda, da ordem do dobro da correspondente ao caso da carga sobre P_3 ($x=0$).

Assim, para s igual a 300 mm e carga dupla sobre P_3 ($x=0$), e com uma carga superior a $0,75.N_{máx.}$ ($N_{máx.}$ é a carga máxima) as ancoragens P_2 e P_4 são activadas a um nível baixo, mantendo-se P_1 e P_5 não-activas até à carga máxima (CMS), a qual provoca a rotura de P_3 , bem como do sistema; no caso de carga dupla a 50 mm e a 100 mm de P_3 , cada uma das ancoragens P_2 e P_4 absorvem, respectivamente 1.5 % e 31.8 % da carga máxima (CMS), enquanto que P_3 absorve, respectivamente 97.5 % e 36.5 % da carga máxima (CMS); esta aproximação da carga repartida entre P_3 , P_2 e P_4 é maior no caso de x igual a 200 mm, onde a carga absorvida em cada uma delas é sensivelmente próxima e na ordem de 33 % da carga máxima (CMS), a qual atinge, tal como atrás se referiu, o valor mais alto dentro da faixa de valores de x entre 0 e 300 mm; mantém-se, para x igual 200 mm, a situação de rotura do sistema causada pela rotura de P_3 , que absorve cerca de 97% da carga total aplicada ao sistema, bem como a situação de quase inactividade de P_1 e P_5 . Para x igual a 300 mm, a carga absorvida por P_3 é igual a cerca de metade da carga máxima (CMS).

Confrontando, de novo, os resultados do estudo com os dados do “método triangular”, na situação de $s=300$ mm, e para $I_y= 0.5$ mm⁴, a referida base do triângulo ultrapassa ligeiramente o troço compreendido entre as duas ancoragens vizinhas da central, ou seja essas ancoragens vizinhas, de acordo com o método de cálculo, já absorvem carga, embora reduzida ($Z=1.1$); enquanto que, para $I_y= 30$ mm⁴, essa base estende-se para além dessas ancoragens extremas e, por conseguinte, estas já absorvem carga significativa ($Z=1.4$).

Os resultados desse cálculo numérico mostraram uma apreciável concordância com os resultados dos ensaios realizados também nesse âmbito, tendo, em particular, sido evidenciado que, dependendo de condicionamentos de rigidez e da geometria particular em análise, as ancoragens do perfil em “U”, em geral, não participavam de modo idêntico na resistência às cargas de tracção aplicadas, [7], tal como foi patente nos resultados do estudo atrás descritos, bem como no seu confronto com o “método triangular”. Consequentemente, o “método CC”, que se refere a um grupo de ancoragens e assume idêntica participação de cada uma das ancoragens na resistência global, apenas se afigura passível de aplicação directa aos perfis em “U” para certos casos de perfis muito rígidos e com reduzida distância entre as ancoragens, podendo, no entanto, a sua aplicação indirecta ser eventualmente ponderada considerando as características de distribuição de carga para cada uma das ancoragens.

5. QUESTÕES RELATIVAS AO DESEMPENHO E DURABILIDADE

Entre as características de desempenho destes perfis em “U”, foca-se aqui em particular a segurança em caso de incêndio por se considerar que, neste caso, constitui uma das mais relevantes exigências essenciais da construção que interessa verificar (DPC: ER2 - Safety in case of fire). Em geral, a resistência ao fogo das ancoragens do tipo presente depende, sobretudo, dos materiais constituintes do suporte (neste caso do betão armado), do tipo de ancoragem e do elemento a fixar, sendo problemática a classificação, em termos individuais, da resistência ao fogo da ancoragem já que se torna necessário incluir o comportamento da ancoragem no elemento de betão (o betão deve ter uma resistência ao fogo análoga à da ancoragem individual), bem como a zona exterior a esse elemento correspondente à da ligação do elemento a ancorar (EOTA: Evaluation of anchorages in concrete concerning resistance to fire - TR 020, Edition May 2004). Assim, se o desempenho do ponto de vista da resistência ao fogo de elementos de um edifício depende da respectiva ancoragem à estrutura, como pode ser o caso das ancoragens dos perfis em “U”, torna-se necessário ensaiar, no que se refere à resistência ao fogo, o elemento completo conjuntamente com as ancoragens, e eventualmente realizar, caso se verifique necessário, o ensaio de reacção ao fogo das ancoragens (EOTA: Reaction to fire requirements for small components -TR 021, Edition June 2005); os ensaios atrás referidos poderão ser dispensados, caso seja previsível que essas ancoragens, devido à sua reduzida dimensão, não contribuam para propagação de incêndio (num caso de incêndio já em desenvolvimento); e para a produção de fumos ou a libertação de partículas/gotas inflamadas.

