

# ASPECTOS CONDICIONANTES DA VIDA ÚTIL DE ANCORAGENS DE CAVILHAS PLÁSTICAS APLICADAS EM ELEMENTOS DE BETÃO E DE ALVENARIA DE EDIFÍCIOS E SUJEITAS A TRACÇÃO E CORTE

José Luís Miranda Dias\*  
mirandadias@lnec.pt

## Resumo

Pretende-se analisar aspectos condicionantes da vida útil de ancoragens com base em cavilhas plásticas, com parafusos metálicos, aplicadas em edifícios recentes designadamente, em elementos de betão e de alvenaria de blocos maciços de betão ou cerâmicos. Abordam-se, em particular, os casos de ancoragens sujeitas a cargas de tracção e/ou de corte induzidas por elementos não-estruturais fixados por essas ancoragens.

*Palavras-chave:* Cavilhas plásticas, ancoragens, betão, alvenaria.

## 1 Introdução

As ligações entre elementos de revestimento, componentes ou outros elementos de construção de edifícios e os respectivos elementos de suporte primários (paredes de alvenaria, pavimentos e coberturas) ou da estrutura de betão armado, são em muitos casos realizadas com base em cavilhas plásticas, as quais transferem para esses elementos, na zona de ancoragem, os esforços de tracção e de corte induzidos.

Pretende-se analisar aspectos condicionantes da vida útil de ancoragens com base em cavilhas plásticas, com parafusos metálicos, aplicadas em edifícios recentes, designadamente, em elementos de betão e de alvenaria de blocos maciços de betão ou cerâmicos, e sujeitas a carga de tracção e/ou de corte induzidas por elementos não-estruturais fixados por essas ancoragens. No âmbito dessa análise, avaliam-se as principais características de comportamento mecânico de ancoragens com base em cavilhas plásticas ancoradas em betão e em elementos de alvenaria, desde a sua instalação, passando pela respectiva fase de carga em tracção e/ou em corte, e posterior deformação por fluência, associada, eventualmente, a fendilhação da base de suporte em betão ou em alvenaria, e culminando com o termo da sua vida útil, em resultado de rotura

---

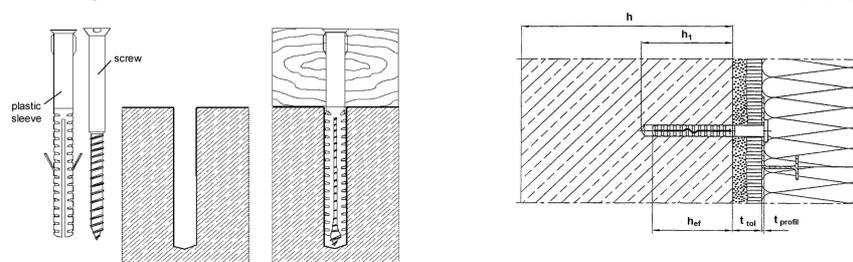
\* Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC – DED/NTC).

das ancoragens ou do seu inadequado funcionamento. Resumem-se, em particular, alguns traços característicos relevantes relativos ao comportamento experimental de cavilhas plásticas, ancoradas em betão ou em alvenaria de blocos de betão e cerâmicos, sujeitas a carga de tracção e de corte. Descrevem-se, ainda, outras características de desempenho que influenciam a durabilidade e a vida útil das ancoragens com base em cavilhas plásticas, e sintetizam-se alguns aspectos essenciais sobre as acções de prevenção e manutenção que visam garantir a vida útil prevista dessas ancoragens.

## 2 Descrição da solução construtiva

As cavilhas plásticas para utilização em betão e em alvenaria, e destinadas a aplicações não-estruturais, referem-se, em geral, aos casos de cavilhas plásticas pós-instaladas em diferentes materiais de base, [1] a [4]: cavilhas de plástico para utilização em betão normal ("normal weight concrete" - em geral, de classe não inferior a C12/15); cavilhas de plástico para utilização em alvenaria de elementos maciços ("solid masonry materials" – blocos maciços ou com perfuração vertical de secção transversal não superior a 15%); cavilhas de plástico para utilização em tijolos ou blocos cerâmicos perfurados e em blocos vazados ("use in hollow or perforated bricks and hollow blocks"); cavilhas de plástico para utilização em betão celular autoclavado (use in aerated concrete).

