

EXPERIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE UMA PRENSA NA VERIFICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DE DISPOSITIVOS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA TIPO CARLSON PARA A MONITORIZAÇÃO DE BARRAGENS DE BETÃO

Carlos Serra

Departamento de Barragens de Betão, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

António Lopes Batista

Departamento de Barragens de Betão, Laboratório Nacional de Engenharia Civil



RESUMO

Esta comunicação apresenta os principais resultados obtidos na verificação do funcionamento de dispositivos de resistência elétrica tipo Carlson, aplicados em barragens de betão, utilizando uma prensa desenvolvida para esse efeito em 2012. A prensa permite a imposição de incrementos de deslocamentos aos dispositivos de resistência elétrica (extensómetros e medidores de movimentos de junta), de alongamento e encurtamento, que são comparados com os resultados obtidos através das leituras numa unidade específica que converte as variações de resistência em extensões e deslocamentos relativos. Para além de verificar o funcionamento e linearidade da resposta dos dispositivos em gamas pré-definidas de extensão e deslocamento, comparam-se também, sistematicamente, as constantes características dos dispositivos (as de fabrico e as obtidas na verificação).

A prensa tem sido utilizada desde 2012 na verificação dos dispositivos aplicados em quatro novas grandes barragens de betão, tendo-se obtido resultados excelentes em centenas de dispositivos testados.

Palavras-chave: Barragens de betão / Prensa de verificação / Dispositivos de resistência elétrica

1. INTRODUÇÃO

A observação de barragens constitui a base do controlo de segurança das obras e, em grandes barragens, é suportada, em larga medida, pelos resultados obtidos com a monitorização. De entre a instrumentação instalada, existem dispositivos embebidos do tipo Carlson que permitem a medição das extensões do betão (extensómetros de resistência elétrica do tipo Carlson) e a medição dos movimentos das juntas de contração (medidores de movimentos de junta de resistência elétrica).

Antes da sua aplicação em obra deve proceder-se à verificação do funcionamento deste tipo de dispositivos de resistência elétrica. Essa verificação é realizada com recurso a sistemas mecânicos, correntemente designados por prensas de teste e calibração, constituindo padrões de referência que asseguram a rastreabilidade das medições. Previamente à colocação dos dispositivos definidos nos planos de observação das barragens do Baixo Sabor, Feiticeiro, Ribeiradio e Foz Tua, foram efetuadas verificações do funcionamento no campo de medida dos dispositivos e definidos critérios de aceitação e rejeição face aos resultados obtidos. As verificações foram efetuadas através de uma prensa, desenvolvida pela EDP, Tecnogial e LNEC especificamente para o efeito (Ferreira *et al.*, 2012).

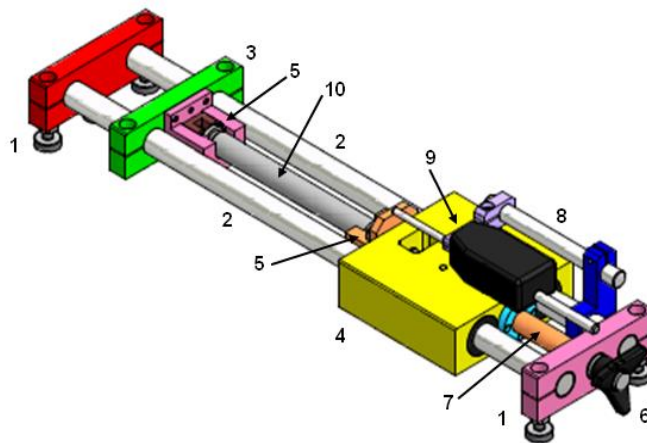
Nesta comunicação resumem-se os resultados das verificações do funcionamento dos extensómetros e medidores de movimentos de junta na barragem do Baixo Sabor, Feiticeiro, Ribeiradio e Foz Tua. A análise das verificações concentrou-se em dois parâmetros, um relativo à diferença entre a constante obtida experimentalmente e a constante fornecida pelo fabricante e outro relativo à linearidade da resposta do dispositivo na sua gama de medição.

2. DESCRIÇÃO DA PRENSA DE VERIFICAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

2.1. Constituição da prensa

Na Fig. 1 apresenta-se um esquema da prensa desenvolvida para a verificação dos dispositivos de resistência elétrica do tipo Carlson. A prensa é constituída por duas barras de guiamento (2) fixadas nas extremidades (1). Ao longo das barras, entre as peças das extremidades (1), existem duas bases (3 e 4), uma fixa e uma móvel, que suportam as matrizes para fixação (5) dos dispositivos a calibrar (10). A base móvel (4) está ligada a um parafuso micrométrico M20 (7), que tem um passo de 0,5 mm. Um comparador de elevada resolução (9) mede os deslocamentos impostos manualmente pelo parafuso micrométrico.

Na concepção e desenvolvimento da prensa foram tidos como fundamentais os seguintes objetivos: i) rigidez na fixação dos dispositivos; ii) correta transferência de deslocamentos entre os dispositivos a calibrar e o dispositivo de medição; iii) paralelismo entre as direções de medição e os eixos de deslocamento; e iv) aplicação das forças para imposição de deslocamentos aos dispositivos segundo o plano de maior resistência da prensa (Ferreira *et al.*, 2012).



1 – Peças de apoio nas extremidades
2 – Barras de guiamento
3 – Peça da base fixa
4 – Peça da base móvel
5 – Matrizes de apoio do dispositivo

6 – Punho de aplicação de deslocamento
(acionamento do parafuso micrométrico)
7 – Parafuso micrométrico
8 – Haste de apoio do comparador
9 – Comparador
10 – Dispositivo a testar

Fig. 1 – Esquema geral da prensa de calibração de dispositivos de resistência elétrica do tipo Carlson

2.2. Funcionamento dos dispositivos a verificar

Os sensores de resistência elétrica tipo Carlson baseiam-se em duas resistências, R_1 e R_2 (1/2 ponte Wheatstone) de fio de aço, tensionadas por duas molas calibradas. A aplicação dos deslocamentos ou das forças, no corpo do sensor, provoca uma variação de tensão nas resistências, inversamente proporcional entre si, que se traduz numa variação de resistência (grandeza primária a medir). O funcionamento dos dispositivos do tipo Carlson encontra-se descrito mais detalhadamente em (LNEC, 1963; Bártolo, 2012).

A partir da variação diferencial das resistências (relação de resistência, RR) são calculadas as grandezas físicas (deslocamento, extensão, tensão, etc.). A temperatura, T , é calculada a partir da variação da resistência total (R_T).

