

AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DAS ESTACAS DA PONTE DE BOINA

EVALUATION OF PILE INTEGRITY FOR BOINA BRIDGE

PEDRO S.SÊCO E PINTO^{*}

LUÍS FIALHO RODRIGUES^{**}

SUMÁRIO

Faz-se uma breve descrição da solução estrutural adoptada para a Ponte de Boina. Com base nos estudos geológicos e geotécnicos efectuados justificam-se os parâmetros de projecto. Analisam-se os resultados dos ensaios de integridade de estacas realizados visando a detecção de descontinuidades no corpo das estacas.

SYNOPSIS

A brief description of the structural characteristics of Boina Bridge is presented. Taking into account the results from the geological and geotechnical survey the design parameters are justified. Results of sonic integrity tests are analysed to diagnose the pile discontinuities.

* Eng^o. Civil, Investigador Principal e Chefe do Núcleo de Fundações do LNEC

** Geólogo, Investigador Principal do LNEC

1 - INTRODUÇÃO

Faz-se uma descrição das características estruturais da ponte a construir sobre a ribeira de Boina. Recorrendo-se às características geotécnicas da fundação justificam-se os parâmetros de projecto adoptados. Descrevem-se as características das estacas e respectivo método construtivo. Explicitam-se as vantagens e as técnicas dos ensaios de integridade das estacas. No âmbito desta problemática descrevem-se e interpretam-se os resultados dos ensaios efectuados que visavam a detecção das principais singularidades estruturais das estacas.

2 - CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DA PONTE

A ponte a construir sobre a ribeira de Boina, junto de Portimão, é constituída por um tabuleiro de nove tramos, sendo os dois extremos de 20,0 m e os sete intermédios de 24,0 m, ficando assim com um comprimento total de 208 m (Fig. 1). O tabuleiro dispõe de uma laje superior de 14,30 m de largura, monoliticamente ligada a duas vigas longitudinais, vazadas interiormente através da utilização de cofragens cilíndricas perdidas e estanques, e é constituído de betão armado na direcção transversal e armado e pré-esforçado na direcção longitudinal (Rito, 1987).

Os pilares em betão armado são maciços, com secção elíptica e apoiam no firme rochoso através de estacas com 0,80 m de diâmetro (excepto os P₁ que são de fundação directa). As estacas são encabeçadas por maciços rígidos de betão armado contraventados entre si transversalmente.

Os encontros são do tipo perdido, sendo o encontro do lado fixo fundado directamente e dotado de dispositivos especiais de amarração do tabuleiro para as acções sísmicas, enquanto o encontro do lado móvel está fundado em estacas.

