



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

PEDRO HENRIQUE MESSIAS SANTOS

ANÁLISE DA CAPACIDADE DE CARGA DO SOLO COMO SUBSÍDIO AO PROJETO DE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

Palmas – TO

2015

PEDRO HENRIQUE MESSIAS SANTOS

**ANÁLISE DA CAPACIDADE DE CARGA DO SOLO COMO
SUBSÍDIO AO PROJETO DE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso TCC II elaborado e apresentado como requisito para obtenção do título de graduação em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. Edivaldo Alves dos Santos.

Palmas – TO

2015

PEDRO HENRIQUE MESSIAS SANTOS


ANÁLISE DA CAPACIDADE DE CARGA DO SOLO COMO SUBSÍDIO AO
PROJETO DE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso TCC II elaborado e apresentado como requisito para obtenção do título de graduação em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

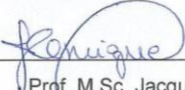
Orientador: Prof. M.Sc. Edivaldo Alves dos Santos.

Aprovado em: 13 / 11 / 2015


BANCA EXAMINADORA



Prof. M.Sc. Edivaldo Alves dos Santos
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. M.Sc. Jacqueline Henrique
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. M.Sc. Roberta Mara de Oliveira Vergara
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO
2015

*Dedico este trabalho em primeiro lugar a
DEUS, o supremo engenheiro do universo;
aos meus pais, Ronaldo e Margarida,
a quem devo tudo o que sou; e em especial,
a minha família, pela compreensão e
incentivo nos momentos em que mais
precisei ao longo desta caminhada.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, autor de tudo, por todos os desafios, acertos e erros, facilidades e dificuldades, por toda a obra que já realizou na minha vida e por toda aquela que ainda há de realizar, de modo a possibilitar que a vida não perca a graça nem seu sentido.

Aos meus pais Ronaldo e Margarida, junto a minha segunda mãe Maria Ronilda, por toda dedicação, sacrifícios, educação, paciência e amor que me fizeram tê-los como exemplo de humanidade. Também a meus irmãos Aldo Neto, Ana Rita, Kelly Cristine e Lorena por serem fundamentais em minha vida. E toda a minha família, e aos meus familiares que amo tanto.

À minha namorada Hywarda César por toda compreensão e paciência mostrando que, às vezes, estar longe é a maior forma de estar junto de mim me apoiando na corrida contra o tempo para a conclusão desse trabalho.

Ao meu orientador Edivaldo Alves por todo conhecimento compartilhado, disponibilidade, atenção, empenho, compromisso com o ensino e condutas éticas e profissionais exemplares.

Ao Eng^o Marcos Milhomem, pelo direcionamento e encaminhamento inicial oferecido, além da grande ajuda na obtenção dos dados deste estudo.

Aos meus amigos de graduação que me acompanharam e com cada risada, ajuda e motivação tornaram menos árdua a jornada de estudos durante todos esses anos de faculdade. Que de certa forma não me deixaram esquecer que a grandeza da vida vai além de um diploma.

Além destes, a minha gratidão por todas as pessoas que já passaram na minha vida, pois, não graças a elas, mas por meio delas é que o caráter e a personalidade do Pedro Henrique que existe hoje se fizeram. Meu muito obrigado.

RESUMO

A determinação da capacidade de carga do solo é de extrema importância para o projeto de fundações rasas ou superficiais, pois é por intermédio da tensão de ruptura (σ_r) que determinamos a taxa de trabalho do solo ou tensão admissível do solo (σ_s), a qual define as dimensões da base das fundações rasas de maneira a conferir segurança contra a ruptura do solo e minimizar os recalques sofridos pelas mesmas, este trabalho tem como objetivo determinar a capacidade de carga do solo como subsídio ao projeto de fundação, a partir da metodologia proposta por Karl Terzaghi.

A literatura técnica disponibiliza que a capacidade de carga de fundações superficiais pode ser estimada por métodos teóricos, como o método de Terzaghi, e também por métodos semi-empíricos baseados em ensaios de campo como o SPT, buscando verificar a aplicação dos mesmos e até mesmo definir qual se identifica mais com o solo do local deste estudo.

As simulações das capacidades de carga foram analisadas em pontos distantes aproximadamente 10km, por se tratar de uma de transmissão. Os resultados obtidos pelo método de Terzaghi se mostraram numericamente equilibrados, quando comparado com os resultados obtidos a partir do SPT, em função da característica do solo em cada local de estudo.

