

# MÉTODOS DE ENSAIO PARA VERIFICAÇÃO DA CARGA INSTALADA EM ANCORAGENS DE SERVIÇO

## TEST METHODS FOR VERIFYING THE INSTALLED WORK LOAD IN GROUND ANCHORS

Mariana de Carvalho, LNEC, Lisboa, Portugal, *marc@lnec.pt*

Erisvaldo de Lima, GroundTech Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, *erisvaldo@groundtech.com.br*

### RESUMO

As ancoragens no terreno em estruturas de contenção, apresentam-se como “obras vivas”, carecendo de inspeção e de manutenção periódicas. A carga nas ancoragens pode variar com o tempo, nomeadamente para valores inferiores aos da blocagem, geralmente na presença de problemas associados com fenómenos de corrosão da armadura ou por redução dos impulsos do terreno, ou para valores superiores por aumento das solicitações do terreno, por exemplo. O ensaio de verificação da carga instalada realiza-se em ancoragens de obra, em serviço, com o objetivo de esclarecer o respetivo comportamento mecânico e de fluência, entre outros aspetos. Neste contexto, avaliar a magnitude da carga instalada nas ancoragens é fundamental para garantir a longevidade e segurança das obras. Entre os ensaios que permitem avaliar a carga instalada nas ancoragens, destacam-se: o ensaio de verificação da tração (EVT), cuja metodologia se desenvolveu no LNEC, e o ensaio do tipo Lift-Off. Neste artigo apresenta-se uma descrição dos fatores responsáveis pela variação da carga em ancoragens no terreno, do ensaio EVT e de Lift-Off, bem como resultados de ensaios de obra, sua análise e considerações.

### ABSTRACT

Ground anchors in retaining structures are “live works”, requiring periodic inspection and maintenance. The anchors load can vary over time, namely to lower values than the lock-off value, generally in the presence of problems associated with tendon corrosion phenomena or due to the reduction of earth pressure, or for higher values than the lock-off value due to an increase of the ground pressure effects, for instance. It is performed the load verification test on work anchors to clarifying the respective mechanical and creep behavior, among others characteristics. In this context, assessing the magnitude of the load installed in an anchor is crucial to ensure longevity and safety of the structure. To assess the installed load anchor tests are available, such as the traction verification test (EVT), developed at LNEC, and the Lift-Off test. This paper presents a description of the factors responsible for load variation in ground anchors, the EVT and Lift-Off tests, as well as the results of site tests, their analysis and considerations.

### 1 INTRODUÇÃO

O recurso a ancoragens no terreno, com a finalidade de assegurar a estabilidade de estruturas geotécnicas, correspondem a soluções com várias décadas de aplicação.

A inspeção periódica e a monitorização de ancoragens de obra são atividades primordiais para verificar e garantir que a carga instalada está conforme os requisitos de projeto e para avaliar se o comportamento da estrutura permanece adequado.

A carga de serviço de ancoragens determina-se com base na natureza e comportamento do maciço face às solicitações a que a obra será submetida e no respetivo comportamento do sistema. Assim, os ensaios de EVT e de Lift-Off surgiram com a finalidade de permitir verificar e avaliar a carga instalada em ancoragens de obra, isto é, em serviço.

## **2 ORIGENS DA VARIAÇÃO DE CARGA EM ANCORAGENS**

A carga instalada pode variar expressivamente durante a vida útil das estruturas e esta variação pode ser resultante de diversos fatores, como a fluência, a alteração das ações ou da alteração do estado de tensão do terreno, da alteração da integridade das ancoragens, entre outros. Estes fatores podem resultar num comportamento deficiente da obra que deverá ser acompanhado e avaliado e, dependendo da variação de carga, poderá ser necessário intervir na obra. Porém, previamente, deverão ser apuradas as causas da variação de carga registada.

Caso a alteração de carga se deva ao aumento de solicitações, à deformação do terreno ou problemas de comportamento das ancoragens, as medidas a adotar devem envolver soluções abrangentes e não apenas a correção do valor da carga instalada nas ancoragens. Nestas circunstâncias é frequentemente necessário mitigar problemas estruturais ou de estabilidade. Assim, a solução a adotar, quer seja a reposição de carga, o aumento do número de ancoragens ou outra, implica um estudo criterioso e pormenorizado dos problemas verificados.