A temperatura e a extensão são dadas por,

$$T = (R_t - R_0) \times D_t \times 100 \quad (1)$$

$$\varepsilon = (T - T_0) \times \varepsilon_2 + (RR - RR_0) \times \varepsilon_1 \times 100 \quad (2)$$

sendo D_t ($^{\circ}\text{C}/\Omega$), ε_1 ($1 \times 10^{-6}/0,01\%$) e ε_2 ($1 \times 10^{-6}/\Omega$) as constantes do aparelho e R_0 (Ω), RR_0 (%) e T_0 ($^{\circ}\text{C}$) os valores definidos como leituras iniciais.

A gama de medição dos extensómetros A10 (comprimento nominal de 254 mm, 10 polegadas) é de 2100×10^{-6} , com 2/3 a 3/4 da gama de funcionamento no trecho de compressão, e a gama de medição dos extensómetros A20 (comprimento nominal de 508 mm, 20 polegadas) é de 1050×10^{-6} , também com 2/3 a 3/4 da gama de funcionamento no trecho de compressão.

O deslocamento relativo, d , registado pelo medidor de movimentos de junta, é dado pela seguinte expressão,

$$d = (RR - RR_0) \times \varepsilon_1 \times 100 \quad (3)$$

sendo ε_1 ($\text{m}/0,01\%$) a constante do aparelho e RR_0 (%) o valor definido como leitura inicial.

2.3. Caracterização metrológica da prensa

Previamente à sua aplicação em obra foram efetuados testes de caracterização metrológica da própria prensa no sentido de avaliar a qualidade das verificações.

No que se refere à caracterização metrológica de um equipamento, esta consiste em avaliar as *características que possibilitam o julgamento da adequação de cada instrumento para efetuar medições dentro de determinada gama, com uma exatidão conhecida, obtendo um valor da mensuranda e a estimativa da sua inexatidão* (Rabinovich, 2000). Esta componente do estudo tem uma importância particular na avaliação da qualidade da prensa de calibração, uma vez que, sendo o processo de transferência da medição indireto, a qualidade da calibração depende fundamentalmente do processo de transferência da grandeza envolvendo efeitos de natureza geométrica que se podem manifestar como fontes de incerteza significativas.

A caracterização efetuada teve como objetivo avaliar e confirmar um conjunto de grandezas geométricas associadas aos planos e aos eixos principais que podem influenciar o desempenho da medição do sistema, destacando-se a ortogonalidade entre o eixo do comparador e o plano de medição do comparador, bem como o paralelismo entre este plano

e o plano móvel de imposição do deslocamento ao dispositivo do tipo Carlson (Ferreira et al., 2012).

2.4. Procedimentos de verificação

A calibração de dispositivos do tipo Carlson em obra desenvolve-se de acordo com um procedimento em que a prensa de calibração constitui o padrão de transferência, permitindo a verificação da linearidade de funcionamento em toda a gama de extensões e a obtenção de uma estimativa da constante de calibração declarada pelo fabricante para cada dispositivo.

O procedimento adotado consiste em efetuar um conjunto de patamares da relação de resistências R_1 e R_2 , ΔRR , de 0,25% em tração e 0,50% em compressão, entre os valores mínimos e máximos indicados como limites do campo de medição, registando no comparador os deslocamentos impostos, Δd . As extensões medidas a partir da relação de resistências são obtidas a partir da Eq. (2). Para ter em consideração a contribuição da temperatura corrige-se o valor da extensão medida usando a equação Eq. (1) e o valor da soma de resistências, R_T , medido em cada patamar.

As extensões impostas, $\Delta \varepsilon^d$, são calculadas considerando o comprimento do extensómetro, L_0 , tendo os valores de 254 mm e 508 mm para os extensómetros A10 e A20, respetivamente.

$$\Delta \varepsilon^d = \frac{\Delta d}{L_0} \quad (4)$$

Na comparação entre a constante fornecida pelo fabricante e a constante obtida na calibração (relativa à variação de extensão por percentagem de resistência) recorre-se aos valores das extensões impostas (Eq. (3)), considerando a temperatura medida e a constante, ε_2 , fornecida pelo fabricante.

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta \varepsilon^d - \Delta T \times \varepsilon_2}{\Delta RR \times 100} \quad (5)$$

Exige-se, no caso dos extensómetros de 254 mm (10"), um nível de exatidão de 4×10^{-6} na medição das extensões, numa gama compreendida, em geral, entre 700×10^{-6} , no ramo de tração, e 1400×10^{-6} , no ramo de compressão. Estes valores implicam a imposição de deslocamentos na gama de medição compreendida entre 0,178 mm e 0,356 mm, respetivamente, com uma resolução de 0,001 mm.

Na Fig. 2 apresenta-se um exemplo de uma montagem para a verificação de um extensómetro, com uma vista geral à esquerda e um pormenor à direita. A Fig. 3 mostra um exemplo da ficha de verificação de um extensómetro de resistência elétrica tipo Carlson. Como referido, os resultados obtidos permitem verificar a linearidade da resposta do dispositivo na gama de extensões admissível e a comparação da constante obtida no ensaio com a constante fornecida pelo fabricante.

