

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO GEOMECÂNICO DE  
SOLOS RESIDUAIS DE GRANITO DE FLORIANÓPOLIS**

**FERNANDA ZIEGLER BEVILAQUA**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.**

**FLORIANÓPOLIS, FEVEREIRO DE 2004.**

## **ESTUDO DO COMPORTAMENTO GEOMECÂNICO DE SOLOS RESIDUAIS DE GRANITO DE FLORIANÓPOLIS**

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Glaci Trevisan Santos – Orientadora - UFSC

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Davison Dias – Co-Orientadora - UFSC

---

Prof<sup>a</sup>. Henriette Lebre La Rovere – Coordenadora do PPGEC/ UFSC

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof. Marciano Maccarini, PhD - UFSC

---

Prof. Dr. Antônio Fortunato Marcon - UFSC

---

Prof. Dr. José Mário Doleys Soares - UFSC

*Ao meu noivo Adriano pelo carinho,  
apoio e compreensão.*

*Aos meus pais, Ceres e Luiz, pela  
dedicação e exemplo.*

## **Agradecimentos**

Ao meu irmão Tales pela força e estímulo.

Aos meus sogros João e Maria Helena pelo incentivo.

Um agradecimento especial à professora Glaci Trevisan Santos pela orientação, dedicação, amizade e apoio durante todo o desenvolvimento desse trabalho.

À professora Regina Davison Dias pela amizade, orientação e pelo grande incentivo durante esse período.

Ao professor Marciano Maccarini pela amizade e orientação na parte dos ensaios laboratoriais.

À bolsista do LAMGEO Manoela Pereira Nunes pelo auxílio nos ensaios laboratoriais e dedicação.

Aos colegas de pós-graduação pelo companheirismo e amizade.

Aos bolsistas do LMS e do LAMGEO pelo convívio, amizade e pela ajuda sempre que solicitados.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - pela bolsa de estudos que viabilizou a realização desse trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b>	x
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	xii
<b>RESUMO</b>	xiii
<b>ABSTRACT</b>	xiv
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	3
2.1 Os solos de Florianópolis e a pedologia	3
2.1.1 Classes Pedológicas	5
2.2 Movimentos de Massa	8
2.2.1 Aspectos gerais das encostas	8
2.2.2 Tipos de movimentos de massa	10
2.2.3 Agentes e causas dos movimentos de massas	11
2.2.4 Os solos de Florianópolis e a tendência a instabilidades	14
2.3 Resistência ao Cisalhamento	17
2.3.1 Sucção	18
2.3.2 Ensaio de cisalhamento direto	19
2.3.3 Parâmetros de resistência ao cisalhamento	20
2.4 Análise Granulométrica	23
2.5 Compressibilidade	24
2.5.1 Pressão de pré-adensamento virtual	25
2.5.2 Parâmetros de compressibilidade	26
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	30
3.1 Definição da área	30
3.2 Clima e vegetação	31
3.3 Geomorfologia	32
3.4 Geologia	33
- Granitóide Paulo Lopes	34
- Granito São Pedro de Alcântara	34
- Granito Ilha	35
- Granito Itacorubi	36
- Riolito Cambirela	37
- Formação Serra Geral	37
- Depósitos de Encosta	37
3.5 Unidades Pedológicas	37
3.6 Unidades Geotécnicas	38
<b>4 METODOLOGIA</b>	41
4.1 Escolha dos locais de amostragem	41
4.2 Coleta de amostras	42

4.3	Análise Mineralógica	43
4.4	Ensaio de Laboratório	43
4.4.1	Ensaio de granulometria	44
4.4.2	Ensaio de Cisalhamento Direto	45
4.4.3	Ensaio de Compressão Confinada	46
<b>5</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>47</b>
5.1	AMOSTRA “DOS ARAQUÃS”	47
5.1.1	Características Físico-Morfológicas	47
5.1.2	Mineralogia	49
5.1.3	Análise Granulométrica	49
5.1.4	Índices Físicos	50
5.1.5	Resistência ao Cisalhamento	50
5.1.6	Compressibilidade	51
5.2	AMOSTRA : “PRAIA MOLE”	52
5.2.1	Características Físico-Morfológicas	52
5.2.2	Mineralogia	55
5.2.3	Análise Granulométrica	55
5.2.4	Índices Físicos	56
5.2.5	Resistência ao Cisalhamento	56
5.3	AMOSTRA: “SUBIDA DA LAGOA”	57
5.3.1	Características Físico-Morfológicas	57
5.3.2	Mineralogia	58
5.3.3	Análise Granulométrica	59
5.3.4	Índices Físicos	60
5.3.5	Resistência ao Cisalhamento	60
5.3.6	Compressibilidade	62
5.4	AMOSTRA: “CACUPÉ”	63
5.4.1	Características Físico-Morfológicas	63
5.4.2	Mineralogia	65
5.4.3	Análise Granulométrica	66
5.4.4	Índices Físicos	66
5.4.5	Resistência ao Cisalhamento	67
5.4.6	Compressibilidade	67
5.5	AMOSTRA: “SC – 401”	68
5.5.1	Características Físico-Morfológicas	68
5.5.2	Mineralogia	70
5.5.3	Granulometria	70
5.5.4	Índices Físicos	71
5.5.5	Resistência ao Cisalhamento	71
5.5.6	Compressibilidade	72
5.6	AMOSTRA: “JOÃO PAULO”	73
5.6.1	Características Físico-Morfológicas	73
5.6.2	Mineralogia	75
5.6.3	Granulometria	75
5.6.4	Índices Físicos	76
5.6.5	Resistência ao Cisalhamento	76
5.7	AMOSTRA: “CÓRREGO GRANDE”	77
5.7.1	Características Físico-Morfológicas	77
5.7.2	Mineralogia	79

