

Evento: XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

**UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS DE PLACA PARA A DETERMINAÇÃO DA
CAPACIDADE DE CARGA DOS SOLOS DA REGIÃO NOROESTE DO RIO
GRANDE DO SUL¹**

**USE OF PLATE TESTS FOR DETERMINATION OF SOILS LOAD CAPACITY
IN THE NORTHWEST REGION OF THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL**

**Larissa Fernandes Sasso², Alexia Cindy Wagner³, Felipe Feron Kirchner⁴,
Gabriel Verdi Leal⁵, Carlos Alberto Simoes Pires Wayhs⁶**

¹ Pesquisa do DCEEng, vinculada ao projeto de pesquisa institucional da UNIJUI "Estudo da Capacidade de Carga e Recalque de Solos Residuais da Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul", pertencente ao Grupo de Pesquisa em Novos Materiais e Tecnologias para a Construção.

² Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, bolsista PIBIC Engenharia Civil UNIJUI, larisasso08@hotmail.com

³ Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, integrante do grupo PET Engenharia Civil UNIJUI, alexia-wagner@hotmail.com

⁴ Aluno do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, bolsista PET Engenharia Civil UNIJUI, kirschnerfelipe@gmail.com

⁵ Aluno do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, gabrielverdileal@gmail.com

⁶ Professor Mestre do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, Orientador, carlos.wayhs@unijui.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A geotecnia tem como principal objetivo a determinação da interação terreno-fundação-estrutura de maneira a prever e adotar medidas que permitam maior estabilidade do solo e o menor custo da obra (Caputo, 1988). Já o passo mais importante de um projeto de fundação após a identificação do solo é a determinação da tensão máxima que pode ser aplicada no mesmo, sem que ocorra ruptura ou recalques excessivos (Terzaghi e Peck, 1962). Segundo Russi (2007), uma das melhores maneiras para a determinação das características de deformação do solo é o ensaio de placas, uma vez que este representa o comportamento da futura fundação superficial em escala reduzida, através de curvas tensão-recalque. Outra maneira de obtenção de dados para o dimensionamento é através do ensaio SPT, um ensaio que apesar de obter valores de tensão admissível de forma indireta, é um ensaio utilizado no mundo todo por ser simples, econômico e prático (RUFER, 2005). Por outro lado, segundo Costa (1999), a origem da Mecânica dos Solos se deu em países de clima temperado, os quais possuem solos distintos dos encontrados na região noroeste do Rio Grande do Sul. Esse fato torna questionável a veracidade das metodologias de cálculo quando aplicadas a outros tipos de solos.

A partir de tais inquietações, o seguinte trabalho busca estudar o comportamento dos solos residuais no noroeste gaúcho, quanto aos métodos empregados na obtenção da estimativa de tensão admissível, comparando-se os valores de campo com os obtidos através de metodologias de cálculo. Espera-se assim, proporcionar aos engenheiros de fundações maior conhecimento e consequentemente segurança para o desenvolvimento de projetos de infraestrutura para solos semelhantes aos estudados.

Evento: XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

2. METODOLOGIA

O trabalho aqui apresentado foi desenvolvido a partir de ensaios de campo (ensaio de placa e SPT) realizados nas cidades de Coronel Barros, Ijuí (Costa do Sol e Campus Unijuí) e Santa Rosa. O ensaio de placa é normatizado pela NBR 6489 intitulado “Prova de carga direta sobre terreno de fundação”, o qual consiste na aplicação de carregamento em modelo reduzido de uma sapata, obtendo dessa forma parâmetros de deformação do solo a partir da variação da intensidade da carga aplicada (HACHICH ET AL, 1998). De acordo com Alonso (2012), pode-se obter a tensão admissível do solo a partir desse ensaio, no qual aplicam-se cargas por meio de um macaco hidráulico sobre a placa, medindo-se o valor de pressão aplicada e o respectivo recalque através dos deflectômetros, resultando em uma curva carga x recalque. Os ensaios foram executados com placas de diâmetro de 48 e 80 cm sendo utilizados somente os resultados da de 48 devido ao sistema de reação (escavadeira hidráulica) chegar ao limite para a de 80.