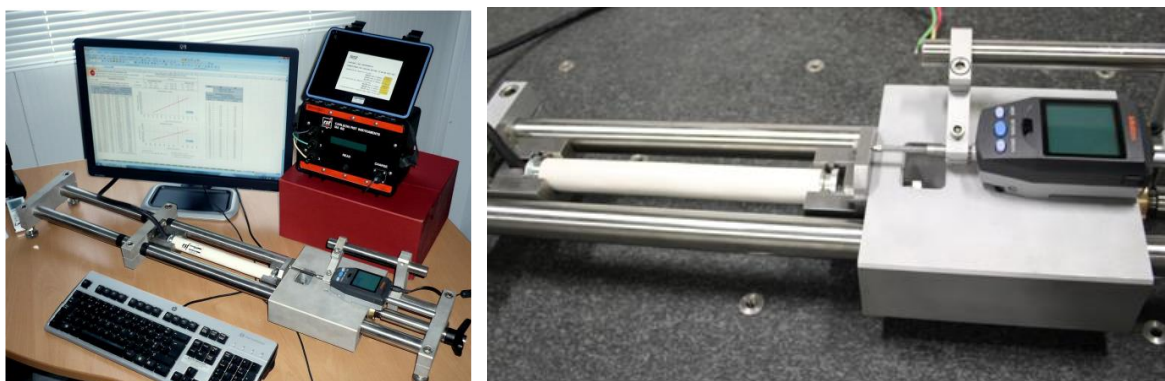


Fig. 2 – Aspetos da montagem para a calibração dos extensómetros do tipo Carlson

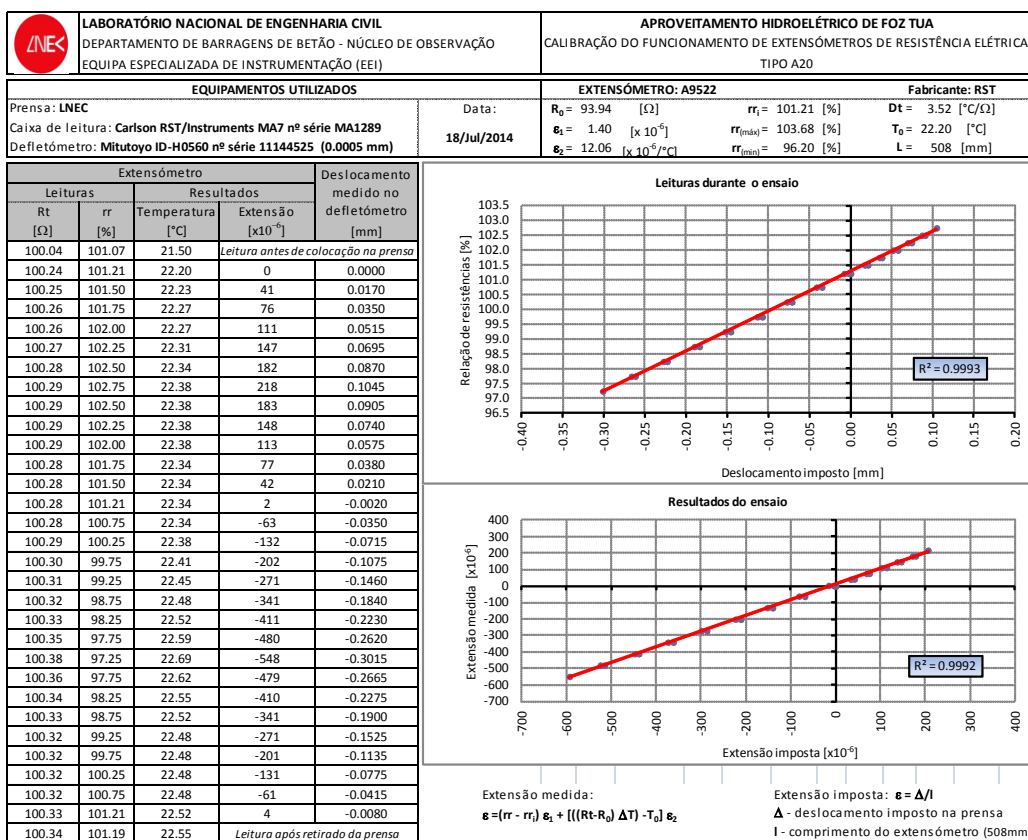


Fig. 3 – Ficha com os resultados da verificação do funcionamento de um extensómetro de resistência elétrica tipo Carlson

3. UTILIZAÇÃO DA PRENSA EM QUATRO GRANDES BARRAGENS DE BETÃO

3.1. Breve descrição das barragens

Nesta seção descrevem-se sucintamente as barragens onde foram instalados os dispositivos de resistência elétrica verificados pela prensa.

As primeiras verificações foram feitas em dispositivos instaladas nas duas barragens do Aproveitamento Hidroelétrico do Baixo Sabor (AHBS), Baixo Sabor e Feiticeiro. As barragens ficam situadas no rio Sabor, afluente do rio Douro, no concelho de Torre de Moncorvo. A barragem do Baixo Sabor é uma barragem do tipo abóbada de dupla curvatura com uma altura máxima acima da fundação de 123,0 m, uma espessura de 6,00 m e um desenvolvimento de 505,0 m no coroamento, à cota 236,00 m. A barragem do Feiticeiro é uma barragem do tipo gravidade, com uma altura máxima de 45,0 m, um coroamento reto de cerca de 315,0 m à cota 138,00 m. A construção das duas barragens teve lugar entre 2012 e 2014.

O Aproveitamento Hidroelétrico de Ribeiradio-Ermida (AHRE), construído entre 2012 e 2015, integra as barragens de Ribeiradio e Ermida, e localiza-se no rio Vouga, no concelho de Sever do Vouga. A barragem de montante, Ribeiradio, tem um perfil de gravidade com uma pequena curvatura em planta e uma altura máxima de 83,0 m. O coroamento, à cota de 112,00 m, tem uma espessura de 9,00 m e um desenvolvimento de 255,0 m. A barragem de Ermida, localizada a jusante da barragem de Ribeiradio, não tem instrumentação embebida, pelo que não será incluída neste estudo.

O Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua (AHFT) começou a sua construção em 2013 e inclui uma barragem do tipo abóbada com uma altura máxima de 108,0 m, um coroamento de 5,00 m de espessura e 275,0 m de desenvolvimento, à cota 172,00 m.

De acordo com as competências atribuídas à Equipa Especializada de Instrumentação (EEI), constituída por técnicos do LNEC, os extensómetros de resistência elétrica e os medidores de movimentos de junta instalados nas 4 barragens referidas foram verificados recorrendo ao procedimento descrito.

3.2. Resumo dos dispositivos verificados

Os dispositivos instalados nas barragens e verificados pela prensa são, como referido, de resistência elétrica do tipo Carlson, fabricados pela empresa *RST Instruments*, sediada no Canadá. Os dispositivos do tipo Carlson têm vindo a ser utilizados regularmente em barragens de betão em Portugal e tem mostrado um bom desempenho mecânico durante a

sua instalação e envolvimento no betão e grande fiabilidade nos resultados após décadas da sua instalação.

Na Tabela 1 e

Tabela 2 apresenta-se um resumo do número de extensómetros e medidores de movimentos de junta verificados e instalados nas barragens do Baixo Sabor, Feiticeiro, Ribeiradio e Foz Tua. Os resultados obtidos nas verificações dos dispositivos encontram-se compilados nas notas técnicas que apresentam a atividade realizada pela EEI durante a construção das barragens do Baixo Sabor e Feiticeiro (LNEC 2012, 2013, 2013a, 2015), da barragem de Ribeiradio e Ermida (LNEC 2013b, 2014a, 2014b, 2014d) e da barragem de Foz Tua (LNEC 2014c, 2015a, 2015b).

