



MODELO REDUZIDO PARA A REALIZAÇÃO DE PROVAS DE CARGA

Cesar Alberto Ruver – cesar.ruver@furg.br

Rafael Sandrini Ferreira – rsandrini@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Escola de Engenharia

Avenida Itália, km-08, Pavilhão K, Caixa Postal 474

CEP: 96.201-900 – Rio Grande - RS

Resumo: Este trabalho visa apresentar o projeto e a construção de aparato de laboratório que possibilita a execução de provas de carga estáticas com diferentes configurações (placas ou estacas, compressão ou tração) em modelo reduzido com finalidade didática e de pesquisa. O aparato é composto por uma câmara de aço com diâmetro de 90 cm e altura de 120 cm, um pórtico metálico, sistema de aplicação de carga com macaco hidráulico e sistema automático de aquisição de dados (célula de carga, transdutores de deslocamento, data logger e micro computador).

Palavras-chave: Modelo Reduzido, Provas de Carga Diversas, Equipamento de Ensaios

1. INTRODUÇÃO

A elaboração de projetos de fundações no Brasil, ainda é um grande desafio. Muitas vezes, dependendo do tipo de obra, o “dimensionamento” ou pseudo-dimensionamento, ainda se baseia na experiência do construtor, não sendo realizado nenhum tipo de ensaios para definir as propriedades mecânicas do subsolo envolvido. Em muitos casos, quando se consegue convencer o construtor da necessidade de realização de ensaios para a caracterização do subsolo, são realizados, por exemplo, ensaios de SPT (*standart penetration test*, do inglês), normatizado pela NBR 6.484 (ABNT, 2001), em número muitas vezes reduzido, a ponto de não atender a NBR 8.036 (ABNT, 1986). Ensaios mais específicos (por exemplo: *vane-test*, pressiômetro, *CPT*) somente em raros casos ou especiais.

Tão importantes quanto os ensaios de caracterização e reconhecimento do subsolo, são os ensaios que visam verificar o desempenho das fundações submetidas aos carregamentos de projeto, ou seja, a execução de provas de carga. Neste sentido, na prática, a proporção de execução de tais ensaios é ainda mais escassa. A partir das provas de carga é possível estabelecer com maior segurança e visualizar o nível de carga suportado pelo terreno, bem como verificar o nível de recalque a ser imposto a futura estrutura quando carregada. Assim, de posse dos resultados é possível desenvolver projetos mais realísticos (comportamento conhecido), e em última análise, mais econômicos. Para o projeto de fundações, a NBR 6.122 (ABNT, 2010), por exemplo, cita que podem ser utilizados duas formas de verificação da segurança de fundações rasas submetidas à compressão: (a) fatores de minoração da resistência ou (b) fator de segurança global. No primeiro caso o valor deve ser no mínimo

Realização:

ABENGE

Organização:



**O ENGENHEIRO
PROFESSOR É O
DESAFIO DE EDUCAR**



2,15 e para o segundo, valor mínimo de 3,0. A NBR 6.122, ainda cita que estes valores de coeficientes de segurança podem ser minorados, respectivamente, para 1,40 ou 2,00, no caso de realização de duas ou mais provas de carga no terreno, durante a fase de projeto. Com isso, a citada norma enfatiza a importância de realização de provas de carga.

Os procedimentos executivos para a realização de provas de carga já possuem normatização brasileira [NBR 6.489: Prova de carga direta sobre terreno de fundações – procedimentos (ABNT, 1984), NBR 12.131: Estacas – prova de carga estática – método de ensaio (ABNT, 2006); NBR 13.208: Estacas – ensaios de carregamento dinâmico (ABNT, 2007)], que englobam grande parte dos tipos de fundações existentes: fundações rasas (sapatas e blocos) sob carregamento estático de compressão e fundações profundas (estacas e tubulões) sob carregamento estático ou dinâmico de compressão ou tração. Ainda, os ensaios podem ser executados nas próprias fundações ou podem ser realizadas fundações pilotos. No caso de fundações rasas, as fundações podem ser realizadas com placas de aço, contemplando uma área mínima de $0,50 \text{ m}^2$, devido ao fator escala (ABNT, 1984). Como a realização de provas de carga deve ser o mais realístico possível, ou seja, ser realizado em escala real, o que exige, por exemplo, pesados e grandes sistemas de reações (ver exemplos nas figuras 1 e 2) e equipamentos de aplicação de carga robustos, o seu emprego com finalidades acadêmicas acaba sendo restrito. Além disso, faz-se necessário haver um campo experimental para a realização de tais ensaios. Muitas vezes, os pesquisadores encontram como saída a parceria com empresas executoras de fundações para a realização de seus estudos.