A perda de carga dependente de vários fatores, como características de resistência do terreno, solicitações e resistência mecânica dos elementos do sistema que constituem as ancoragens, entre outros. Os principais responsáveis pela perda de carga são:

- Geometria do furo de sondagem;
- Aspectos construtivos das ancoragens;
- A deformação da zona ancorada;
- A deformação do apoio sob a placa ou da placa;
- O efeito da componente tangencial sobre a placa de descarga;
- O deslizamento da armadura durante a blocagem da ancoragem;
- O atrito da armadura no comprimento livre da ancoragem;
- O atrito na zona da transição da cabeça com o comprimento livre;
- A relaxação do aço da armadura;
- Fluência da selagem da ancoragem;
- Desenvolvimento de fenómenos de corrosão, com redução da secção da armadura que contribui para a redução da sua resistência.

Após a blocagem geralmente ocorre perda de carga (Figura 1) devida ao comportamento do sistema de pré-esforço e/ou a anomalias nas cunhas, roscas, ou outros elementos que promovem a fixação da armadura na cabeça, por não restringirem de imediato o movimento da armadura. Pelo facto, a carga de blocagem corresponde frequentemente a uma majoração de 10% da carga de serviço.

O aumento da carga nas ancoragens pode estar associado com diversas situações que condicionem o comportamento da estrutura de suporte e/ou a própria ancoragem. Apresenta-se na Figura 2 um exemplo de uma obra onde o seu faseamento gerou o aumento de carga, que se observou em ancoragens instrumentadas. Assinala-se que este tipo de comportamento também se observa durante a vida útil em estruturas de suporte ancoradas, nomeadamente devido ao aumento de impulsos sobre as estruturas que se traduzem na mobilização das ancoragens da obra. Este comportamento por vezes é sazonal e cíclico, devido à variação do nível freático do maciço, registando-se o aumento de carga no período mais chuvoso e a sua redução nas épocas secas (Figura 1), respetivamente.

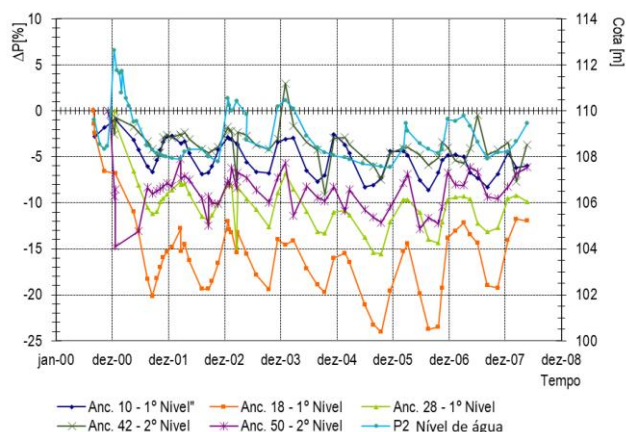


Figura 1 – Evolução da variação percentual da carga, relativamente ao valor inicial e do nível de água no piezómetro do P2 (Carvalho, 2009)

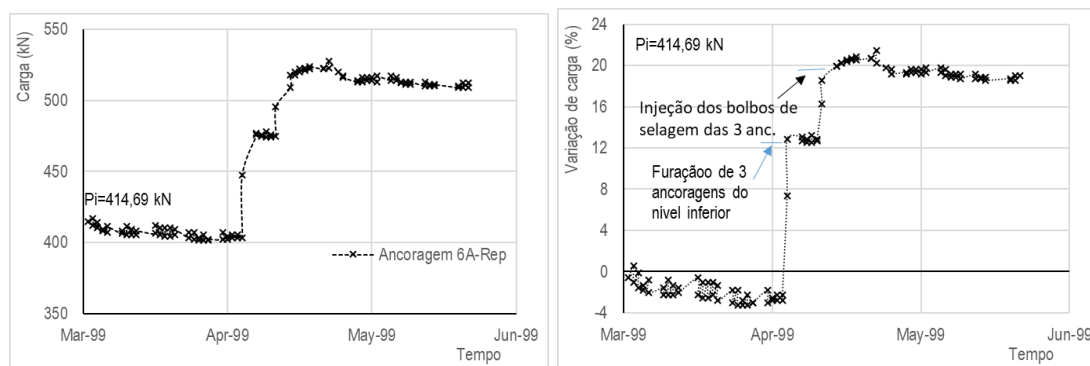


Figura 2 – Evolução da carga de uma ancoragem durante as obras em curso na zona da ancoragem A6-REP, na fase construtiva da obra de suporte (Carvalho, 2009)

### 3 ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DE TRAÇÃO (EVT), MÉTODO LNEC

#### 3.1 Descrição geral

O EVT desenvolveu-se no LNEC (Sousa, 2018), no âmbito das atividades de investigação por contrato. Apesar de se encontrar validado e reconhecido no meio técnico, este tipo de ensaio não está contemplado em normas da especialidade.

O EVT permite avaliar o valor da carga instalada em ancoragens de obra e obter informação das características mecânicas da ancoragem, o seu comprimento livre, os deslocamentos máximo e residual, bem como a rigidez da ancoragem.