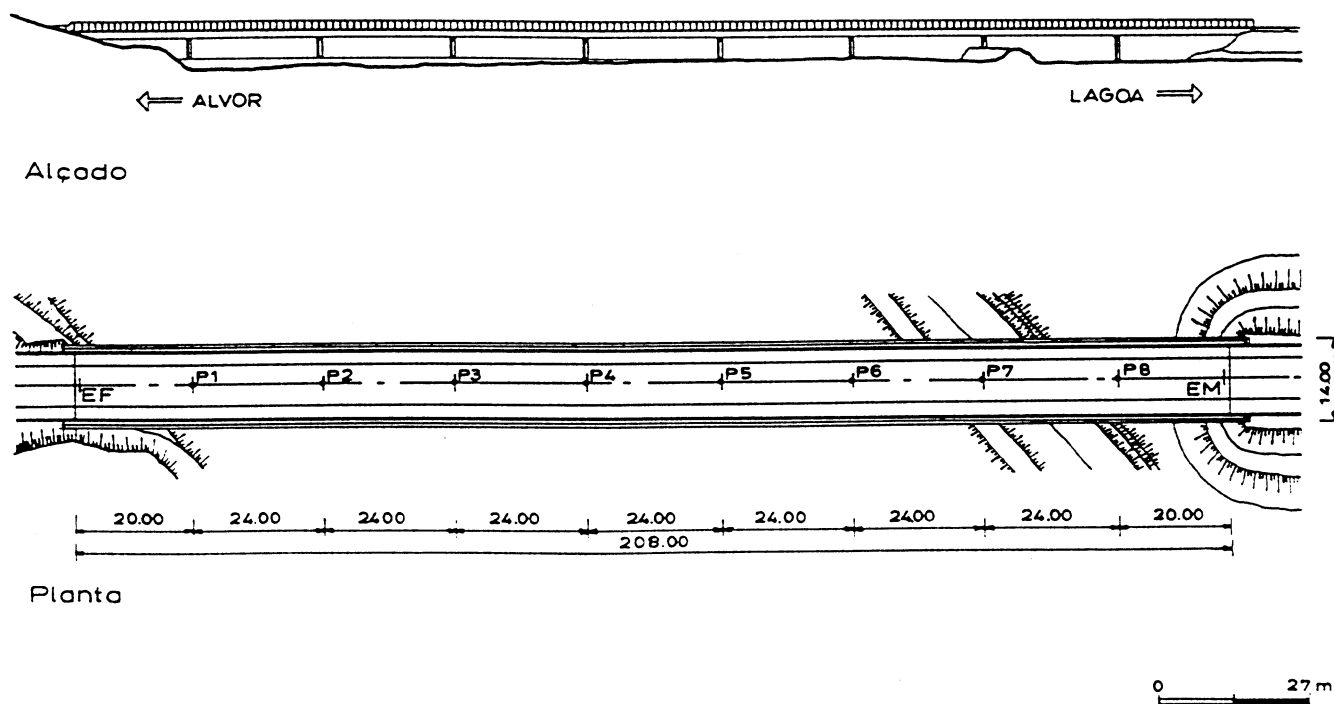


Fig. 1 - Alçado - Planta da ponte de Boina.

3 - CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DA FUNDAÇÃO

As fundações são constituídas por formações aluvionares, lodosas e arenosas, suprajacentes aos calcários de Jurássico. Em algumas zonas ocorrem na base das aluviões e com carácter de continuidade formações pliocénicas (areias argilosas e argilas arenosas com seixo) com espessura que não ultrapassa os 4 m.

Com base nas várias campanhas de ensaios SPT, CPT e ensaios de corte rotativo (Tecnasol, 1987) foram adoptados os seguintes parâmetros geotécnicos (GEPLA, 1987):

a - formação lodosa de 0 - 12 m (SPT de 0 a 2)

$$\gamma \text{ (peso volúmico)} = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$C_u \text{ (resistência não drenada)} = 20 \text{ kPa}$$

$$E \text{ (módulo de deformabilidade estático)} = 2 \text{ MPa}$$

$$E_{din} \text{ (módulo de deformabilidade dinâmico)} = 14 \text{ MPa}$$

$$\nu \text{ (coeficiente de Poisson)} = 0,5$$

b - formação arenosa de 12 - 24 m (SPT de 15 a 25)

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$C_u = 100 \text{ kPa}$$

$$E = 10 \text{ MPa}$$

$$E_{din} = 70 \text{ MPa}$$

4 - CARACTERÍSTICAS DAS ESTACAS

As estacas foram moldadas no terreno tendo-se procedido a extracção do solo no interior de um tubo metálico com um diâmetro de 0,80 m. Após a abertura do furo efectuou-se a introdução da armadura da estaca, constituída por 12 $\phi 16$ com cintas $\phi 8$ passo 30 dupla hélice.

A betonagem das estacas, com um betão B 30 BD 2.1, foi efectuada, sem apiloamento, por um sistema de colocação em obra de betão submerso à medida que o tubo de revestimento era extraído, tendo-se procedido ao controlo do volume de betão gasto, procurando-se por comparação com a curva teórica de consumo, detectar qualquer anomalia.

5 - VANTAGENS DOS ENSAIOS DE INTEGRIDADE DAS ESTACAS

Embora seja efectuado o controlo do betão e do volume real de colocação na estaca persistem sempre dúvidas relativamente à estrutura final da estaca. Procura-se assim inferir da qualidade das estacas, quer através da colheita de taros, quer através da realização de ensaios de carga. No entanto os meios a mobilizar e os custos envolvidos obrigam à realização de ensaios num número muito reduzido de estacas. Neste contexto e visando ultrapassar as anteriores limitações o desenvolvimento e implementação de técnicas expeditas e não destrutivas de ensaios de estacas têm sofrido um grande incremento.

