

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

ANÁLISE DA CAPACIDADE DE CARGA E RECALQUE DE SOLO RESIDUAL DA CIDADE DE SANTA ROSA – RS¹

Lucas Diego Riske², Tiago José Fischer³, Bruna Vogt Bär⁴, Hugo Steiner⁵, Carlos Alberto Simões Pires Wayhs⁶.

¹ Pesquisa integrante do projeto de pesquisa institucional da UNIJUI Estudo da Capacidade de Carga e Recalque de Solos Residuais do Noroeste do RGS pertencente ao Grupo de Pesquisa em: Novos Materiais e Tecnologias para a Construção

² Aluno do curso de Engenharia Civil da UNIJUI, lucasdiegoriske@yahoo.com.br

³ Aluno do curso de Engenharia Civil da UNIJUI, tj.fischer@hotmail.com

⁴ Aluna do curso de Engenharia Civil da UNIJUI, bolsista PIBIC UNIJUI, bruna.vogt@outlook.com

⁵ Aluno do curso de Engenharia Civil da UNIJUI, hugo_steinner@hotmail.com

⁶ Professor Mestre em Engenharia Civil pela UFRGS na UNIJUI, Orientador, carlos.wayhs@unijui.edu.br

INTRODUÇÃO

Segundo Russi (2007), a capacidade de carga e a pressão de recalque que o solo estará sujeito pelo carregamento de uma estrutura deverão estar muito bem definidas pelo profissional para o dimensionamento da fundação, baseado em suas propriedades mecânicas obtidas em investigação de campo como sondagem SPT (Standard Penetration Test - Teste de Penetração Padrão) e ensaio de placa entre outros e/ou laboratório. Já Schnaid e Odebrecht (2012), argumentam que o custo para investigação do solo, e assim obter os dados necessários para a realização de um projeto de fundação mais eficiente, giram em torno de 0,2% e 0,5% do custo total da obra de obras convencionais. Complementarmente, Dalla Rosa e Thomé (2004) afirmam que no Brasil a maioria dos projetos de fundações superficiais são dimensionados, com base em correlações empíricas, semi-empíricas e teóricas, normalmente obtidos de ensaios de caracterização e/ou ensaios de sondagem SPT, um dos tipos de investigação de campo ou in situ. No entanto, para Hachich et al (1998) o ensaio de placa é a melhor maneira para a determinar o comportamento do solo, com o qual se consegue obter as tensões admissíveis do solo de forma real, além de conhecer graficamente a curva tensão x recalque característica do solo e permitindo ainda determinar o tipo de ruptura do solo.

Propõe-se neste trabalho analisar o comportamento de um solo residual argiloso da cidade de Santa Rosa - RS, típico da região noroeste do Rio Grande do Sul, analisando e comparando valores obtidos a partir de métodos empíricos, semi-empíricos e analíticos (teóricos) com os resultados obtidos do ensaio de placa e identificar o tipo de ruptura apresentada pelo solo.

METODOLOGIA DA PESQUISA

Após revisão bibliográfica a metodologia da pesquisa deu-se em três etapas. A primeira etapa consistiu na escolha do local para a realização do ensaio de placa, compatível com o equipamento de reação, articulação para a realização do ensaio de sondagem SPT no mesmo local e ainda estipular uma data base para a realização dos ensaios. No passo seguinte foram realizados ensaios

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

utilizando dois tamanhos de placa, 48 cm e 80 cm, para obter o comportamento real do solo. A partir de ensaios de laboratório de caracterização classificou-se o solo pelo sistema unificado de classificação de solos, método rodoviário e MCT, além da obtenção de características de compactação e suporte do solo. Complementarmente efetuou-se sondagem SPT para conhecer o perfil geotécnico do local do ensaio. A partir dos resultados foram realizadas diversas análises para comparar os valores de tensão admissível estimados por diversos métodos, teóricos, empíricos e semi-empíricos.

O local escolhido para execução do ensaio de placa foi a margem do prolongamento da Avenida América em Santa Rosa. O sistema de reação adotado para o estudo foi uma escavadeira hidráulica marca Komatsu PC160LC conforme observa-se na Figura 1, cuja massa era de 16,56 toneladas, cedido devido ao apoio da Prefeitura de Santa Rosa.