A inspeção visual pormenorizada da estrutura antecede o EVT, desta forma será possível definir previamente, em cada caso, os procedimentos adequados do ensaio. Assinala-se que cada tecnologia apresenta as respectivas especificidades, pelo que se devem ter em consideração os aspetos relevantes e as condicionantes para a realização do programa da respetiva inspeção visual e os equipamentos necessários à realização do ensaio.

A inspeção envolve a avaliação da conformidade: (i) dos componentes do sistema da ancoragem às especificações do equipamento do ensaio; (ii) do método construtivo às especificações do projeto de execução; e (iii) de integridade dos componentes da ancoragem e na estrutura na sua zona envolvente. Na inspeção visual ao sistema de ancoragem, incluem-se, entre outras, as seguintes componentes:

- a1. verificação do grau de oxidação dos elementos externos da ancoragem, como da armadura, placa de descarga, peças de blocagem, cabeça da ancoragem, entre outros;
- a2. verificar o estado de conservação dos elementos de blocagem (como cunhas tripartidas, roscas ou outras) e o seu posicionamento da sua superfície da cabeça;
- a3. observar minuciosamente os elementos da armadura que compõem a ancoragem;
- a4. investigar se há incidência de fendas na vizinhança da placa de descarga;
- a5. verificar o estado da placa de descarga.

Para a realização do EVT deve dispor-se do respetivo procedimento operacional de execução (POE), que deverá incorporar o respetivo programa de ensaio, a carga máxima a aplicar durante o EVT, as características técnicas de todos os equipamentos a utilizar e respetivos certificados de calibração. Deve de igual modo constar a informação existente, de projeto e de obra, sobre as ancoragens em serviço a ensaiar.

O EVT consiste na aplicação de carga com um sistema de pré-esforço, em conformidade com o programa de ensaio definido no POE, que deve contemplar patamares controlados de carga crescente, para mobilizar a armadura e permitir retirar os elementos de blocagem (cunhas, por exemplo) da ancoragem.

O EVT compreende três fases (Sousa, 2018):

- Fase 1. aplicação de carga na armadura exterior até se atingir a carga máxima que mobiliza o corte da ligação de contacto dos elementos de blocagem com a cabeça, que poderá coincidir com a perceção visual ou acústica do deslocamento;
- Fase 2. aplicação de pelo menos três patamares de carga de modo a promover o deslocamento dos elementos de blocagem e permitir a sua remoção;
- Fase 3. remoção dos elementos de blocagem e descarga integral da ancoragem.

### **3.2 Procedimentos de execução do EVT**

O EVT tem como objetivos avaliar o comportamento de ancoragens de obra e a respetiva desativação, com a remoção dos elementos de blocagem. Seguidamente, apresenta-se a sequência genérica dos procedimentos do ensaio, considerando que se deve realizar a medição e registo da carga e dos deslocamentos em cada instante previsto no programa de ensaio preconizado pelo POE.

- Instalação de mesa de descravação (Figura 3), centrada com a armadura, apoiada sobre a chapa de furos da cabeça da ancoragem (nunca na placa de distribuição);
- Montagem do macaco, devidamente centrado, e extraído o comprimento de êmbolo previamente avaliado, face ao valor da carga máxima prevista;
- Montagem de defletómetros, em elemento fixo, e dos fios ínvar para medição dos deslocamentos da armadura, da estrutura e do êmbolo do macaco.
- Aplicar carga de referência,  $P_a$ , com o sistema de pré-esforço, garantindo o alinhamento de todo o sistema (mesa e macaco) e que os batentes da mesa permanecem apoiados na cabeça, sem restringir os movimentos dos elementos de blocagem (por ex<sup>o</sup>, cunhas);
- Verificar se os defletómetros apresentam o deslocamento crescente no sentido das respectivas escalas; realizar o ajustamento dos dispositivos e zerar o sistema;
- Realizar reportagem fotográfica, nas várias fases do ensaio, dos equipamentos e do local, bem como dos pormenores que se considerem relevantes para futura interpretação do ensaio e esclarecimento de eventuais dúvidas;
- Realizar o EVT, de acordo com o programa de ensaio do POE, assegurando pelo menos 3 patamares de carga após ter atingido a carga instalada, remover os elementos de blocagem seguindo-se a fase de descarga até  $P_a$ , com medição dos deslocamentos e das cargas nos mesmos níveis da fase de carga.

