

**ANCORAGENS EM TERRENO PRÉ-ESFORÇADAS: TECNOLOGIAS,
COMPONENTES E CONSTRUÇÃO**

**PRESSTRESSED GROUND ANCHORS: TECHNOLOGY, COMPONENTS
AND CONSTRUCTION**

Carvalho, M.R., *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, marc@lnec.pt*
Salgado, F.M., *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, fsalgado@lnec.pt*

RESUMO

Numa construção pré-esforçada a armadura é uma componente da ancoragem dominante na segurança dos elementos suportados. A armadura pode ser de vários tipos. No mercado existem diversas tecnologias e sistemas, pelo que a armadura deve ser seleccionada em conformidade com as cargas e com o disposto pelos documentos regulamentares e normativos. A sua durabilidade reveste-se de importância vital na longevidade da obra, sendo necessária protecção contra a corrosão. O comportamento do aço de pré-esforço relativamente à corrosão depende: da qualidade das caldas de injeção; do grau de preenchimento das bainhas; do recobrimento da armadura e das cabeças. A função das ancoragens e o tempo de vida da estrutura ancorada têm uma implicação directa na tecnologia a implementar. Construída a ancoragem, verifica-se o seu comportamento mecânico com ensaios de carga, para avaliar e verificar se as exigências de projecto são respeitadas.

ABSTRACT

In a prestressed structure the reinforcement it's a prevailing component, as far as the supported safety elements is concerned. There are available various reinforcement types and, therefore, the appropriate type must be chosen in accordance with loads and with the applicable regulations and standards. Indeed, the reinforcement durability is essential for the work long life, and, hence, the latter must be protected against corrosion. The corrosion prestressing steel behavior depends on the factors as follows: grout quality; sheaths filling level; cover of the reinforcement and head. The ground anchors function and anchored structure lifetime have a direct impact on the implemented technology. After ground anchor construction, its mechanical performance is assed with loading tests, to evaluate and verify its compliance with design requirements.

1. ASPECTOS GERAIS

São notáveis os progressos verificados na construção de ancoragens. As técnicas actuais, quando adequadas, permitem construí-las em condições de terrenos variáveis e em aplicações complexas. No entanto, está comprovado que a eficiência e o comportamento das ancoragens são sensíveis à qualidade da mão-de-obra. A velocidade de avanço do furo e a eficiência do processo determinam a produtividade, afectando os custos. Os critérios a adoptar na selecção do equipamento de furação definem-se considerando diversos factores e varias linhas de referência. O diâmetro dos furos deve permitir que o recobrimento sobre o elemento resistente na selagem da ancoragem garanta a protecção contra a corrosão, respeitando os limites da EN1537 (1999).

Os métodos construtivos não devem afectar a integridade de estruturas existentes na proximidade das ancoragens ou localizadas à superfície. No mercado há vários sistemas de furação para cada tipo de terreno.

2. ARMADURA DE PRÉ-ESFORÇO

2.1. Tipo de Armadura

Numa construção pré-esforçada a armadura é uma componente dominante no que se refere à segurança dos elementos suportados. A sua durabilidade reveste-se de importância vital para a longevidade da obra. Pelo facto, deve dispensar-se particular atenção à protecção contra a corrosão de todos os elementos que constituam os componentes da armadura de pré-esforço. Os factores determinantes do comportamento da armadura de pré-esforço relativamente à corrosão são: a) qualidade das caldas de injecção; b) grau de preenchimento das bainhas, que deve ser de 100%; c) recobrimento dos elementos da armadura de pré-esforço; d) recobrimento das cabeças das ancoragens: betão ou protecção com caixa estanque.

Se o fabrico, armazenamento e injecção das caldas se realizou respeitando as regras de arte, a armadura de aço de pré-esforço garante a vida útil de projecto. A realização de um trabalho de forma descuidada pode traduzir-se na redução da sua duração, podendo resultar na necessidade de substituição prematura face a questões de segurança. No processo de fabrico das armaduras, para melhorar as suas propriedades, estas são geralmente obtidas por endurecimento a frio, nomeadamente por estiragem ou trefilagem, acompanhado de tratamentos térmicos e mecânicos.