Figura 1 - Escavadeira Hidráulica (sistema de reação)

A metodologia do ensaio de placa seguiu o preconizado na NBR 6489/84 que recomenda aplicação de carga em estágios sucessivos de no máximo 20% da taxa admissível provável do solo. Sendo assim foram realizados acréscimos de carga de 50 e 100kN, respectivamente na placa de 48 e 80 cm. Antes do início do ensaio, a placa deve estar perfeitamente nivelada e apoiada, para isso foi utilizada areia fina (Figura 2). As leituras dos recalques devem ser realizadas após a aplicação de cada estágio de carga nos intervalos de 1, 2, 4, 8, 15, 30, minutos até a estabilização do recalque cuja tolerância máxima é de 5% do recalque total passava-se a novo acréscimo de carga. Os extensômetros foram dispostos em ângulo de 120° entre si que se pode observa na Figura 2.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica



Figura 2 - Instalação dos extensômetros

Após a aplicação de cargas constatou-se a ruptura do solo na placa de 48 cm (Figura 3), ao atingir o recalque de 25 mm. Porém na placa com diâmetro de 80 cm não foi possível constatar o tipo de ruptura no solo por falta de massa para suportar a carga aplicada na placa, sendo superior a massa da escavadeira, quando a tensão na placa chegou a 175 kPa, que provocou o levantamento da máquina.



Figura 3 - Ruptura do solo na placa de 48 cm

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dos ensaios de placas traçou-se os gráficos Tensão x Recalque. Já que na placa de 80 cm não foi atingida a ruptura do solo realizou-se extrapolação da curva de tensão x recalque, baseando-se na

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

semelhança dos gráficos normalizados até onde ocorreu o carregamento, adotando então a relação de σ_{m}/d , apresentando-se na Figura 4.

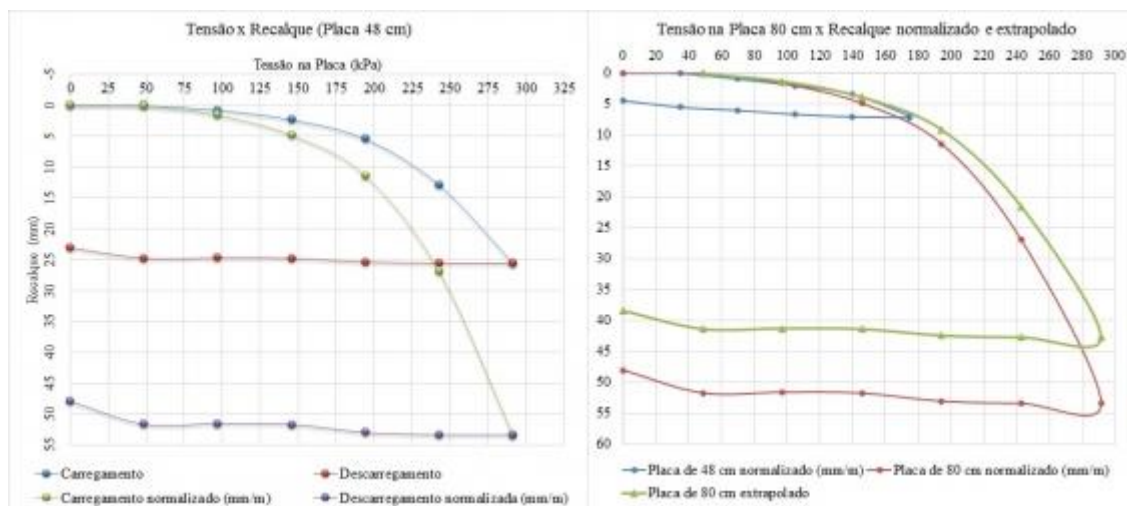


Figura 4 - Gráficos tensão x recalque

Foram aplicados dois métodos para a obtenção da tensão admissível, onde o primeiro é o critério de Boston apresentada por Hachich (1998), onde a tensão admissível é a menor entre a tensão aos 10mm e a tensão aos 25mm / 2.