5.7.3 Granulometria	79
5.7.4 Índices Físicos	80
5.7.5 Resistência ao Cisalhamento	80
5.8 AMOSTRA: "SERRINHA"	81
5.8.1 Características Físico-Morfológicas	81
5.8.2 Mineralogia	82
5.7.3 Granulometria	82
5.8.4 Índices Físicos	83
5.8.5 Resistência ao Cisalhamento	83
<b>6 ANÁLISE GLOBAL DOS RESULTADOS</b>	<b>84</b>
6.1 Granulometria	84
6.2 Mineralogia	90
6.3 Índices Físicos	91
6.4 Resistência ao Cisalhamento	92
6.5 Compressibilidade	100
<b>7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES</b>	<b>108</b>
7.1 Conclusões	108
7.2 Sugestões	110
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>114</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Perfil típico de Podzólico Vermelho-Amarelo (Oliveira et al., 1992)	6
Figura 2.2	Perfil típico de Cambissolo (Oliveira et al., 1992)	7
Figura 2.3	Erosão característica do horizonte C de granito (Santos, 1997)	16
Figura 2.4	Película natural desenvolvida nos solos graníticos	17
Figura 3.1	Localização da área de estudo	30
Figura 3.2	Granitóide Paulo Lopes: rochas granito-gnáissicas, Costão do Santinho, Santos (1997)	34
Figura 3.3	Granito Ilha de maior ocorrência em Florianópolis, Santos (1997)	35
Figura 3.4	Granito Itacorubi do Morro do Cacupé, Santos (1997)	36
Figura 5.1	Vista frontal do perfil “Dos Araquãs”	48
Figura 5.2	Afloramento de matacões em certos pontos do talude “Dos Araquãs”	48
Figura 5.3	Curva granulométrica do horizonte C da amostra “Dos Araquãs”	50
Figura 5.4	Envoltórias de resistência ao cisalhamento do horizonte C da amostra “Dos Araquãs” nas condições natural e inundado	51
Figura 5.5	Curvas “índices de vazios x pressão (esc log)”, na condição natural e inundado, do horizonte C da amostra “Dos Araquãs”	52
Figura 5.6	Vista geral da encosta – amostra “Praia Mole”	54
Figura 5.7	Detalhe do horizonte C de textura muito grosseira	54
Figura 5.8	Curva granulométrica do horizonte C da amostra “Praia Mole”	55
Figura 5.9	Envoltórias de resistência do horizonte C da amostra “Praia Mole” nas condições natural e inundado	56
Figura 5.10	Amostragem do horizonte C da amostra “Subida Lagoa” e detalhe dos veios argilosos na massa de solo	58
Figura 5.11	Veio argiloso longitudinal ao talude – “Subida Lagoa”	58
Figura 5.12	Curva granulométrica do horizonte C de granito da amostra “Subida Lagoa”	59
Figura 5.13	Curva granulométrica do horizonte C de diabásio	60
Figura 5.14	Envoltórias de resistência ao cisalhamento do horizonte C do solo residual de granito nas condições natural e inundado, da amostra “Subida Lagoa”	61
Figura 5.15	Envoltória de resistência na condição inundado do horizonte C de diabásio	62
Figura 5.16	Curva tensão x deformação para ensaios de compressão confinada do horizonte C da amostra “Subida da Lagoa”	63
Figura 5.17	Ocorrência de escorregamento no local de amostragem “Cacupé”	64
Figura 5.18	Vista lateral da encosta – amostra “Cacupé”	64
Figura 5.19	Detalhe dos minerais e planos argilosos constituintes da massa de solo	65
Figura 5.20	Curva granulométrica da amostra “Cacupé”	66
Figura 5.21	Envoltórias de resistência ao cisalhamento do horizonte C, nas condições natural e inundado, da amostra “Cacupé”	67
Figura 5.22	Curvas “índice de vazios x pressão (esc log)”, para ensaios de compressão confinada, nas condições natural e inundado, do horizonte C da amostra “Cacupé”	68