A cavilha plástica consiste, em geral, num elemento de expansão (Figura 1), usualmente de aço ou de material polímero (parafuso normal (screw) ou longo (nail), e numa bainha plástica de expansão de material polímero (Poliamida PA6 e PA6.6; polietileno PE; polipropileno PP; ou outros materiais polímeros), em geral, tendo ambos os elementos dimensões semelhantes [1] [2].



a - cavilha plástica com elemento de expansão constituído por parafuso "normal" (screwed-in plastic anchors [1])

b - cavilha plástica para "Etics" (Plastic anchor for "Etics" [2])

**Legenda:**  $h$ : espessura do material de base;  $h_1$ : profundidade do orifício brocado;  $h_{ef}$ : profundidade efectiva da cavilha;  $t_{tot}$ : espessura da camada de igualização;  $t_{profile}$ : espessura do perfil

Figura 1: Exemplos de cavilhas plásticas.

As cavilhas plásticas, no caso de utilização em alvenaria de blocos maciços, apresentam, em geral, um diâmetro externo,  $d$ , da bainha de expansão de, pelo menos, 8 mm, e uma profundidade efectiva de ancoragem,  $h_{nom}$ , superior ou igual a 40 mm (betão) e 50 mm (alvenarias), sendo recomendável que o elemento de suporte respectivo tenha uma espessura superior a 100 mm [1].

### **3 Comportamento mecânico de cavilhas plásticas na fase instalação e na de fendilhação e rotura**

Na fase de instalação da cavilha, a introdução do elemento de expansão na bainha plástica previamente colocada no furo brocado (furo realizado no elemento de suporte em betão ou em alvenaria), expande essa bainha, a qual sujeita a compressão radial e, simultaneamente, a um sensível aumento de temperatura devido a fenómenos de fricção entre esta e o elemento de expansão (aumento mais acentuado no caso da cavilha com parafuso normal do que no longo), acaba por pressionar fortemente as paredes do furo e provocar uma pressão de expansão em toda zona vizinha do elemento de suporte [5] a [7]. No caso da cavilha ficar posteriormente sujeita a cargas de tracção, geram-se tensões de atrito ao longo da zona de contacto da bainha com as paredes do furo.

Após a aplicação da carga de serviço, a força de expansão,  $F_{cx}$ , decresce ao longo do tempo (processo de relaxação associado a deformação visco-elástica), e caso se verifique a formação e abertura gradual de fenda que intersecte a zona da parede do furo do elemento de suporte, a pressão de expansão, atrás referida, reduz-se rapidamente na direcção perpendicular à da fenda, enquanto que praticamente se mantêm, na direcção da fenda, o nível de pressão transmitida pela bainha sobre as paredes do furo [7]. Em geral, a formação de fendas no suporte, na zona onde se encontram instaladas as cavilhas plásticas, conduz a uma degradação da capacidade de carga dessas cavilhas, a ponto de, ultrapassados certos limites de carga de tracção e/ou corte, se verificar a rotura da ancoragem, em grande parte dos casos associada ao arrancamento da bainha para fora do furo brocado ("pull-out failure"). A respectiva carga de rotura,  $N_{Rk,p}$ , pode ser, aproximadamente, estimada de acordo com a lei de atrito de "Coulomb" ( $N_{Rk,p} = \mu \cdot F_{cx}$ ) [7].

Para além da rotura por arrancamento da bainha ("pull-out failure") em elemento de betão, outras situações mais comuns de rotura associadas a carga de tracção normal ocorrem quando as ancoragens em betão entram em colapso mediante um mecanismo de rotura de cone de betão ("concrete cone failure"), ou de rotura do elemento de expansão ("failure of the expansion element") [1]. As situações mais comuns de rotura associada a carga de corte ocorrem por corte do elemento de expansão ("expansion element failure"), com momento ou sem momento associado; outro tipo de rotura pode estar associado a combinação de carga de corte com carga de tracção [1].

### **4 Condicionantes da vida útil de cavilhas plásticas**

As características do comportamento mecânico ao longo do tempo da vida útil das cavilhas plásticas, designadamente as relativas à capacidade resistente, são em grande parte condicionadas pelas propriedades do material plástico constituinte dessas cavilhas, em particular pelas suas características de defor-

mação. O correcto funcionamento das cavilhas, o qual é, designadamente, assegurado por adequada capacidade de resistência, ao longo da vida útil, face às cargas a que fica sujeito, bem como por limitação dos deslocamentos, pode ficar negativamente condicionada por condições adversas, em particular, relacionadas com a: existência de fendas no elemento de suporte em betão; teor de humidade da bainha de material plástico (polimérico); temperatura da superfície do material do elemento de suporte; e relaxação da cavilha [1].

