

NÚMERO MÍNIMO DE ENSAIOS EM ANCORAGENS

MINIMUM NUMBER OF ANCHOR TESTS

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

Sousa, A., *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, asousa@lnec.pt*

Carreto, J., *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, jcarreto@lnec.pt*

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

RESUMO

A Norma europeia 1537:1999 recomenda que todas as ancoragens de um sistema de suporte ancorado sejam sujeitas a ensaios de recepção simplificado, excepto as ancoragens que tenham já sido sujeitas a ensaios de adequabilidade (ensaios detalhados). Contudo, esta recomendação continua a ser negligenciada por alguns empreiteiros nacionais. O LNEC, na qualidade de perito, foi recentemente solicitado a analisar dois casos de rotura de sistemas ancorados que só se manifestaram após cerca de 5 anos da conclusão das respectivas obras. Uma análise detalhada destes dois casos, incluindo a análise por métodos de Elementos Finitos, mostrou que se todas as ancoragens tivessem sido ensaiadas, e, devidamente inspeccionadas, na altura da entrada em serviço nas obras, teria sido possível detectar atempadamente situações de não conformidade e, assim, evitar o colapso posterior dessas duas estruturas ancoradas. Numa delas deu-se um colapso total e na outra o colapso foi pontual em algumas das ancoragens.

ABSTRACT

The European Standard 1537: 1999 recommends that all anchors of an anchored support system must be subject to simplified testing, except those anchors that have already undergone suitability tests (detailed tests). However, this recommendation continues to be overlooked by some national contractors. The LNEC was recently commissioned to look at two anchored systems cases that reached failure after 5 years of the conclusion of their works. A detailed analysis of these two cases, including finite elements methods analysis, shows that if all the anchors had been tested and inspected at the time of entry into service of works, it would have been possible to detect early situations of non-compliance and thus avoid the later collapse of these two anchored structures. In one of the structures the collapse was total and in the other one the collapse was punctual in some of the anchors.

1. INTRODUÇÃO

O LNEC é solicitado frequentemente a emitir pareceres sobre situações de rotura em obras geotécnicas, incluindo obras de estruturas de suporte ancoradas. Recentemente, os Investigadores do Núcleo de Fundações, Taludes e Obras de Suporte efectuaram a peritagem das causas da rotura de duas estruturas de suporte ancoradas, observada após cerca de 5 anos de serviço. As causas mais comuns de rotura diferidas no tempo são devidas a problemas de corrosão nas componentes da ancoragem (cabeça ou tirantes) ou a problemas de fluência na zona do bolbo de selagem. As investigações efectuadas mostraram que num dos casos a rotura foi causada por corte dos tirantes na zona da cabeça e possível fluência na zona do bolbo de selagem e no outro caso por cedência das clavetes na zona da cabeça. Contudo, se nas duas

obras, as ancoragens tivessem sido sujeitas a ensaios, conforme recomendado pela Norma europeia EN1537:1999, teria sido possível evitar o colapso dessas estruturas de suporte.

2. REFLEXÃO SOBRE A NECESSIDADE DE ENSAIAR TODAS AS ANCORAGENS DE UMA ESTRUTURA ANCORADA

Num sistema ancorado as cargas de serviço impostas pelas forças activas mobilizadas pelo terreno, ou outras cargas, são suportadas pelo conjunto total das ancoragens que compõem o sistema ancorado. É fácil perceber que se numa estrutura com apenas um nível ancorado, uma ancoragem sofre um colapso pontual então a sua carga será redistribuída pelas duas ancoragens adjacentes as quais passarão a estar sujeitas a 1,5 vezes a sua carga de serviço. Se essas duas ancoragens não tiverem capacidade para suportar esse aumento de carga, que poderia ser verificado através de ensaios com cargas iguais ou superiores a 1,5 vezes a carga de serviço, então, a rotura pode facilmente generalizar-se às ancoragens adjacentes mesmo que essas tenham, comprovadamente, capacidade para suportar cargas iguais a 1,5 vezes a sua carga de serviço. Na Figura 1 apresentam-se, como exemplo, os resultados obtidos em ensaios de fluência em duas ancoragens (coeficiente de fluência, K_s , versus carga aplicada). Considerando que uma situação de rotura é representada por $K_s = 2$ mm, pode ver-se que, relativamente à fluência, o coeficiente de segurança da ancoragem 2 é cerca de $750/575 = 1,3$ e da ancoragem 1 é de cerca de 1,45. Observa-se, no entanto, que para uma carga de 1,5 vezes a carga de serviço, ambas as ancoragens estão numa situação de rotura por fluência.