Todas as armaduras a usar na construção de ancoragens devem respeitar as normas europeias (EN1537, 1999), nomeadamente as relativas ao aço para construção, o Eurocódigo 3, Parte 1 (EN1993-1, 2005), ao aço de reforço, o Eurocódigo 2 (EN1992-1-2, 2004), ao aço para pré-esforço, a prEN10138 (2005) e o Eurocódigo 2 parte 1-5 (EN 1992-1-5, 2004). Só se deve recorrer a outro tipo de armaduras, que não o referenciado, se a fiscalização o aprovar e se for comprovada a sua adequabilidade como parte integrante na ancoragem.

As armaduras de pré-esforço podem ser constituídas por fios (Figura 1), barras (Figura 2), cordões (Figura 3 e 4) ou por associação de fios, barras ou cordões dispostos paralelamente, isto é, em feixe.

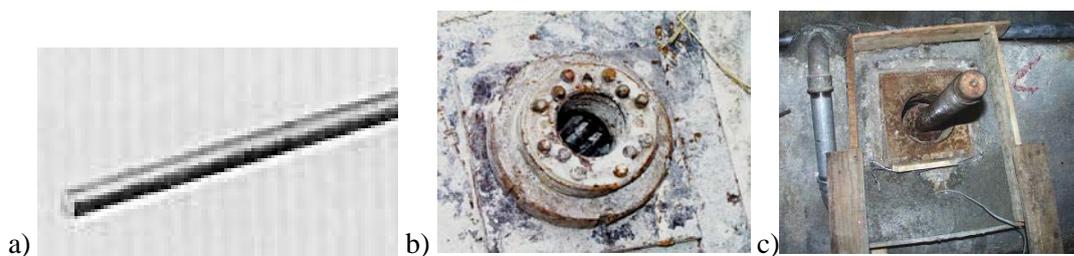


Figura 1 – Armadura de Fios: a) Fio de Aço; b) Cabeça; c) Barra Aplicada na Cabeça da Ancoragem para a Realização de Ensaio de Verificação de Carga

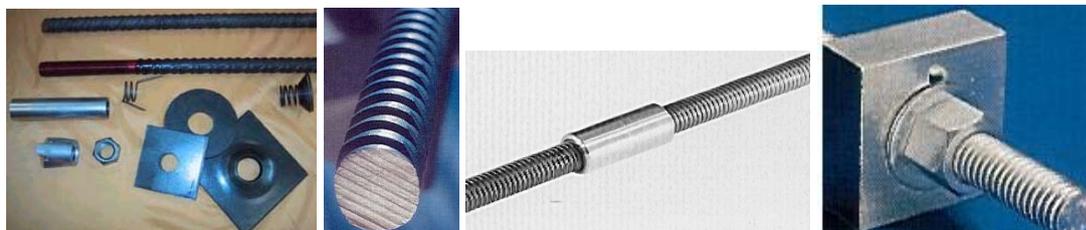


Figura 2 – Armadura de Barras com Acessórios (Dywidag, 2005), Barra Roscada, Barras com Acoplador e Barra Blocada com Porca e Chapa de Descarga

As armaduras devem ser seleccionadas em conformidade com a grandeza das cargas de pré-esforço e com o estabelecido nas normas. Por exemplo, nos EUA pode recorrer-se à

utilização das *Recomendações para ancoragens pré-esforçadas em rochas e solos* (PTI, 1996), e na Europa às Euronormas, como a prEN10138 (2005) e a EN1537 (1999). No entanto, a aplicabilidade, a interpretação dos dados e as linhas orientadoras, assim como a selecção da armadura aplicando um factor de segurança, FS, adequado, exigem uma avaliação e julgamento individual criterioso. As decisões são influenciadas pelos custos, pelos aspectos associados ao transporte e à produção, pelas exigências da protecção contra a corrosão, pelas cargas de projecto e pelos níveis de tensão admissíveis.



Figura 3 – Exemplo de Cordões de Aço de Pré-esforço



Figura 4 – Exemplo de Acessórios para Cabeças de Ancoragens de Cordões

As armaduras de pré-esforço devem ser caracterizadas pelo processo de fabrico, constituição, propriedades mecânicas e aderência. Essas características devem determinar-se de acordo com as normas em vigor ou com os documentos normativos adequados. As cargas de serviço e as tensões admissíveis geralmente definem-se respeitando: (a) resistência mecânica; (b) propriedades elásticas; (c) resposta à fluência; (d) comportamento à relaxação.