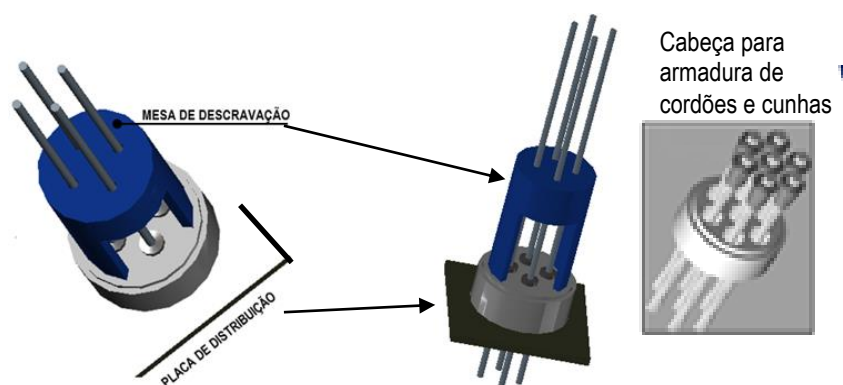


Figura 3 – Mesa de descravação, placa de distribuição, chapa de furos de uma cabeça da ancoragem de cordões e cunhas (fonte: autores)

### 3.3 Análise e interpretação dos resultados do EVT

A interpretação dos resultados do EVT integra a análise de representação gráfica da evolução dos deslocamentos com carga (Figura 4).

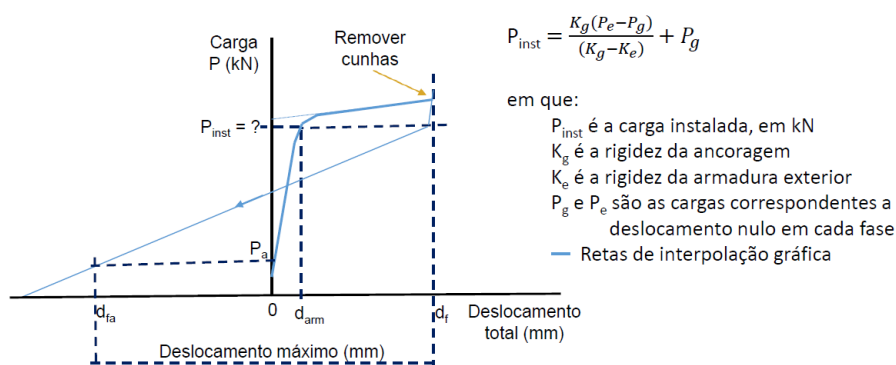


Figura 4 – Representação gráfica esquemática para análise dos resultados do EVT (adaptado de Sousa, 2018)

A carga instalada pode estimar-se: (i) analiticamente, considerando a rigidez da ancoragem, o comprimento exterior da armadura e o valor da carga durante a fase de aumento de carga; e/ou (ii) graficamente, considerando o ponto da interseção de duas retas ajustadas no gráfico mencionado.

## 4 ENSAIO LIFT-OFF

### 4.1 Descrição geral

O ensaio Lift-Off tem como objetivo avaliar a carga instalada numa ancoragem. A carga máxima a aplicar durante o ensaio Lift-Off será 1,5 vezes a carga de serviço ou 90% da carga característica de rotura da armadura ( $P_{tk}$ ). Caso não se disponha do valor da carga de serviço, a carga máxima do ensaio será  $90\%P_{tk}$ . Quando no ensaio se atinge o ponto de levantamento, Lift-Off, aplicam-se, no mínimo 3 incrementos de carga adicionais antes de se considerar o ensaio concluído. Seguidamente, reduz-se o valor da carga até ao seu valor inicial ( $P_a$ ). A aplicação de carga, com o sistema de pré-esforço, prossegue até se verificar a redução do declive na curva da evolução do deslocamento com a carga (Figura 5). Na representação gráfica, dos resultados obtidos no ensaio Lift-Off, da evolução dos deslocamentos com a carga, o ponto de inflexão corresponderá à carga instalada na ancoragem naquele instante (Figura 5).

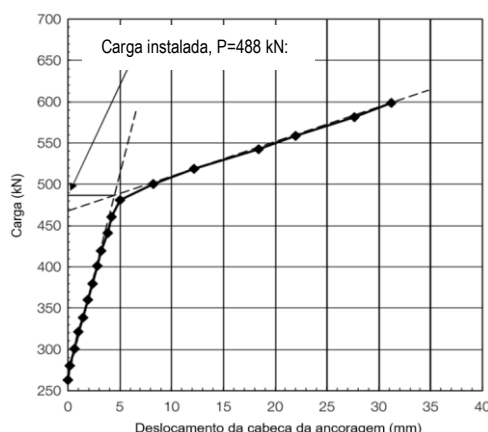


Figura 5 – Evolução do deslocamento com a carga (adaptado de Public Works Research Institute, 2015)

### 4.2 Procedimentos de execução do ensaio de Lift-Off

O ensaio Lift-Off contempla 3 fases e, na generalidade, foi desenvolvido por Heslin *et al.* (2009), inicialmente em ancoragens de barragens antigas. Apresenta-se na Figura 6 a representação esquemática do ensaio.