No conjunto das quatro barragens, foram verificados um conjunto de 743 extensómetros e 249 medidores de movimentos de junta, a taxa de aceitação de extensómetros de resistência elétrica foi de 96%, tendo apenas sido rejeitados 28 extensómetros, foram rejeitados terem fuga de óleo visível ou não respeitarem os critérios de linearidade exigidos. Durante a instalação verificaram-se 8 ocorrências que inviabilizaram a utilização dos extensómetros, no entanto, em 3 destas ocorrências foi possível a sua substituição.

Relativamente aos medidores de movimentos de junta, não houve rejeições. Na barragem do Baixo Sabor e Feiticeiro não foram verificados os primeiros 89 medidores de movimentos de junta instalados, uma vez que a prensa ainda não estava disponível no início da construção.

Tabela 1 – Resumo do número de extensómetros de resistência elétrica verificados e instalados em cada barragem

Barragem	Número de aparelhos verificados		Número de aparelhos instalados			
	Número de aparelhos em obra	Rejeitados durante a verificação	Operacionais	Perdidos durante a instalação	Substituídos durante a construção	Avariados após colocação
Baixo Sabor	265	16	264	0	2	1
Feiticeiro	45		42	0	1	3
Ribeiradio	210	10	210	0	0	0
Foz Tua	181	2	179	0	0	2
Total	701	28	695	0	3	5

Tabela 2 – Resumo do número de medidores de movimentos de junta verificados em cada barragem

Barragem	Número de aparelhos verificados	
	Número de aparelhos em obra	Rejeitados
Baixo Sabor	152 ¹	0
Feiticeiro	38 ¹	0
Ribeiradio	78	0
Foz Tua	98	0
Total	366	0

3.3. Metodologia de análise dos resultados

3.3.1. Extensómetros de resistência elétrica

Através da verificação metrológica de cada extensómetro de resistência elétrica obtém-se uma estimativa da constante que relaciona a extensão e a relação de resistência, ε_1^{exp} . Para cada patamar de leitura, a extensão, ε^d , é obtida a partir dos deslocamentos impostos medidos no comparador digital, Δd , e da relação de resistências, RR, lida através da unidade de aquisição, RR.

$$\frac{\Delta d}{L_0} = \Delta \varepsilon^{RR,exp} = (RR - RR_i) \varepsilon_1^{exp} \quad (7)$$

A constante ε_1^{exp} corresponde ao declive do ajuste linear entre a relação de resistência e a extensão obtida a partir do deslocamento imposto. A utilização desta estimativa permite a medianização dos desvios em todo o campo de medida.

A análise da qualidade metrológica consiste na comparação da constante dada pelo fabricante, ε_1^{fab} e a constante obtida experimentalmente com a prensa, ε_1^{exp} , e no cálculo do máximo desvio residual da extensão medida em relação à linearidade.

¹ Na barragem do Baixo Sabor e Feiticeiro não foram verificados os primeiros 89 medidores de movimentos de junta instalados, uma vez que a prensa ainda não estava disponível no início da construção.

O desvio percentual da constante é dado pela expressão,

$$\% \Delta \varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_1^{fab} - \varepsilon_1^{exp}}{\varepsilon_1^{fab}} \times 100 \quad (8)$$

O desvio residual da extensão em relação à linearidade é dado pela expressão,

$$\Delta \varepsilon_{linear}^{max} = \max |\Delta \varepsilon^d - \Delta \varepsilon^{RR,exp}| \quad (9)$$

3.3.2. Medidores de movimentos de junta

A verificação dos medidores de movimentos de junta consiste na comparação direta do deslocamento imposto pela prensa, Δd , e do deslocamento calculado, $\Delta d^{RR,exp}$, a partir da relação de resistências, RR, medida em cada patamar de leitura.

$$\Delta d^{RR,exp} = (RR - RR_i) \varepsilon_1^{exp} \quad (10)$$

O tratamento dos resultados foi igual ao considerado para os extensômetros de resistência elétrica. Utilizaram-se a diferença percentual da constante e o máximo desvio residual, dados pelas equações (8) e (9), para a comparação da qualidade dos resultados.

3.4. Análise dos resultados

3.4.1. Resultados da verificação dos extensômetros de resistência elétrica

A análise dos resultados da verificação do funcionamento dos extensômetros de resistência elétrica do tipo Carlson foi dividida em dois grandes grupos, um relacionado com o tipo de comparador utilizado e outro com o tipo de extensômetro em análise.

Após a construção da prensa utilizou-se um comparador Mitutoyo 150H com uma resolução de 0,001 mm. Algumas verificações de extensômetros foram efetuadas com este comparador, tendo-se revelado pouco adequado às necessidades deste tipo de verificação. Assim, foi adquirido um novo comparador, Mitutoyo H0560, com uma resolução de 0,0005 mm. A qualidade das verificações melhorou significativamente, em particular na estimativa da constante, ε_1^{exp} .

A Fig. 4 mostra os histogramas relativos à diferença percentual da constante para os resultados obtidos com os comparadores 150H e H0560 e a Tabela 3 apresenta os valores resumo da análise de resultados. Verifica-se que o valor médio da diferença percentual da constante para as verificações feitas com o comparador 150H (resolução de 0,001 mm) é

substancialmente superior ao valor médio para as verificações utilizando o comparador H0560 (resolução de 0,0005 mm).

A Fig. 5 mostra os valores obtidos para a diferença percentual da constante em função do número de fabrico e para os dois tipos de comparador. A diminuição da diferença percentual é visível a partir do momento em que se deixou de se utilizar o comparador 150H. Essa diferença não é tão evidente para os extensómetros de resistência elétrica do tipo A20.

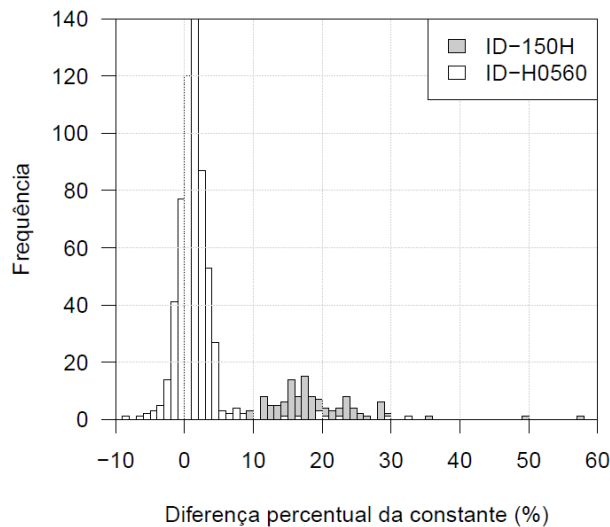


Fig. 4 – Comparação da diferença percentual da constante dos resultados obtidos com os comparadores Mitutoyo 150H e Mitutoyo H0560, para os extensómetros do tipo A10