Figura 5.23	Vista geral da encosta - amostra "SC - 401" - e detalhe do afloramento de matacões	69
Figura 5.24	Detalhe da presença de veios de coloração amarela escura no meio da massa de solo, típicos da alteração do piroxênio e da magnetita - amostra SC - 401	70
Figura 5.25	Curva granulométrica do horizonte C da amostra "SC-401"	71
Figura 5.26	Envoltórias de resistência do horizonte C, nas condições natural e inundado, da amostra "SC-401"	72
Figura 5.27	Curvas "índice de vazios x pressão (esc log)", do horizonte C da amostra "SC-401", nas condições natural e inundado	73
Figura 5.28	Vista geral da encosta - amostra João Paulo	74
Figura 5.29	Planos argilizados presentes no talude da amostra "João Paulo"	74
Figura 5.30	Curva granulométrica do horizonte C da amostra "João Paulo"	75
Figura 5.31	Envoltórias de resistência do horizonte C, nas condições natural e inundado, da amostra "João Paulo"	76
Figura 5.32	Vista geral da encosta estudada - amostra "Córrego Grande"	78
Figura 5.33	Detalhe da amostragem - amostra "Córrego Grande"	78
Figura 5.34	Curva granulométrica do horizonte C da amostra "Córrego Grande"	79
Figura 5.35	Envoltórias de resistência, nas condições natural e inundado, do horizonte C da amostra "Córrego Grande"	80
Figura 5.36	Detalhe do horizonte C com a ocorrência de veios esbranquiçados - amostra "Serrinha"	81
Figura 5.37	Curva granulométrica do horizonte C da amostra "Serrinha"	82
Figura 5.38	Envoltórias de resistência, nas condições natural e inundado, do horizonte C da amostra "Serrinha"	83
Figura 6.1	Curvas granulométricas do horizonte C das amostras analisadas	85
Figura 6.2	Curvas "tensão cisalhante x deformação horizontal" e "deformação vertical x deformação horizontal", nas condições natural e inundado, para as amostras "Dos Araquãs" e "Praia Mole"	93
Figura 6.3	Curvas "tensão cisalhante x deformação horizontal" e "deformação vertical x deformação horizontal", nas condições natural e inundado, para as amostras "Subida Lagoa" e "Cacupé"	94
Figura 6.4	Curvas "tensão cisalhante x deformação horizontal" e "deformação vertical x deformação horizontal", nas condições natural e inundado, para as amostras "SC - 401" e "João Paulo"	95
Figura 6.5	Curvas "tensão cisalhante x deformação horizontal" e "deformação vertical x deformação horizontal", nas condições natural e inundado, para as amostras "Córrego Grande" e "Serrinha"	96
Figura 6.6	Curvas "deformação vertical x pressão (esc. log)" e "índice de vazios final x pressão (esc. Log)", nas condições natural e inundado, do horizonte C das amostras analisadas	102
Figura 6.7	Curvas "deformação vertical x pressão (esc. log)", nas condições natural e inundado, de solos residuais de granito da região de Porto Alegre e Florianópolis	105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Lista das causas de movimentos de massa (Cruden e Varnes, 1996)	13
Tabela 2.2	Parâmetros de resistência ao cisalhamento obtidos por Davison Dias (1987), para solos graníticos (Granito Santana) da região de Porto Alegre	20
Tabela 2.3	Resultados dos parâmetros de resistência encontrados por Bastos (1991)	21
Tabela 2.4	Resumo dos Parâmetros de Resistência encontrados por Raimundo (1998)	23
Tabela 2.5	Valores da pressão de pré-adensamento, índice de compressão e recompressão para o Granito Santana, encontrados por Davison Dias (1987)	27
Tabela 2.6	Índices de recompressão (Cr), de compressão (Cc) e de descarga (Cd) e pressão de pré-adensamento em função dos horizontes geotécnicos (variações e médias), Bastos (1991)	27
Tabela 2.7	Características de compressibilidade das unidades PVg1 e PVg2, avaliada pelo índice de compressão Cc, de recompressão Cr e de descompressão Cd, além de pressão de pré-adensamento, Santos (1997)	29
Tabela 3.1	Coluna estratigráfica da Ilha de Santa Catarina, segundo Caruso Jr. (1993)	33
Tabela 4.1	Identificação e localização dos locais de amostragem	42
Tabela 5.1	Frações granulométricas do horizonte C da amostra “Dos Araquãs”.	49
Tabela 5.2	Índices físicos da amostra “Dos Araquãs”	50
Tabela 5.3	Parâmetros de resistência: intercepto de coesão “c” e ângulo de atrito “ $\phi$ ” da amostra “Dos Araquãs”.	51
Tabela 5.4	Características de compressibilidade da amostra “Dos Araquãs” avaliada pelo índice de compressão Cc, de recompressão Cr e de descompressão Cd, além da pressão de pré-adensamento Pa	51
Tabela 5.5	Granulometria do horizonte C da amostra “Praia Mole”	55
Tabela 5.6	Índices físicos da amostra “Praia Mole”	56
Tabela 5.7	Parâmetros de resistência da amostra “Praia Mole”	56
Tabela 5.8	Frações granulométricas do horizonte C de granito e diabásio	59
Tabela 5.9	Índices físicos de amostras indeformadas dos solos residuais de granito e diabásio da amostra “Subida da Lagoa”	60
Tabela 5.10	Parâmetros de resistência ao cisalhamento do horizonte C de granito e diabásio da amostra “Subida da Lagoa”	60
Tabela 5.11	Características de compressibilidade, índice de compressão Cc, de recompressão Cr, de descompressão Cd e pressão de pré-adensamento Pa, nas condições natural e inundado da amostra “Subida da Lagoa”	62
Tabela 5.12	Granulometria do horizonte C da amostra “Cacupé”	66
Tabela 5.13	Índices físicos da amostra “Cacupé”	66
Tabela 5.14	Parâmetros de resistência: intercepto de coesão “c” e ângulo de atrito “ $\phi$ ” da amostra “Cacupé”	67

Tabela 5.15	Características de compressibilidade da amostra “Cacupé” avaliada pelo índice de compressão $C_c$ , de recompressão $C_r$ e de descompressão $C_d$ , além da pressão de pré-adensamento $P_a$	68
Tabela 5.16	Granulometria do horizonte C da amostra “SC - 401”	70
Tabela 5.17	Índices físicos da amostra “SC - 401”	71
Tabela 5.18	Parâmetros de resistência ao cisalhamento do horizonte C da amostra “SC-401”	71
Tabela 5.19	Características de compressibilidade da amostra “SC-401” avaliada pelo índice de compressão $C_c$ , de recompressão $C_r$ e de descompressão $C_d$ , além da pressão de pré-adensamento $P_a$	72
Tabela 5.20	Granulometria do horizonte C da amostra “João Paulo”	75
Tabela 5.21	Índices físicos da amostra “João Paulo”	76
Tabela 5.22	Parâmetros de resistência ao cisalhamento do horizonte C da amostra “João Paulo”	76
Tabela 5.23	Granulometria do horizonte C da amostra “Córrego Grande”	79
Tabela 5.24	Índices físicos da amostra “Córrego Grande”	80
Tabela 5.25	Parâmetros de resistência ao cisalhamento do horizonte C da amostra “Córrego Grande”	80
Tabela 5.26	Frações granulométricas do horizonte C da amostra “Serrinha”.	82
Tabela 5.27	Índices físicos da amostra “Serrinha”	83
Tabela 5.28	Parâmetros de resistência ao cisalhamento do horizonte C do local de amostragem “Serrinha”	83
Tabela 6.1	Frações granulométricas do horizonte C das amostras analisadas	86
Tabela 6.2	Frações granulométricas do horizonte C das amostras analisadas, segundo a norma NBR 6502/80	86
Tabela 6.3	Frações granulométricas do horizonte C da região metropolitana de Porto Alegre (Bastos, 1991) e Florianópolis (Santos, 1997 e Raimundo,1998)	87
Tabela 6.4	Identificação e localização dos pontos amostrados por Bastos (1991), Santos (1997) e Raimundo (1998).	88
Tabela 6.5	Composição mineralógica dos locais de amostragem	91
Tabela 6.6	Índices físicos de amostras indeformadas do horizonte de solos residuais de granito da região de Porto Alegre e Florianópolis.	92
Tabela 6.7	Síntese dos parâmetros de resistência dos horizontes C das diferentes amostras analisadas	99
Tabela 6.8	Índices de recompressão ( $C_r$ ), de compressão ( $C_c$ ) e de descarga ( $C_d$ ) e pressões de pré-adensamento virtual do horizonte C das amostras ensaiadas à compressão confinada	104
Tabela 6.9	Índices de compressibilidade “C” e de descarga “ $C_d$ ” para cada intervalo de carregamento das amostras ensaiadas à compressão confinada	104
Tabela 6.10	Índices de compressibilidade “C” e de descarga “ $C_d$ ” para cada intervalo de carregamento obtidos por Bastos (1991) e Santos (1997) para amostras do horizonte C de solos residuais de granito da região de Porto Alegre e Florianópolis, respectivamente	106
Tabela 6.11	Índices de recompressão ( $C_r$ ), de compressão ( $C_c$ ), e de descarga ( $C_d$ ) e pressões de pré-adensamento virtual do horizonte C das amostras ensaiadas a compressão confinada	106