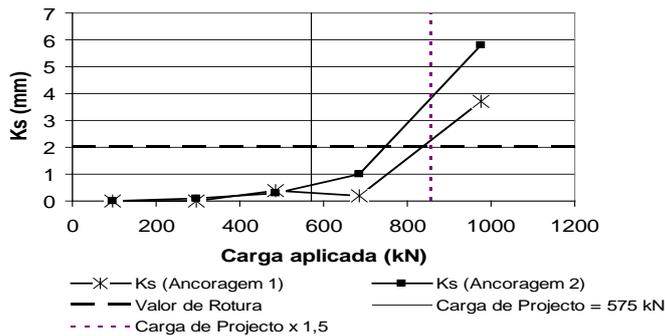


Figura 1 – Resultados de Ensaios de Fluência em Duas Ancoragens do Cais do Pinhão (Salgado, 2009)

3. PROCEDIMENTOS SEGUIDOS NOS TRABALHOS DE INVESTIGAÇÃO

Os procedimentos seguidos nos trabalhos de peritagem para apurar as causas das roturas observadas foram os mesmos para os dois casos: 1- Análise do projecto de execução; 2- Análise dos dados registados, durante a construção, pela fiscalização, pelo empreiteiro e pelo projectista, em particular, o faseamento construtivo, a execução das ancoragens (registo geológico das formações atravessadas durante as furações, registo das pressões e volumes de calda utilizados para a execução dos bolbos de selagem) e os respectivos ensaios; 3 – Simulação pelo método dos Elementos Finitos do faseamento construtivo proposto no projecto utilizando os parâmetros de deformabilidade e resistência correspondentes; 4 – Visitas de Inspeção *in situ* para colheita de dados; 5 – Análise em laboratório dos componentes das ancoragens colhidos durante as visitas de inspeção; 6 – Reuniões técnicas com os intervenientes directos na construção das obras.

O primeiro caso analisado é, a seguir, designado por caso “A” e o segundo caso por caso “B”.

4. CASO “A” (Cais da Ferradosa)

Com o objectivo de melhorar as condições de acostagem, na localidade de Ferradosa, Concelho de S. João da Pesqueira, designadamente de garantir uma frente de cais acostável com cerca de 80 metros de comprimento e um tirante de água suficiente para que pudesse ser utilizado pelos navios de turismo fluvial, incluindo os do tipo “Barco Hotel, foi construído o cais turístico-fluvial da Ferradosa, durante o ano de 2001, após lançamento de concurso público pelo ex-Instituto de Navegabilidade do Douro, IND. A solução de projecto consistia numa frente acostável, constituída por uma cortina de estacas prancha metálicas, do tipo Larsen, cravadas no substrato rochoso, com um alinhamento rectilíneo com cerca de 80 m, desenvolvida paralelamente à margem do Rio Douro. Lateralmente, o cais era fechado por trechos de cortinas de estacas-prancha do mesmo tipo, numa extensão de cerca de 5 m. Do lado de terra, era previsto um talude revestido com enrocamento de protecção. A solução, preconizada e executada, consistiu num sistema de tirantes, constituído por uma fiada de 27 ancoragens definitivas que intersectavam a referida cortina de estacas-prancha cravadas. As ancoragens foram construídas com cerca de 16 a 18 m de comprimento, uma inclinação de 25° com a horizontal e seladas no maciço rochoso por intermédio de bolbos de selagem, com cerca de 4 m de comprimento, executados *in situ* (Figura 2).