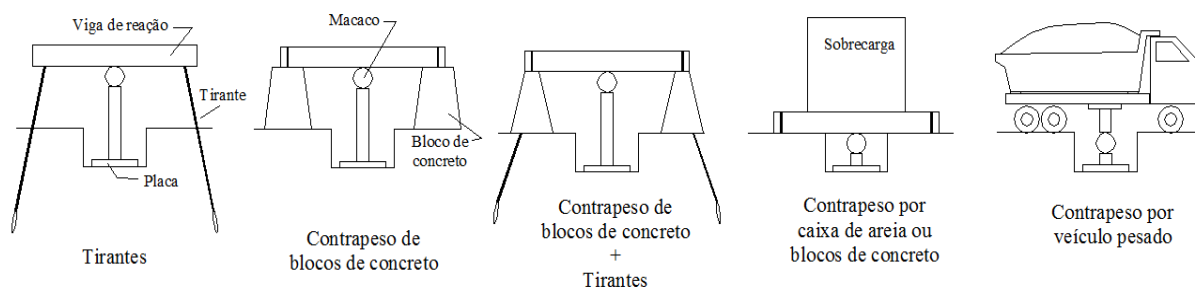


Figura 1- Exemplos esquemáticos de sistemas de reação



(a)



(b)

Figura 2- Sistemas de reação por sobrecarga com (a) blocos de concreto e (b) caminhão carregado

Quando não é possível a realização de provas de carga em verdadeira grandeza, muitos pesquisadores lançam mão da realização de ensaios em modelo reduzido, realizados em

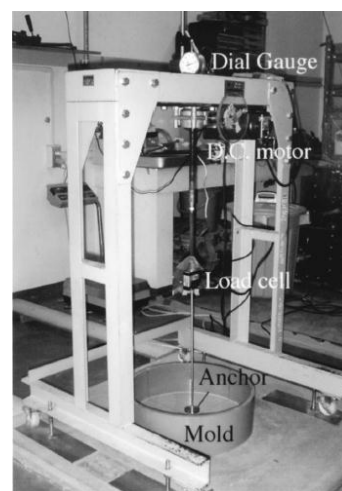


laboratório. Apesar dos ensaios serem realizados respeitando as relações escalares entre o modelo reduzido e a situação em verdadeira grandeza, o comportamento mecânico não é o mesmo devido ao nível de tensões (ATKINSON, 1993). Conforme o autor, para que o modelo reduzido represente o mesmo resultado que a fundação real, é necessário se manter o mesmo nível de tensões efetivas. Nestes casos, os pesquisadores lançam mão dos equipamentos centrifugados. Infelizmente, as centrífugas são raridades em termos de Brasil, sendo poucas universidades e centros de pesquisa possuem de tal equipamento. Neste sentido, somente os ensaios em modelos reduzidos realizados em centrífuga podem ser extrapolados para fundações em tamanho real.

Apesar da necessidade de ensaios centrifugados para a extrapolação de resultados para casos em verdadeira grandeza, muitos autores lançaram mão, e ainda o fazem com bastante frequência, de ensaios de laboratório (em modelo reduzido) não centrifugados para entender os fenômenos envolvidos e comportamentos de fundações, apesar dos resultados não poderem ser extrapolados para fundações reais. Estes ensaios, geralmente são realizados em caixas de madeira (figura 3a) (exemplos: DONATO, 2007; GIRARDELLO, 2010) ou tanques metálicos de formato cilíndrico ou cúbico (figura 3b) (exemplos: SAKAI e TANAKA, 2007; GABR *et al.*, 2007). Normalmente, o tamanho do aparato é dimensionado em função dos recursos financeiros do projeto envolvido, espaço físico disponível, quantidade de solo necessário para a realização dos ensaios e mão-de-obra disponível para a realização dos ensaios. O tamanho da câmara (área e profundidade) irá determinar o tamanho máximo da fundação que poderá ser ensaiada, pois a partir de um tamanho (limite) irá haver influência das bordas e paredes.