O ensaio SPT se justifica por ser utilizado em algumas das metodologias de obtenção da tensão admissível e também por ser um método amplamente executado atualmente, pois além de oferecer dados do subsolo é um ensaio prático, simples e econômico (RIVER, 2005). Desta forma o SPT foi realizado a aproximadamente 6 metros dos locais em que foram realizados os ensaios de placa. De acordo com River e Consoli (2006) deve ser considerada a média aritmética dos valores NSPT na profundidade de duas vezes a menor dimensão da base da fundação, corrigindo-se a diferença de energia pela multiplicação de um fator de 1,2, resultado da razão entre as energias do SPT comuns brasileira (72 %) pela americana (60 %). A partir disso, o NSPT adotado para a placa de 48 cm foi considerado a uma profundidade de 96 cm, sendo corrigido conforme as recomendações acima descritas.

A fim de determinar a tensão admissível a partir dos ensaios de placa realizados, foi considerada a média entre os critérios de Alonso (2012) e de Cudmani (1994), sendo que o método de Alonso considera a menor tensão entre os três seguintes resultados: valor da tensão de ruptura dividida pelo fator de segurança; tensão correspondente ao recalque de 25mm dividido pelo fator de segurança; e a tensão correspondente ao recalque de 10mm. Já Cudmani determina a tensão admissível como a tensão correspondente ao recalque equivalente ao diâmetro da placa (em mm) dividido por 30, este dividido pelo fator de segurança. Para ambos os métodos, considera-se o valor do fator de segurança igual a dois, conforme obtido na NBR 6122 (ABNT, 2010). Para o cálculo da capacidade de carga dos solos a partir do uso de valores da sondagem SPT (NSPT) foram utilizadas as seguintes metodologias de cálculo teóricos e semi empíricos: Terzagui, River (limite superior, inferior e médio), Teixeira e Godoy, Mello, Bowles, Meyerhof, Teng, Parry, Peck, Burland e Burbidge. Não serão exibidas neste trabalho as formulações e significado das variáveis por questões de limite de espaçamento, porém estas poderão ser obtidas em Immich (2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos ensaios realizados nas cidades de Coronel Barros, Ijuí e Santa Rosa, foram encontradas curvas carga-recalque para cada um dos locais para a placa de 48cm. Além dos ensaios de placa e sondagens SPT, também foram retiradas desses locais amostras do solo para ensaios de caracterização geotécnica. As curvas obtidas estão apresentadas na Figura 2, a partir de quais foram realizadas as análises e cálculos quanto a tensão admissível do solo e feitas as comparações necessárias com as demais metodologias. Aplicando os métodos de Alonso e Cudmani, se adotou como tensão admissível real do solo a média dos valores de tensão admissível

Evento: XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

entre os dois critérios. A Tabela 1 a seguir apresenta a síntese dos resultados das tensões admissíveis (kPa) dos ensaios de placa para cada região.

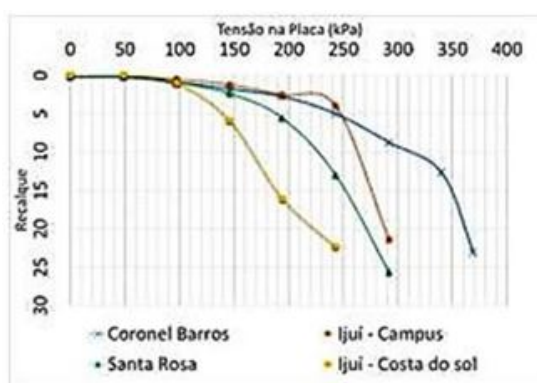


Figura 1. Curvas Tensão x Recalque

Locais	σ_{Rup}	σ_{25mm}	σ_{10mm}	σ_{16mm}	σ_{adm} Alonso	σ_{adm} Cudma	σ_{adm} Real
Ijuí - Campus	292	-	263	278	146	139	142,5
Ijuí - Costa do Sol	243	-	166	194	122	97	109,25
Coronel Barros	369	-	313	352	185	176	180,25
Santa Rosa	-	289	227	256	145	128	136,25