**LISTA DE SÍMBOLOS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society of Testing and Materials
DNPM	Departamento Nacional de Pesquisa Mineral
$c$	Intercepto de coesão
$\phi$	Ângulo de atrito interno
$C_c$	Índice de Compressão
$C_r$	Índice de Recompressão
$C_d$	Índice de Descompressão
$C$	Índice de compressibilidade único
H.R.B.	Sistema de Classificação de Solos do Highway Research Board
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPUF	Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis

## RESUMO

BEVILAQUA, F.Z. “Estudo do Comportamento Mecânico dos Solos Residuais de Granito de Florianópolis”. Florianópolis, 2004. PPGEC/ UFSC.

O meio físico de Florianópolis apresenta grandes extensões de morros de rochas graníticas com comportamento geotécnico diferenciado de uma região para outra devido à atuação do intemperismo. A falta de conhecimento desse comportamento mecânico diferenciado levou a determinação de propriedades geotécnicas para identificação das características e parâmetros de engenharia desses tipos de solos.

O trabalho apresenta um estudo sobre o comportamento mecânico dos diferentes tipos de solos residuais de granito de Florianópolis. A análise das propriedades geotécnicas ficou em torno do horizonte C desse solo de alteração, por ser esse horizonte muito erodível e suscetível a problemas de instabilidades de encostas.

Foram programados trabalhos de campo e coleta de amostras para ensaios de laboratório objetivando a caracterização física (mineralogia, granulometria e índices físicos) e mecânica (compressibilidade e resistência ao cisalhamento) das unidades geotécnicas dos solos oriundos de rochas graníticas que podem apresentar sérios problemas de instabilidades.

Foram realizados ensaios granulométricos, análises mineralógicas, ensaios de compressão confinada e ensaios de cisalhamento direto.

Os resultados foram apresentados em função do horizonte saprolítico, que se caracteriza por apresentar minerais primários e vestígios estruturais da rocha de origem.

Palavras-chave: solos residuais de granito, horizonte C, comportamento mecânico

## ABSTRACT

BEVILAQUA, F.Z. Study of the Mechanical Behavior of the Residual Granite Soils of Florianópolis. Florianópolis, 2004. PPGEC/ UFSC.

Florianópolis's physical environment displays a large range of granite, rock hills with a geotechnical behavior which varies from region to region due to weathering action. The lack of knowledge regarding such a mechanical behavior, led to the establishment of geotechnical properties to identify the engineering characteristics and parameters of those types of soil.

This work presents a study concerning the mechanical behavior of the different residual granite soils of Florianópolis. The analysis of the geotechnical properties remained around C horizon with regard to this unstable soil since such a horizon is erodible and prone to hillside instability problems.

Field work and sample collection for laboratory tests were performed, having in view the physical characterization ( mineralogy, grain size distribution and physical indexes) as well as the mechanical one ( compressibility and shear strength) concerning the soils originated from granite rocks that may show serious instability problems.

Grain size distribution tests, mineralogical analysis, confined compression and direct shear tests were accomplished.

The results were presented according to the saprolitic horizon, which is characterized by primary minerals and structural vestiges from the original rock.

Key-words: residual granite soils, C horizon, mechanical behavior

# 1 INTRODUÇÃO

Com o conhecimento das propriedades geotécnicas dos solos de uma determinada região, é possível estimar seu comportamento e evitar maiores danos frente a problemas ambientais oriundos da ocupação desorganizada do solo.

O estudo do comportamento geotécnico de solos tropicais e subtropicais é complexo, devido a grande variedade de classes ou tipos existentes com diferentes características, pois eles se formam em ambientes onde a presença de umidade e variações de temperatura favorecem a intensa atividade química no perfil de intemperismo.

Os solos de Florianópolis apresentam peculiaridades que os diferenciam dos solos cujos parâmetros de resistência são encontrados na mecânica dos solos tradicional, devido a seu relevo ondulado apresentar geologia formada por diferentes tipos de granitos com sua correspondente evolução pedogenética. O horizonte B caracteriza-se por ser pouco evoluído, com pequenas espessuras, e o horizonte C geralmente é bastante espesso e erodível. O conhecimento do comportamento desses solos em seu estado natural permite a proposição de soluções adequadas para o uso e ocupação do solo, minimizando as agressões ao meio ambiente.