(a)



(b)

Figura 3 – Exemplos de câmaras de ensaios: (a) caixa de madeira (Girardello, 2010) e (b) tanque circular metálico (Sakai e Tanaka, 2007)

Do ponto de vista acadêmico, nem sempre é possível mostrar na prática a execução de provas de carga. Muitas vezes é difícil coincidir o assunto que é ministrado com casos de obras que contemplem a execução de fundações e provas de carga. Além disso, dependendo do local da sua execução, há a preocupação com o deslocamento dos alunos. O mesmo ocorre com os campos experimentais, pois nem sempre estão sendo realizada pesquisa com provas de carga concomitantemente com o conteúdo programático das disciplinas de fundações, bem como, muitas vezes, os campos experimentais estão localizados a certa distância do campus universitário.



Desta forma, neste trabalho será mostrado o aparato de laboratório desenvolvido para a execução de provas de carga em laboratório em modelo reduzido. A estrutura foi montada, inicialmente, para a execução de pesquisa, mas a ideia é aplicá-lo nas aulas práticas de fundações com a execução de diferentes tipos de provas de carga.

2. MONTAGEM DO MODELO REDUZIDO

Para o projeto do equipamento de laboratório, inicialmente foram estabelecidos alguns critérios: (a) possibilidade de execução de qualquer tipo de prova de carga – compressão ou tração e fundação rasa (exemplo: placas de aço) e profunda (exemplo: estacas); (b) utilização vários tipos de solo (exemplo: areia ou argila mole, na condição *in natura* ou tratado/estabilizado); (c) solo em diferentes condições – estado seco, umidade ótima, submerso; (d) qualquer compactidade ou diferentes graus de compactação; (e) versátil para rápida montagem e desmontagem; (f) tamanho apropriado ao espaço disponível no laboratório.

Para a realização das provas de carga, o aparato precisa ser dotado dos seguintes componentes: (a) câmara de ensaio – compartimento em que é colocado o solo e inseridas as fundações a serem ensaiadas; (b) sistema de reação – neste caso, resistir à esforços de compressão e tração; (c) sistema de carregamento – dispositivo de aplicação de carga; (d) sistema de transmissão de carga – dispositivo responsável pela transferência da carga para os elementos de fundação; e (e) Instrumentação – registro e medição das cargas aplicadas, das deformações dos elementos de fundação e da própria massa do solo, das tensões internas na massa do solo, entre outros.

A partir dos critérios mencionados, chegou-se a conclusão de que a câmara de ensaios deveria, necessariamente, ser metálica - com rigidez suficiente para resistir a compactação – e estanque – com dispositivos para entrada e saída de água. Para tanto, utilizou-se uma reservatório metálico de uma antiga caldeira desativada, com diâmetro de 90 cm e altura de 120 cm (dimensões internas). Como o reservatório estava desativado e bastante danificado, houve a necessidade de restauração. A restauração consistiu em desconectar todas as conexões hidráulicas ligadas a ele, para tanto precisou-se aplicar desengripante junto as roscas devido a ferrugem. Após, as paredes internas e externas, bem o fundo, tiveram que tratados por meio de lixamento, aplicação de removedor de ferrugem, aplicação de fundo selador e pintura com tinta esmalte. Os pontos com corrosão foram limpos e tratados com massa epóxi. A figura 4a mostra a câmara após a restauração. As saídas e entradas de água foram vedadas com *caps* de PVC e fita veda rosca. Nas paredes internas foram pintadas faixas de cores distintas com espessura de 5 cm e indicação das cotas de 5 cm em 5 cm para servir de referência para as espessuras das camadas de solo (ver figura 4b).

Para o sistema de reação foi projetado e confeccionado um pórtico metálico com dimensões internas de 2,0 m de altura e 1,2 m de largura, para instalação sobre a câmara. O pórtico é dotado de duas colunas tubulares; uma viga retangular – soldada sobre as colunas, uma viga I soldada internamente as colunas e abaixo da viga retangular; duas bases quadrada dotada de chapas de aço contraventada – para dar estabilidade e sustentação ao pórtico – soldadas nas bases das colunas; e apoio tubular para encaixe e fixação do sistema de aplicação de carga. O pórtico (ver figura 4a) pode ser fixado no piso por meio de chumbadores aparafusado, podendo ser facilmente deslocado, quando necessário. Este sistema de fixação é do tipo engastado, pode-se aplicar qualquer tipo de carga, seja, de compressão ou de tração, no sentido vertical ou horizontal, centrado ou não, além de esforços de momento e torção. Após a soldagem das peças, foi aplicado fundo selador e pintura em tinta esmalte.