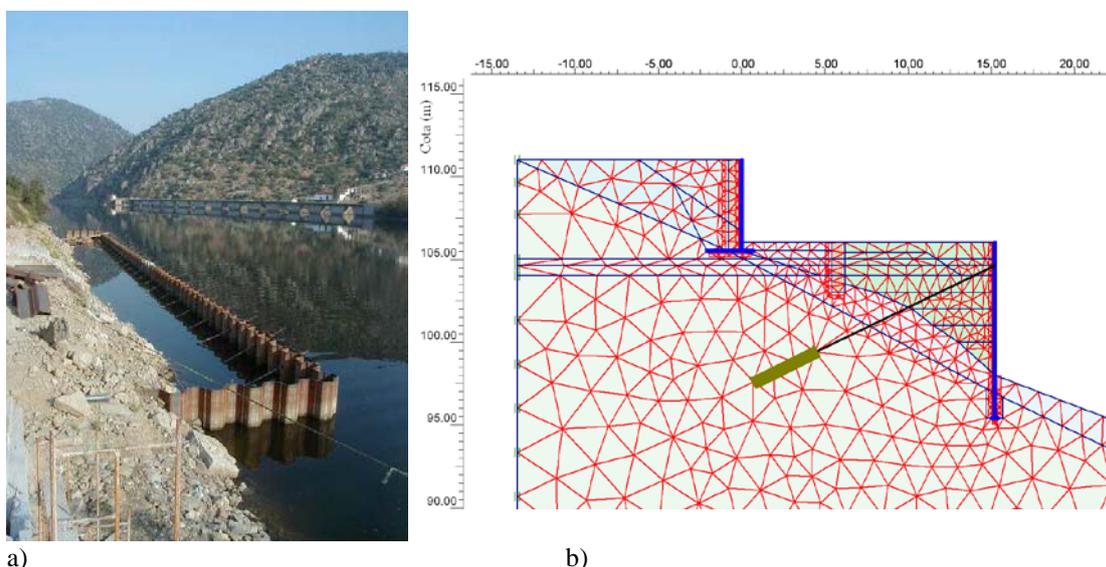


Figura 2 – a) Vista da Cortina de Estacas-Prancha e das Armaduras (Barras) das Ancoragens Antes da Colocação do Aterro; b) Secção Transversal Utilizada na Simulação Construtiva do Cais pelo Método dos Elementos Finitos (Carreto e Salgado, 2009)

O coroamento do cais foi constituído por uma viga de betão armado que funcionava como elemento rígido de solidarização da cortina de estacas-prancha e fazia uma uniformização da distribuição dos esforços pelos tirantes das ancoragens. A superestrutura do cais era constituída por um terraplino de aterro, depositado entre o tardoz da cortina de estacas-prancha e os muros de contenção existentes. A cota geral do terraplino era de +106,00 (NGP), sendo este pavimentado com calçada de cubos de granito. O cais sofreu um colapso em Abril de 2006, i.e., cerca de 5 anos após a sua construção (Figura 3).

Uma análise detalhada do projecto (Salgado, 2009), incluindo análises de Elementos Finitos (Figura 2b) com a simulação detalhada do faseamento construtivo (Carreto e Salgado, 2009) confirmam que o projecto foi bem dimensionado. O projecto recomendava que todas as ancoragens deviam ser sujeitas a ensaios antes da entrada em serviço do cais, à luz da EN1537:1999.

Uma análise detalhada dos elementos registados durante a construção da obra mostrou que as 27 ancoragens do sistema ancorado do cais eram do tipo VSL GEO – Barras roscadas Y950/1050 de diâmetro 36 mm e que foram seladas no maciço xistoso local. Contudo não foram sujeitas a qualquer ensaio, excepto 2 ensaios prévios em ancoragens exteriores à zona da obra.



Figura 3 - Vistas do Cais da Ferradosa: a) Uma Semana Antes da Rotura; b) Após a Rotura

Um levantamento subaquático, efectuado em Junho de 2008 (Figuras 4 e 5), mostrou que: i) das 27 ancoragens construídas, só foram encontrados 18 tirantes; ii) o mecanismo de rotura de 18 das 27 ancoragens não foi devido a fenómenos de corrosão nem a fenómenos de fluência na zona do bolbo de selagem, pois a rotura foi observada, perto da zona da cabeça das ancoragens, por corte dos tirantes; iii) ficaram por identificar 9 ancoragens, assim como o seu mecanismo de rotura, nomeadamente as ancoragens com os números 6, 8 a 12, 22, 23 e 25 (Figura 5). O mecanismo de rotura destas 9 ancoragens poderá ter sido devido a fenómenos de fluência na zona do bolbo de selagem.