2.2. Comparação e Vantagens dos Diferentes Tipos de Armadura

De acordo com o exposto, a armadura das ancoragens é geralmente constituída por barras, fios ou cordões que podem ser usados isoladamente ou em grupo. A resistência à tracção abrange valores de 1200 a 2000 MPa. Caso se solicite aos fabricantes ou aos fornecedores, podem ser facultados elementos identificativos, como as características técnicas e o comportamento mecânico do material. É expectável que haja variações, que devem prever-se, nomeadamente as relativas à dimensão, à resistência última, ao limite elástico, às perdas por relaxação e ao comportamento mecânico do bolbo de selagem.

A armadura mais simples, que se pode aplicar nas ancoragens, consiste na barra lisa ou roscada, Figura 2. Este tipo de armadura pode ser protegida contra a corrosão mais facilmente e resultar como solução menos onerosa para cargas reduzidas. A barra de aço possui uma rigidez considerável, que facilita a sua colocação em obra e permite manuseá-la por troços, pelo que os riscos de danos mecânicos são mínimos. Em determinadas condições a barra pode ser usada como haste da broca durante a realização do furo. As barras roscadas são facilmente conectadas à ancoragem embebida e à estrutura ancorada, mobilizando deformações do corpo da calda. Adicionalmente, a parte roscada permite aplicar cargas parciais, reaplicação de cargas e a verificação rápida ou o alívio das cargas. A deformação elástica das barras é considerável, quando sujeitas a carga, permitindo movimentos apreciáveis no terreno antes de sofrer rotura. Por outro lado, a rigidez da barra ajuda a manter o tubo de injeção da calda indeformado o que facilita o fluxo do escoamento da calda, no comprimento da ancoragem a selar.

Os fios e os cordões possuem, relativamente às barras, vantagens no que respeita: (1) à facilidade de armazenamento; e (2) ao fabrico e transporte para obra (Figura 5). A elevada flexibilidade permite fácil manuseamento na obra, o que favorece a sua aplicação em locais com espaço limitado. No entanto, estas armaduras não devem ser alvo de vincos ou dobras. A elevada elasticidade, que está inerente à elevada resistência à tracção, resulta em perdas menores por fluência ou em aumentos de carga inferiores, caso haja movimentos no terreno.



Figura 5 – Exemplo de Ancoragens com Armadura de Cordões: a) Assemblagem em Fábrica; b) Pormenor de um Tipo de Extremidade Posterior; c) Acondicionamento; d) Colocação em obra; e) Desenrolamento para introdução no furo

A aplicação de cordões na década de 1970 ganhou popularidade face à introdução de melhorias significativas nas técnicas de pré-esforço, o que generalizou a sua aplicação. Diversos casos indiciam que os fios e os cordões actualmente são mais aceites que as barras, mesmo em locais em que a respectiva matéria-prima é mais onerosa.

As ancoragens de barras, comparativamente com as de cordões, apresentam geralmente maior facilidade nas operações de pré-esforço e é frequente permitirem ajustes na carga após blocadas. No entanto, actualmente há diversas tecnologias que permitem também essas operações.

2.3. Outros Tipos de Armaduras para Ancoragens

No mercado há tecnologias e sistemas associadas a armaduras não indicadas. Nomeadamente, de ancoragens de eixo helicoidal, de chapas e ancoragens mecânicas para maciços rochosos.

Há investigação realizada na aplicação de plásticos reforçados (FRP) como armadura de ancoragens pré-esforçadas (Benmokrane et al., 1997). As armaduras do tipo FRP apresentam elevada resistência à tracção e à corrosão e são leves. Não obstante, a indisponibilidade destes materiais no mercado corrente inviabiliza a sua aplicação generalizada. Acresce-se a reduzida experiência com estes materiais, com custos não atractivos. Igualmente, a maioria dos documentos normativos e regulamentares sobre a matéria apenas refere aços de alta resistência. Há também estudos, e algumas aplicações (Stahlton, 2002), sobre armadura de fios em materiais plásticos reforçados com fibras de carbono (CFK). Estes materiais caracterizam-se por resistências elevadas, capacidade de deformação reduzida, peso reduzido e completamente insensíveis à corrosão. No entanto, apresentam dois inconvenientes consideráveis: custos elevados e resistência ao corte quase nula.