Num primeiro momento, para a aplicação da carga e transmissão de carga, está se utilizando um macaco com capacidade de 20 toneladas de carga acionado por uma bomba hidráulica manual. O macaco é dotado de um cilindro que quando acionado ejeta um pistão no sentido longitudinal, não exercendo carga no retorno do pistão. Assim, por exemplo, para a execução de provas de carga de compressão o macaco é posto entre a fundação (placa ou estaca) a ser comprimida e a base da viga I, tendendo a empurrar o pórtico para cima, cuja carga é suportada pelos 8 chumbadores da base que o fixam. Já para a execução de provas de carga à tração, o macaco deve ser encaixado na face superior da viga retangular e como sistema de transmissão de carga se utiliza uma corrente ou cabo de aço que envolve o pistão do macaco, tracionado a fundação quando o pistão é ejetado.



(a)



(b)

Figura 4 - Componentes do aparato de laboratório para execução das provas de carga

O monitoramento das deformações e da carga é feito de forma automatizada, tanto para aquisição, como para a leitura de dados. Para registro das cargas são utilizadas células de carga de diversos tipos e capacidades, cuja escolha irá depender da carga a ser imposta na fundação. Por exemplo, quando se utiliza célula de carga do tipo disco chato, a mesma é colocada entre o macaco e viga do pórtico, registrando assim carga de compressão; mas pode-se utilizar células de carga do tipo “S”, que funcionam tanto a compressão (também colocadas entre o macaco e a viga do pórtico) ou tração (fixadas entre a fundação e o sistema de transmissão de carga (corrente ou cabo, já referidos) quando se faz ensaios de tração. Para registro das deformações são utilizados transdutores de deslocamento, os quais podem ser dispostos diretamente na fundação ou no sistema de transmissão de carga; ou ainda, serem dispostos sobre a superfície do solo para registrar as deformações neste (ver figura 5). Como a câmara de ensaios possui diversas aberturas vedadas com *caps* de PVC, as mesmas podem eventualmente serem abertas para a inserção de células de pressão – para registro das tensões no interior da massa do solo - ou transdutores de pressão – para registro da poro-pressão gerada. Independente do instrumento a ser utilizado (transdutores de carga, pressão, deslocamento, etc.), os mesmos são ligados a um *data logger*, disponibilizado



especificamente para aparato. O *data logger*, possui oito canais, ou seja, podem ser ligados até oito instrumentos distintos, mas se for o caso, ainda podem ser utilizados outros dois *data logger* (disponíveis no Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG), que podem ser ligados em série, permitindo a conexão de até vinte a quatro instrumentos. Por fim, foi disponibilizado um computador, do tipo desktop, exclusivo para a equipamento construído, no entanto, pode-se utilizar qualquer computador portátil, desde software esteja instalado. O *software* que acompanha o *data logger*, permite a visualização e traçado de gráficos em tempo real das leituras dos instrumentos, bem como gera um banco de dados ou planilha eletrônica com as informações lidas nos instrumentos. O *software* ainda, permite programar os intervalos de tempo de coleta e atualização das informações lidas nos instrumentos. A figura 6 mostra a montagem final de uma prova de carga com toda a sua instrumentação.



Figura 5- Instalação dos transdutores de deslocamento



Figura 6- Exemplo de montagem final e execução de um ensaio



3. TESTE DO EQUIPAMENTO

Num primeiro momento o equipamento está sendo utilizado para um projeto de pesquisa de iniciação científica com fundações tracionadas. Como fundações utilizou-se placas de aço 1020 com diâmetros (D) de 5 cm, 7,5 cm, 10 cm e 15 cm, com espessuras de 4,75 mm, 7,94 mm, 9,53 mm e 15,87 mm, respectivamente. Nas duas placas com diâmetro menor, foram feitos furos centrais com diâmetros de 8,5 mm e nas duas placas maiores foram feitos furos centrais com diâmetro de 12,5 mm, para permitir o transpasse e fixação das hastes de transmissão de carga com diâmetros iguais aos dos furos (ver exemplo na figura 4b). Para a simulação do terreno, utilizou-se areia fina de duna para enchimento da câmara de ensaios.

