

Carlos Vinicius dos Santos Benjamim

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE PROTÓTIPOS DE ESTRUTURAS
DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO COM GEOTÊXTIL

Tese apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para a obtenção
do Título de Doutor em Geotecnia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Benedito de Souza Bueno

Universidade de São Paulo

CO-ORIENTADOR: Jorge G. Zornberg

Universidade do Texas em Austin

São Carlos

2006

Dedico esta tese aos meus pais,
pelo apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter-me concedido a oportunidade de crescer em espírito, através desse “pequeno serviço ao próximo”.

Aos meus pais, Lúcio e Eunice, por terem sempre me incentivado no caminho dos estudos e para tanto não mediram esforços para que esse objetivo fosse atingido.

Aos meus irmãos, Lucinho e Rogério, pelo incentivo e amizade durante todos os momentos. À minha sobrinha Beatriz, por sua doçura e inocência.

Ao meu avô Antônio, com quem aprendi a transformar toda a dor da saudade em esperança.

Ao meu orientador, Professor Benedito Bueno, que, como professor e amigo, incentivou e possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Jorge Zornberg, por receber-me e orientar-me durante o estágio na Universidade do Texas, em Austin.

Ao professor Orencio Monge Vilar, amigo e mestre, sempre presente nos momentos mais importantes deste trabalho.

Ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, por oferecer-me a estrutura física e humana necessária à realização deste trabalho.

À Universidade de São Paulo e em especial ao Centro Acadêmico *Armando Sales de Oliveira*, pela contribuição cultural e política.

Aos técnicos, José Luis, Oscar, Benedito, Antônio, Silvio, Clever, China e Paulinho, por toda a prestatividade e amizade, desde a preparação da instrumentação e caracterização dos materiais até as incessantes viagens para Nova Odessa.

À Maristela, Neiva e Alvaro, da secretaria do Departamento de Geotecnia, que sempre me auxiliaram em todos os processos do meu doutorado.

À empresa OBER S/A pelo fornecimento dos geotêxteis não tecidos e auxílio durante toda a construção dos protótipos. Um agradecimento especial aos engenheiros Silvio Palma e Victor Pimentel, pela amizade e ajuda durante todo o tempo da pesquisa.

À empresa PROPEX, pelo fornecimento dos geotêxteis tecidos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa auxílio que viabilizou a construção dos protótipos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da minha bolsa de estudos no Brasil e no Exterior.

A todos os amigos do Departamento de Geotecnia que me ajudaram nas leituras de instrumentação dos protótipos, principalmente durante o período de minha viagem aos EUA.

Aos operários da construção civil que construíram os protótipos, José Roberto, Pedro, Viana, Joel, João, Givaldo, Messias, Jair e Marcos.

Ao grande amigo e engenheiro Elétrico Raphael Pereira Moreno, pelo projeto e construção das Caixas Comutadoras.

A special thanks to my good friends John, Jeff, Chunling, Christine, Chris and Youngcheol, for all the good moments in Austin, and for their important comments during my seminars. Thanks are also to the folks from German House.

Com relação aos meus amigos de São Carlos, não citarei nomes, pois não caberiam neste trabalho. Palavras não conseguiriam explicar a gratidão que tenho por eles. Pessoas importantes que formaram minha família durante meus onze anos em São Carlos. Amigos de república, Caaso, Geotecnia, basquete, cerveja, estudos, amigos por nenhuma razão. Um agradecimento mais do que especial a todos, que de certa forma contribuíram para eu chegar aqui.

“Tudo é importante para a nossa evolução, principalmente, as frustrações, as decepções, pois são elas que nos mostram a verdade. Ainda que sofram, é importante amadurecer o raciocínio, diante da vida, seguir avante, não esmorecer, permanecer trabalhando, servindo”.

