SALÃO DO CONHECIMENTO UNIJUÍ 2018
CIÊNCIA PARA A REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES
XXVI Seminário de Iniciação Científica
XXIII Jornada de Pesquisa
XIX Jornada de Extensão
VIII Mostra de Iniciação Científica Júnior
VIII Seminário de Inovação e Tecnologia
01 a 04 de outubro de 2018

Evento: Bolsistas PET

APLICAÇÃO DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA OBTENÇÃO DA TENSÃO ADMISSÍVEL DE SOLOS DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL EM COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DE ENSAIOS DE PLACA[1]

DIFFERENT METHODS APPLIED FOR ALLOWABLE STRESS GAIN ON THE NORTHWEST OF RIO GRANDE DO SUL SOILS COMPARED WITH THE PLATE LOAD TESTS RESULTS

Thalia Klein Da Silva[2], Fernanda Maria Jaskulski[3], Alexia Cindy Wagner [4], Larissa Fernandes Sasso[5], Rosana Wendt Brauwers[6], Carlos Alberto Simões Pires Wayhs[7]

[1] Pesquisa do DCEEng, vinculada ao projeto de pesquisa institucional da UNIJUÍ
[2] Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUÍ, não-bolsista PET Engenharia Civil, UNIJUÍ, thalia_klein@hotmail.com
[3] Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUÍ, bolsista PET Engenharia Civil, UNIJUÍ, fernadaj18@hotmail.com
[4] Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUÍ, integrante do grupo PET Engenharia Civil UNIJUÍ, alexia-wagner@hotmail.com
[5] Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUÍ, bolsista PET Engenharia Civil UNIJUÍ, larisasso08@hotmail.com
[6] Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUÍ, bolsista PET Engenharia Civil UNIJUÍ, rosanabrawers@hotmail.com
[7] Professor Mestre do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUÍ, Orientador, carlos.wayhs@unijui.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Conforme Terzagui (1962) os esforços solicitantes de uma edificação devem ser suportados pelo terreno sem a ocorrência de recalques excessivos ou de ruptura, onde a tensão transmitida ao solo é inferior à sua tensão de suporte. Logo, evidencia-se a importância da identificação geotécnica, seja através de métodos teóricos, provas de carga em placa ou métodos semi-empíricos disponíveis, uma vez que o terreno constitui parte da fundação em que seu comportamento espelha o seu desempenho (CINTRA, AOKI E ALBIERO 2003).

Para Ruver (2005), os métodos mais adotados na estimativa da tensão admissível do solo, correspondem aos semi-empíricos, devido a praticidade e exigência apenas do uso de sondagens SPT (Standard Penetration Test) e aos teóricos. No entanto, uma vez que tais metodologias foram desenvolvidas em países de solos sedimentares e características geológicas distintas aos solos residuais pertencentes a região noroeste do estado do Rio Grande do Sul torna-se discutível sua real veracidade de aplicação. Nesse contexto, o seguinte trabalho visa analisar o comportamento dos solos residuais no noroeste gaúcho quanto aos métodos empregados na obtenção da estimativa de tensão admissível. Dessa maneira, realizando-se comparações entre os valores

obtido em campo com encontrados através de metodologias de cálculo, objetiva-se determinar os modelos convencionais que melhor representam a capacidade de carga dos solos analisados.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento da presente pesquisa tem como base a execução de ensaios de placa e sondagens SPT nos seguintes diferentes municípios do noroeste do Rio Grande do Sul: Coronel Barros (CB), Cruz Alta (CA-N), Ijuí - Costa do Sol (CS) e Campus Unijuí (C) -, Palmeira das Missões (PM), Panambi (PAN) e Santa Rosa (SR). Regulamentado pela NBR 6489 (ABNT, 1984), o ensaio de placa consiste na utilização de placas de metal para aplicação de diferentes carregamentos a fim de aferir o comportamento carga-recalque do sistema solo-fundação (RUVER, 2005). De acordo com Quaresma et al. (2016) o carregamento em placa representa um dos meios mais confiáveis para determinação das características de deformação do solo, e Alonso (2012) destaca que, através dos seus valores apresentados, é possível obter a tensão admissível do solo em análise. Nos ensaios realizados utilizou-se de placas com 30, 48 e 80 cm de diâmetro, sendo empregadas retroescavadeiras hidráulicas como sistema de reação