Materiais como fibras de vidro e aço inoxidável têm sido aplicados experimentalmente (Benmokrane et al., 2000). No entanto, subsistem restrições à sua aplicação, nomeadamente: baixa resistência ao corte, os custos e preocupações construtivas.

2.4. Desenvolvimento de Futuras Tecnologias de Ancoragens

Futuramente é previsível que o desenvolvimento das técnicas de pré-esforço se concentre no melhoramento da protecção contra a corrosão e no controlo do funcionamento mecânico da armadura de pré-esforço. A protecção do aço de pré-esforço e dos respectivos elementos de aço das ancoragens correntemente realiza-se por envolvimento com plástico estanque, por exemplo polietileno, ficando os elementos protegidos contra as agressões exteriores. A estanquidade do invólucro plástico pode ser controlada e observada com medições de resistência eléctrica. Assim, em algumas das tecnologias é viável realizar medições precisas do estado da armadura de pré-esforço durante a sua vida útil. Esta protecção pode aplicar-se apenas à armadura, referindo-se como electricamente isolada.

3. CABEÇA DA ANCORAGEM

A cabeça constitui uma das partes mais importantes dos sistemas de ancoragens. A sua assemblagem inclui a aplicação de pré-esforço, com a colocação de cunhas e da chapa de distribuição – usada para transferir a carga para a estrutura de suporte, Figura 6. Deve ser incluída uma protecção exterior, que se pode materializar com revestimento de betão ou com caixa de protecção, que pode permitir a acessibilidade e observação, caso previstas.

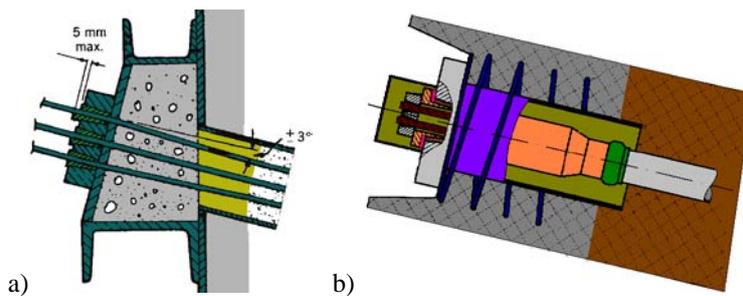


Figura 6 – Cabeça de Ancoragem - Trompette, Folgas na Fase Construtiva.: a) Provisória; b) Definitiva

Os elementos e acessórios da cabeça geralmente são concebidos e desenvolvidos pela indústria de betão pré-esforçado ou por firmas especialistas na construção de ancoragens. Os pormenores da cabeça geralmente são normalizados, dependem do tipo de armadura utilizada na ancoragem e da restante tecnologia que a possa condicionar. Como exemplo refere-se que o diâmetro do trompette, Figura 6, deve ser condicionado e adaptado às exigências do equipamento de furação. Os elementos e acessórios podem ser definidos pelo projecto e aferidos durante os ensaios.

A cabeça da ancoragem deve transferir adequada e correctamente a carga para a estrutura, e o seu comportamento deve adequar-se ao definido no projecto. O posicionamento da cabeça é um factor muito importante. A chapa de distribuição de carga e a cabeça da ancoragem devem ser ortogonais à armadura, sem flectir ou ondular os elementos da armadura de pré-esforço. É necessário que o seu posicionamento seja concêntrico relativamente à armadura para permitir um comportamento adequado. A tolerância aceite para desvio do posicionamento relativo entre a armadura e a chapa da cabeça é reduzida, não excedendo ± 5 mm. O desvio angular da armadura relativamente à chapa da cabeça da ancoragem não deve exceder $\pm 3^\circ$ relativamente à posição axial (PTI, 1996), Figura 6, podendo impor-se para limite um valor inferior. Relativamente a este assunto, a EN1537 (1999) refere que a cabeça deve ser dimensionada para suportar desvios angulares da armadura relativamente à direcção normal da cabeça até 3% à carga $97\%P_{tk}$, isto é, 97% da tracção característica da armadura. Considera-se que um desvio angular maior pode afectar a eficiência da transferência de carga. O conjunto assemblado deve permitir aceder ao tubo de injeção da calda, preferencialmente a partir da posição central.