Ao longo do período de vida útil, a força de expansão em ancoragens de cavilhas plásticas em betão normal não fendilhado decresce devido aos fenómenos de relaxação, enquanto que o coeficiente de atrito entre a bainha plástica e o betão aumenta [7]; contudo, no betão normal fendilhado, devido à abertura gradual das fendas e à redução da força de expansão, o coeficiente de atrito decresce, bem como a força de arrancamento (pull-out load), a qual tem a sua redução em grande parte dependente do tipo de cavilha [7]. No entanto, esta força de arrancamento pode estabilizar num valor constante para fendas que evoluem para uma situação de elevada abertura [7].

No ensaio de cavilhas, verifica-se em geral uma variação com o tempo do coeficiente de atrito,  $\mu$ , de tipo logarítmica, a qual se atribui ao comportamento por efeito de fluência do plástico. Com efeito, os resultados da medição em ensaios do coeficiente de atrito entre plástico e betão [7], mostraram ser possível, para cavilhas plásticas ancoradas em betão não-fendilhado, uma aproximação ao “método Findley” [7] [8], que permite efectuar um adequado ajustamento dos resultados do ensaio de determinação do coeficiente de atrito (“Findley adjustment”:  $\mu = \mu_0 + a.t^b$  - sendo a, b constantes;  $\mu_0$  o coeficiente de atrito para  $t=0.1$  h; e a variação de  $t$ :  $0.1 \text{ h} \leq t \leq 1000 \text{ h}$ ). Refira-se que o coeficiente de atrito inicial  $\mu_0$  tem valores típicos entre 0.30 e 0.70.

## 5 Comportamento experimental de cavilhas plásticas

No caso de surgimento de fendas em betão, ao longo da vida útil, pode-se dar a rotura por arrancamento da cavilha; com efeito, no ensaio de arrancamento (pull-out load) de cavilhas plásticas com parafuso normal (screwed-in plastic anchors), a carga de rotura (pull-out load) decresce fortemente com o aumento da largura das fendas até que, para fendas de grande abertura (cerca de 0.5 mm), tende a estabilizar; para uma fenda de 0.2 mm, essa carga pode ser da ordem de 40% a 70% da verificada em betão não fendilhado [7]. No caso de cavilhas com parafuso longo (hammered-in anchors), com o aumento da largura das fendas, essa redução da carga de rotura (pull-out load) é menor do que a verificada no primeiro tipo; por outro lado, a curva carga-deslocamento é, em geral, mais dúctil em betão fendilhado do que em betão não-fendilhado. No caso de ensaio de carga de corte, verifica-se que a curva carga-deslocamento apresenta um andamento, em geral, semelhante à que se verifica no caso do ensaio de carga de arrancamento, sendo que a rotura da ancoragem é acompa-

nhada pelo registo de elevados deslocamentos [8]. Em ensaios de carga contínua de cavilhas (sustained load tests), idêntica aproximação à exposta em 3 (“Findley adjustment”) poderá ser feita para a extrapolação dos resultados de medição de deslocamentos de cavilhas sujeitas à tracção (ensaio à temperatura ambiente) para um período de 50 anos (“Findley adjustment”:  $s(t)=s_o+ a.t^b$  sendo a, b constantes (tuning factors) determinadas através de regressão linear dos valores do deslocamento medidos nos ensaios a partir das 100 h ( $t \geq 100$  h), e  $s_o$  o deslocamento inicial medido logo após a aplicação da carga contínua [1]).

Saliente-se que a variação relativa do deslocamento ao fim de um período t ( $\Delta s/s_o$ ) expressa-se também, tal como s(t), em função de uma potência de t:

$$s(t)=s_o.+ a.t^b \Rightarrow \frac{\Delta s}{s_o} = \frac{s(t)-s_o}{s_o} = \frac{a.t^b}{s_o} \Rightarrow \frac{\Delta s}{s_o} = k_t.t^b \quad k_t = \frac{a}{s_o} \quad (1)$$

Refira-se que, ao fim de 50 anos, a respectiva variação absoluta poderá em certos casos assumir valores entre  $10.s_o$  e  $40.s_o$ , sendo que o deslocamento inicial,  $s_o$ , apresenta valores típicos entre 0,01 mm e 0.1 mm.