A no máximo 6 metros de distância dos locais em que foram executados os ensaios de placa realizou-se o ensaio de sondagem SPT, cujo método constitui um procedimento geotécnico normatizado pela NBR 6484 (ABNT, 2001) capaz de amostrar o subsolo e medir a resistência do solo ao longo da profundidade perfurada. Em recomendação, Ruver e Consoli (2006) orientam a aplicação da média aritmética dos valores NSPT a uma profundidade de duas vezes a menor dimensão da base da fundação, com uma correção do valor do NSPT através da sua multiplicação por 1,2 em razão à energia de cravação do SPT brasileira (72%) pela de padrão internacional (60%). Com base nisso, as médias adotadas aos valores de NSPT correspondem respectivamente a 60 cm de profundidade para a placa de 30 cm de diâmetro, 96 cm de profundidade para a placa de 48 e 160 cm de profundidade para a placa de 80.

Visando estabelecer a tensão admissível apresentada pelos solos dos ensaios, fez-se uso de dois critérios usuais à engenharia de fundações: o de Alonso (2012) e o de Cudmani (1994), adotando-se como valor de tensão admissível a média dos dois critérios citados. Conforme indicado para fundações superficiais pela NBR 6122 (ABNT, 2010), adotou-se o valor igual a dois como fator de segurança. As metodologias de cálculo praticadas para obtenção das estimativas de tensão admissível a partir do uso de valores da sondagem SPT são as seguintes: Terzaghi, Ruver para os limites superior, médio e inferior; Teixeira e Godoy; Mello; Bowles; Meyerhof; Teng; Parry e Burland e Burbidge. Detalhes sobre as formulações e respectivas metodologias podem ser consultadas em Kirschner (2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram executadas nove provas de carga sobre o terreno de fundação com os ensaios de placa, tendo como resultado a obtenção de uma curva carga x recalque para cada prova de carga realizada, representando o comportamento do solo frente às cargas aplicadas. As nove curvas obtidas foram compiladas de forma gráfica e são apresentadas na Figura 1. Efetuando a nálise das curvas carga x recalque, encontrou-se a partir da aplicação dos métodos de Alonso e Cudmani, os valores necessários para obtenção da tensão admissível de cada solo. Já na Figura 2 permite-se

Evento: Bolsistas PET

observar a média obtida entre os dois critérios adotada como a tensão admissível real para cada ensaio executado.