Tabela 1. Valores de tensão admissível

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), a determinação da capacidade de carga do solo pode ser obtida através de métodos teóricos de cálculo. A Figura 3 apresenta os valores de tensão admissível obtidos pelo teorema de Terzaghi, relacionando diferentes parâmetros de capacidade de carga e de forma com outras metodologias clássicas e normas. Outro método de obtenção da tensão admissível previsto na NBR 6122 (ABNT, 2010) se baseia em uma abordagem semi-empírica através de dados de ensaios de campo. Os valores de NSPT utilizados foram cedidos pelas empresas de sondagem que realizaram o ensaio nos locais. O número de golpes (NSPT) para a aplicação nas metodologias foram: 7 para Ijuí na região do campus e 8 para o loteamento Costa do Sol, 9 para Coronel Barros e 8 para Santa Rosa. Os cálculos foram baseados em uma sapata circular de 48cm de diâmetro apoiada na cota de zero metros. A variação dos resultados das metodologias semi-empíricas com o ensaio de placa pode ser observada na Figura 4, onde nota-se que os valores são muito diferentes, com extremos de majoração de 407% e minoração de 81% em relação a tensão admissível real obtida pelo ensaio de placas.

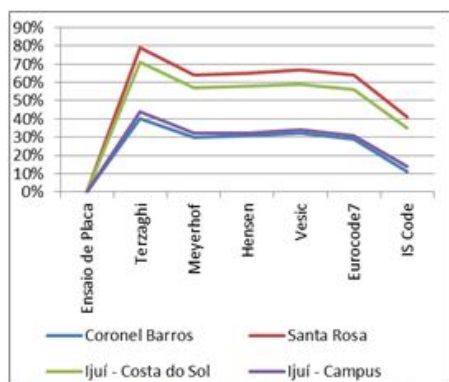


Figura 2. Variação da tensão admissível (método teórico)

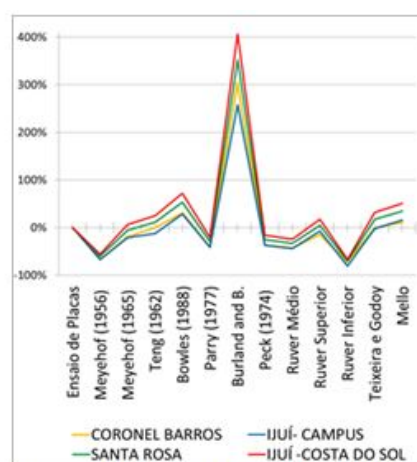


Figura 3. Variação da tensão admissível (método semi-empírico)

Evento: XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Conforme a Figura 4, em relação aos métodos semi-empíricos, o que mais se aproximou ao valor de tensão admissível real foi o de Ruver pelo limite superior que teve uma variação em módulo de 11% em relação aos valores reais. O método de Teng resultou em uma variação média de 12%, Teixeira e Godoy e Meyerhof (1965) em uma variação de 13%. Dessa maneira percebe-se que apesar de tais métodos se aproximaram do valor real de tensão, o método de Ruver se destaca como o mais adequado uma vez que apresenta menor variação em relação aos outros.

Como outra forma de comparar valores de tensão, faz-se uma correlação entre valores reais de tensão admissível com os valores de NSPT. Essa correlação pode ser observada na Tabela 2, onde se divide a tensão real pelo valor de NSPT com energia de 60%, obtendo-se assim um valor de tensão por unidade de NSPT.

Relação tensão Admissível Nspt	kPa/Nspt
Coronel Barros	16,6898
Ijuí - Campus	16,9643
Santa Rosa	14,1927
Ijuí - Costa do Sol	12,6521