Figura 4 – Levantamento Subaquático dos Varões das Ancoragens Encontradas Pelos Mergulhadores

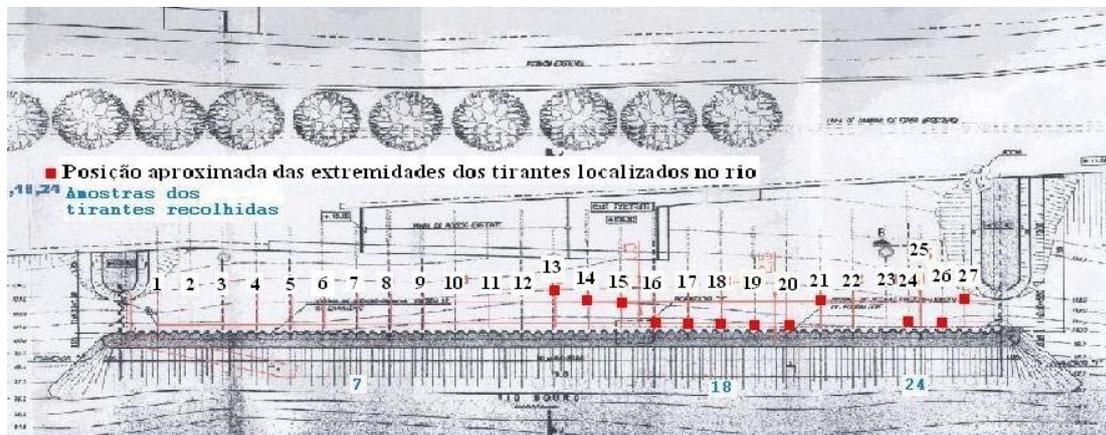


Figura 5 – Planta com a Localização dos Tirantes das Ancoragens Encontradas

Da análise de todos os elementos disponibilizados pelo dono de obra, fiscalização, empreiteiro e projectista, incluindo a fotografia apresentada na Figura 6, o LNEC conclui que a causa principal da rotura dos tirantes das ancoragens se deveu a um mecanismo de corte mobilizado pelo peso do aterro, construído com elementos de dimensões significativas, sobre os tirantes das ancoragens, mas não afasta a hipótese de rotura por fluência, na zona do bolbo de selagem, em algumas das 9 ancoragens que não foram encontradas.

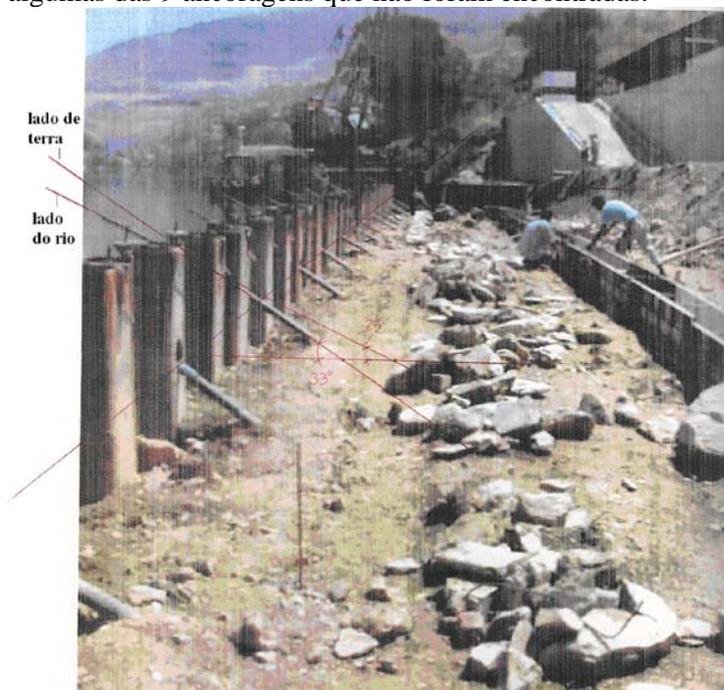


Figura 6 – Vista do Tardoz do Cais da Ferradosa Durante a Construção (Fotografia Disponibilizada Pelo Projectista)