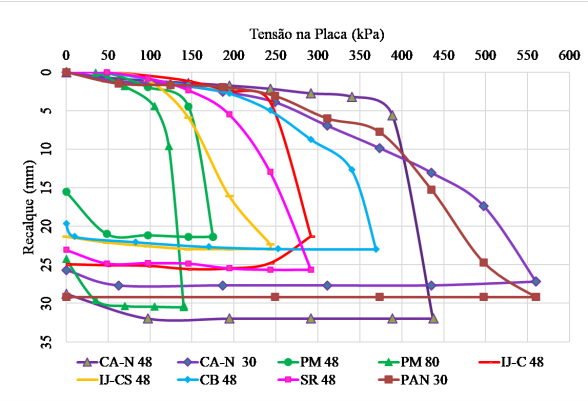

Figura 1. Curvas carga x recalque dos ensaios

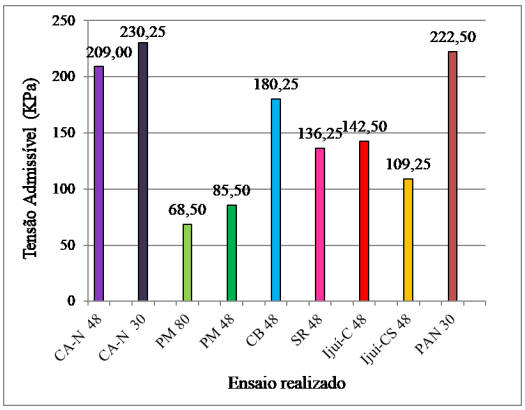

Figura 2. Valores de tensão admissível obtidos

Além da obtida da prova de carga, a tensão admissível pode também ser obtida por meio de métodos teóricos e semi-empíricos, conforme descreve a NBR 6122 (ABNT, 2010). Como método teórico adotado no presente trabalho utiliza-se o de Terzaghi, amplamente utilizado para dimensionamento de fundações superficiais, cujos resultados alcançados na realização dos cálculos, são apresentados na Tabela 1, comparados aos valores obtidos em campo, permitindo verificação de suas aproximações. Também aplicou-se doze métodos semi-empíricos, formulados através dos resultados de ensaios de campo SPT, onde a partir dos valores de tensão admissível obtidos calculou-se a variação em porcentagem de cada método em relação à referência adotada do ensaio de placa. Como metodologia utilizada para considerar quais métodos seriam aceitáveis determinou-se a uma variação máxima de 15%, em relação ao valor do ensaio de placa. A Tabela 2 apresenta quais foram os métodos aceitos para os locais, ou seja, que atenderam a faixa de variação especificada, sendo que os mais próximos para cada método foram grifados em vermelho.

Solo	σadm (Kpa)		Variação
	Terzagui	Real	
CA-N 48	327,75	209,00	56,82%
CA-N 30	419,55	230,25	82,22%
PM 80	115,83	68,50	69,10%
PM 48	142,14	85,50	66,24%
CB 48	254,36	180,25	41,11%
SR 48	195,08	136,25	43,18%
IJ-C 48	188,96	142,50	32,60%
IJ-CS 48	223,04	109,25	104,16%
PAN 30	302,66	222,50	36,03%

Tabela 1. Terzaghi

LOCAL	Tensão Admissível (Kpa)								
	CA-N 48	CA-N 30	PM 80	PM 48	CB 48	SR 48	IJUÍ- C 48	IJUÍ -CS 48	PAN 30
Ensaio de Placa	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1 - Meyerhof (1956)	-65,8%	-77,2%	-22,8%	-116,0%	-66,3%	-62,7%	-65,5%	-50,5%	-81,2%
2 - Meyerhof (1965)	-18,6%	-13,0%	10,3%	9,3%	-19,7%	-11,2%	-17,8%	17,8%	-28,4%
3 - Teng (1962)	6,9%	81,6%	-36,8%	8,0%	-0,3%	1,9%	-7,3%	39,2%	39,8%
4 - Bowles (1988)	32,5%	41,6%	79,5%	44,3%	30,7%	44,5%	33,8%	91,7%	16,5%
5 - Parry (1977)	-39,3%	-35,1%	-17,7%	-21,6%	-40,1%	-33,8%	-38,7%	-12,1%	-46,6%
6 - Burland e Burbidge	335,4%	606,1%	190,5%	78,5%	302,6%	314,1%	278,4%	463,2%	430,2%
7 - Peck (1974)	-35,6%	-31,2%	-12,8%	-14,7%	-36,5%	-29,8%	-35,0%	-6,9%	-43,4%
8 - Ruver Médio	-42,0%	-38,1%	-21,5%	-27,4%	-42,8%	-36,8%	-41,5%	-16,2%	-49,1%
9 - Ruver Superior	-16,2%	-12,1%	64,6%	30,0%	-14,2%	1,3%	-4,9%	31,0%	-25,4%
10 - Ruver Inferior	-67,8%	-64,1%	-107,6%	-615,8%	-71,4%	-74,9%	-78,1%	-63,3%	-72,7%
11 - Teixeira e Godoy	1,2%	8,1%	37,1%	27,0%	-0,1%	10,4%	2,2%	46,5%	-11,0%
12 - Mello	7,8%	9,8%	70,4%	39,8%	11,0%	27,9%	19,2%	67,4%	-3,5%

Tabela 2. Métodos semi-empíricos

Evento: Bolsistas PET

Em comparação aos nove ensaios desenvolvidos, verifica-se que alguns métodos semi-empíricos se mostraram aceitáveis para vários locais enquanto outros não se aproximaram em nenhuma situação. O método mais representativo entre os estudados corresponde o de Teixeira e Godoy (1998), que se mostrou aceitável para 6 dos 9 solos analisados, apresentando uma aprovação de 67%, além de que em 4 locais foi o método que mais se aproximou do valor real. Os outros métodos considerados satisfatórios foram o de Teng (1962) com aprovação para 56% dos locais, Ruver (2005) pelo limite superior e Meyerhof (1965) com aprovação de 44% e Peck (1974) com aprovação em 33% dos locais.

