

COMPARAÇÃO ENTRE ALGUNS RESULTADOS DE ENSAIOS DE PLACA E CÁLCULOS TEÓRICOS*

Comparison between some plate test results and theoretical calculations

FRANCISCO FERREIRA MARTINS**

JÚLIO BARREIROS MARTINS***

RESUMO - Neste trabalho são apresentados os resultados de 5 ensaios de placa. Os ensaios foram realizados usando uma placa de 0,60 m de diâmetro e foram feitos sobre um aterro tendo no coroamento uma camada de "tout venant" assente num solo compactado. São apresentados gráficos carga-assentamento a partir dos quais são obtidos os coeficientes de reacção do terreno e os assentamentos residuais. O "tout venant" e o solo foram testados em laboratório tendo sido obtidos valores para os módulos de deformabilidade. Com esses valores e considerando as duas camadas com comportamento elástico é calculado o assentamento da placa considerando várias soluções teóricas e usando um programa de cálculo automático baseado nos elementos finitos. Esses valores são comparados com o valor realmente medido *in situ*.

SYNOPSIS - This paper presents 5 plate test results. The tests were performed using a plate of 0.60 m of diameter and were done on an embankment with a "tout venant" top layer over a compacted soil. Graphics of load-settlement are presented and the modulus of subgrade reaction and residual settlements are obtained from them. The "tout venant" and the soil have been tested in laboratory and the modulus of deformation calculated from them. With these and considering the two layers with elastic behaviour the plate settlement has been calculated using several theoretical solutions and a finite element computer program. These values are compared with the actually measured in the field.

1 - INTRODUÇÃO

Na região de Braga (Norte de Portugal) foi necessário instalar máquinas de elevada precisão num velho pavilhão industrial construído sobre um aterro executado sem quaisquer cuidados de compactação. Por isso, antes da instalação das máquinas, compactou-se o aterro com um cilindro vibrador. Sobre esse solo foi colocada uma camada de "tout venant" com 0,35 m de espessura usando o mesmo cilindro vibrador.

Para avaliar a deformabilidade do terreno foram efectuados cinco ensaios de placa. Para cada ensaio foram efectuados quatro ciclos de carga-descarga.

* Comunicação apresentada ao XIV Congresso da Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Hamburgo, 1997.

** Eng.º Civil, Prof. Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho

*** Eng.º Civil, Prof. Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho

2 - RESULTADOS OBTIDOS

2.1 - Ensaio de placa

Nas figuras 1 e 2 são apresentados os gráficos para os ensaios de placa números 1 (PL1) e 4 (PL4).

Em cada um dos ensaios, depois de ser atingida a carga máxima, continuou a ser feita a medição dos assentamentos até que a diferença nas leituras fosse menor do que $0,02 \times 10^{-3}$ m/min.

A partir destes gráficos e dos outros resultados dos ensaios de placa foram obtidos os módulos de deformabilidade (tangente e secante) e o coeficiente de reacção para os dois primeiros ciclos.

Os módulos de deformabilidade foram obtidos a 2/3 da carga máxima atingida em cada ciclo.

Os resultados são apresentados no quadro 1.