A cabeça deve permitir a aplicação de tracções, como as de ensaio e de blocagem e, se for requerido, a acções de desblocagem e reblocagem. Deve também permitir que se atinja $100\%P_{tk}$, isto é, a tracção característica da armadura (EN1537, 1999). A tensão devida à flexão na chapa não deve exceder o valor da resistência de cedência do aço que constitui a chapa de descarga, quando se aplicar uma carga igual a 95% da resistência à tracção da armadura (PTI, 1996). A rigidez das chapas de descarga deve garantir deformações (flexão) inferiores a 1 mm, considerando as condições de carga e descarga. É fundamental garantir o adequado contacto mecânico entre a chapa e a estrutura e verificar se a qualidade do betão, sob a chapa, é adequada às tensões introduzidas (Habib, 1989).

O projecto deve incluir o dimensionamento da armadura, com representação pormenorizada da cabeça da ancoragem, de forma a garantir que: a) a armadura possa ser solicitada com uma carga de pré-esforço igual à tracção de ensaio; b) a ancoragem possa ser submetida a reajustes de carga, de acordo com as especificações de aplicação das tracções; c) no caso de armadura de cordões, estes possam ser pré-esforçados em simultâneo, mas, devem ser bloqueados individualmente com cunhas, que devem ser colocadas nos furos tronco-cónicos da chapa da cabeça da ancoragem; d) a carga instalada na ancoragem possa ser alvo de verificação.

4. – CONSTRUÇÃO DE ANCORAGENS

4.1. Questões Construtivas

Algumas das roturas que se tem verificado atribuíram-se à preparação deficiente da ancoragem ou à realização inadequada do furo e respectiva limpeza. Assim, as operações de furação devem ser conduzidas de modo a detectar as heterogeneidades do terreno, que podem afectar consideravelmente o comportamento das ancoragens. Só desta forma é viável rever o projecto ou recorrer-se a alternativas construtivas das zonas onde as características do terreno se apresentem distintas das previstas. Para viabilizar o controlo desses factores é recomendável que se anotem os níveis de água e os meios de limpeza utilizados no furo. Durante a realização do furo o seu diâmetro pode aumentar-se, utilizar-se encamisamento, etc. É importante respeitar as folgas impostas relativas ao posicionamento das ancoragens e, desta forma, respeitar o projecto da estrutura ancorada. O registo de elementos relativos à velocidade de furação, dimensão de secções obstruídas, alterações de composição e quantidade do material de limpeza que chega à superfície, traduz-se na aquisição de elementos adicionais qualitativos que permitem avaliar mais correctamente as condições reais do terreno. O projectista deve ser informado de qualquer variação observada, para se avaliar o seu impacto e respectiva importância (EN1537, 1999).

Para recolha de elementos durante a realização do furo deve haver regras simples e práticas de identificação – como o tipo de terreno, cor dos refluxos ou perda do fluido de furação no interior do furo – que sejam facilmente apreendidas pelo operador.

A velocidade de avanço do furo e a eficiência do processo determinam a produtividade e os custos totais. A selecção adequada do método de furação maximiza a eficiência. Na selecção consideram-se factores como: tipo de terreno, a acessibilidade e a topografia do local, geometria e dimensões do furo, fases de furação, tipo e capacidade das ancoragens, disponibilidade e aplicabilidade do meio de limpeza dos furos, custos do trabalho e restrições construtivas locais.

4.2. Métodos de Realização de Furos e seu Diâmetro

Para realizar um furo para ancoragens pode recorrer-se a equipamento de rotação, percussão ou roto-percussão, Figura 7 à Figura 9. Ocasionalmente, pode associar-se-lhes equipamento vibratório e, menos frequentemente, também cabeças diamantadas. Esta última solução é mais

pontual, face ao custo e ao risco associado à sua utilização no referente à redução de ligações, nomeadamente no bolbo de selagem, uma vez que a superfície do furo fica praticamente lisa.



Figura 7 – Equipamento para Furos por Rotação com Circulação de Água e Hastes Rotativas Helicoidais



Figura 8 – Exemplos de Ponteiras para Furos



Figura 9 – Exemplos de hastes e camisas para furos

Para manter o furo aberto em solos ou formações rochosas instáveis deve recorrer-se a camisas, Figura 9. As camisas devem avançar no furo com recurso a técnicas de roto-percussão ou de rotação. A frente de ataque do furo encamisado pode ser com coroa na extremidade da camisa ou com broca de furação. O fluido de furação é bombeado para a cota inferior da camisa, retornando para a superfície pela envolvente exterior da camisa com o material do corte do furo.