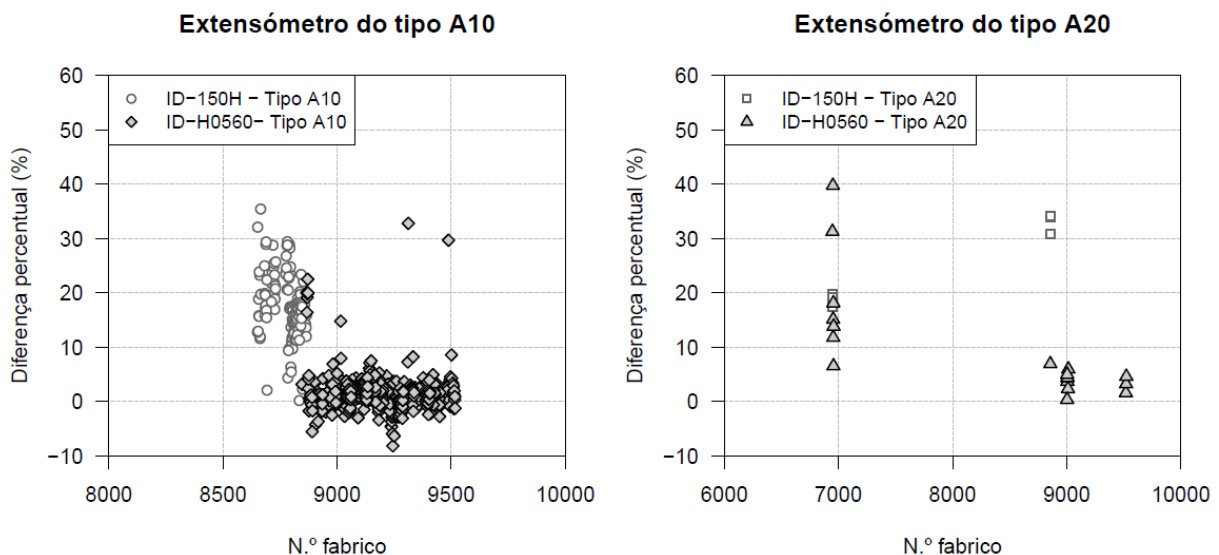


Fig. 5 – Comparação da diferença percentual da constante dos resultados obtidos com os comparadores Mitutoyo 150H e Mitutoyo H0560 em função do número de fabrico, para os dois tipos de extensómetros

A análise dos resultados das verificações metrológicas dos dois tipos de extensômetros (A10 e A20) mostra que estes têm comportamentos distintos. Os extensômetros do tipo A10 apresentam um valor médio e desvio padrão da diferença percentual da constante reduzidos enquanto que os extensômetros do tipo A20 têm valor médio e desvio padrão mais elevados. Este resultado relaciona-se com o número reduzido de ensaios com extensômetros do tipo A20 e com a diferença da base de medida. Os extensômetros do tipo A20 têm uma base de medida maior que os extensômetros do tipo A10, o que resulta em maiores excentricidades na aplicação dos deslocamentos pela prensa e na amplificação dos desvios durante os ensaios. A Fig. 6 mostra os resultados da diferença percentual da constante para cada tipo de extensómetro utilizando o comparador Mitutoyo H0560 com uma resolução de 0,0005 mm.

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados da análise das verificações metrológicas de cada tipo de extensómetro, organizados por barragem, tipo de extensómetro e comparador utilizado.

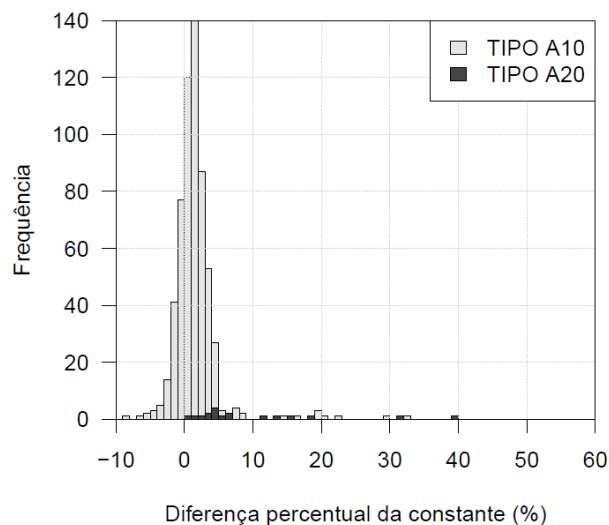


Fig. 6 – Comparação da diferença percentual da constante para os resultados obtidos com os extensómetros do tipo A10 e do tipo A20 utilizando o comparador Mitutoyo H0560 (0,0005 mm)

Tabela 3 – Resumo da análise dos resultados das verificações metrológicas dos extensómetros de resistência elétrica do tipo Carlson

Barragem	Tipo de extensómetro	Tipo de comparador	Número de aparelhos verificados	Diferença percentual da constante (%)		Máximo desvio residual ($\times 10^{-6}$)	
				Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Baixo Sabor e Feiticeiro	A10	Mitutoyo 150H	126	18,1	7,9	18,7	9
	A20		7	24,9	7,7	21,2	12,7
	A10		166	1,7	4,1	13,2	4,9
	A20		8	17,9	11,8	18,4	19,5
Ribeiradio	A10	Mitutoyo H0560	247	1,6	2,9	15,4	8,1
	A20		5	4,1	1,3	14,1	3,3
Foz Tua	A10		179	1,0	2,9	13,2	13,4
	A20		5	2,9	2,0	11,9	2,8
Total	A10		592	1,5	3,3	14,1	9,4
	A20		18	9,9	10,6	15,4	13,0

Na Fig. 7 e na Fig. 8 apresentam-se as distribuições das diferenças percentuais da constante dos extensómetros do tipo A10 nas verificações metrológicas utilizando o comparador Mitutoyo H0560. Os resultados seguem aproximadamente uma distribuição normal, com média e desvio padrão de 1,5 % e 3,3 %, respetivamente. Contudo, existem alguns valores pontuais elevados.