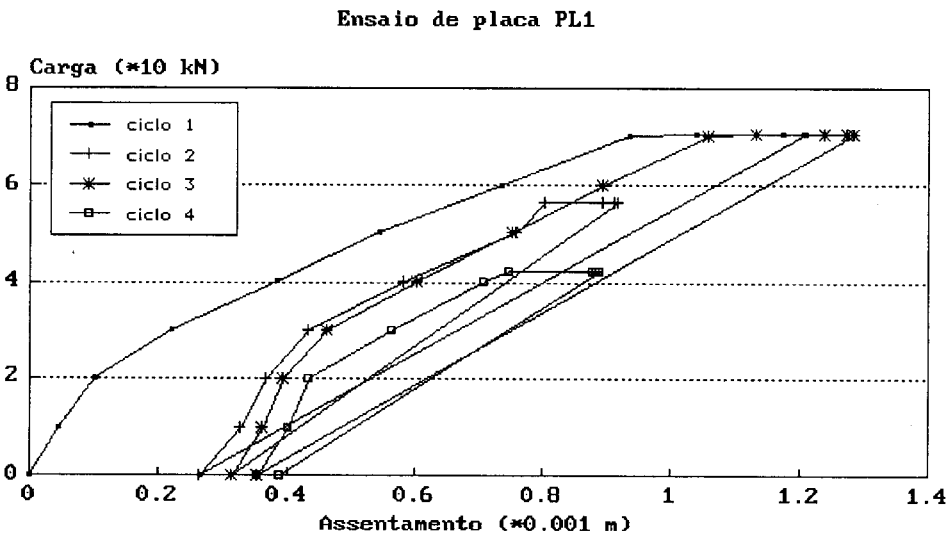


Figura 1 - Curvas carga-assentamento para o ensaio de placa PL1.

Ensaio de placa PL4

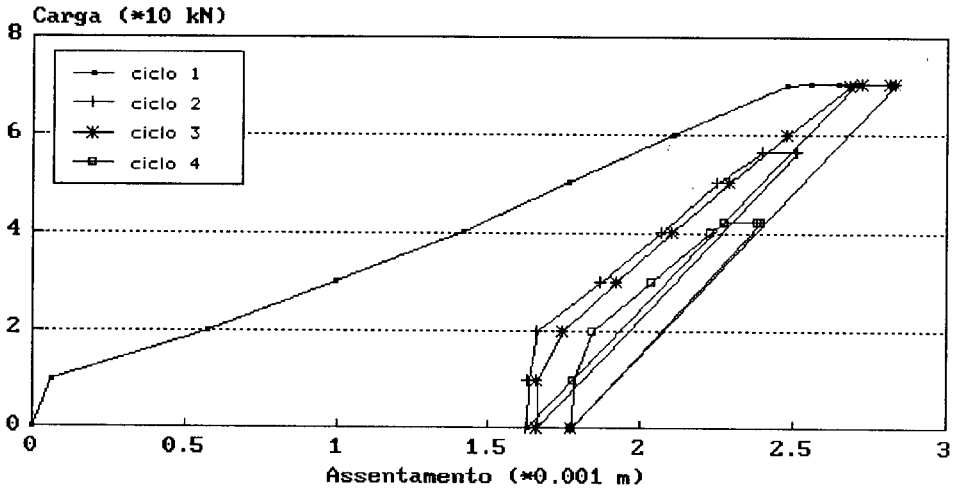


Figura 2 - Curvas carga-assentamento para o ensaio de placa PL4.

Quadro 1 - Resultados dos ensaios de placa.

Ensaio	k_{s1}	k_{s2}	$E_{s1}(t)^*$	$E_{s1}(s)^*$	$E_{s2}(t)^*$	$E_{s2}(s)^*$
PL	(10^3 kN/m^3)		(10^3 kPa)			
1	259,3	324,0	93,40	144,6	99,60	213,4
2	171,3	174,2	28,74	38,20	63,58	131,6
3	236,7	240,5	37,36	42,56	90,55	159,7
4	227,9	229,2	42,70	42,29	76,62	152,7
5	193,6	197,0	33,21	47,19	69,49	133,2

* obtidos a 2/3 da carga máxima

Onde k_{s1} e k_{s2} são os coeficientes de reacção para os ciclos 1 e 2, $E_{s1}(t)$ e $E_{s2}(t)$ são os módulos de deformabilidade tangente para os ciclos 1 e 2 e $E_{s1}(s)$ e $E_{s2}(s)$ são os módulos de deformabilidade secante para os ciclos 1 e 2.

Para obter o módulo de deformabilidade, E , foi usada a seguinte fórmula (Craig 1992):

$$s = \frac{Q}{B} \times \frac{(1 - \nu^2)}{E} \quad (1)$$

onde s é o assentamento, B é o diâmetro da placa e ν é o coeficiente de Poisson que se considerou igual a 0,3.

Usando um programa baseado no método dos elementos finitos (MEF), considerando uma carga flexível uniformemente distribuída e usando os módulos de deformabilidade (tangente e

secante), foram calculados os assentamentos para a carga máxima no primeiro ciclo e que são dados no quadro 2.