A ocupação urbana das encostas graníticas de Florianópolis está sendo cada vez maior. Há algumas décadas, vem ocorrendo um processo de intensificação desordenada do uso do solo, devido à imigração de famílias de baixa renda à procura de moradia. Dessa forma, Florianópolis precisa se preocupar com relação ao uso do solo, principalmente das áreas de morro, onde ocorre a ocupação desenfreada e agressiva às encostas, gerando locais propícios a instabilidades.

Este trabalho apresenta um estudo sobre o comportamento geomecânico dos diferentes tipos de solos graníticos da Ilha de Santa Catarina com o objetivo de um melhor entendimento das características físicas e mecânicas dos solos tropicais oriundos de rochas graníticas.

As propriedades geotécnicas desses solos foram avaliadas através de um programa de ensaios laboratoriais. A ênfase do estudo foi concentrada na análise do horizonte C, por esse horizonte ser o mais suscetível a instabilidades quando exposto, pelas grandes espessuras desenvolvidas na região de Florianópolis, e ainda, pela heterogeneidade apresentada, o que dificulta a análise das propriedades mecânicas do mesmo, e torna difícil uma extrapolação de valores para outras regiões de estudo em solo semelhante.

Os aspectos geomecânicos investigados foram compressibilidade e resistência ao cisalhamento, que, em geral, são aqueles mais envolvidos em obras de engenharia geotécnica.

Dessa forma, teve-se como objetivo principal a análise dos parâmetros de resistência do horizonte C dos diferentes solos residuais graníticos de Florianópolis, nas condições natural e inundado; além de relacionar esses parâmetros com a respectiva textura. A grande heterogeneidade apresentada por esses solos, devido à ocorrência de zonas menos intemperizadas em meio a massa de solo causa dispersões nos resultados encontrados.

Os solos graníticos da Ilha foram analisados tendo como base o mapa geotécnico elaborado por Santos (1997), sendo que os pontos de amostragem foram locados no mesmo mapa.

Este trabalho é constituído de uma revisão bibliográfica, no qual foram abordados tópicos considerados essenciais ao estudo apresentado; uma descrição do meio físico e da área de estudo no qual foi desenvolvida a pesquisa; uma metodologia em que são relatadas as etapas desenvolvidas, e ainda uma análise dos resultados obtidos e as devidas conclusões que foram alcançadas.



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo são abordados aspectos considerados essenciais para alcançar os objetivos propostos, tais como um breve estudo sobre pedologia e o grau de evolução dos solos de Florianópolis, movimentos de massa com suas causas e agentes, os solos de Florianópolis e sua tendência a instabilidades. São feitas ainda considerações sobre as propriedades geotécnicas de resistência ao cisalhamento e compressibilidade, e características físicas (granulometria) dos solos tropicais e subtropicais.

### **2.1 Os solos de Florianópolis e a pedologia**

Os solos de Florianópolis sob o ponto de vista geotécnico foram estudados inicialmente por Santos (1997), na sua tese de doutorado. Santos considerou a pedologia associada à geologia na identificação de unidades geotécnicas, evidenciando a influência dessa ciência no estudo de solos tropicais.

Pedologia é a ciência que estuda os solos, sua caracterização, sua gênese e classificação. A pedologia, de acordo com Simonson (1959), é o processo de formação dos solos que se caracteriza pela adição, perda, transformação e transporte do material de origem.

A classificação dos solos segundo a pedologia está baseada nos processos químicos, pedológicos e morfogenéticos. Esses critérios tendem a agrupar os solos em classes principais, embora estes solos possam apresentar comportamentos distintos em função do nível de tensões ou processos de estabilização (Davison Dias, 1989).

De acordo com Santos (1997), a pedologia trabalha com dados significativos sobre composição, gênese, substrato, características físicas, morfológicas e ambientais dos solos.

As tradicionais classificações dos solos surgiram no final da década de 40 e se baseavam na identificação dos solos de acordo com suas propriedades texturais e plásticas. Assim, foram criados grandes grupos de critérios para a classificação dos solos, sempre que conhecida a granulometria e os limites de plasticidade, podia-se diferenciar um solo do outro. Esta técnica é muito utilizada em países de clima temperado, onde se destaca a classificação “Unificada ou Sistema Unificado” e a classificação “HRB”.

Muitos autores têm discutido esse aspecto da classificação dos solos baseada em teorias clássicas da mecânica dos solos. A razão para tanta discussão é que essas classificações foram desenvolvidas, via de regra, para solos de climas temperados. Como os

solos brasileiros, em sua maioria, ocorrem em regiões tropicais e subtropicais, os parâmetros estabelecidos na literatura clássica nem sempre se adaptam a eles.

De acordo com Santos (1997), o uso da pedologia e da geologia no estudo da mecânica dos solos de regiões tropicais e subtropicais, se constitui num campo fértil de pesquisa, visto o comportamento destes solos guardar relação com sua história de alteração.

Santos (1997) credita a Nogami, desde 1953, e Davison Dias, desde 1985, os mais importantes trabalhos no Brasil, envolvendo a classificação pedológica em estudos geotécnicos.

Com a finalidade de um maior entendimento do comportamento geotécnico dos solos, torna-se necessário o conhecimento da origem e dos processos envolvidos na formação deles.

Na pedologia, o perfil de solo é a seção vertical que, partindo da superfície aprofunda-se até onde age o intemperismo, mostrando, na maioria das vezes, uma série de camadas dispostas horizontalmente denominadas de horizontes. As características que diferenciam esses horizontes são cor, textura, estrutura, presença de material orgânico, consistência, etc. Esses horizontes são formados devido à atuação de fatores como clima, relevo, organismos, material de origem e tempo.