Tabela 2. Relação Tensão por valor Nspt

Pode-se observar a partir da Tabela 2 uma similaridade entre os valores de tensões nas cidades de Coronel Barros e Ijuí. A cidade de Santa Rosa apresentou uma tensão com diferença de 2 kPa em relação aos solos anteriores, já o solo de Ijuí referente ao Costa do Sol apresentou um valor menor, que pode ser justificado pelo fato de o mesmo ser o que apresentou maior diferença entre as determinações teóricas e semi-empíricas e o seu real valor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das relações e comparações das diferentes metodologias com os resultados do ensaio de placas, foi possível encontrar as que mais se aproximam do valor real obtido em campo. Assim, os valores de tensão admissível obtidos pelos ensaios de placas chegaram a valores próximos aos valores encontrados pelos seguintes métodos semi-empíricos: Ruver (2005) pelo limite superior, Teng (1962), Teixeira e Godoy (1998) e Meyerhof (1965), enquanto os métodos mais distantes foram: métodos de Burland e Burbidge, Ruver (2005) pelo limite inferior Meyerhof (1956) e Bowles.

Considerando o método teórico de Terzaghi, pode-se realizar duas análises: ao utilizar os parâmetros do solo com base no resultado do NSPT, os coeficientes de carga e forma do IS CODE alcançaram os melhores resultados, enquanto os coeficientes de Hensen e do Eurocode7 obtiveram os melhores resultados ao se usar valores de coeficientes baseados no ensaio de cisalhamento direto.

Considerando a relação entre o valor NSPT com a tensão admissível do ensaio de placas, o valor possível resultou entre 12 a 17 entre eles segundo as análises feitas.

A partir dos estudos realizados foi possível observar determinada tendência para os solos residuais, comprovando que possuem um comportamento distinto de solos de outros países de clima temperado, visto que muitas das metodologias estrangeiras não correspondem aos resultados reais obtidos em campos. Dessa maneira, conclui-se que para encontrar a tensão admissível dos solos do noroeste do estado do Rio Grande do sul, o melhor método seria o Ruver

Evento: XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

pelo limite superior, visto que apresentou resultados com maior acurácia.

Palavras-chave: Prova de Carga em placa; Fundações; Tensão Admissível.

Keywords: Plate load test; Foundations; Admissible stress

AGRADECIMENTOS

Ao MEC-SESu pela participação do Programa de Educação Tutorial, ao PIBIC pela bolsa, ao laboratorista Luiz Donato, ao Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUI (LEC), à Camillo Construções e Terraplanagens Ltda. e à Prefeitura de Santa Rosa por cederem as escavadeiras hidráulicas utilizadas nos ensaios, às empresas FUNDERS e Minerag pela execução das sondagens SPT e a disponibilização dos respectivos relatórios.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010. P.91
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6489: Prova de Carga Direta sobre Terreno de Fundação. Rio de Janeiro, 1984. 2 p.
- ALONSO, U. R. Exercícios de fundações. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2012. P. 204
- CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos. 6. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988. P. 234
- COSTA, Y.D.J. Estudo do comportamento de solo não saturado através de provas de carga em placa. Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos, 1999. P. 131.
- CUDMANI, R. O. Estudo do comportamento de sapatas assentes em solos residuais parcialmente saturados através de ensaios de placa. Dissertação de Mestrado, Pós graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1994. P. 150.
- HACHICH, Waldemar et al. Fundações: teoria e pratica. 2 ed. São Paulo. Pini, 1998. 75p.
- IMMICH, G. Estudo da capacidade de carga e recalque de solos residuais do noroeste do Rio Grande do Sul. 2016. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil – Departamento de Ciências Exatas e Engenharias): Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí RS, 2016.
- MEYERHOF, G.G. Shallow foundations. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 91. No. SM2, 1965. P. 21-31.
- RUSSI, D. Estudo do comportamento de solos traves de ensaios de placa de diferentes diâmetros. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. F.149
- RUVER, C. A.; CONSOLI, N. C. Tensão admissível de fundações superficiais assentes em solos residuais determinada a partir de ensaios SPT. In. GEOSUL. 2006, [S.l]. Anais..., 2006.
- RUVER, C. A. Determinação do comportamento carga-recalque de sapatas em solos residuais a partir de Ensaios SPT. Porto Alegre: Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 2005, F.179
- TERZAGHI, K.; PECK, R. B. Mecânica dos solos na prática da engenharia. Tradução Antônio José da costa nunes e Maria de Lourdes campos campelo. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1962. P. 501.