Quadro 2 - Assentamentos da placa

Ensaio	Assentamento (x10 ⁻³ m)				
	Poulos and Davis		MEF		In situ
	<i>E_{sl}(t)</i> *	<i>E_{sl}(s)</i> *	<i>E_{sl}(t)</i> *	<i>E_{sl}(s)</i> *	
PL					
1	1,12	0,73	1,21	0,78	1,21
2	3,66	2,75	3,95	2,97	3,86
3	2,81	2,47	3,03	2,66	2,92
4	2,46	2,48	2,66	2,68	2,71
5	3,16	2,23	3,41	2,40	2,88

* obtidos a 2/3 da carga máxima

No quadro 2 são também apresentados as soluções elásticas (Poulos e Davis, 1991) e os valores medidos *in situ* para os assentamentos da placa.

Os assentamentos residuais após o ciclo 1 (s_1) e ciclo 2 (s_2) são dados no quadro 3.

2.2 - Ensaios laboratoriais

Para realizar ensaios laboratoriais foram colhidas 6 amostras remexidas da camada de “tout venant” e 8 amostras intactas do solo da fundação nos locais onde foram efectuados os ensaios de placa 1 (local 1) e 4 (local 4).

Quadro 3 - Assentamentos residuais

Ensaio PL	s_1 ($\times 10^{-3}$ m)	s_2 ($\times 10^{-3}$ m)
1	0,265	0,315
2	2,43	2,51
3	1,89	1,91
4	1,63	1,66
5	1,62	1,66

Com cada um dos materiais foram realizadas duas análises granulométricas. Na figura 3 são apresentados os resultados dessas análises.

As análises indicam que o solo de fundação é não plástico e que é essencialmente composto por partículas de silte.

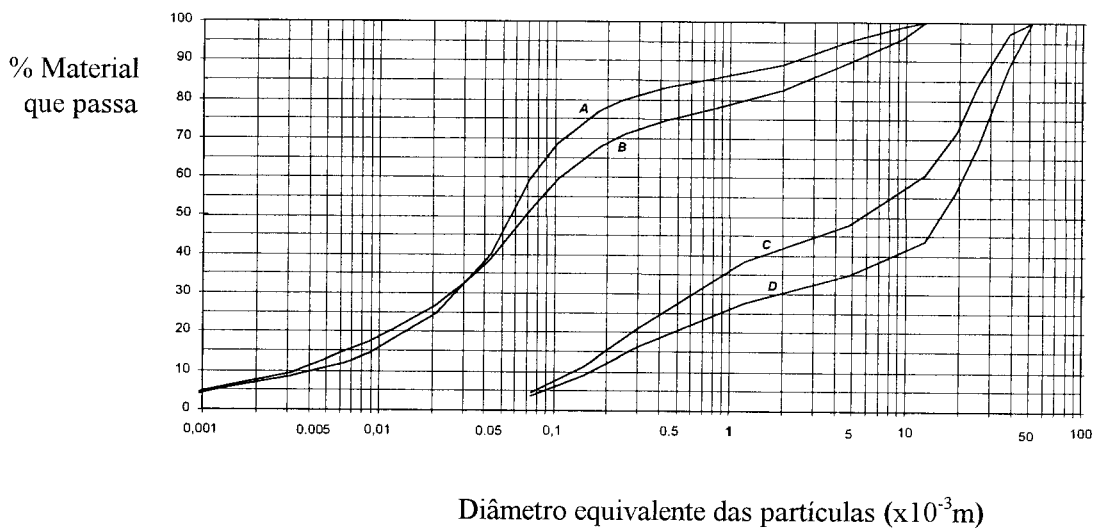


Figura 3 - Curva granulométrica para o solo de fundação (A e B) e o "tout venant" (C e D).