Os principais horizontes são representados pelas letras A, B, C, RA e R. Os horizontes A e B representam o solo superficial com maior grau de evolução pedogenética. O material de origem alterado pelos processos de intemperismo é denominado horizonte C. O horizonte RA representa a rocha alterada e o horizonte R a rocha sã.

A Pedologia classifica os solos em função dos diferentes graus de evolução do horizonte B. Dessa forma, os solos com horizonte B mais desenvolvidos não apresentam mais a estrutura e os minerais primários da rocha de origem.

Dentro da pedologia, os solos com horizonte B latossólico são considerados os mais evoluídos, pois sofreram intensa atuação dos processos pedogenéticos, não apresentando mais a estrutura e os minerais da rocha de origem, com exceção dos minerais muito resistentes como o quartzo. Possuem horizontes A e B com porcentagens de argila semelhantes, apresentando pouca variação textural. São horizontes espessos, em geral, com mais de dois metros de espessura chegando até aos vinte metros.

Os solos com horizonte B textural caracterizam-se por apresentar este horizonte mais argiloso que o horizonte A, isto devido aos processos de iluviação (imigração de argila e óxidos de ferro e alumínio do horizonte A para o B).

Nos solos com horizonte B incipiente, este horizonte apresenta pequenas espessuras (<50cm). Esse tipo de solo sofreu uma atuação do intemperismo pouco intensa, porém

suficiente para causar decomposição parcial, com conseqüente desenvolvimento da cor e estrutura.

Os solos de horizonte B textural e incipiente ocorrem em grandes extensões na região de Florianópolis, sendo alvo de vários trabalhos desenvolvidos na Universidade Federal de Santa Catarina.

Os solos pouco desenvolvidos não apresentam horizonte B ou este apresenta espessuras inferiores a 10 cm.

Os solos classificados como solos hidromórficos são aqueles formados com o lençol d'água próximo da superfície, com más condições de drenagem, em áreas úmidas, planícies, depressões ou várzeas. São classificados de acordo com a quantidade de matéria orgânica em pouco húmico, húmico e orgânico.

As areias quartzosas são solos profundos, casualmente orgânicos na superfície, formados por sedimentos areno quartzosos não consolidados.

Os solos orgânicos são solos de constituição orgânica, com elevados teores de carbono, formados em ambientes hidromórficos. Apresentam coloração escura ou preta.

### **2.1.1 Classes Pedológicas**

As classes pedológicas, sujeitas a escorregamentos, definidas para Florianópolis podem ser caracterizadas genericamente, da seguinte forma:

- Podzólico Vermelho-Amarelo: compreende solos não hidromórficos, com horizonte B textural, que difere do horizonte A seja pela cor, ou pela diferença de textura. Apresentam seqüência de horizontes A-Bt-C-RA-R. O horizonte B é de pequena espessura, apresentando coloração vermelha-amarela.

O horizonte C distingue-se do B pela diferença de textura menos argilosa, cor menos viva e menor desenvolvimento da estrutura e cerosidade. É comum apresentar vestígios de material rochoso em processo de alteração.

Os Podzólicos Vermelho-Amarelos apresentam as mais variadas profundidades e texturas. A figura 2.1 mostra um perfil típico de um Podzólico Vermelho-Amarelo.



**Figura 2.1– Perfil típico de Podzólico Vermelho-Amarelo (Oliveira et al., 1992)**

A atividade dos podzólicos de granito geralmente é baixa no horizonte B e cresce um pouco no horizonte C. Caso exista algum dique de diabásio nas áreas próximas, a atividade é relativamente maior.

Santos (1997) estudou duas unidades de Podzólico Vermelho-Amarelo substrato granito, sendo as diferenças entre elas de acordo com o granito de origem. A unidade denominada “PVg1” tem como material de origem o Granito Ilha, e a unidade denominada “PVg2” tem como material de origem o Granito Itacorubi.

O Granito Ilha possui textura grosseira, originando solos bastante granulares. O Granito Itacorubi possui maior teor de plagioclásios do que o Granito Ilha, e, em consequência, os solos são mais argilosos, mais plásticos e mais espessos .

- Podzólico Vermelho-Escuro: similar ao Podzólico Vermelho-Amarelo, porém seu substrato é o diabásio, gerando textura mais argilosa, embora, em geral, com argila de atividade baixa. Possuem cor vermelho a bruno avermelhado escuro, com maior quantidade de ferro que o Podzólico Vermelho-Amarelo.

- Cambissolos: são solos não hidromórficos, variando de rasos a profundos e apresentam a seqüência de horizontes A-Bi-C, sendo o horizonte B incipiente. O horizonte B pode apresentar argila de atividade alta, dependendo do material de origem do Horizonte C. O horizonte C situa-se próximo à superfície, em geral, a menos de 1 metro. Este horizonte pode ser bem espesso, sendo o mais importante do ponto de vista da engenharia geotécnica.

Ocorrem em relevo movimentado, na região de transição entre o morro e a planície, por isso o solo é pouco profundo. A figura 2.2 ilustra um perfil típico desse solo que ocorre em outras regiões do país. Podem, também, ocorrer próximo do topo dos morros.



**Figura 2.2 – Perfil típico de Cambissolo (Oliveira et al., 1992)**

Segundo Oliveira et al. (1992), quando os Cambissolos são derivados de rochas como granitos, gnaisses, migmatitos, é usual a presença de fragmentos de rochas e/ou minerais primários facilmente intemperizáveis.

Santos (1997) estudou os Cambissolos substrato granito da Ilha de Santa Catarina, identificando-os em campo, com uma seqüência de horizontes A, B incipiente, C pouco espesso, R. Sua textura é variada e não apresenta argila de atividade alta em função do material de origem. Ocorrem próximo ao topo dos morros, num relevo montanhoso que impede o desenvolvimento do horizonte B. Apresentam grande número de matacões dispersos em seu meio, sendo esse o fato causador dos maiores problemas geotécnicos dessa unidade.