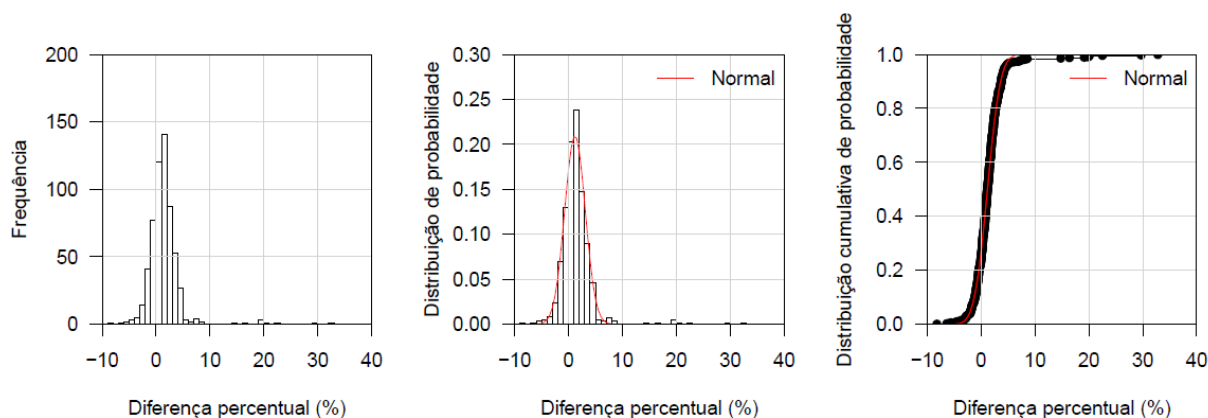


Fig. 7 – Resultados da diferença percentual da constante dos extensómetros do tipo A10 utilizando o comparador Mitutoyo H0560 (resolução de 0,0005 mm)

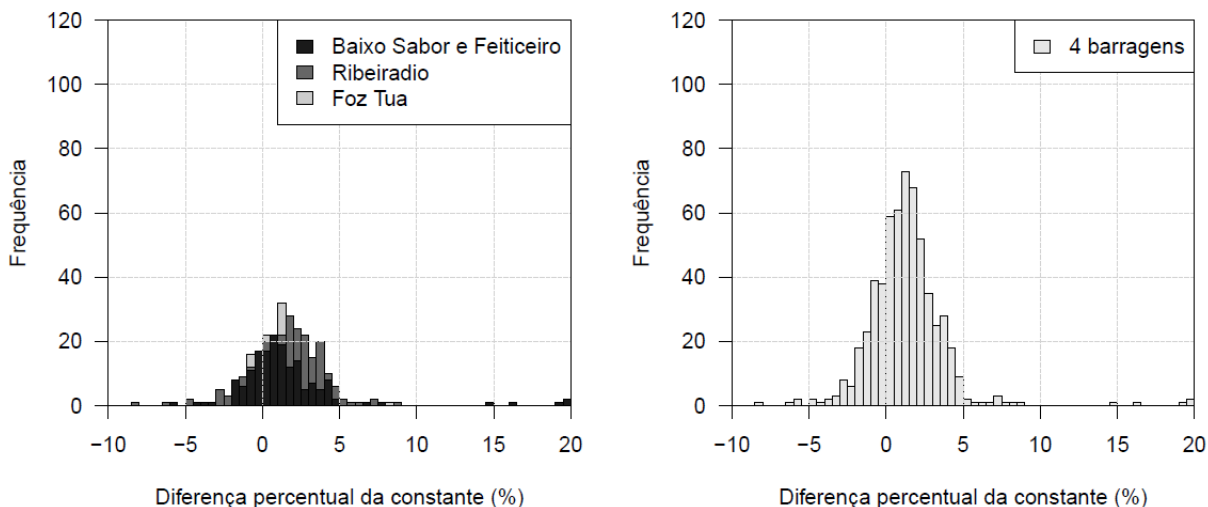


Fig. 8 – Comparação dos resultados da diferença percentual da constante dos extensómetros do tipo A10 utilizando o comparador Mitutoyo H0560 (resolução de 0,0005 mm) para as quatro barragens

A qualidade da aproximação linear no campo de leitura do dispositivo foi medida através do máximo desvio residual em relação ao ajuste linear. A Fig. 9 mostra a distribuição dos resultados obtidos e verificando que se aproximam de uma distribuição log-normal com média e desvio padrão de $2,55 \times 10^{-6}$ e $0,34 \times 10^{-6}$, respetivamente, o que corresponde a uma distribuição normal com média e desvio padrão de $13,6 \times 10^{-6}$ e $8,7 \times 10^{-6}$, respetivamente. A Fig. 10 mostra os resultados obtidos individualizados (à esquerda) e no total (à direita). Tendo em atenção que o máximo campo de medida varia entre $1000/1200 \times 10^{-6}$ em compressão e de 500×10^{-6} em tração, este desvio máximo representa cerca de 1% em compressão e 3% em tração, em média.

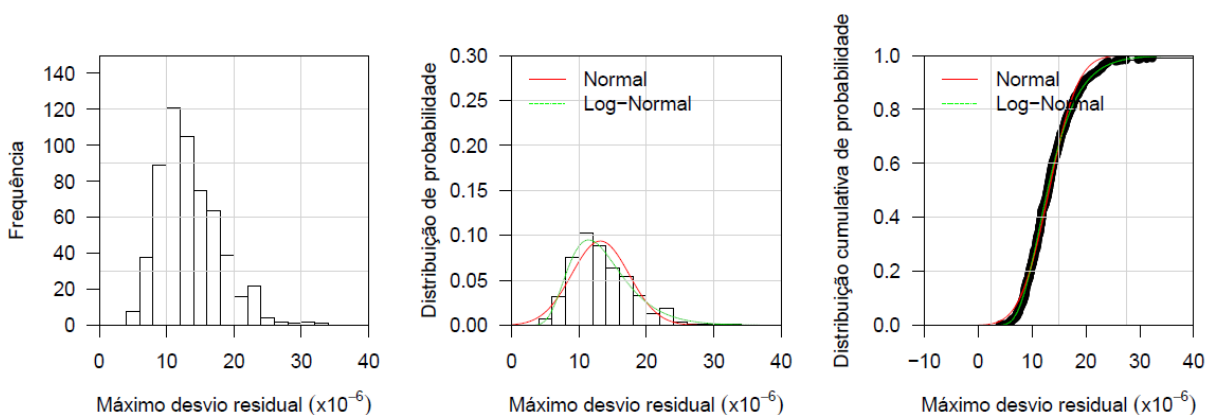


Fig. 9 – Resultados do máximo desvio residual obtidos nos extensómetros do tipo A10 utilizando o comparador Mitutoyo H0560 (resolução de 0,0005 mm)