No que se refere a questões relativas à durabilidade e a acções preventivas e de manutenção, em geral, a corrosão das partes metálicas é o aspecto principal a considerar, quer em termos da agressividade das condições ambientais, quer relativamente à existência de outras condições tal como a presença de vazios (ex: entre o elemento a fixar e a ancoragem), ou de zonas favoráveis ao depósito de humidade, que potenciam os fenómenos de condensação, os quais propiciam a ocorrência de corrosão. A utilização de ancoragens com revestimento de protecção constituído por camada de zinco, obtida por galvanização a quente (hot-dip galvanized bolts), em ambientes interiores húmidos, recomenda uma espessura da respectiva camada superior ou igual a 40 µm [1]. Para zonas de ambiente exterior, incluindo zonas industriais e zonas costeiras (não expostas directamente à acção do mar), e em zonas interiores cujo ambiente não seja muito agressivo, a utilização de perfis de aço inoxidável correspondente a um “Aço A4” (de acordo com a classificação da norma EN ISO 3506-1:1997 - Mechanical properties of corrosion-resistant stainless-steel fasteners - Part 1: Bolts, screws and studs) permite conferir suficiente resistência face à corrosão, embora exista alguma possibilidade do surgimento de ligeiros sinais de corrosão localizados em ancoragens sujeitas a ambientes com elevada percentagem de cloro (piscinas fechadas, ambientes marinhos, etc.), ou de dióxido de carbono, ou mesmo de depósito de pó acumulado no tempo [1].

Justifica-se que, no âmbito de operações de manutenção periódica, sejam convenientemente reparados os perfis e elementos confinantes afectados, através, por exemplo, de revestimento de protecção por pintura, precedida, se necessário, da drenagem e limpeza de zonas sujeitas à acumulação de humidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que se refere ao enquadramento normativo para os perfis em "U", existe uma Decisão da Comissão Europeia, de 27 de Março de 2000 (2000/273/CE), relativa a processo de comprovação da conformidade de produtos de construção, e respeitante a produtos para aprovação técnica europeia sem guia (CUAP), entre os quais se incluem os referidos perfis. Trata-se de produtos classificados como Perfis comerciais (ref. EOTA 06.01/0: channel bars), sendo a utilização prevista para fixações.

Em relação às características mecânicas destes perfis em "U", com base nos resultados de um estudo através de cálculo numérico, sintetizaram-se aqui as principais indicações sobre os traços característicos do comportamento de um tipo específico de perfis em "U" (perfil 50/30), nomeadamente a capacidade de carga em relação ao total de cada uma das suas cinco ancoragens, a tendência da sua variação, as fases de activação da ancoragem, a evolução da fendilhação no betão e o tipo de rotura. Confrontaram-se os resultados desse estudo numérico, através do parâmetro "Z", com os dados do "método triangular", tendo-se discutido as características previsíveis para os restantes perfis mais correntes, em função dos resultados obtidos no estudo do referido perfil. Apresentaram-se ainda alguns aspectos relevantes sobre as características de desempenho, particularmente relacionadas com a segurança em caso de incêndio, tendo-se salientado a importância do desempenho de elementos de um edifício que, do ponto de vista da resistência ao fogo, dependam da respectiva ancoragem à estrutura; no final, descreveram-se alguns aspectos de acções de prevenção e manutenção destinadas a minimizar o avanço do processo de degradação dos perfis em "U" relacionado fundamentalmente com a corrosão das partes metálicas das ancoragens, e a assegurar a vida útil prevista.

REFERÊNCIAS

- [1] Eligehausen, R.; Mallée, R.; Silva, J. - Anchorage in Concrete Construction. Berlin : Ernst & Sohn, 2006.
- [2] Eligehausen, R.; Hofacker, I.; and Lettow, S. - Fastening Technique - Current Status and Future Trends. Stuttgart, Germany: International Symposium on Connections between Steel and Concrete, Sept. 2001, pp. 13-27
- [3] Fuchs, W.; Eligehausen, R.; and Breen, J. E. - Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete. ACI Structural Journal, V. 92, No. 1., Jan.-Feb. 1995, 73-94.
- [4] CEB (Comité Euro-International du Béton) - Design of Fastenings in Concrete: Design Guide. Thomas Telford, London, 1997.
- [5] ACI Committee 318 - Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (318R-05). Farmington Hills, Mich.: American Concrete Institute, 2005, 430 p.
- [6] European Organisation for Technical Approvals (EOTA) - Guideline for European Technical Approval. Metal anchors for use in concrete, ETAG 001. Brussels, 1997 (amended Nov./2006).
- [9] Raposo, J. M.; Neves, L. C.; Simões da Silva, L. - Avaliação experimental do comportamento de chumbadouros à tração ancorados em peças de betão. Lisboa: Actas do V Congresso de Construção Metálica e Mista, Novembro, 2005, 627-636.
- [7] Kraus, J. - Tragverhalten und Bemessung von Ankerschienenmeterware (Behaviour and design of channel bars under centric tension loads). University of Stuttgart: Dissertation, 2002.
- [8] Kraus, J.; Eligehausen, R. - Improved structural model for channel bars with more than two anchors. International Symposium on Connections between Steel and Concrete, Sept. 2001, Stuttgart, Germany, 129-141.