Conforme o gráfico apresentado na Figura 4 a tensão na placa de 48 cm aos 10 mm é de 225 kPa e a tensão para um recalque de 25 mm é de 287 kPa que dividindo por 2 corresponde a 143,5 kPa. Portanto pelo critério citado acima a tensão admissível seria de 143,5 kPa que seria o menor dos dois valores. Já na placa de 80 cm a tensão para um recalque de 10 mm seria de 200 kPa e a tensão para um recalque de 25 mm seria de 252 kPa que dividido por 2 perfaz o valor de 126 kPa. Daí o critério adotaria o valor menor de 126 kPa para tensão admissível.

Já o segundo método adotado é o critério $d/30$ descrito na dissertação de mestrado de Russi (2007) e de Kublic (2010), onde d é o diâmetro da placa, gerando uma tensão de ruptura de 16 mm (480/30). Pela Figura 4 a tensão de ruptura para um recalque de 16 mm é de 255 kPa que dividido pelo fator de segurança 2 obtêm-se tensão admissível de 127,5 kPa. Desta forma temos valores bastante próximos de tensão admissível, sendo a do critério de Boston apresentado em Hachich (1998) 12,5 % maior que o proposto no critério $d/30$. Para a placa de 80 cm a tensão de ruptura se daria para um recalque de 26,67 mm (800/30). Na Figura 4 na curva extrapolada obtêm para este recalque uma tensão de 257 kPa que dividido por 2 teríamos o valor de 128,5 kPa. Percebe-se que os valores de tensão admissível dos dois critérios são praticamente iguais, com o valor do critério $d/30$ cerca de 2% maior que o critério de Boston. Percebe-se que o menor valor de tensão admissível da placa de 48 cm foi de 127,5 kPa e para a placa de 80 cm foi de 126 kPa, valores praticamente iguais.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

Se analisarmos os valores das duas tensões da placa de 48 cm, admissível (143,50 kPa) e d/30 (127,50 kPa) e das duas tensões extrapoladas da placa de 80 cm, admissível (126 kPa) e d/30 (128,50 kPa), percebe-se que são valores muito próximos. Se fizermos uma média destes quatro valores obtém-se 131,38 kPa. Este valor será adotado para fins de comparação com diferentes métodos.

Do ensaio SPT, obteve-se valores de 9 na superfície, 8 a 1 m de profundidade e 9 para 2m de profundidade. Adotou-se o valor característico de 8,5 para o NSPT para uso em fórmulas semi-empíricas de estimativa de tensões e recalques de forma a refletir a resistência a penetração média do solo na região de atuação devido ao carregamento na placa.

Para os critérios semi-empíricos foram analisados os seguintes critérios e obtendo-se os seguintes resultados apresentados na Figura 5.

Critério Mello (1975, apud Ruver,2006) Válido para qualquer solos entre $4 \leq N_{SPT} \leq 16$	$\sigma_a = 100. (\sqrt{N_{SPT}} - 1) = \boxed{192 \text{ kPa}} \quad (+46,15\%)$
Critério Teixeira e Godoy (1996) Válido para solos em estado natural no intervalo de $5 \leq N \leq 20$	$\sigma_a = 0,02. N \text{ (em Mpa)} = \boxed{170 \text{ kPa}} \quad (+29,40\%)$
Critério de Ruver (2006)	
$\sigma_a = 9,54. N_{SPT,60} + 6,41. \sqrt{N_{SPT,60}^2 - 20,3. N_{SPT,60} + 167,3}, \text{ Limite Superior}$	$= \boxed{134 \text{ kPa}} \quad (+2,0\%)$
$\sigma_a = 9,54. N_{SPT,60} - 6,41. \sqrt{N_{SPT,60}^2 - 20,3. N_{SPT,60} + 167,3}, \text{ Limite Inferior}$	$= \boxed{29 \text{ kPa}} \quad (-77,93\%)$
$\sigma_a = 9,54. N_{SPT,60},$	$\text{Valor médio} = \boxed{81 \text{ kPa}} \quad (-38,34\%)$

Figura 5 - Métodos semi-empíricos

Outra análise feita foi aplicar o método empírico baseado na NBR 6122/1996, mesmo que seja proibido utilizar valores para dimensionamento pela nova versão da norma de 2010. Por último utilizou-se o método teórico de Terzaghi (1943). Do NSPT adotado, estimou-se a coesão em 35 kPa, obtido da tabela de Alonso (1943) e o peso específico de 17 kN/m³, a partir da tabela de Godoy (1972). Os dois métodos e as tabelas são apresentados na Figura 6.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