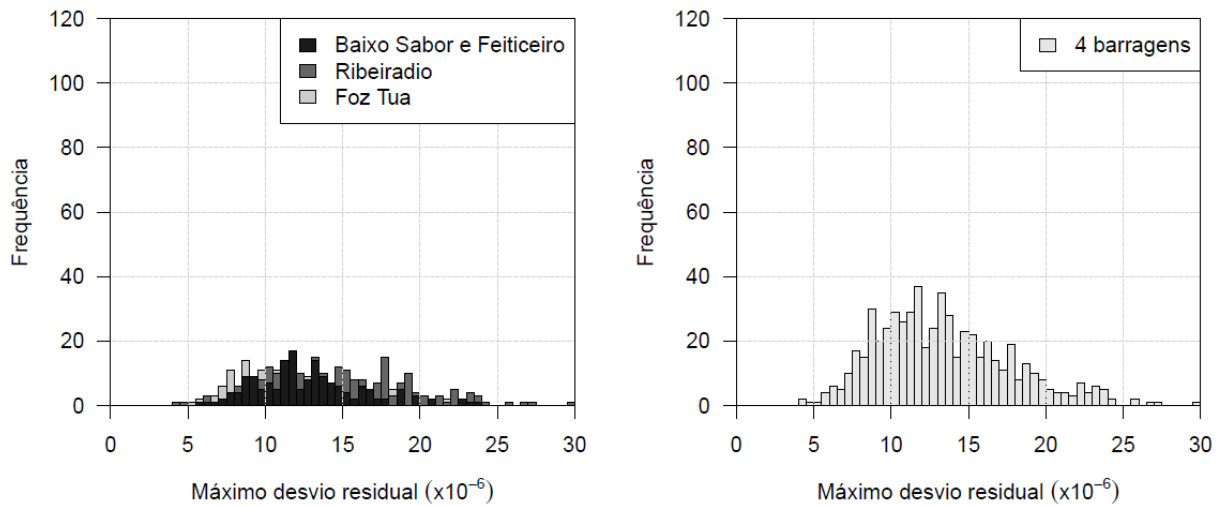


Fig. 10 – Comparação dos resultados do máximo desvio residual obtidos nos extensómetros do tipo A10 utilizando o comparador Mitutoyo H0560 (resolução de 0,0005 mm) para as quadro barragens

3.4.2. Resultados da verificação dos medidores de movimentos de junta do tipo Carlson

Na Tabela 4 apresentam-se os resultados da verificação dos medidores de movimentos de junta, individualizados pelas barragens onde foram instalados. As diferenças percentuais da constante e os máximos desvios residuais são muito reduzidos. No caso de medidores de movimentos de junta os deslocamentos aplicados e medidos são bastante maiores que no caso dos extensómetros, daí que os resultados obtidos com o comparador Mitutoyo H0560, com uma resolução de 0,0005 mm, representem muito bem o comportamento do dispositivo, tanto em termos da constante de conversão como da linearidade em todo o campo de medida.

Tabela 4 – Resumo da análise aos resultados das verificações metrológicas dos medidores de movimentos de junta do tipo Carlson

Obra	Tipo de comparador	Número de aparelhos verificados	Diferença percentual da constante (%)		Máximo desvio residual ($\times 10^{-6}$)	
			Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Baixo Sabor e Feiticeiro	Mitutoyo H0560	101	-1,3	1,8	2,6	0,3
Ribeiradio		79	-0,3	0,8	2,8	0,1
Foz Tua		99	-0,6	0,9	2,8	0,1
Total		249	-0,7	1,3	2,8	0,2

A Fig. 11 e a Fig. 12 mostram as distribuições das diferenças percentuais da constante e dos máximos desvios residuais, individualizados e no conjunto das quatro barragens.

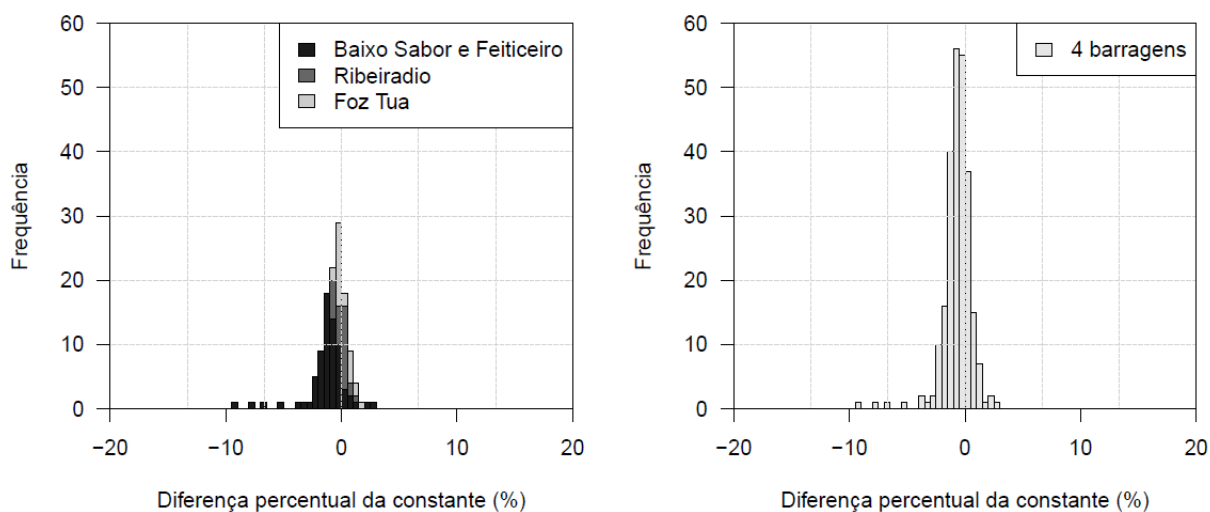


Fig. 11 – Comparação dos resultados da diferença percentual da constante dos medidores de movimentos de junta para as quatro barragens