O diâmetro do furo deve ser definido em função da espessura do revestimento da calda na selagem da ancoragem (EN1537, 1999). Esse diâmetro deve ser tal que permita que o recobrimento sobre o elemento resistente na selagem da ancoragem seja suficiente para garantir protecção contra a corrosão. Os diâmetros dos furos destinados a ancoragens são de 75 a 150 mm, podendo por vezes ter dimensões superiores (Schousboe, 1974). Para realizar os trabalhos de furação em solos com características de colapsibilidade é, invariavelmente, necessário recorrer a encamisamento. O peso da camisa, o desenvolvimento do furo e os problemas de manuseio associados à colocação de camisas de maiores dimensões são factores que limitam o diâmetro a 150 mm. Também são frequentes diâmetros de 90 mm e 125 mm, para furos por percussão e rotação, respectivamente.

São factores cruciais na eficácia e eficiência do sistema de furação a relação entre a área do orifício de admissão do fluido de furação, a área circular do fluxo de retorno, a dimensão das partículas, a densidade dos detritos e a densidade do fluido de furação (EN1537, 1999).

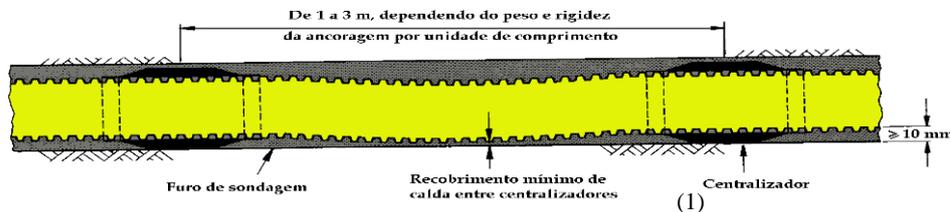
4.3. Preparação da Ancoragem. Colocação no Furo

As ancoragens podem montar-se em fábrica ou em obra. No último caso, os trabalhos devem ser controlados pela fiscalização e a mão-de-obra deve ser especializada. Devem ainda adoptar-se

precauções para evitar danos e contaminação das ancoragens, nomeadamente na zona da selagem, dado que a contaminação reduz a aderência entre o aço e a calda. O adequado transporte, descarga, armazenamento e colocação da ancoragem exigem a colaboração precoce e estreita das partes envolvidas na obra. Durante todo o processo, para se minimizarem os riscos de danificar as ancoragens são necessárias medidas, e geralmente não é permitido: a) levantar a ancoragem suportando-a em secção única, pois há perigo de curvatura por punçoamento; b) depositar ancoragens em apoios com arestas vivas; c) arrastar as ancoragens.

As ancoragens armazenadas em obra não devem ficar expostas a temperaturas elevadas, devendo ser protegidas das radiações solares directas. Caso seja necessário deixa-la ao ar livre deve-se empilhá-la no terreno e cobri-la completamente com oleado impermeável. O oleado deve prender-se, mas deve permitir a circulação do ar através da pilha de ancoragens.

Os centralizadores e os espaçadores são importantes no comportamento da protecção contra a corrosão. Estes elementos devem assegurar a distribuição da armadura e a espessura adequada do recobrimento ou do enchimento da calda na envolvente da armadura, Figura 10.



(1):

- Anc. definitivas: (a) calda de cimento espessa de central ou equivalente: 5 mm se fissuração a $T_s < 0,1$ mm; (b) calda injectada a pressões > 500 kPa: 20 mm se a fissuração a $T_s < 0,2$ mm

- Anc. provisórias: 10 mm entre a armadura e o furo

Figura 10 – Esquema da Secção Longitudinal Tipo, Centralizadores nas Ancoragens Encapsuladas (BS8081, 1989; EN1537, 1999)

Os espaçadores e os centralizadores devem ser: a) colocados com ligações firmes, de modo a evitar deslocamentos ou distorções durante a introdução ancoragem no furo; b) de aço, plástico ou de material que não danifique o aço de pré-esforço.