O LNEC (Salgado, 2009) conclui, também, que se as ancoragens tivessem sido ensaiadas antes do Cais da Ferradosa ter entrado em serviço poder-se-ia ter detectado eventuais problemas de fluência na zona do bolbo de selagem de algumas das ancoragens e a existência de excesso de fricção pois, como se observa na Figura 2, as barras das ancoragens, já antes da conclusão do aterro, estavam desalinhadas relativamente ao seu alinhamento inicial de projecto e em contacto com a cortina de estacas-prancha (Figura 5).

5. ANÁLISE DO CASO “B” (Muro ME41.1, Bustelo)

O Caso “B” é considerado um caso atípico porque a causa da rotura observada foi devida a um problema de cedência das clavetes na zona da cabeça da ancoragem. Trata-se de um muro de suporte ancorado, localizado ao km 41.1 da linha do Douro (Cête-Cáide), construído faseadamente de baixo para cima em que as ancoragens foram sendo apertadas, também faseadamente, à medida que o aterro foi subindo no tardoz do muro. As ancoragens eram do tipo de cordão solidarizadas na zona da cabeça através de clavetes (Figura 7). Após extensa investigação, o LNEC conclui que as clavetes, por não terem sido substituídas durante o processo construtivo, foram perdendo as estrias de fricção, facto que condicionou a “mordedura” dos cordões, e, assim, não impediram o seu deslizamento relativo à zona da cabeça (Figura 8). Devido a esse fenómeno atípico, após cerca de 5 anos da sua construção, as cabeças de algumas das ancoragens começaram a cair no chão (Figura 9). Na altura do registo da queda da cabeça de alguma das ancoragens a estabilidade do muro foi posta em causa assim como o seu dimensionamento e o LNEC foi solicitado a esclarecer o assunto.



Figura 7 – Acessórios para Cabeça de Ancoragens de Cordões: a) Cordões; b) Bases; c) Clavetes (Carvalho, 2009)



Figura 8 – Fotografia de uma das Clavetes Recuperadas da Cabeça Selada de uma das Ancoragens (Salgado et al. (2007)



Figura 9 – a) Zona de uma das Ancoragens Sem Cabeça; b) Cabeça Caída no Chão

Após uma exaustiva análise de todos os elementos disponibilizados (projecto e registos de obra) e da simulação pelo método dos Elementos Finitos (Carreto e Salgado, 2007) da construção faseada do muro de suporte (Figura 10), o LNEC chegou às seguintes conclusões:

a) o projecto estava bem dimensionado;

b) as ancoragens da obra não foram sujeitas a ensaios de recepção, nem simplificados nem detalhados, embora tenham sido efectuados registos de carga até cerca de 1,1 vezes a carga de projecto. Destes dados não se inferiu nenhuma anomalia relevante para justificar as patologias.