Analisando a possibilidade de relação direta da tensão admissível obtida pelo ensaio de placa com o valor correspondente ao NSPT 60 considerado para cada solo, verifica-se, na Tabela 2 que a variação da correlação corresponde a 11,38 kPa/golpe para o solo IJ-CS 48 até 18,73 kPa/golpe para o solo PAN 30. De acordo com esses resultados, calculando a média aritmética dos solos em análise encontra-se o valor de 14,93 kPa/golpe. Com base nestes resultados, afirma-se que, em termos médios, a tensão admissível tende para 15 kPa/golpe no ensaio SPT.

Local	σadm (KPa)	N_{SPT} 60	Relação
IJ-CS 48	109,25	9,60	11,38
PM 80	68,50	5,64	12,16
PM 48	85,50	7,03	12,16
SR 48	136,25	9,02	15,10
CA-N 30	230,25	14,94	15,41
IJ- C 48	142,50	8,74	16,31
CA-N 48	209,00	12,70	16,46
CB 48	180,25	10,80	16,69
PAN 30	222,50	11,88	18,73

Tabela 2. Relação entre tensão admissível e NSPT

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das comparações das metodologias teóricas e semi-empíricas com os resultados obtidos pelo ensaio de placas, identifica-se uma considerável diferença dos valores atingidos em campo, demostrando que as metodologias usuais, oriundas de outros países, nem sempre são capazes de representar, de forma efetiva, os valores dos solos da região em estudo.

O método semi-empírico que apresentou valores de tensão admissível mais próximas às tensões reais deu-se pela metodologia de Teixeira e Godoy (1998), enquanto o mais distante corresponde a de Burland e Burbidge (1985). Em destaque apresenta-se o método de Ruver (2005) pelo limite superior, o qual foi desenvolvido considerando solos residuais do Rio Grande do Sul. Relativo à metodologia teórica de Terzaghi, é perceptível que os valores reais da totalidade dos ensaios realizados são superestimados pelo método, com maior aproximação ao solo de Ijuí na região do campus com placa de 48 cm. Observa-se a correlação entre tensão admissível e NSPT 60 de em média 16 kPa/golpe para os solos de maior tensão admissível e em média 12 kPa/golpe para os solos de menor tensão admissível, com média de 15 kPa/golpe.

Conclui-se que o presente trabalho auxilia no melhor entendimento do comportamento dos solos residuais lateríticos, por apontar os métodos mais eficientes e seguros para determinação a tensão admissível. A pesquisa tende a expandir, através do estudo de diferentes cidades da região, a fim

de aumentar o banco de dados existente e comprovar as conclusões já formuladas.

Palavras-chave: Tensão Admissível; Ensaio de Placa; Fundações Superficiais.
Keywords: *Allowable Stress; Plate Load Test; Shallow Foundation.*

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao MEC-SESu por participar do Programa de Educação Tutorial (PET) da Engenharia Civil; ao Laboratório de Engenharia Civil (LEC) da UNIJUÍ; às empresas que executaram os ensaios SPT e que disponibilizaram as retroescavadeiras utilizadas nos ensaios.

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 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001. 17 p.

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

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. e ALBIERO, J. H. Tensão admissível em fundações diretas, São Carlos, 2003, RiMa, P.134.

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.

KIRSCHNER, F. F. Estudo do comportamento de carga e recalque de solos residuais lateríticos argilosos, naturais e estabilizados, visando uso em fundações superficiais. Dissertação de graduação em Engenharia Civil: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí RS, 2017, 123 p.

MEYERHOF, G.G. Shallow foundations. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 91. No. SM2, 1965. P. 21-31.

Quaresma, A. R. et al. Investigações Geotécnicas. In: FALCONI, Frederico (Org.) et al. Fundações: teoria e prática. 3. Ed. São Paulo, 2016, Pini, P. 121-166.

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.