Através da sua aplicação procura-se detectar as principais singularidades estruturais das estacas, com as vantagens inerentes aos custos reduzidos, à rapidez de execução e à possibilidade de se efectuar um grande número de ensaios.

6 - TÉCNICA DO ENSAIO

A avaliação da integridade da estaca visa a detecção de descontinuidades no corpo da estaca através da análise das características de propagação de ondas sônicas de tensão provocadas na cabeça da própria estaca.

Nos ensaios realizados foi utilizado um equipamento comercializado pelo Instituto TNO de Delft (Holanda) e a metodologia adoptada consiste na execução de uma pancada na cabeça da estaca com um martelo e no registo da sua resposta através de um acelerómetro fortemente pressionado pelo operador. A Fig. 2 ilustra alguns pormenores do ensaio.

O sinal obtido em cada impacto é tratado num processador que corta as frequências não significativas e amplifica o resultado a uma escala crescente, à medida que diminui a amplitude do sinal, com a finalidade de compensar a atenuação da energia provocada por fenómenos de atrito estaca-terreno envolvente. Os sinais são em seguida projectados no ecrã de um osciloscópio e, após serem observados, são fotografados para interpretação posterior (Fialho Rodrigues e Moura Esteves, 1985). A introdução pelo Instituto TNO de um processamento digitalizado dos dados resulta num reflectograma mais sensível e consequentemente numa análise mais fiável do comportamento da estaca (TNO, 1987).

A pancada dada com o martelo na cabeça da estaca provoca uma onda de compressão que se propaga com uma velocidade dada pela expressão:

$$C = \frac{E}{\rho}$$

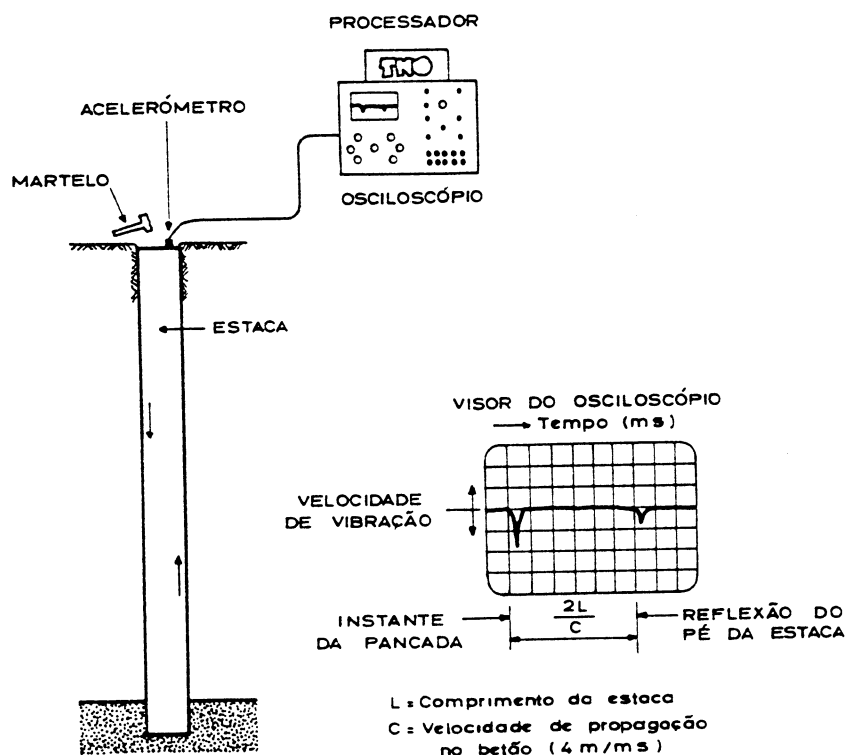


Fig. 2 - Método para avaliação da integridade das estacas.

em que:

C = velocidade de propagação da onda de compressão

E = módulo de elasticidade do betão

ρ = massa volúmica do betão

Conhecido o tempo de propagação (T) a determinação da localização da descontinuidade em relação à cabeça da estaca é obtida directamente da expressão $\frac{CT}{2}$.

7 - RESULTADOS OBTIDOS

Os ensaios sónicos foram efectuados nas estacas do encontro fixo e dos pilares 1, 2, 3 e 4.