ROGÉRIO AMORIM

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	xv
RESUMO	xx
ABSTRACT	xvi

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3

CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (parte I)

2.1 INTRODUÇÃO	6
2.2 GEOSSINTÉTICOS	8
2.2.1 Introdução	8
2.2.2 Geotêxteis	13
2.2.3 Geogrelhas	15
2.3 SOLO REFORÇADO	16
2.3.1 Introdução	16
2.3.2 Ação do reforço em uma estrutura de solo reforçado	18
2.3.3 Mecanismos de interação solo-reforço	24
2.4 MÉTODOS DE PROJETO	28

2.4.1	Introdução	28
2.4.2	Procedimentos de projeto.....	30
2.4.3	Fatores de redução.....	32
2.4.4	Superfícies de ruptura	34
2.4.5	Métodos de Cálculo	35
2.5	FATORES QUE INFLUENCIAM NO COMPORTAMENTO DAS ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO	43
2.5.1	Introdução	43
2.5.2	Condições do subsolo.....	45
2.5.3	Efeito da compactação	46
2.5.4	Rigidez do reforço.....	48
2.5.5	Efeito do confinamento	51
2.5.6	Tipo de solo.....	52
2.5.7	Características geométricas da estrutura	58
2.5.8	Rigidez da face.....	61
2.5.9	Pressões de água no solo	64

CAPÍTULO 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (parte II)

3.1	INTRODUÇÃO	66
3.2	LIMITES DE DEFORMAÇÕES.....	68
3.3	COMPORTAMENTO DE CAMPO.....	70
3.3.1	Performance of a geosynthetics reinforced steep slope in residual soil.....	71
3.3.2	Instrumented soil reinforced retaining wall: analysis of measurements.....	73
3.3.3	Full scale test on a retaining wall with non-uniform reinforcements.....	75
3.3.4	Full scale testing of geosynthetic reinforced walls	77
3.3.5	Long-term variations of force and strain in a steep geogrid- reinforced soil slope	79
3.3.6	Measured behavior of a geosynthetic-reinforced segmental retaining wall in a tiered configuration	81
3.3.7	Instrumentation for a 12.6 m high geotextile-reinforced wall	83

3.3.8	Behavior of geogrid reinforced soil wall using box-type wall.....	85
3.3.9	Field behaviour of a geogrid-reinforced slope.....	87
3.3.10	Field performance test of a geosynthetic-reinforced soil wall with rigid facing	89
3.3.11	Design and measurements of a reinforced steep slope under motorway Nuernberg – Berlin	91
3.3.12	Geogrid reinforcement for a steep road embankment slope, Kyushu island, Japan	93
3.3.13	Full scale geosynthetic reinforced retaining walls: a numerical parametric study	95
3.3.14	Monitored displacements of unique geosynthetic-reinforced soil bridge abutments	97
3.3.15	Design and construction reinforced soil structures earthworks in Japan.....	99
3.3.16	Geogrid reinforced clay slopes in a test embankment	101
3.3.17	Evaluation of interaction properties of geosynthetics in cohesive soils: LTRC reinforced-soil test wall.....	103
3.3.18	Design, construction, and monitoring of a 14.9 m high geosynthetic reinforced segmental retaining wall in a seismically active region.....	105
3.3.19	Construction and instrumentation of a highway slope reinforced with high strength geotextiles	107
3.3.20	Performance of instrumented large-scale unreinforced and reinforced embankments loaded by a strip footing to failure	109
3.3.21	An instrumented steep reinforced soil embankment at Andalsnes, Norway.....	111
3.3.22	Comportamento do aterro de solo reforçado da encosta do Belvedere	113
3.3.23	Performance of two geotextile reinforced soil slopes.....	115
3.3.24	Full-scale test on a geotextile reinforced retaining structure	117
3.3.25	Instrumented field performance of a 6 m geogrid soil wall.....	119
3.3.26	Review of three instrumented geogrid reinforced soil retaining walls	121
3.3.27	Comportamento de um muro de solo reforçado.....	123