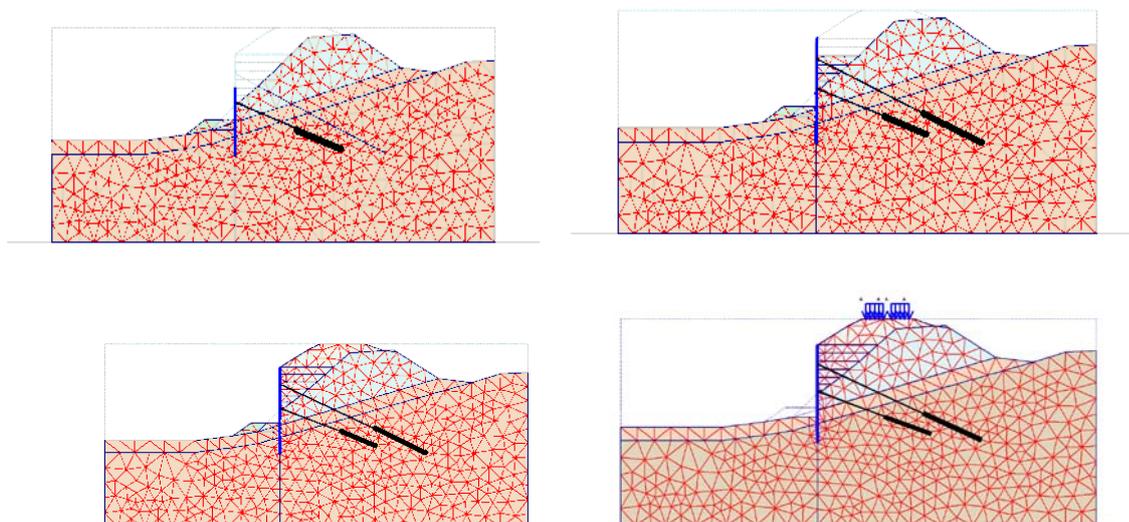


Figura 10 – Simulação de Sequência Construtiva Pelo Método dos Elementos Finitos (Carreto e Salgado, 2007)

Para tentar compreender a causa das patologias os técnicos do LNEC efectuam 1º uma análise detalhada, efectuada *in situ* da cabeça das ancoragens seladas existentes no muro (Figura 11).



Figura 11 – Observação da Cabeça das Ancoragens Existentes e Ainda Seladas com Betão

Da inspecção efectuada após a demolição do betão de protecção da cabeça das ancoragens (Figura 11 a) a c)) foi possível verificar que na maioria dos casos existiam fios nos cordões e cordões com diferentes comprimentos (Figura 11 d) e e)). Estas anomalias são consideradas factos muito relevantes, porque antes da selagem da cabeça das ancoragens os cordões são cortados com uma rebarbadora deixando todos os fios de cada cordão exactamente o mesmo

comprimento (ver Figura 7), e sinónimos de ocorrência de uma rotura do tipo frágil numa qualquer zona da ancoragem e de cedência progressiva das clavetes na zona da cabeça. O desfazamento entre cordões, sinónimo de cedência das clavetes, poderia ter-se desenvolvido durante cerca dos 5 anos até que foram detectadas as patologias. No entanto, a continuação da investigação efectuada pelos técnicos do LNEC mostra que esta grave patologia já existia na data em que as cabeças das ancoragens foram seladas conforme é ilustrado a seguir.

Utilizando as cabeças das ancoragens que caíram, por si, do muro, mas ainda com o selo de betão intacto (Figuras 9 b), 12 e 13), foi possível constatar, através da medição do comprimento do negativo deixado pelos cordões, que na data da selagem os cordões já tinham comprimentos diferentes e que, portanto, o fenómeno de cedência das clavetes já estava em progresso nessa altura.

As causas destas anomalias foram a repetição sucessiva dos carregamentos das ancoragens alternadas com a variação da excentricidade de cargas devidas ao aumento das tensões verticais em consequência do crescimento do aterro. A continuação da investigação mostrou que algumas das clavetes recuperadas apresentavam sinais de escorregamento dos cordões através das paredes internas das clavetes e a rotura da extremidade anterior destas (Figuras 8 e 14). Isto significa que a força aplicada em cada ancoragem durante a blocagem (cerca de 1,1 vezes a carga de projecto) não foi redistribuída igualmente pelos 8 cordões de cada ancoragem, causando situações pontuais de fluência nos cordões que acabaram por ser solicitados com cargas superiores às mobilizadas por fricção entre as clavetes e os cordões o que permitiu aos cordões escorregarem através das clavetes em que as estrias se apresentavam danificadas (Figura 14).