PALVRAS-CHAVE: Capacidade de carga, Karl Terzaghi, fundações superficiais, ensaio de sondagem, ensaio SPT, Métodos teóricos e semi-empíricos.

ABSTRACT

The determination of the soil load capacity is extremely important to the shallow foundation projects because by breaking strain we can determine the soil working ratio or the allowable strain soil that defines the dimensions of the base of the shallow foundations. In order to provide security against soil break and minimize repressions suffered by them, this work aims to determine the soil load capacity as subsidy to the foundation project concerning to Karl Terzaghi method.

The technical literature provides that the soil load capacity of shallow foundations can be estimated by theoretic methods like the Terzaghi method and by semi-empirical methods as well, based on Field tests like the SPT, in order to verify their application and even define which one get closer to the soil of this study.

The load capacity simulations were analyzed in spots that were around 10km far from each other because they were a transmission. The results obtained by Terzaghi method proved to be numerically balanced when compared to the results from SPT, because of the characterist of the soil in each study area.

Key-words: soil load, Karl Terzaghi, shallow foundations, exploration test, SPT test, theoretic and semi-empiric methods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Esquema para início do ensaio SPT	24
Figura 02 – Avanço da perfuração com injeção de água	25
Figura 03 – Detalhes do cone mecânico para ensaio CPT	26
Figura 04 – Ponteira do ensaio de cone mecânico de Begemann	27
Figura 05 – Esquema de funcionamento da sondagem rotativa	28
Figura 06 – Curvas pressões x recalques.....	31
Figura 07 – Curva pressão x recalque para prova de carga sobre placas	32
Figura 08 – Carga excêntrica: área efetiva	37
Figura 09 – Modos de ruptura	38
Figura 10 – Diagrama do arranjo para ensaio de cisalhamento direto	45
Figura 11 – Tensão Normal x Tensão Cisalhante.....	46
Figura 12 – Diagrama do equipamento de ensaio triaxial	48
Figura 13 – Tensão Desviadora x Tensão Axial	49
Figura 14 – Envoltória de Resistência (círculos de Mohr)	49
Figura 15 – Localização dos pontos em estudo.....	50
Figura 16 – Abertura do poço de inspeção	51
Figura 17 – Modelagem do bloco 30x30cm	52
Figura 18 – Retirada da amostra e envolvimento com parafina e pano especial	52
Figura 19 – Condicionamento da amostra em caixa com serragem de madeira	53
Figura 20 – Caixa bipartida com a amostra na caixa de talhagem.....	54
Figura 21 – Pesos para a aplicação de carga vertical	55
Figura 22 – Equipamento para realização do ensaio.....	55
Figura 23 – Gráfico de tensão cisalhante x deslocamento	56
Figura 24 – Gráfico de tensão cisalhante x tensão normal.....	56
Figura 25 – Geometria da sapata modelo.....	57
Figura 26 – Relatório do Ensaio de Cisalhamento Direto SP 33	61
Figura 27 – Relatório do Ensaio de Cisalhamento Direto SP 39	62
Figura 28 – Relatório do Ensaio de Cisalhamento Direto SP 42	63
Figura 29 – Relatório do Ensaio de Cisalhamento Direto SP 45	64
Figura 30 – Relatório do Ensaio de Cisalhamento Direto SP 54	65
Figura 31 – Relatório do Ensaio de Cisalhamento Direto SP 57	66
Figura 32 – Representação gráfica da simulação entre o método teórico e semi-empírico	67
Figura 33 – Perfil do solo SP 33.....	68
Figura 34 – Perfil do solo SP 39.....	68
Figura 35 – Perfil do solo SP 42.....	68
Figura 36 – Perfil do solo SP 45.....	69
Figura 37 – Perfil do solo SP 57.....	69
Figura 38 – Perfil do solo SP 54.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Diâmetro de perfuração em rocha	29
Tabela 02 – Fatores de capacidade de carga de Terzaghi	35
Tabela 03 – Fatores de forma (De Beer, 1967, <i>apud</i> Vesic, 1975)	39
Tabela 04 – Fatores de capacidade de carga de Vesic.....	39
Tabela 05 – Tensões básicas segundo a NBR 6122/2010.....	40
Tabela 06 – Coeficiente K e razão de atrito α	42
Tabela 07 – Coeficientes de escala de execução F_1 e F_2	42
Tabela 08 – Coeficiente característico do solo C.....	48
Tabela 09 – Coordenadas UTM dos pontos em estudo	50
Tabela 10 – Resultado da simulação entre o método teórico e o método semi-empírico.....	67
Tabela 11 – Estados de compactidade e de consistência.....	69