Nas Figs. 3, 4 e 5 ilustram-se alguns aspectos da condução dos ensaios de campo. Assim na Fig. 3 mostra-se o conjunto do equipamento de aquisição e tratamento de dados, enquanto que na Fig. 4 se apresenta a operação de colocação do acelerómetro na cabeça da estaca e da execução da pancada para geração da onda elástica. Finalmente na Fig. 5 mostra-se a execução do ensaio, com o registo no visor do osciloscópio do sinal obtido, o qual será depois de observado, registado em papel para posterior análise.

Os registos obtidos no encontro fixo (Fig. 6) são relativamente simples de interpretar já que se identifica razoavelmente bem a reflexão relativa à ponteira da estaca e não existe qualquer outra reflexão entre a cabeça e a ponteira da estaca, atestando assim a sua boa integridade e ausência de descontinuidades.

Nas estacas dos pilares não foram obtidos registos com anomalias geofísicas que pudessem ser correlacionados com eventuais descontinuidades no corpo das estacas, tendo-se igualmente concluído pela sua boa integridade.

No entanto, além de registos muito simples de interpretar, nos quais é apenas visível a reflexão correspondente ao corpo da estaca, obtiveram-se outros mais complexos, em que foi possível identificar reflexões correspondentes a alargamentos do corpo da estaca.

Na Fig. 7 apresenta-se um registo, praticamente sem ruído, em que a única reflexão registada é a correspondente a ponteira da estaca nº. 6 do pilar 3.

O registo apresentado na Fig. 8 é mais complexo, podendo-se observar, além da reflexão relativa à ponteira da estaca, aliás pouco definida, uma forte reflexão a cerca de 5,2 ms, correspondente a um alargamento pronunciado do corpo da estaca situado a cerca de 11,0 m da cabeça da estaca. É devido a este alargamento que passa pouca energia para a secção inferior da estaca e a reflexão correspondente à ponteira tem uma amplitude relativamente menor. Saliencia-se, a propósito, que praticamente todos os registos correspondentes às estacas do pilar 4 mostravam este alargamento, pelo que se admite como altamente provável a existência de uma laje de betão, localizada a essa profundidade, a interligar as estacas. Esta hipótese é coerente com o sobreconsumo de betão verificado durante a betonagem das estacas do pilar 4.