Ensaio de placa em laboratório Local 1

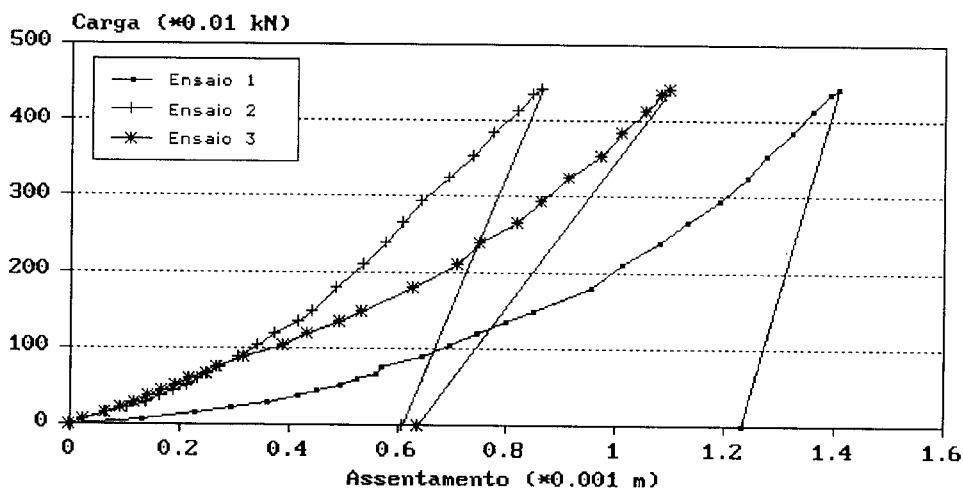


Figura 4 - Curvas carga-assentamento obtidas no laboratório com o "tout venant" do local 1.

Ensaio de placa em laboratório Local 4

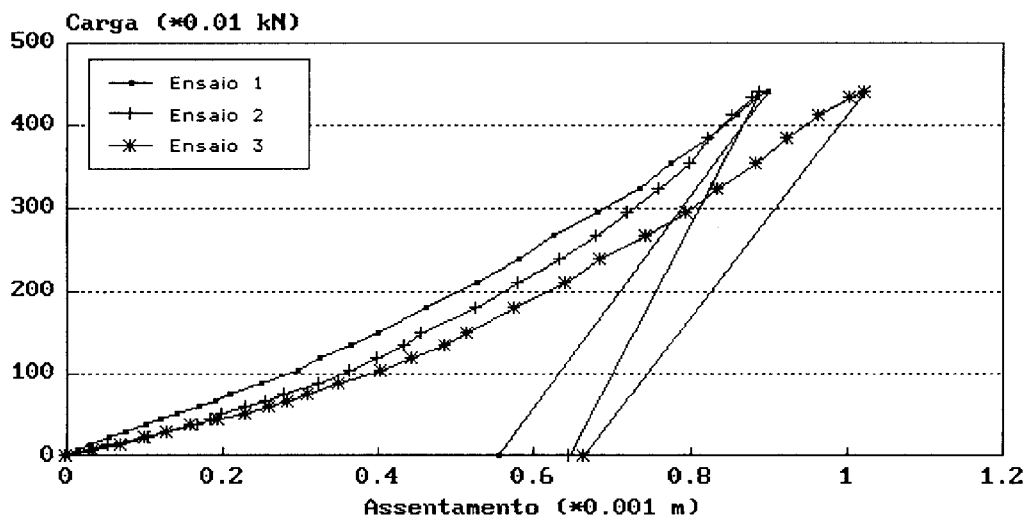


Figura 5 - Curvas carga-assentamento obtidas em laboratório com o "tout venant" do local 4.

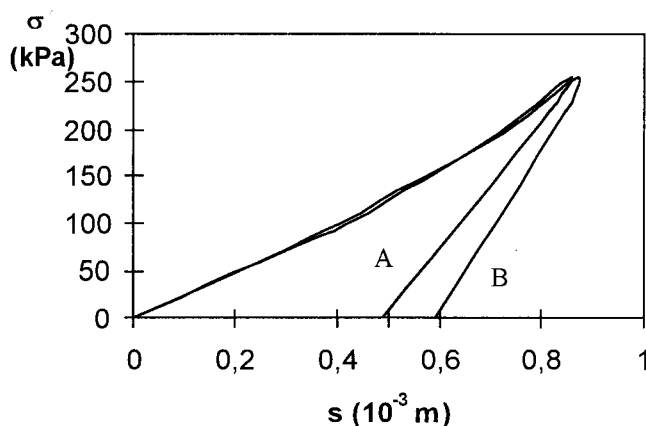


Figura 6 - Curvas da tensão efectiva em função do assentamento médio obtidas em ensaios edométricos com o solo da fundação (A - solo do local 1, B - solo do local 4).

Foram efectuados oito ensaios edométricos com as amostras intactas do solo da base. A média do peso específico seco foi de $13,9 \text{ kN/m}^3$ para o solo do local 1 e de $15,3 \text{ kN/m}^3$ para o solo do local 4.