Inicialmente, colocou-se o tanque sobre um estrado de madeira para evitar contato direto com o piso. Após era colocada areia, compactando-a com um soquete manual em camadas de 10 cm em 10 cm até a profundidade (H) da fundação. Os ensaios eram realizados aumentando-se o embutimento (profundidade/diâmetro = H/D) de 1 até 10, ou até haver influência das paredes da câmara. Para as placas com diâmetro de 5 cm e 7,5 cm, foi possível a realização dos ensaios até um embutimento de 10, já para a placa com diâmetro de 10 cm foi possível até um embutimento de 6 e para a placa de 15 cm até um embutimento de 4. A influência das paredes da câmara era identificada quando as superfícies de ruptura as atingiam.

Após o assentamento da placa, continuava-se a execução do reaterro até a cota estabelecida. Concluída a preparação do reaterro da placa, procedia-se o fixação do pórtilco, a colocação da célula de carga e acoplagem do macaco. Em seguida preparava-se o sistema de transmissão da carga, composto pelo transpasse de uma corrente através uma anilha aparafusada da haste da placa e fixação no pistão do macaco. Após, fixava-se três transdutores de deslocamento, sendo um instalado junto a haste de transmissão de carga (registro do deslocamento da placa) e os outros dois eram instalados sobre a superfície do reaterro de areia com afastamento de $1.D$ e $3.D$, para registro das deformações deste.

Findada a montagem do ensaio propriamente dito (ver figura 6), procedia-se a execução da prova de carga. Como para a execução de provas de carga à tração em placas enterradas não existe normatização brasileira, seguiu-se as normas NBR 6.489 (ABNT, 1984) e NBR 12.131 (ABNT, 2006), para ensaios de placas à compressão e provas de carga em estacas, respectivamente. Os ensaios de carga eram realizados por meio da técnica de aplicação de carga incremental, sendo definidos incrementos de 10% da provável carga de ruptura (estimada). Conforme as normas citadas, o próximo incremento de carga somente pode ser feito após a estabilização dos deslocamentos da fundação, ou seja, a diferença máxima do deslocamento no tempo anterior e o último tempo lido, não deve ultrapassar 5%, sendo que os deslocamentos são lidos imediatamente após a aplicação da carga e em tempos dobrados após os trinta primeiros segundos (0, 30 segundos, 1 minuto, 2 minutos, 4 minutos, 8 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, ...). Por tratar-se de areia, a estabilização dos deslocamentos era instantânea com o incremento de carga, porém a carga era mantida por 5 minutos antes da aplicação do próximo incremento. O *software* foi programado para efetuar a atualização das leituras em tempo real e aquisição dos dados da célula de carga e dos três transdutores de deslocamento a cada segundo. Apesar da aquisição automática do ensaio, era realizado o registro manual da carga e de um relógio comparador digital (ver figura 5), também junto a haste da placa. Apesar da pesquisa somente considerar os dados coletados pelo *software*, o objetivo do registro manual do ensaio tem finalidade somente didática, pois na ruptura é impossível registrar manualmente as perdas de carga e as grandes deformações que ocorrem



neste instante. Para fins acadêmicos, a tabulação e a comparação dos resultados das provas de carga obtidos manualmente com os obtidos automaticamente, pode enfatizar e ilustrar as vantagens e desvantagens de cada uma das forma de aquisição de dados.

Antes da execução dos ensaios propriamente dita, houve a necessidade de calibração das células de carga utilizadas e dos três transdutores de deslocamento. Calibrou-se duas células de carga, uma com capacidade de 10 kN e outra de 2 kN, sendo utilizada uma ou outra para a realização das provas de carga, dependendo da estimativa de carga a ser imposta em cada ensaio. A calibração das células de carga foi realizada em uma prensa triaxial e utilizou-se um anel dinamométrico aferido com capacidade de 10 kN e resolução de 0,0055 kN, como referência de carga. Os transdutores de deslocamento com curso de 25,4 mm foram calibrados simultaneamente na mesma prensa triaxial, tendo referência os deslocamentos lidos em um relógio comparador digital de mesmo curso com resolução de 0,01 mm. Para cada calibragem, eram aplicados incrementos de 10% em 10%, tanto para a carga (0 kN, 1 kN, 2 kN, ...) como para os deslocamentos (0,0 mm, 2,54 mm, 5,08 mm, ...). Para cada instrumento foram realizadas três calibragens: uma incremental (0% a 100%), uma declinação (100% a 0%) e outra incremental (0% a 100%). Com as três calibragens efetuou-se uma regressão linear, cujo coeficiente de correção (R^2) resultante foi de 0,999, considerado satisfatório.