**Fase 1**, aumento da carga com incrementos de 5 a 10% da carga instalada esperada. Após verificada a inflexão da curva de evolução dos deslocamentos com a carga, a alteração significativa do declive é o indicador de que a carga de instalada foi atingida e excedida, o que se pode confirmar quando se observa a separação da cabeça da ancoragem da placa de distribuição. Seguidamente, reduz-se a carga para um valor inferior ao do Lift-Off. Inicia-se a fase 2.

**Fase 2**, aplicação de carga de valor imediatamente inferior ao obtido para a carga de Lift-Off da fase 1, aplicando incrementos de 1% a 2% dessa carga de Lift-Off.

**Fase 3**, manter o sistema de pré-esforço em funcionamento contínuo até se verificar a redução da taxa de crescimento da carga. Considera-se que o risco de rotura da armadura é controlado uma vez que a carga instalada se avaliou nas fases anteriores.

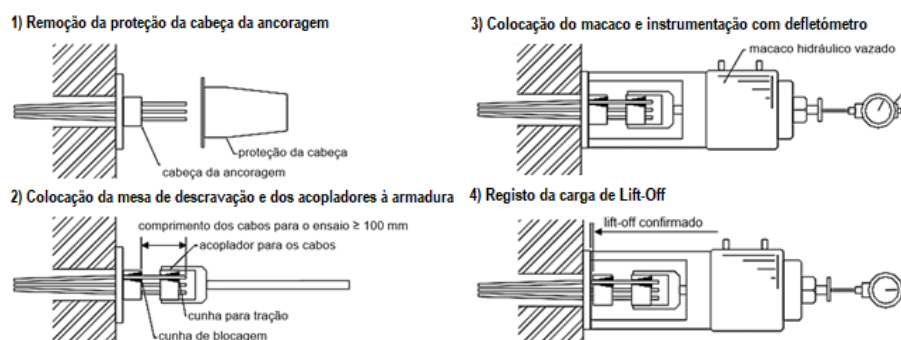


Figura 6 – Fases do ensaio de Lift-Off (adaptado de Public Works Research Institute, 2015)

No ensaio de Lift-Off, antes de se verificar o afastamento da cabeça da ancoragem da placa de descarga, o deslocamento da cabeça é reduzido (Figura 7;II, Figura 8; O-A). Com o aumento da carga, esta iguala-se à carga instalada e inicia-se o afastamento da cabeça da ancoragem da placa (Figura 7; III, Figura 8; ponto A).

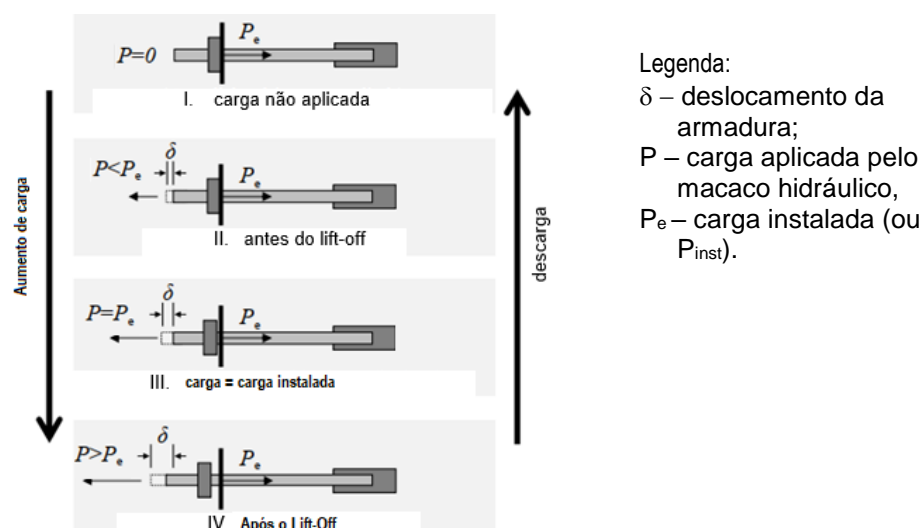


Figura 7 – Faseamento do ensaio Lift-Off (Adaptado de Fujiwara e Sakay, 2016)