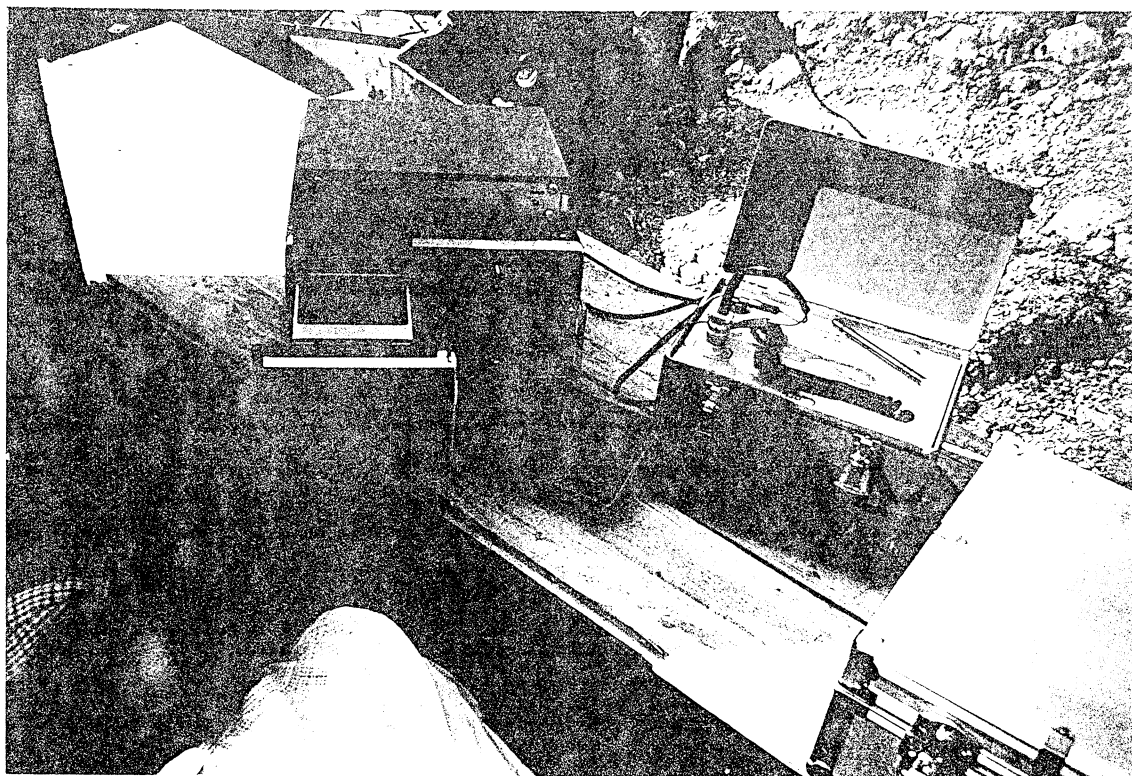


Fig. 3 - Conjunto dos equipamentos utilizados.

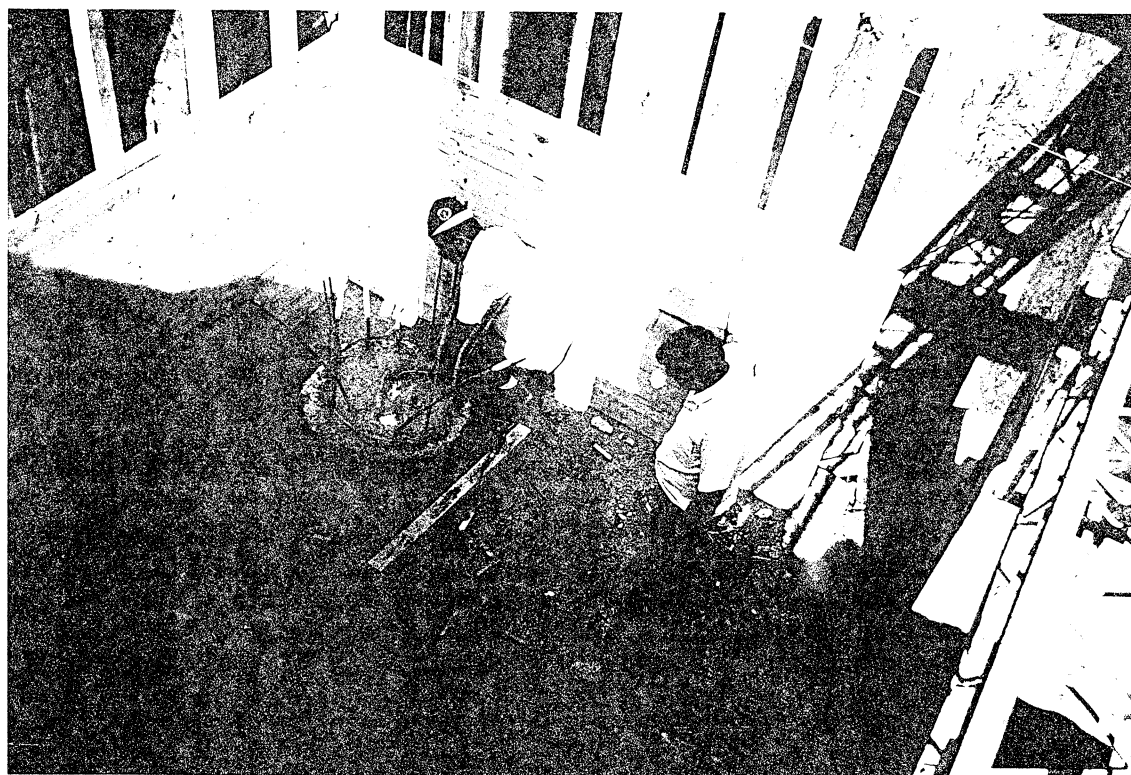


Fig. 4 - Pormenor da estaca com o acelerómetro.



Fig. 5 - Pormenor da execução do ensaio.