## 6 Características de desempenho e durabilidade

Do ponto de vista do desempenho das ancoragens com base em cavilhas plásticas em relação à segurança contra incêndio (exigência essencial da construção ER2), as questões mais sensíveis relacionam-se com a resistência ao fogo [1], em particular no que se refere à possibilidade de arrancamento prematuro da cavilha (pull-out), devido a perda de resistência do material plástico quando sujeito a elevadas temperaturas, admitindo-se que, para ancoragens de elementos de fachada, as cavilhas plásticas específicas com diâmetro exterior de 10 mm, e respectivo parafuso metálico com diâmetro de 7 mm ( $h_{ef}$  de 50 mm; e com bainha plástica de poliamida PA6) tenham resistência ao fogo de, pelo menos, 90 minutos (R90), se a carga admissível for inferior a 0.8 kN.

No que se refere à durabilidade dos elementos constituintes das cavilhas, as questões mais relevantes referem-se: ao ataque químico das bainhas plásticas (ex: elevado teor alcalino do meio envolvente), bem como eventual influência negativa do revestimento do elemento metálico de expansão, o que recomenda a sua inspecção periódica; e ao caso de cavilhas plásticas sujeitas a ambientes exteriores ou a ambientes interiores permanentemente húmidos, situação que recomenda, em termos preventivos, a utilização de partes metálicas da cavilha com base em aço inoxidável de qualidade adequada.

## 7 Considerações finais

Em grande parte das situações, a durabilidade de elementos estruturais, nos quais estejam instaladas ancoragens com base em cavilhas plásticas, refere-se a aspectos de utilização, designadamente relacionados com as condições de aparência estética desses elementos, ou então à necessidade de acções de

manutenção e reparação; saliente-se que estas acções, em certa medida, podem ser enquadráveis no âmbito da verificação da segurança aos estados limites de utilização. No entanto, no caso de cavilhas de fixação de elementos de fachada, a durabilidade e a vida útil pode ser associada a um estado limite último (o qual se refere à segurança de pessoas e/ou à segurança da estrutura), atendendo a que a situação de ocorrência de fendilhação interna do betão da estrutura, e/ou de corrosão das armaduras e das ancoragens devida à acção dos agentes agressivos do meio ambiente, pode afectar, significativamente, durante a vida útil, a capacidade resistente das ancoragens, provocando o eventual colapso de elementos de fachada fixados por essas ancoragens; e tal pode, consequentemente, colocar em causa a segurança de pessoas, [9]. Saliente-se que, em geral, se preconiza para estas ancoragens uma vida útil de projecto de cerca de 50 anos, dentro do pressuposto de que estarão sujeitas, a par com os elementos estruturais onde se encontram instaladas, a utilização e manutenção adequada.

## 8 Bibliografia

- [1] EOTA - *ETAG 20: Plastic anchors for multiple-use in concrete and masonry for non-structural applications, Parts. 1, 2, 3 4, 5, Annex A, B, C*. Brussels, EOTA, March 2006.
- [2] EOTA - *ETAG 014: Guideline for European Technical Approval. Plastic anchors for fixing of external thermal insulation composite systems with rendering*. January 2002.
- [3] Miranda Dias, J.L. - *Aprovação Técnica Europeia de Cavilhas de Fixação*. Actas do Congresso “Estruturas 2002”, LNEC, Lisboa, Julho 2002, pp. 105-114.
- [4] Miranda Dias, J.L. - *Cavilhas e componentes auxiliares para alvenarias – Guias de Aprovação Técnica Europeia e normas Europeias nesse domínio*. Actas do Congresso “Construção 2004”, FEUP, Porto, Dezembro de 2004, pp. 83-88.
- [5] Pregartner, Thilo; Eligehausen, R. - *Behavior of plastic anchors in uncracked and cracked concrete*. International Symposium on Connections between Steel and Concrete, Sept. 2001, Stuttgart, Germany, pp. 129-141.
- [6] Pregartner, Thilo - *Tragverhalten von Kunststoffdübeln im ungerissenen und gerissenen Beton* (Bearing Behaviour of Plastic Anchors in Uncracked and Cracked concrete), Dissertation, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 2003.
- [7] Pregartner, Thilo; Eligehausen, R. - *Load-bearing Behaviour of Plastic Anchors in Cracked Concrete*. Beton- und Stahlbetonbau 102, Special Edition, 2007.
- [8] Eligehausen, R., Mallée, R., Silva, J. - *Anchorage and Concrete Construction*. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2006.
- [9] P. Jernberg, C. Sjöström, M.A. Lacasse, E. Brandt, T. Siemes. *Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components: Part I – Service Life and Durability Research*. CIB W080 / RILEM TC 140, 2004.