Os Cambissolos e Podzólicos Vermelho-Amarelo de granito apresentam horizonte C semelhante, diferenciando-se, apenas, pela espessura do horizonte B.

- Litólico: caracterizam-se por apresentar o horizonte A diretamente sobre a rocha ou sobre a rocha parcialmente alterada. São solos pouco desenvolvidos, com seqüência de horizontes A – R, ou A – C – R, ou A – RA – R. O horizonte superficial tem espessuras inferiores a 40cm e o horizonte C, quando existente, é pouco espesso, sendo portanto solos rasos cujas espessuras não ultrapassam 50cm. A presença de argila de atividade alta depende

do material de origem e não são hidromórficos. Ocorrem geralmente em relevos fortemente ondulados ou montanhosos, com declividade superior a 50% e normalmente associados com afloramentos de rocha.

- Afloramento de rochas: abrange desde os campos de matacões, os blocos de rocha, fraturados ou não, até as lajes maciças. São bastante comuns em Florianópolis, principalmente associados às rochas graníticas.

## **2.2 Movimentos de Massa**

Com a intensa ocupação das áreas de morro que vêm ocorrendo atualmente, sem qualquer planejamento ou estudo do meio físico, a ocorrência de escorregamentos passa a ser um acontecimento cada vez mais freqüente nessas áreas.

Um estudo detalhado sobre esses movimentos de massa, suas causas e agentes deflagradores, são temas que merecem destaque na tentativa de busca por soluções para esses problemas que parecem ter, a cada, dia maiores repercussões.

### **2.2.1 Aspectos gerais das encostas**

Movimentos de massa em encostas representam um dos fenômenos de maior repercussão na sociedade e na comunidade científica, gerando indagações sobre causas, danos, vítimas e soluções a serem tomadas para a estabilização ou prevenção.

De acordo com Guidicini e Nieble (1983), os perfis de intemperismo de encostas, em condições climáticas tropicais úmidas, representam um meio ideal ao aparecimento de fenômenos de instabilidade. Nesses perfis, de fato, atinge-se condições de baixa resistência, conseqüência dos profundos efeitos da alteração intempérica.

A alteração do meio rochoso ou terroso pelo intemperismo, leva-o a um enfraquecimento gradual, movido pela remoção dos elementos solúveis constituintes dos próprios minerais, pela dissolução dos elementos com função de cimentação e pelo desenvolvimento de uma rede de microfaturas num meio rochoso que não as possuía. Este enfraquecimento se traduz numa diminuição dos parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito interno.

Pedrosa (1994) afirma que o risco de escorregamentos aumenta gradualmente com a evolução natural do talude. Essa evolução ocorre em conseqüência de fatores de

intemperismo, abertura de fissuras ou variação da cobertura vegetal, que podem assumir caráter benéfico quando aumentam a estabilidade ou, maléfico se propiciam instabilidade.

O processo de intemperismo em climas tropicais influencia diretamente na formação dos solos residuais (espessuras dos horizontes residuais, atividade química e pedogênese desses horizontes), como também, determina os parâmetros de resistência desses solos. A própria decomposição da rocha, devido à atuação do intemperismo, conduz a uma diminuição de sua resistência. Entretanto, no mesmo processo que transformou uma rocha granítica, por exemplo, em solo granular, menos coesivo, a argilização ao longo do tempo vai transformando-o em solo argiloso, mais coesivo e relativamente mais resistente em seu estado natural, não saturado.

De acordo com Santos (1997), os perfis de intemperismo são extremamente heterogêneos e imprevisíveis. Podem conter materiais com uma grande variabilidade de resistências e uma estrutura típica da rocha de origem.

Ao se analisar um perfil de um Podzólico Vermelho Amarelo substrato granito, por exemplo, o horizonte mais suscetível a problemas de erosão é o horizonte C. Isto ocorre, devido ao intemperismo já ter atuado e alterado a rocha de origem, mas não o suficiente para transformar este horizonte em um solo argiloso. O horizonte C ainda guarda a estrutura, e os minerais da rocha de origem; é um horizonte que está em pleno processo de intemperismo.

Raimundo (1998) aborda outros fatores que levam uma encosta à ruptura, podendo ser de ordem geológica e geomecânica. A presença de estruturas reliquias da rocha mãe nos solos dela derivados são condicionantes à atuação do intemperismo e à percolação d'água.

A influência das condicionantes geológicas em relação às características de resistência pode ser decisiva numa instabilidade, principalmente nos planos de maior intemperização da rocha, que se apresentam contidos nos horizontes jovens dos perfis de solo, controlando as condições de estabilidade.

A gênese do solo envolvido e toda sua história geológica, principalmente se este for um solo residual de regiões tropicais, têm grande influência nos processos de instabilização. É um processo que tem origem desde a formação da rocha, devendo ser analisado o grau de desenvolvimento de seus minerais e quais os tipos (que fazem parte da composição da rocha), a presença de minerais expansivos, a textura e a granulometria destes minerais, (Raimundo, 1998).

Na região de Florianópolis, os solos residuais de granito apresentam uma grande heterogeneidade, que pode ser verificada através da textura (grosseira ou fina), cor, grau de intemperização e dos minerais constituintes da rocha. Essas heterogeneidades irão acarretar

uma variabilidade no comportamento desses tipos de solos. Dessa forma, não é possível generalizar que todo o solo de granito seja suscetível a problemas de instabilidade de encostas, e vice-versa.

Segundo Pinheiro (2000), as regiões sul e sudeste do Brasil, devido às suas condições climáticas e pelas grandes extensões de maciços montanhosos (Serra Geral e Serra do Mar) estão sujeitas a desastres associados aos movimentos de massa nas encostas. Existem relações evidentes entre a geologia do território brasileiro e problemas associados à geologia de Engenharia. Dentre os principais problemas citam-se os escorregamentos em encostas íngremes dos maciços rochosos do sul e sudeste do Brasil.