4. EXEMPLOS DE RESULTADOS

Como o objetivo principal deste trabalho é mostrar o aparato construído, e não propriamente a tabulação dos resultados até então realizados, somente irá se apresentar um resultado de ensaio para mostrar o potencial do equipamento e as suas possibilidades de aplicação. O exemplo em questão é uma prova de carga realizada com a placa de diâmetro de 15 cm, assentada a uma profundidade de 30 cm ($H/D = 2$). A figura 7 apresenta o gráfico da carga de arrancamento aplicada pelo deslocamento ascendente da placa. A figura 8 apresenta, respectivamente, os deslocamentos ascendentes registrados por cada um dos transdutores de deslocamento instalado no centro (junto a haste), afastado a uma distância de 15 cm ($1.D$) do centro e à 45 cm do centro ($3.D$). Já a figura 9 apresenta o somente o deslocamento registrado pelo transdutor mais afastado do centro (à 45 cm, próximo a parede do tanque). A tabela 1 apresenta um exemplo de planilha gerada pelo software.

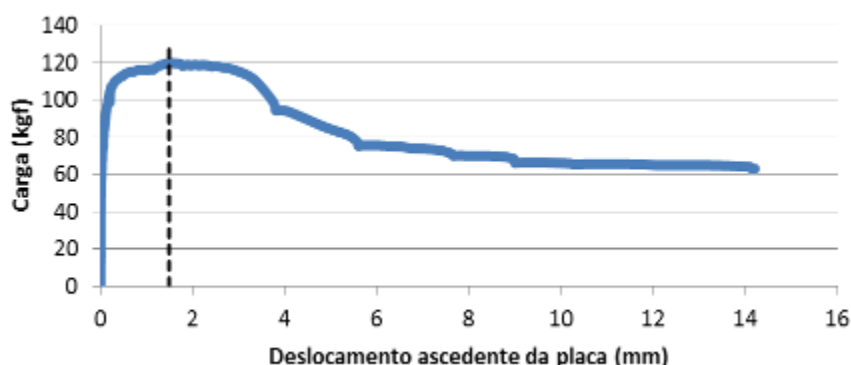


Figura 7 - Gráfico da carga de tração pelo deslocamento da placa

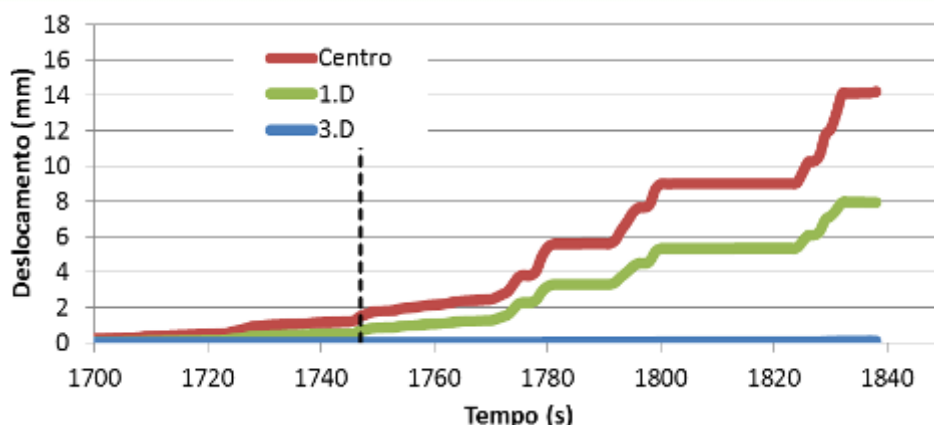


Figura 8 - Registro dos deslocamentos de cada uma dos três transdutores instantes antes e logo após à ruptura