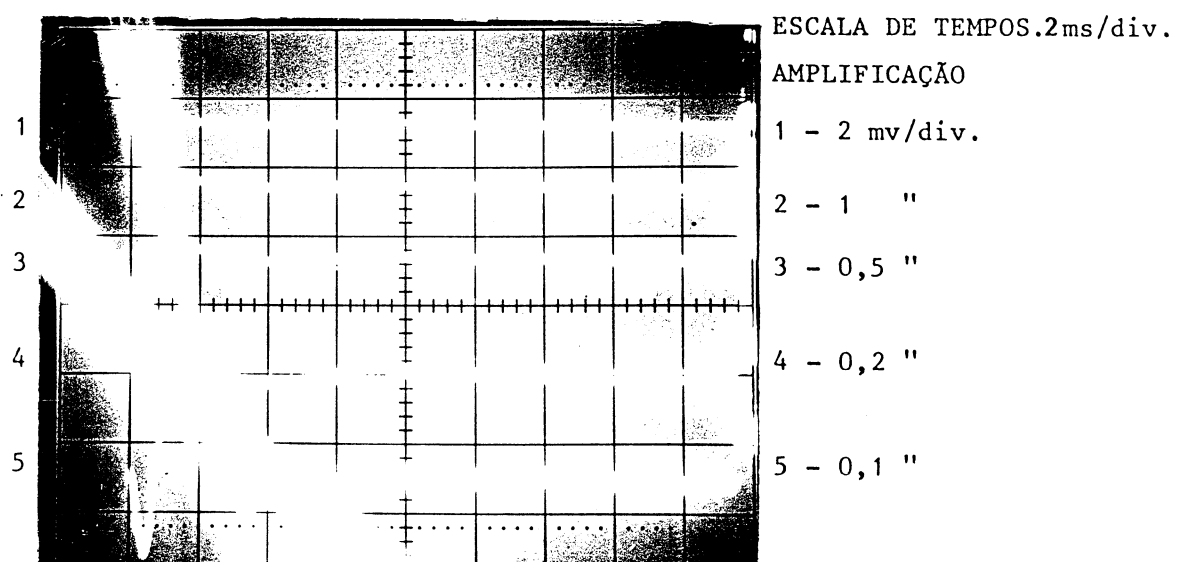


Fig. 6 - Registo obtido na estaca 6.1 ($L=13,8$ m) do encontro fixo.

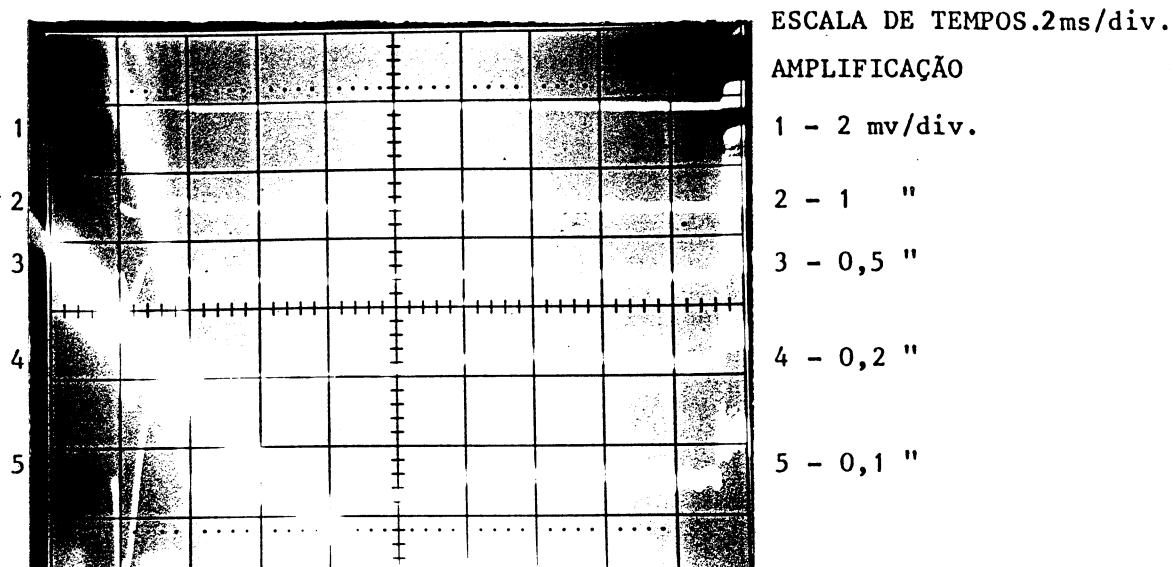


Fig. 7 - Registo da estaca 6 ($L = 12,9$ m) do pilar 3.