A introdução e a injeção da ancoragem devem ocorrer logo após concluído o furo. Antes da introdução da ancoragem deve verificar-se se o furo está desobstruído ou se, para garantir o comprimento definido, é necessário limpá-lo. A introdução deve ser realizada de forma controlada e cuidadosa. É necessário inspeccionar a ancoragem, na fase imediatamente anterior à introdução, para verificar se há danos nos componentes de protecção contra a corrosão. O método de introdução depende da tecnologia, do comprimento e do peso da ancoragem.

4.4. Caldas e Injecções

A selecção adequada da calda e do sistema de injeção depende das características do terreno, do tempo de presa da calda, da sua resistência e das funções que se pretende da calda. Assim, de acordo com a EN1537 (1999), o tipo de calda a aplicar no preenchimento do furo deve visar a eventual presença de substâncias agressivas, como o ácido carbónico e sulfatos, considerar a permeabilidade do terreno e a vida útil das ancoragens. As caldas de injeção para armaduras de pré-esforço devem estar respeitar as normas NP EN445 (2000) e NP EN447 (2000), relativas aos métodos de ensaio e especificações para caldas correntes, respectivamente.

Deve realizar-se o controlo de qualidade e do volume de calda injectado nas injecções da selagem. Se o volume de calda injectado, com pressões inferiores às tensões de confinamento,

for superior a três vezes o volume do furo, estar-se-á perante uma situação de preenchimento de vazios fora do furo (EN1537, 1999). Neste caso, antes de injectar a ancoragem é necessário preencher os vazios. Os consumos obtidos são factores indicativos.

De acordo com a NP EN447 (2000) os materiais que podem utilizar-se na produção de caldas de injeção de fabrico corrente, designadas como *caldas de injeção correntes*, são uma mistura homogénea de cimento Portland, água e adjuvantes. De acordo com a NP EN447 (2000) o cimento a aplicar para as caldas de injeção correntes deve ser do tipo CEM I (EN197-1, 2000) e a água tem que cumprir as exigências da norma Europeia EN1008 (2002).

É importante uma relação água/cimento reduzida para se obter resistência elevada, continuidade estrutural, características de impermeabilidade da calda e um funcionamento como barreira à corrosão. De acordo com a NP EN447 (2000) a relação máxima de a/c deve ser de 0,44, devendo todos os componentes ser doseados em massa, excepto a água de amassadura que pode ser doseada em massa ou em volume. A amassadura deve ser realizada por meios mecânicos, até obter uma calda homogénea estável (NP EN447, 2000).

A EN1537 (1999) refere que se pode recorrer à aplicação de aditivos para melhorar a trabalhabilidade e a durabilidade, para reduzir a exsudação, a retracção ou ainda para aumentar a velocidade de presa. Não deve recorrer-se ao uso de aditivos com uma constituição em que haja uma quantidade superior a 0,1% (por massa) de cloretos, sulfuretos ou nitratos.

As injeções das caldas devem iniciar-se sempre a partir da extremidade mais profunda do furo, com a extremidade do tubo de injeção submerso no interior da calda na extremidade do bolbo de selagem. A injeção deve ser contínua até se verificar que a consistência da calda que sai do furo é a mesma que a da calda injectada (EN1537, 1999). A calda não deve contactar o tardoz da estrutura de suporte ancorada. A resistência à compressão da calda não deve ser inferior a 30 MPa aos 28 dias ou a 27 MPa aos 7 dias, independentemente do tipo de provete (NP EN447, 2000). O aumento da capacidade das ancoragens pode obter-se com injeções múltiplas, multi-faseadas, introduzindo calda no terreno.

4.5. Equipamento, Aplicação de Pré-esforço em Ancoragens e Ensaios

Concluída a construção da ancoragem, verifica-se o seu comportamento mecânico com ensaios de carga, que permitem avaliar e verificar se as exigências de projecto são respeitadas. Os resultados dos ensaios também podem permitir avaliar a grandeza do factor de segurança e viabilizar a detecção de eventuais erros de projecto ou construtivos. Todas as ancoragens devem ser ensaiadas. Desta forma, pode evitar-se riscos potenciais e problemas cuja solução ou resolução seja onerosa. No ensaio recorre-se ao sistema de pré-esforço, constituído por: macaco hidráulico, para aplicar as cargas, mangueiras, electrobomba de pressão e manómetros.