3.3.28	Reinforced soil buttress to stabilize a high natural slope.....	125
3.3.29	Instrumentação de um muro de solo reforçado com geotêxtil	127
3.3.30	Muros de contenção de solo reforçado com geogrelhas e paramento de blocos pré-fabricados.....	129
3.4	RESUMO DO COMPORTAMENTO DAS ESTRUTURAS REFORÇADAS	131

CAPÍTULO 4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1	INTRODUÇÃO	138
4.2	PREPARAÇÃO DA FUNDAÇÃO	140
4.3	MÉTODO CONSTRUTIVO	144
4.4	ATRITO LATERAL ENTRE O MACIÇO REFORÇADO E A ESTRUTURA LATERAL.....	149
4.5	CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS.....	150
4.5.1	Ensaio de caracterização.....	150
4.5.2	Ensaio de resistência ao cisalhamento.....	154
4.6	CARACTERÍSTICAS DOS GEOSSINTÉTICOS	159
4.6.1	Ensaio de Gramatura e Espessura.....	160
4.6.2	Ensaio de resistência à tração	160
4.6.3	Dano Mecânico	160
4.6.4	Ensaio de Fluência.....	163
4.7	INSTRUMENTAÇÃO.....	165
4.7.1	Medidores de deslocamento da face	166
4.7.2	Extensômetros magnéticos verticais	167
4.7.3	Medidor de Deslocamento horizontal dos reforços	168

CAPÍTULO 5 ANÁLISE DO PROTÓTIPO 1 SOB CONDIÇÕES DE TRABALHO

5.1	INTRODUÇÃO	170
5.2	RESULTADOS DE DESLOCAMENTO DOS <i>TELL TAILS</i>	172
5.3	DESLOCAMENTO DA FACE	175

5.4	CÁLCULO DE DEFORMAÇÃO DOS REFORÇOS.....	177
5.5	CÁLCULO DA FORÇA DOS REFORÇOS	187
5.6	MOVIMENTAÇÃO VERTICAL DO MACIÇO REFORÇADO.....	192
5.7	MOVIMENTAÇÃO VERTICAL DA FUNDAÇÃO.....	194
5.8	CONCLUSÕES	196

CAPÍTULO 6 ANÁLISE PARAMÉTRICA ENTRE OS PROTÓTIPOS CONSTRUÍDOS

6.1	INTRODUÇÃO	198
6.2	EFEITO DO TIPO DE REFORÇO.....	199
6.2.1	Protótipos construídos com o solo arenoso.....	199
6.2.2	Protótipos construídos com o solo areno siltoso.....	205
6.2.3	Protótipos construídos com o solo argilo siltoso.....	211
6.3	TIPO DE SOLO	215
6.4	GEOMETRIA INTERNA.....	224
6.5	CONCLUSÕES	227

CAPÍTULO 7 ANÁLISE DE UMA ESTRUTURA SUB-DIMENSIONADA

7.1	INTRODUÇÃO	229
7.2	RESULTADOS DE DESLOCAMENTO DOS TELL TAILS.....	232
7.3	DESLOCAMENTO DA FACE.....	232
7.4	CÁLCULO DE DEFORMAÇÃO DOS REFORÇOS.....	236
7.5	CÁLCULO DE $T_{m\acute{a}x}$ UTILIZANDO O K_o <i>STIFFNESS METHOD</i>	241
7.6	COMPARAÇÃO DOS ENSAIOS DE FLUÊNCIA DE LABORATÓRIO COM OS RESULTADOS OBTIDOS NO CAMPO	243
7.7	CONCLUSÕES	245

CAPÍTULO 8 ANÁLISE PÓS-CONSTRUÇÃO DE UM TALUDE EM ESCALA REAL REFORÇADO COM GEOTÊXTIL NÃO TECIDO

8.1	INTRODUÇÃO	247
-----	------------------	-----

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