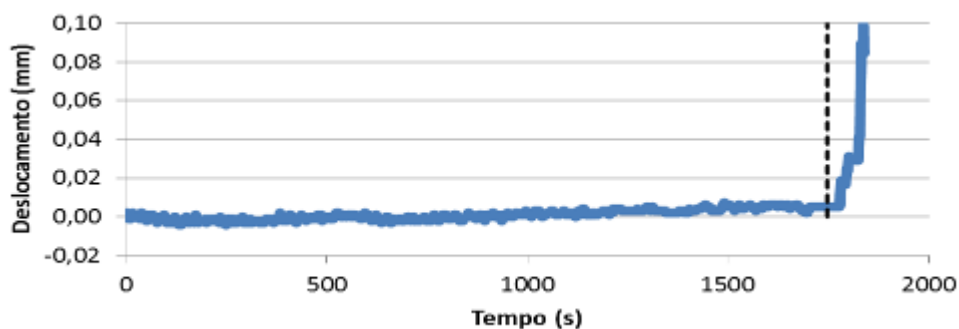


Figura 9 - Registro dos deslocamentos do transdutores instalado à 3.D desde o início do ensaios

Tabela 1 – Exemplo de parte de uma planilha extraída do software de aquisição de dados

Time	DEVICE_1	DEVICE_1 CH 0	DEVICE_1 CH 1	DEVICE_1 CH 2	DEVICE_1 CH 3
s	kgf	mm	mm	mm	mm
0	13,4251	5,3709	0,1368	5,1542	
1	13,4251	5,3709	0,1368	5,1553	
2	13,4251	5,3709	0,1368	5,1563	
3	13,4251	5,3709	0,1368	5,1553	
4	13,4251	5,3709	0,1368	5,1553	
5	13,4251	5,3709	0,1368	5,1563	
...	
643	63,6045	5,3918	0,1346	5,1521	
644	63,5636	5,3918	0,1346	5,1521	
645	63,5636	5,3918	0,1346	5,1532	
646	63,5636	5,3918	0,1346	5,1532	
647	63,5636	5,3918	0,1346	5,1532	
...	

O ensaio registrou uma carga máxima de 0,1190 kN (119,8 kgf), para um deslocamento da placa (transdutor central) de 1,5 mm e deslocamentos de 0,67 mm e 0,01 mm na superfície



do terreno à 15 cm e 45 cm, respectivamente, no tempo de 1.747 segundos (29 minutos e 6 segundos após o início do ensaio). Estas informações estão destacadas (linhas tracejadas) nas figuras 7 a 9. Além da carga máxima representar a ruptura, a mesma também é caracterizada pela abertura das fissuras. Vale salientar que o comportamento da fundação registrado a direita das linhas tracejadas das figuras 7 a 9 somente foi possível devido a aquisição automatizadas das leituras, pois como já enfatizado, após a ruptura (carga máxima), manualmente não é possível o registro simultâneo das leituras devido à perda de carga e ao rápido acréscimo de deslocamentos.

A figura 10 apresenta a superfície de ruptura findado o ensaio. Já a figura 11 apresenta uma representação esquemática antes da execução dos ensaios e o que ocorre ao final do ensaio.