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 – Tensão admissível do solo sugerido por Urbano Alonso	30
Equação 02 – Capacidade de carga do solo não coesivo e sapata à superfície	34
Equação 03 – Capacidade de carga do solo sem peso e sapata à superfície	34
Equação 04 – Capacidade de carga do solo não coesivo e sem peso	34
Equação 05 – Equação geral da capacidade de carga última do solo de Terzaghi.....	34
Equação 06 – Fator de capacidade de carga N_q	34
Equação 07 – Fator de capacidade de carga N_c	34
Equação 08 – Fator de capacidade de carga N_γ	35
Equação 09 – Equação da capacidade de carga última do solo em sapata quadrada.....	36
Equação 10 – Equação da capacidade de carga última do solo em sapata circular	36
Equação 11 – Base efetiva de Meyerhof	36
Equação 12 – Largura efetiva de Meyerhof	36
Equação 13 – Capacidade de carga de ruptura das estacas Aoki-Velloso.....	41
Equação 14 – Resistência lateral das estacas Aoki-Velloso	41
Equação 15 – Resistência de ponta das estacas Aoki-Velloso	41
Equação 16 – Capacidade de carga do solo	42
Equação 17 – Capacidade de carga de ruptura das estacas Décourt-Quaresma	43
Equação 18 – Resistência lateral das estacas Décourt-Quaresma.....	43
Equação 19 – Resistência de ponta das estacas Décourt-Quaresma	43
Equação 20 – Capacidade de carga do solo	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3 JUSTIFICATIVA	16
4 REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1 Caracterização do Solo.....	17
4.1.1 Tipos de solos	17
4.1.1.1 Argiloso	17
4.1.1.2 Areia	18
4.1.1.3 Areia-Siltosa	18
4.1.1.4 Areia-Argilosa	18
4.1.1.5 Colapsíveis	18
4.1.2 Caracterização Física do Solo.....	19
4.1.3 Determinação de Análise Granulométrica.....	19
4.1.4 Determinação dos Limites de Atterberg.....	19
4.1.5 Determinação da Massa Específica dos Grãos	20
4.2 Investigação Geotécnica	20
4.2.1 Objetivo da Investigação do Solo	21
4.2.2 Etapas da Investigação do Solo	21
4.2.3 Métodos de Investigação do Solo	22
4.2.4 Processos de Investigação do Solo	23
4.2.4.1 Sondagem a Percussão com SPT.....	23
4.2.4.2 Ensaio de Cone (CPT).....	26
4.2.4.3 Sondagem Rotativa.....	28
4.3 Fundações.....	29
4.3.1 Tipos de fundações	30
4.4 Capacidade de Carga do Solo.....	31
4.4.1 Prova de Carga Sobre Placas	32
4.4.2 Métodos Teóricos	33
4.4.2.1 Formulação de Terzaghi	33
4.4.2.2 Formulação de Meyerhof.....	36
4.4.2.3 Formulação de Vesic	37

4.4.3 Métodos Empíricos.....	40
4.4.4 Métodos Semi-Empíricos	40
4.4.4.1 Método de Aoki-Velloso	41
4.4.4.2 Método de Décourt-Quaresma	43
4.5 Ensaio de Laboratórios.....	44
4.5.1 Ensaio de Cisalhamento Direto	45
4.5.1.1 Procedimentos para Realização do Ensaio	46
4.5.2 Ensaio de Compressão Triaxial	47
5 METODOLOGIA.....	50
5.1 Identificação da Área de Estudo	50
5.2 Coleta da Amostra do Solo para Ensaio.....	51
5.3 Ensaio em Laboratório	53
5.4 Cálculo da Capacidade de Carga por Cisalhamento	57
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
7 CONCLUSÃO.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXO A.....	77
Sondagem SP 33.....	77
Sondagem SP 39.....	78
Sondagem SP 42.....	79
Sondagem SP 45.....	80
Sondagem SP 54.....	81
Sondagem SP 57.....	82
ANEXO B.....	83
Massa específica aparente “ <i>in situ</i> ” SP 33.....	83
Massa específica aparente “ <i>in situ</i> ” SP 39.....	84
Massa específica aparente “ <i>in situ</i> ” SP 42.....	85
Massa específica aparente “ <i>in situ</i> ” SP 45.....	86
Massa específica aparente “ <i>in situ</i> ” SP 54.....	87
Massa específica aparente “ <i>in situ</i> ” SP 57.....	88