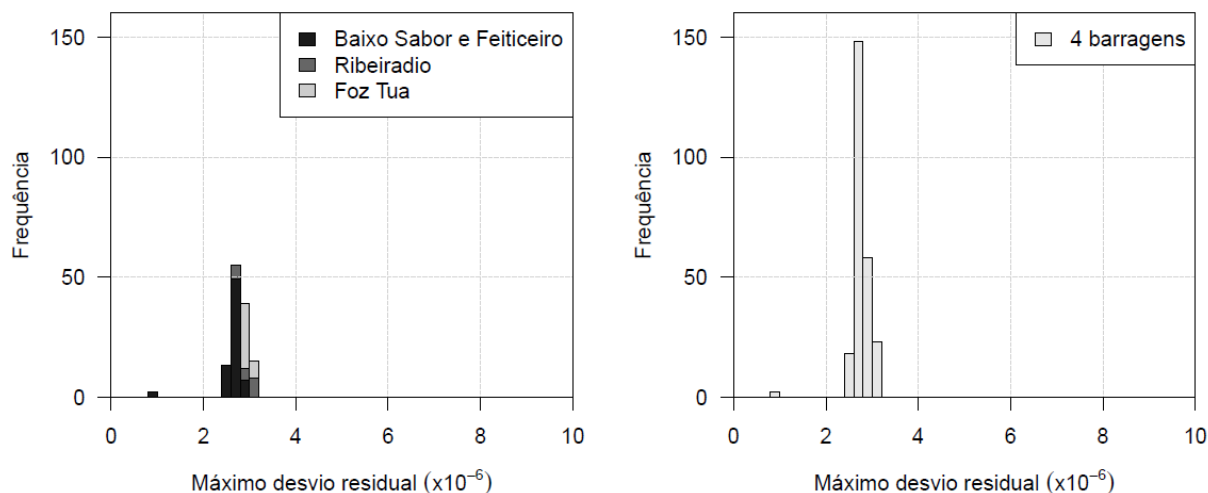


Fig. 12 – Comparação dos resultados do máximo desvio residual obtidos nos medidores de movimentos de junta para as quatro barragens

4. CONCLUSÕES

Nesta comunicação apresenta-se um tratamento dos resultados das verificações do funcionamento de extensómetros e de medidores de movimentos de junta, que foram realizadas no contexto do trabalho desenvolvido pelo LNEC no apoio à construção das barragens do Baixo Sabor, Feiticeiro, Ribeiradio e Foz Tua.

Dada a importância deste tipo de verificação previamente à instalação, em particular para dispositivos embebidos no betão, foi desenvolvida em 2012 uma prensa para a verificação do funcionamento dos extensómetros e medidores de movimentos de junta, através da qual é possível verificar a constante dada pelo fabricante e a linearidade da resposta na gama de funcionamento dos instrumentos.

Este tipo de verificação permitiu que alguns dispositivos com comportamento não satisfatório tenham sido rejeitados, evitando a sua instalação em obra.

Como conclusões devem referir-se a importância da resolução do comparador utilizado na medição dos deslocamentos impostos nos extensómetros de resistência elétrica do tipo Carlson e o sucesso da verificação e instalação dos dispositivos, nas 4 barragens. Verificou-se que, dada a sensibilidade nas medições de extensão, a medição dos deslocamentos impostos pela prensa teria de ter uma resolução muito pequena. O comparador inicialmente utilizado para este efeito, Mitutoyo 150H, com uma resolução de 0,001 mm, não proporcionou bons resultados na estimação do valor da constante. O comparador definitivo

da prensa, Mitutoyo H0560, com uma resolução de 0,0005 mm, apresentou resultados muito satisfatórios.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à EDP a autorização concedida para a utilização dos resultados apresentados nesta comunicação e aos técnicos envolvidos na realização das verificações dos dispositivos pelo excelente trabalho realizado.

6. REFERÊNCIAS

- Bártolo, P., Serra, C., Batista, A. L. e Oliveira Santos, L. 2012 Comparação do desempenho de sensores de fibra ótica e de dispositivos tradicionais na monitorização de deformações em estruturas de betão”. Encontro Nacional Betão Estrutural 2012. Porto.
- Ilídio Ferreira, J., Gonçalves, M., Almeida, R. Silva, M., Batista, A. L., Ribeiro, Á. e Serra, C. 2012. Desenvolvimento de uma prensa para a verificação de dispositivos de resistência elétrica tipo Carlson a embeber no betão de barragens. Encontro Nacional Betão Estrutural 2012. Porto.
- LNEC 1963. Instruções para o uso da aparelhagem de observação de barragens. Relatório. 1963. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC 2012. Aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor. Barragens de montante e de jusante - Atividade realizada pela Equipa Especializada de Instrumentação (EEI) no período de 1 de março a 31 de dezembro de 2011. Nota Técnica 25/2012 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC 2013. Aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor - Atividade realizada pela Equipa Especializada de Instrumentação no período de 2 de janeiro a 28 de junho de 2013. Nota Técnica 38/2013 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC 2013a. Aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor - Atividade realizada pela Equipa Especializada de Instrumentação no período de 1 de julho a 31 de dezembro de 2012. Nota Técnica 17/2013 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC 2013b. Aproveitamento hidroelétrico de Ribeiradio-Ermida - Atividade realizada pela Equipa Especializada de Instrumentação (EEI) até 31 de dezembro de 2012. Nota Técnica 25/2013 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC 2014a. Aproveitamento hidroelétrico de Ribeiradio-Ermida - Atividade realizada pela Equipa Especializada de Instrumentação (EEI) no período de 1 de janeiro a 30 de junho de 2013. Nota Técnica 23/2014 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC 2014b. Aproveitamento hidroelétrico de Ribeiradio-Ermida - Atividade realizada pela equipa especializada de instrumentação (EEI) no período de 1 de julho a 31 de dezembro de 2013. Nota Técnica 63/2014 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC 2014c. Aproveitamento hidroelétrico de Foz Tua - Atividade realizada pela Equipa Especializada de Instrumentação no período de 10 de setembro a 31 de dezembro de 2013. Nota Técnica 21/2014 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC 2014d. Aproveitamento hidroelétrico de Ribeiradio-Ermida - Atividade realizada pela Equipa Especializada de Instrumentação (EEI) no período de 1 de janeiro a 31 de agosto de 2014. Nota Técnica 8/2016 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC 2015. Aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor - Atividade realizada pela equipa especializada de instrumentação entre julho e novembro de 2013 e em fevereiro de 2014. Nota Técnica 128/2015 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.

- LNEC 2015a Oliveira, R. e Vitória, H. 2015. Aproveitamento hidroelétrico de Foz Tua - Atividade realizada pela Equipa Especializada de Instrumentação no período de 1 de janeiro a 30 de junho de 2014. Nota Técnica 75/2015 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC 2015b Oliveira, R. e Vitória, H. 2015a. Aproveitamento hidroelétrico de Foz Tua - Atividade realizada pela Equipa Especializada de Instrumentação no período de 1 de julho a 31 de dezembro de 2014. Nota Técnica 143/2015 – DBB/NO. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- Rabinovich, S. G. 2000. Measurement Errors and Uncertainties. Theory and Practice. 2nd Ed. AIP Press. New York (U.S.A.).
- Ribeiro, A., Lages Martins, L., Tavares de Castro, A. e Serra C. 2014. Caracterização metrológica de rosetas para instalação de grupos tridimensionais de extensómetros do tipo Carlson em barragens. Conferência Nacional ConfMet 2014. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.