Figura 10 - Superfície de ruptura ao final do ensaio

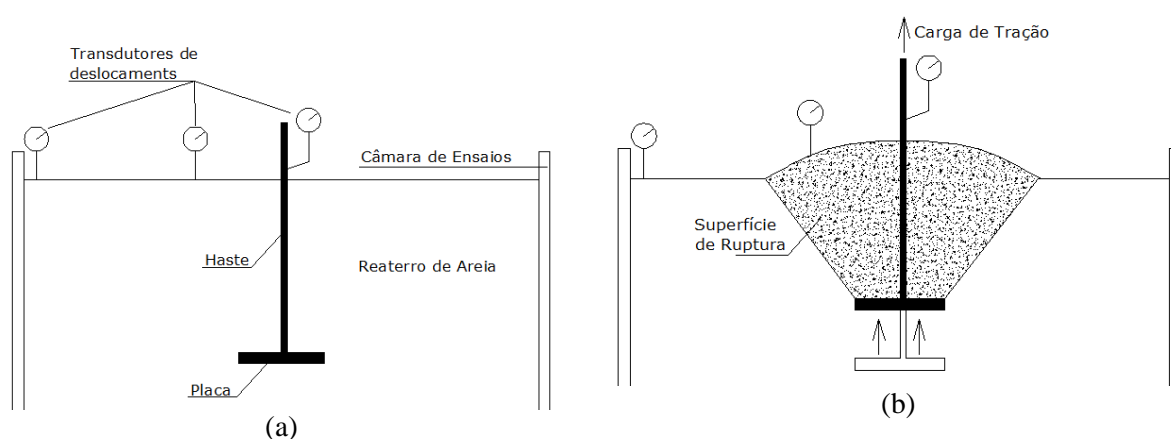


Figura 11 - Representação em corte (a) antes e (b) após a execução dos ensaios

Cabe registrar que a ruptura ocorreu no interior da massa do solo, não atingindo as paredes da câmara (ver figura 10 e 11b). Enquanto que na ruptura a deformação da placa era da ordem de 1% (deformação = deslocamento/diâmetro da placa = $1,5/150 = 0,01$ ou 1%), a



deformação na superfície do terreno junto as paredes do tanque era de somente 0,067% ($0,01/150 = 0,00067$ ou 0,067%). No final do ensaio as deformações foram de 9,5% e 0,7%, para a placa e na superfície do solo junto a parede, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

Através do presente trabalho foi possível mostrar a concepção de um projeto de aparato para a realização de provas de carga em fundações de qualquer natureza em modelo reduzido, disponibilizado para a elaboração de projetos de pesquisa e de ensino. O equipamento é mais uma ferramenta de ensino disponibilizada aos estudantes de engenharia da Universidade Federal do Rio Grande, para as aulas de fundações, onde os alunos poderão simular e verificar o comportamento de fundações. Além, da visualização do comportamento das fundações através de ensaios, os alunos poderão interpretar os resultados obtidos de forma automatizada, bem como de forma manual.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande – FURG (PDE-BIC Edital no 02/2011) e ao PIBIC/CNPq pelas bolsas de Iniciação Científica concedidas para o projeto PROPESQ/FURG 250.650/2011.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12131: Estacas - Prova de carga estática - Método de ensaio*. Rio de Janeiro: ANBT, 2006. 8p;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13208: Estacas - Ensaios de carregamento dinâmico*. Rio de Janeiro: ANBT, 2007. 12p;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6122: Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro: ANBT, 2010. 91p;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio*. Rio de Janeiro: ANBT, 2001. 17p;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6489: Prova de carga direta sobre terreno de fundação*. Rio de Janeiro: ANBT, 1984. 2p;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios - Procedimento*. Rio de Janeiro: ANBT, 1986. 3p;

ATKINSON, J. *An Introduction to the Mechanics of Soils and Foundations*. Londres: McGraw-Hill, 1993, 337p.;

DONATO, Maciel. *Medidas diretas de tensão em solo reforçado com fibras de polipropileno*. Tese (Doutorado) em Engenharia Civil. PPGEC: Porto Alegre, 2007, 162p;



GABR, Mohammed A.; BORDEN, Roy H.; SMITH, Alex W.; DENTON, Raymond L. *Laboratory Characterization of Jetting-Induced Disturbance Zones*. **Anais: Geo-Denver 2007 - New Peaks in Geotechnics**, Denver: ASCE, 2007;

GIRARDELLO, Vinícius. *Ensaio de Placa em Areia Não Saturada Reforçada Com Fibras*. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil. PPGECC: Porto Alegre, 2010, 141p;

SAKAI, T; TANAKA, T. *Experimental and Numerical Study of Uplift Behavior of Shallow Circular Anchor in Two-Layered*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, n. 4, vol. 133, p. 469–477, 2007.

REDUCED LABORATORY MODEL TO FOUNDATION LOAD TEST

Abstract: *This paper presents the design and construction of laboratory apparatus for execution of static load tests with different settings (plates or piles, compression or pullout) in the reduced model with teaching and research objectives. The apparatus behave in a steel chamber of diameter 90 cm and a height of 120 cm, a metal reacting gate system, with load application jack and automatic data acquisition (cell load, displacement transducers, data logger and computer).*

Key-words: *Reduced Laboratory Model, Foundation Load Tests, Test Equipment*