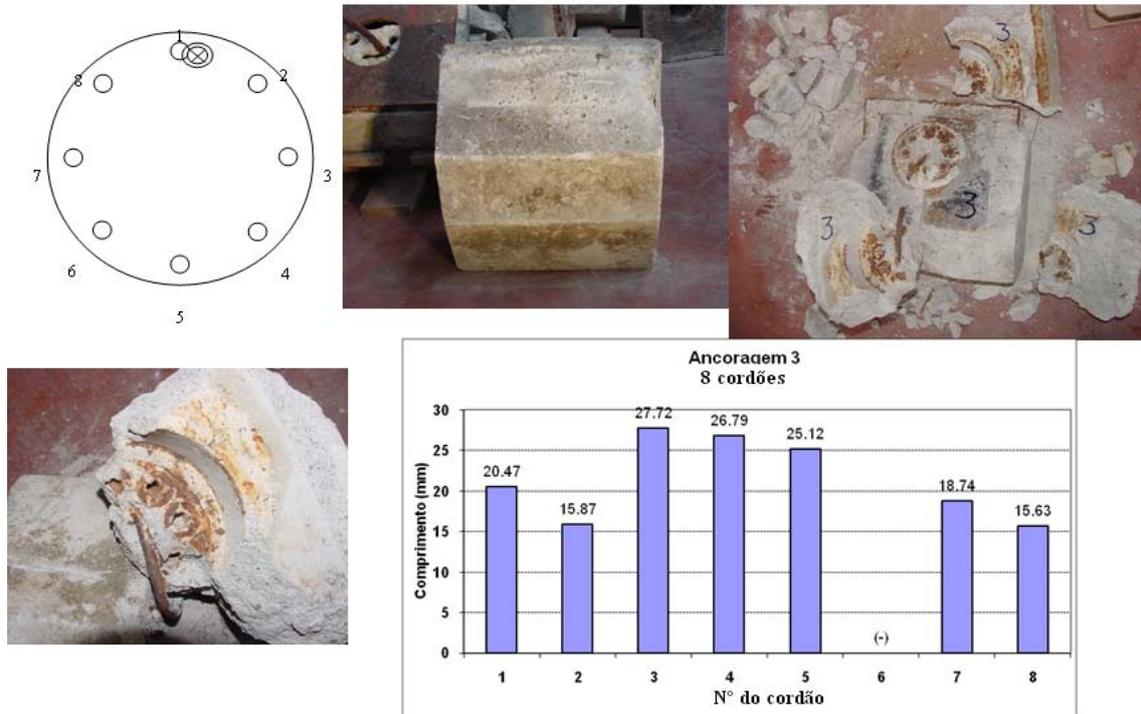


Figura 12 – Registo do Comprimento dos Negativos dos Cordões da Ancoragem n.º 3

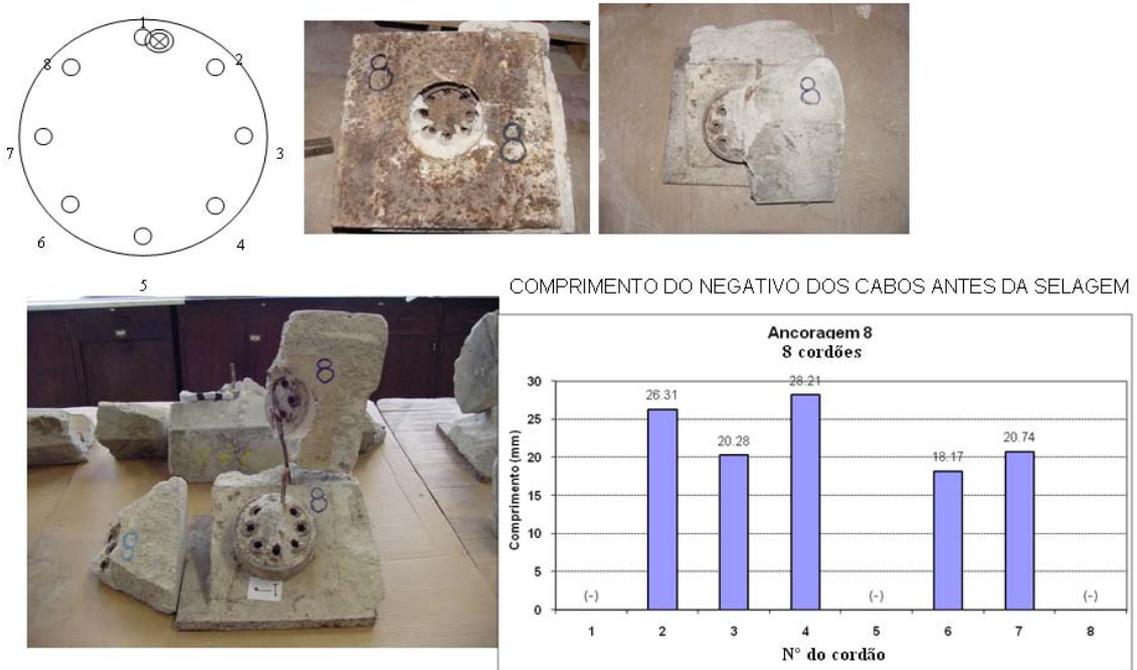


Figura 13 – Registo do Comprimento dos Negativos dos Cordões da Ancoragem nº 8



Figura 14 – Fotografia das 3 Clavetes com Sinais de Escorregamento de um dos Cordões da Ancoragem nº 8

6. CONCLUSÕES

Da análise efectuada pelos técnicos do LNEC de dois casos de rotura observados em estruturas de suporte ancoradas sobressaem dois factos importantíssimos.

- a) Todas as ancoragens devem ser ensaiadas antes das obras ancoradas entrarem em serviço.
- b) No caso de muros de suporte de aterros, construídos faseadamente de baixo para cima, ou de muros cais, como o caso do Cais da Ferradosa, as ancoragens têm que ser protegidas contra as deformações no plano vertical causadas pelo peso do aterro e pela sua compactação e só podem ser ensaiadas depois de o terraplano estar concluído;
- c) Antes da execução da selagem da cabeça das ancoragens deve ser efectuada uma inspecção detalhada por pessoal técnico especializado para garantir que estão reunidas as condições de estabilidade expectáveis nas ancoragens da obra.

AGRADECIMENTOS

Ao IPTM - Delegação do Norte e Douro pela autorização da utilização dos dados e ao Eng.º José Manuel Coutinho por toda a colaboração dada ao LNEC;

À REFER, E.P. – Delegação Norte pela autorização da utilização dos dados e aos Eng.º(s) Armando Duarte Pereira, José Carlos Chiquilho e Luís Fernando Ribeiro por toda a colaboração dada ao LNEC;