O equipamento de pré-esforço deve utilizar-se estritamente de acordo com o definido pelo fabricante. A selecção do sistema de pré-esforço contempla: a) grandeza da tracção de serviço de projecto; b) dimensão das perdas de pré-esforço; c) tracções admissíveis do aço; d) diâmetro do furo; e) alongamento elástico do comprimento livre; f) comprimento de selagem do bolbo. As condições de ensaio de carga realizado, independentemente do seu tipo, devem ser representativas das características das ancoragens e do terreno da obra. O comportamento da ancoragem é caracterizado pela curva de tensão-deformação obtida a partir do ensaio de carga.

A ancoragem não deve ser sujeita a cargas sem que a calda da selagem tenha ganho a resistência necessária, o que normalmente requer pelo menos 7 dias. Nos solos argilosos sensíveis, pode ser necessário um período superior para permitir que o solo recupere a resistência (EN1537, 1999).

Tem sido prática corrente realizar ensaios até cargas máximas de ensaio de 1,25 e de 1,50 do valor da tracção de serviço de projecto de ancoragens provisórias e definitivas, respectivamente. No entanto, a EN1537 (1999) apresenta valores de carga máxima de ensaio que variam, entre a resistência ao arrancamento, R_a e 1,25 vezes a tracção de blocagem, P_0 , em função do tipo e do método de ensaio. Os tipos de ensaio de carga são: a) ensaios prévios dos componentes de ancoragens de ensaio; b) ensaios de recepção, de adequabilidade e simplificados, durante a construção; c) ensaios de verificação de carga, durante a vida da obra; d) ensaios especiais; e) ensaios, e observação global, do sistema ancoragens-terreno-estrutura.

5. CONCLUSÕES

A falta de regulamentação e normalização nacional reporta à aplicação facultativa de normas europeias e de Eurocódigos. Não obstante, é importante que sejam respeitadas as regras de arte, as recomendações dos fabricantes de cada tecnologia de ancoragens e que se proceda ao controlo estreito e sistemático realizando ensaios de carga em todas as ancoragens.

REFERÊNCIAS

- Benmokrane, B.; Zhang, B.; Chennouf, A.; Masmourdi, R. (2000). Evaluation of aramid and carbon fibre reinforced polymer composite tendons for prestressed ground anchors. *Canadian J. Civ. Eng.* (27). Pp. 1031 to 1045
- Benmokrane, B.; Haixue Xu; Nishizaki, I. (1997). Aramid and carbon fibre reinforced plastic prestressed ground anchors and their field applications. *Can. J.C.E.* (24). Pp. 968 to 985.
- BS8081 (1989). Ground anchorages. *British Standards Institution, London.*
- Dywidag-Systems International (2005). Info 13
- EN197-1 (2000). Cement, composition, applications and conformity criteria, pat1 commons cements. *European Standard, E. C. for Standardization*
- EN1008 (2002). Mixing water for concrete. Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete. *European Standard, E. C. for Standardization*
- EN1993-1 (2005). Eurocode 3 Part 1, Design of steel structures.
- EN1992-1-2 (2004). Eurocode 2 Part 1-2, Design of concrete structures. General rules. Structural fire design. December. *European Standard, E. C. for Standardization*
- EN1992-1-5 (2004). Eurocode 2, Part 1-5 Design of concrete structures. *European Standard, E. C. for Standardization*
- EN1537 (1999). Execution of special geotechnical work – Ground anchors. *European Standard, European Committee for Standardization.*
- Habib, P. (1989). Recommendations for the design, calculation, construction and monitoring of ground anchorages. A. A. Balkema. (transl. from the French. Paris, Eyrolles, 1986).
- NP EN445/2000 (2000). Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Métodos de ensaio. *Norma Portuguesa.*
- NP EN447/2000 (2000) – Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Especificações para caldas correntes. *Norma Portuguesa.*
- prEN 10138 (2005). Prestressing steels. Part 1, General requirements. Part 2, Wire. Part 3, Strands. Part 4, Bars. April.
- PTI (1996). Post-Tensioning Institute. Recommendations for prestressed rock and soil anchors.
- Schousboe, I. (1974). Prestressing in foundation construction. P.T. Session on prestressed concrete foundations and ground anchors, 7º FIP C. May to June, pp.75 to 81, New York.
- Stahlton (2002) – Techniques de construction. *Géotechnique.* Zurich.