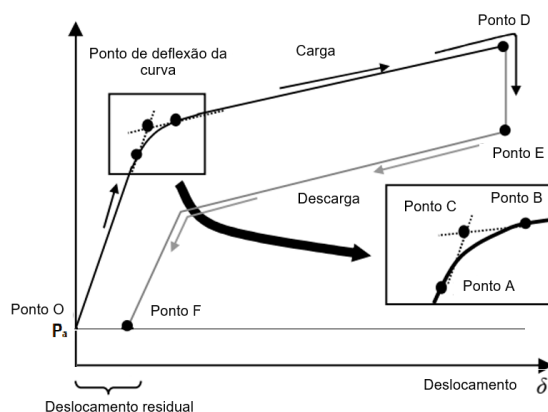


Figura 8 – Evolução do deslocamento na fase de carga e descarga, no ensaio de Lift-Off (Adaptado de Fujiwara e Sakay, 2016)

## 5 ESTUDO DE CASO E RESULTADOS DE ENSAIOS LIFT-OFF E EVT LNEC

Seguidamente apresentam-se casos práticos dos ensaios EVT e de Lift-Off, aplicando os dois métodos de cálculo para se determinar a carga instalada em ancoragens de obra. Assim, apresentam-se os resultados de ensaios de 5 ancoragens, com as características que se indicam no Quadro 1. Assinala-se que nas ancoragens T1 a T3 se aplicou a carga de blocagem com 80% da carga de serviço, aproximadamente.

Quadro 1 – Características das ancoragens

Ancoragem	Geométricas			Mecânicas				
	$L_{lf}$ m	$L_e$ m	$L_{tb}$ m	A mm <sup>2</sup>	$P_{tk}$ kN	E kN/mm <sup>2</sup>	P kN	$P_o$ kN
T1	NI	0,60	NI	2269	1225	210	700	580
T2	NI	0,55	NI	2269	1225	210	700	580
T3	NI	0,60	NI	1319	807	210	460	350
EVT A1.4	12,0	0,45	8,0	558,76	1100	199	400	440
EVT A4.2	9,0	1,00	8,0	559,88	1095	194	400	440

$L_{lf}$  - comprimento livre;  $L_e$  - comprimento exterior da armadura;  $L_{tb}$  - comprimento de selagem; A - secção transversal da armadura; NI - não informado;  $P_{tk}$  - carga característica de rotura à tração da armadura; E - módulo de elasticidade da armadura; P - carga de serviço,  $P_o$  - carga de blocagem.

Nos exemplos que se apresentam, 3 ancoragens têm armadura em monobarra e são parte de uma estrutura de contenção na cidade do Rio de Janeiro, com a designação T1 (INCØ57 mm), T2 (INCØ57 mm) e T3 (INCØ44 mm) (Figura 9 a Figura 11); as outras 2, localizadas em Portugal, EVT A1.4 e EVT A4.2 (Figura 12 e Figura 13), têm armadura de cordões em aço de alta resistência e de baixa relaxação (Ø15,7 mm).

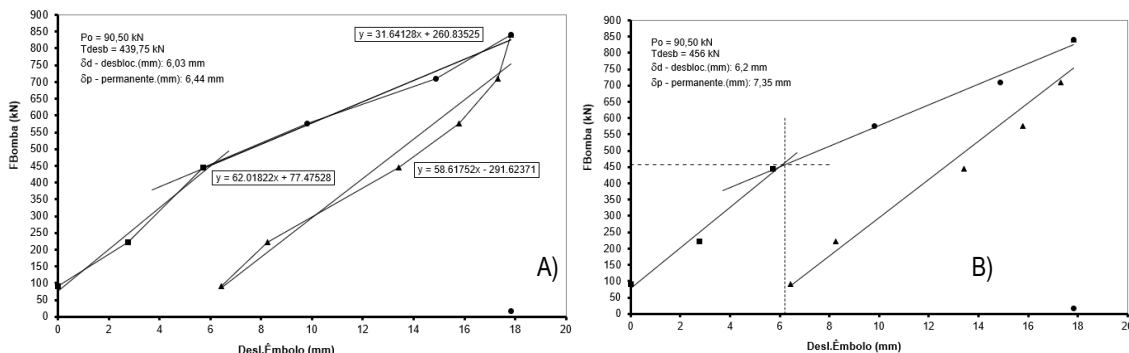


Figura 9 – Ancoragem T1. Evolução do deslocamento com a carga, (A) método do LNEC e (B) do ensaio Lift-Off (a cabeça afastou-se entre a fase 4 e 5 de subida de carga)