Ao grupo técnico do Núcleo de Fundações, Taludes e Obras de Suporte, do Departamento de Geotecnia do LNEC, nomeadamente os Técnicos Superiores António Bordalo Coelho e Fechas da Costa o Bolseiro de Experimentação Luís Coimbra e o Técnico Operacional António Cruz Nunes.

REFERÊNCIAS

- Carreto, J. e Salgado, F.M. (2009). Estudo do colapso do cais da ferradosa. Modelação numérica. Trabalho realizado para o IPTM - Delegação do Norte e Douro. Rel. nº 5/2009-NFTOS, Janeiro de 2009.
- Carreto, J. e Salgado, F.M. (2007). Estrutura de suporte ancorada ME 41.1 no troço Cête-Cáide da linha do Douro. Trabalho realizado para a REFER, E.P. - Delegação Norte, no âmbito do parecer sobre as causas das patologias observadas em Janeiro de 2006 (relatório provisório).
- Carvalho, M.R. (2009). Ancoragens pré-esforçadas em obras geotécnicas. Construção, ensaios e análise comportamental. Tese de Doutoramento, FEUP, Abril de 2009.
- EN1537 (1999). Execution of special geotechnical work – Ground anchors. European Standard, European Committee for Standardization.
- Salgado, F.M. (2009). Causas do colapso do Cais da Ferradosa e Parecer sobre a estabilidade do Cais do Pinhão. Trabalho efectuada para o IPTM – Delegação do Norte e Douro. Relatório nº 4/2009-NFTOS, Janeiro de 2009
- Salgado, F.M., Sousa, A., Carreto, J. e Carvalho, M.R. (2007). Parecer preliminar sobre as causas das patologias observadas em Janeiro de 2006 no muro ME 41.1 – Bustelo. Apresentação Power point no LNEC na reunião do dia 21 de Novembro de 2007 entre técnicos da REFER, Projectista, Empreiteiro e Fiscalização.