MÉTODO EMPÍRICO

Critério NBR 6122/1996 (Tabela) – Areia média = 100 kPa (-23,88%)

MÉTODO TEÓRICO

Critério de Terzaghi (1943)

$$\sigma_r = c \cdot Nc + q \cdot Nq + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot Ny = 145 \text{ kPa} (+10,37\%)$$

$$c' = \frac{2}{3} \cdot c$$

$$\tan \phi' = \frac{2}{3} \cdot \tan \phi$$

N (golpes)	Consistência	Peso específico (tN/m³)
≤ 2	Muito mole	13
3-5	Mole	15
6-10	Média	17
11-19	Rija	19
≥ 20	Dura	21

Godoy (1972)

Alonso (1943)

Argilas	Standard Penetration Test (SPT)	Coesão c (kPa)
Muito mole	< 2	< 10
Mole	2 a 4	10 a 25
Média	4 a 8	25 a 50
Rija	8 a 15	50 a 100
Muito rija	15 a 30	100 a 200
Dura	> 30	> 200

Figura 6 - Método empírico e teórico

CONCLUSÃO

Dos ensaios de caracterização do solo, classificou-se o solo pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), como solo MH, pelo método rodoviário da HRB/AASHTO como solo A-5 e pela classificação expedita MCT pelo método das pastilhas como solo LG', solo laterítico argiloso. O solo apresentou uma ruptura característica de punção, na placa de 48 cm, pois não ocorreu deslocamento de solo na superfície no entorno da placa, havendo apenas um deslocamento vertical da placa.

Analisando os resultados apresentados foi possível concluir que:

- A tensão admissível pelo método d/30 para as duas placas tem valores praticamente iguais;
- As tensões admissíveis pelo critério de Boston para as duas placas foram determinadas pelo critério de tensão aos 25 mm de recalque dividido por 2;
- As tensões admissíveis das duas placas pelo critério de Boston, as tensões admissíveis das duas placas no critério d/30, as tensões admissíveis obtidas pelo método de Ruver (2006) no limite superior e pelo método teórico de Terzaghi sinalizam para um valor semelhante, muito próximo da média de 131,38 kPa;
- Os métodos de Teixeira (1996) e Mello (1975, Ruver, 2006) superestimam a tensão admissível do solo e os limites inferior e mediano de Ruver (2006) e o critério empírico da NBR-6122/2010 subestimam a tensão admissível do solo.

PALAVRAS CHAVE: Ensaio de placa. Tensão admissível. Recalques. Solo residual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

DALLA ROSA, F.; THOMÉ, A. Obtenção das características de resistência e deformabilidade de um solo residual de basalto através de ensaio de placa. In: XXXI JORNADAS SUD-AMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, Mendoza, (Argentina), 2004.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

ENERPAC. Cilindros hidráulicos, macacos, produtos para levantamento e sistemas. Disponível em: http://www.enerpac.com/sites/default/files/products/downloads/sc_e327r_pt-br.pdf. Acesso 20/04/2015

HACHICH. Waldemar; FALCONI. Frederico F.; SAES. José Luiz; FROTA. Régis G. Q.; CARVALHO. Celso S.; NIYAMA. Sussumu. Fundações Teoria e Prática. 2.ed. São Paulo, PINI. 1998

KOMATSU, Latin-America Corp. Productos. Disponível em: <http://www.komatsuklc.com/catalog/PC160LC-7B.pdf>. Acesso 15/04/2015

KUBLIK. Cristiane. Ensaios de Placas em Solo Laterítico na Cidade de Santo Ângelo. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil, 2010.

RUSSI, Daniel. Estudo do Comportamento de Solos Através de Ensaio de Placa de diferentes diâmetros. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil, 2007.

RUVER. Cesar Alberto. Determinação do Comportamento Carga-Recalque de Sapatas em Solos Residuais a Partir de Ensaios SPT. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil, 2005.

SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. Biblioteca Universitária. Ensaios de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2012.

TERZAGHI, Karl. Theoretical Soil Mechanics. New York, John Wiley e sons, 1943.