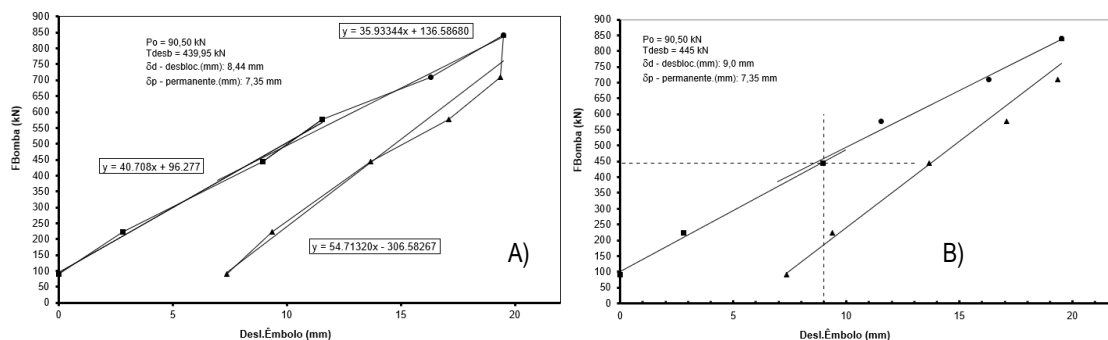


Figura 10 – Ancoragem T2. Evolução do deslocamento com a carga, (A) método do LNEC e (B) do ensaio Lift-Off (a cabeça afastou-se entre a fase 4 e 5 de subida de carga)



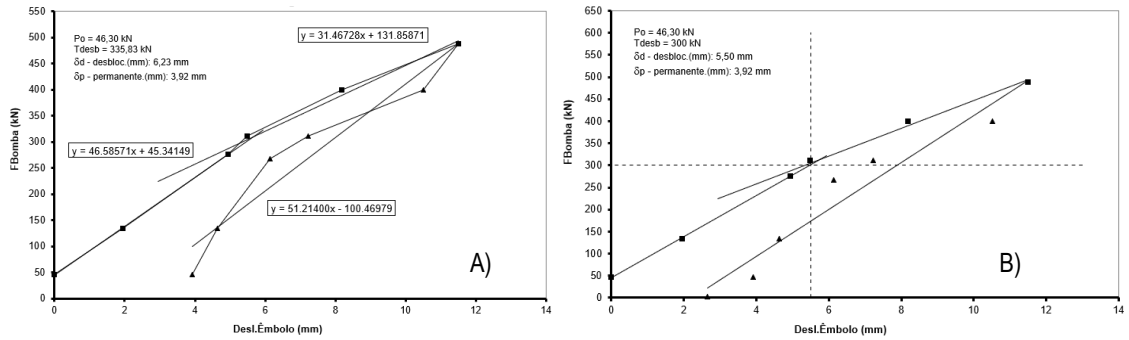


Figura 11 – Ancoragem T3. Evolução do deslocamento com a carga, (A) método do LNEC e (B) do ensaio Lift-Off (a cabeça afastou-se entre as fases 4 e 5 de subida de carga)

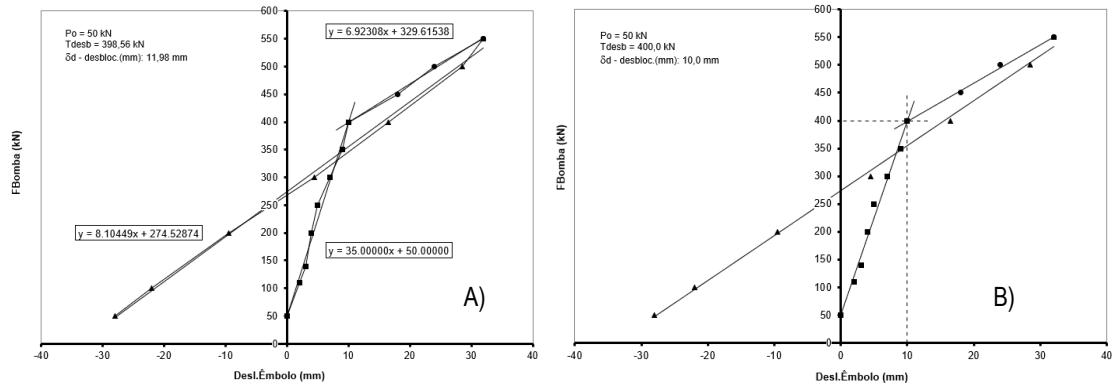


Figura 12 – Ancoragem EVT A1.4. Evolução do deslocamento com a carga, (A) método do LNEC e (B) do ensaio Lift-Off