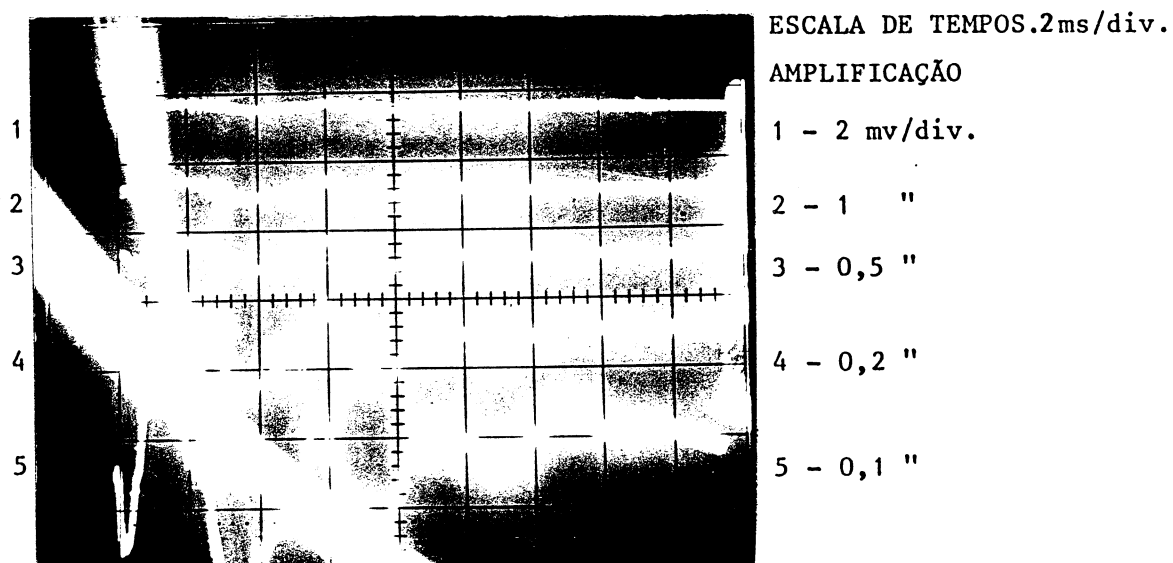


Fig. 8 - Registo da estaca 2 ($L = 18,3$ m) do pilar 4.

8 - CONCLUSÕES

Da avaliação da integridade das estacas da Ponte da Boína é possível retirar as seguintes conclusões.

- a) O método descrito serve para identificar estacas com anomalias geofísicas e consequentemente orientar a localização de ensaios de carga ou de corotagem nas estacas suspeitas.
- b) O método possibilita a definição de critérios de aceitação ou rejeição de estacas.
- c) Os ensaios sónicos efectuados nas estacas do encontro fixo e dos pilares revelaram a sua boa integridade.
- d) Os ensaios de integridade permitiram detectar a existência de uma laje de betão a interligar as estacas do pilar 4 e consequentemente estabelecer uma correlação com o sobreconsumo de betão verificado durante a betonagem das estacas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Junta Autónoma de Estradas a autorização para publicar os resultados deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fialho Rodrigues, L. e Moura Esteves, J. (1985) - "Avaliação da integridade de estacas de betão por métodos não destrutivos". Núcleo de Prospeção.
- GEPLA (1987) - "Ponte da Boína". Projecto das Fundações.
- Rito, A. (1987) - "Variante a E.N. 125 em Portimão. Pontes sobre o rio Arade e sobre a Ribeira de Boína". Anteprojecto.
- TECNASOL (1987) - "EN 125 - Variante de Portimão. Pontes sobre o rio Arade e Ribeira da Boína". Relatório do reconhecimento geológico.
- TNO (1987) - "Méthode de l'écho". Journées d'études. Essais dynamiques de pieux intégrité et capacité portante, Brussel.