Com as amostras de "tout venant" foram efectuados seis ensaios. O ensaio realizado com as amostras de "tout venant" é abaixo descrito.

O "tout venant" foi compactado com o pilão normal no molde CBR. Depois da compactação foi colocada sobre o topo do "tout venant" uma placa rígida simulando um ensaio edométrico (o diâmetro da placa era quase igual ao diâmetro interno do molde CBR) que foi carregada através do pistão do CBR até ser alcançada uma pressão de 245 kPa sob a placa rígida. Os valores dos assentamentos e cargas correspondentes foram registados. O valor do peso específico seco após a compactação para o "tout venant" dos locais 1 e 4 foi de 20,4 kN/m³.

Nas figuras 4, 5 e 6 são apresentados gráficos dos ensaios laboratoriais.

Os valores do coeficiente de compressibilidade volumétrico, m_v , obtidos nos ensaios edométricos são apresentados no quadro 4.

Quadro 4 - Valores de m_v e E para o solo da fundação

PL1		PL4	
m_v $10^{-4} \text{ (kPa)}^{-1}$	E 10 kPa	m_v $10^{-4} \text{ (kPa)}^{-1}$	E 10 kPa
1,091	681,4	1,317	564,0
1,820	408,2	1,320	562,8
1,207	615,5	1,412	526,2
1,684	441,2	2,174	341,7

Com esses valores e considerando o coeficiente de Poisson igual a 0,3 foram obtidos os valores do módulo de deformabilidade, E , que também são dados no quadro 4.

A partir destes ensaios com o "tout venant" foram obtidos os valores para o coeficiente de compressibilidade volumétrico, m_v , e o módulo de deformabilidade dados no quadro 5.

Quadro 5 - Valores de m_v e E para o "tout venant"

PL1		PL4	
m_v $10^{-5} \text{ (kPa)}^{-1}$	E 10^2 kPa	m_v $10^{-5} \text{ (kPa)}^{-1}$	E 10^2 kPa
2,503	296,8	2,665	278,8
2,244	331,1	2,254	329,7
2,497	297,6	2,448	303,5

Para obter o valor teórico dos assentamentos do centro da placa considerada flexível foram usadas quatro soluções dadas em Poulos and Davis (1991) (quadro 6).

No quadro 6, E_e é o valor do módulo de deformabilidade dando o mesmo assentamento no hemi-espaço elástico que o assentamento do conjunto das camadas, E_1 é o módulo de deformabilidade da camada de "tout venant" e E_2 é módulo de deformabilidade do solo de fundação. Estes valores são baseados nos resultados obtidos no último terço das curvas dadas nas figuras 4 e 5 e nos resultados obtidos nos ensaios edométricos (figura 6).

Usando um programa baseado no método dos elementos finitos (MEF) e considerando uma carga flexível, a média dos valores do deslocamento obtido sob a placa é de $11,0 \times 10^{-3} \text{ m}$.

Quadro 6 - Valores teóricos dos deslocamentos da placa

Autor	E_e 10 kPa	E_1 10 ² kPa	E_2 10 kPa	ν_1	ν_2	s 10 ⁻³ m
Ueshita and Meyerhof	936,9	---	---	0,5	0,5	11,77
Burmister	---	306,3	517,6	0,2	0,4	14,06
Thenn de Barros	---	306,3	517,6	0,35	0,35	12,76
Burmister	---	306,3	517,6	0,5	0,5	12,78

3 - CONCLUSÕES

1. O assentamento calculado a partir dos módulos de deformabilidade obtidos a partir dos ensaios “edométricos” para o “tout venant” e o solo são cerca de 5 a 10 vezes maiores do que os que foram medidos no campo. Isto reflecte seguramente perturbações na amostragem e o ensaio de compactação apropriado seria o pesado e não o normal, que foi efectuado.
2. As diferenças entre o assentamento calculado pelos vários métodos não é significativa.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica (JNICT).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRAIG, R.F. - *Soil Mechanics*, 5th. ed., London, Chapman & Hall, 1992.
- POULOS, H.G. e DAVIS, E.H. - *Elastic solutions for soil and rock mechanics*, Australia: Centre for Geotechnical Research, University of Sidney, 1991.