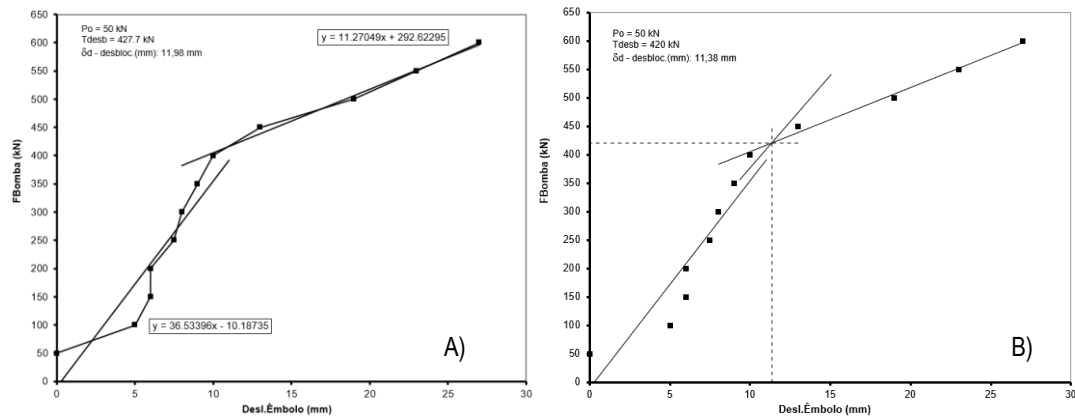


Figura 13 – Ancoragem EVT A4.2. Evolução do deslocamento com a carga, (A) método do LNEC e (B) do ensaio Lift-Off

Na ancoragem EVT A4.2, durante o EVT, as duas cunhas superiores soltaram-se entre a carga de 300 kN para 350 kN. As duas cunhas inferiores soltaram-se entre os 400 kN e os 450 kN. Desta forma, verificou-se que os 4 cordões estavam com cargas diferentes, sendo a carga instalada na ancoragem de 400 kN. Na fase inicial do ensaio, verificou-se escorregamento das cunhas do macaco. O valor do deslocamento inicial não se considerou na determinação da carga na ancoragem.

No Quadro 2 apresenta-se o valor da carga instalada em cada ancoragem. Verifica-se haver uma redução de carga nas 5 ancoragens ensaiadas, entre 3% a 25%, relativamente à carga de bloqueio, a depender do método utilizado.

Quadro 2 – Carga de bloqueio e valor da carga instalada

Ancoragem	P <sub>o</sub> (kN)	EVT (kN)	Lift-Off (kN)
T1	580	439.8	456.0
T2	580	440.0	445.0
T3	350	335.8	300.0
EVT A1.4	440	398.6	400.0
EVT A4.2	440	427.7	420.0

## 6 CONCLUSÕES

De acordo com o valor da carga instalada nas ancoragens, analisadas neste trabalho, ambos os métodos de cálculo e procedimentos de ensaio, conduziram a valores de cargas da mesma ordem de grandeza. Assim, apesar das particularidades de cada um destes dois métodos, é igualmente válida a sua aplicação na avaliação de verificação de carga em ancoragens. No entanto o EVT apresenta vantagens relativamente aos Lift-Off, pois a desbloqueio da ancoragem permite a realização de ensaios de carga adicionais para a avaliação de parâmetros de fluência, por exemplo, ou caracterização mecânica em fase de carga e descarga.

No contexto exposto, o EVT, para além de permitir obter o valor da carga instalada na ancoragem, permite também dispor de indicadores adicionais do comportamento mecânico e de fluência da ancoragem, o que contribui para a tomada de decisão de medidas de mitigação adequadas.

No que se refere ao ensaio de Lift-Off, este apresenta a possibilidade de se realizarem ensaios num número superior de ancoragens, caso as respetivas cabeças contemplem as características que garantam os requisitos do equipamento para a sua realização, nomeadamente ensaios de Lift-Off periódicos. Neste contexto, esta possibilidade permite a avaliação do desempenho global das ancoragens da obra de forma mais abrangente e vantajosa. Por outro lado, também o número de ancoragens com ensaios de Lift-Off pode ser significativamente superior ao dos EVT, face às exigências de comprimento de armadura exterior disponível para a realização deste último.

## REFERÊNCIAS

- Carvalho, M. (2009) *“Ancoragens pré-esforçadas em obras geotécnicas. Construção, ensaios e análise comportamental.”*, Tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Fujiwara, Y., Sakay, T. (2016). *“A study of a lift-off test method for ground anchors”* Journal of JSCE, Vol. 4, 106-117.
- Heslin, G., D.A. Bruce, G.S. Littlejohn, T. Westover (2009). *“Performance of Aging Post-Tensioned Rock Anchors in Dams,”* ASDSO Northeast Regional Conference, June 14-16, State College, PA, 12 pp.
- Public Works Research Institute (2015). *“Inspection and Maintenance Manual for Ground Anchors”*. Japan Anchor Association.
- Sousa, A. (2018). Seminário – Estado da Arte de Obras Geotécnicas Especiais. Ancoragens no Terreno. *“Ensaio de verificação de carga e bloqueio de ancoragens.”* Porto.