### **2.2.2 Tipos de movimentos de massa**

Na natureza, ocorrem vários tipos de movimentos de massa, no qual estão envolvidos grandes variedades de tipos de solos. Os critérios adotados para a diferenciação dos movimentos de massa são em geral o tipo de material, a velocidade, as deformações, a geometria e a quantidade de água.

O sistema proposto por Varnes (1978), para a classificação dos movimentos de massa baseia-se no tipo de movimento e no tipo de material transportado. Os tipos de movimentos dividem-se em quedas, tombamento, deslizamentos (rotacionais e translacionais), expansões laterais/espraiamentos, corridas (solo, detritos e rocha) e complexos (combinação de dois ou mais dos principais tipos).

Augusto Filho (1992) conceitua os principais grandes grupos de movimentos de massa:

Rastejos: são movimentos constantes, sazonais ou intermitentes com vários planos de deslocamento e velocidades muito baixas.

Escorregamentos: são deslocamentos de pequenos a grandes volumes de material, com poucos planos de deslocamento e velocidades muito altas.

Corridas: movimento semelhante a um líquido viscoso, com velocidades variando de média a alta, apresenta muitas superfícies de deslocamento.

Santos (1997) também faz algumas considerações sobre os principais movimentos de massa:

- o rastejo é um tipo de movimento que pode surgir em qualquer horizonte e pode ser decorrente de estruturas reliquiares;



- os escorregamentos rotacionais têm como condicionantes a espessura do horizonte superficial, a homogeneidade dos solos, a formação de rede de fluxo sub-paralela e o horizonte subjacente mais impermeável;
- escorregamentos planares ocorrem em camadas de solo mais delgadas sobre horizonte de permeabilidade mais elevada (saprólito). A saturação do horizonte superficial provoca perda de coesão, levando o talude ao colapso;
- nos horizontes superficiais, relativamente homogêneos, o mecanismo de ruptura depende da espessura e desenvolvimento do horizonte, dos contrastes texturais, da declividade do talude, das condições do fluxo d'água que se infiltra, do grau de laterização e da permeabilidade relativa dos horizontes;
- nos horizontes saprolíticos, a instabilização superficial mais atuante é a erosão superficial;
- no horizonte de transição entre solos e rochas, geralmente, ocorrem escorregamentos estruturados, rastejos e movimentação em massas de talus, pois esse horizonte constitui-se num caminho preferencial de percolação, principalmente, por ocasião de chuvas intensas.

Segundo Pinheiro (2000), a denominação mais usual adotada internacionalmente para os movimentos de solo e rocha é landslide (escorregamento e/ou deslizamento). Landslide é um termo geral que inclui uma variedade de movimentos, quedas, tombamentos, deslizamentos, fluxo e ou afundamento ao longo de placas. Nestes movimentos, a principal força atuante é a gravidade. Esta força é responsável pela tendência da água, do solo e da rocha se deslocarem dos pontos mais elevados para os mais baixos.

### **2.2.3 Agentes e causas dos movimentos de massas**

Varnes (1978) reconhece que os mecanismos de deflagração dos escorregamentos em encostas e seus condicionantes estão relacionados ao aumento das solicitações e a diminuição da resistência dos materiais que constituem estas encostas. Os fatores mais comuns que contribuem para o aumento das tensões cisalhantes (solicitações) são a remoção de massa lateral e de base, sobrecargas por razões naturais e humanas, solicitações dinâmicas e pressões laterais originadas pela água em trincas, degelo e material expansivo. Os principais fatores que contribuem para a redução da resistência ao cisalhamento são o estado inicial do material (composição, textura, estrutura e geometria do talude), mudanças devido ao intemperismo e

outras reações químicas, mudanças nas forças intergranulares devido ao conteúdo de água e pressão nos poros e fraturas, mudanças na estrutura e outras causas. Estes fatores estão relacionados aos fenômenos naturais.

Segundo Wolle (1980), dentre os fatores que condicionam a evolução natural das encostas, aqueles de caráter geológico são os mais efetivos e importantes.

Segundo Guidicini e Nieble (1983), entende-se por causa o modo de atuação de determinado agente, ou em outros termos, um agente pode se expressar por meio de uma ou mais causas. Dentro do conceito de agentes, deve-se fazer uma distinção entre agentes predisponentes e agentes efetivos. São denominados de agentes predisponentes o conjunto de condições geológicas, geométricas e ambientais, que representam o “pano de fundo” para o desfecho da ação. Trata-se de um conjunto de características intrínsecas, função apenas de condições naturais, podendo-se distinguir:

- complexo geológico: diz respeito à natureza petrográfica, falhas e dobramentos, formas estratigráficas, intensidade de diaclasamento;
- complexo morfológico: inclinação superficial, massa e forma do relevo;
- complexo climático-hidrológico: clima, regime de águas subterrâneas;
- gravidade;
- calor solar;
- tipo de vegetação original.

Os agentes efetivos são o conjunto de elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa. São divididos em preparatórios e imediatos. Entre os agentes efetivos preparatórios estão a pluviosidade, erosão por água ou vento, variação de temperatura, dissolução química, oscilação do nível do lençol freático, ação humana. Entre os agentes efetivos imediatos citam-se: chuva intensa, erosão, ventos, ação do homem.

As causas podem ser separadas dependendo de sua posição com relação ao talude. Distinguem-se, assim: causas internas, que são as que levam o talude ao colapso sem que se verifique qualquer mudança nas condições geométricas do talude e que resultam de uma diminuição da resistência interna do material (aumento da pressão hidrostática, diminuição da coesão e ângulo de atrito por processo de alteração); causas externas, que provocam um aumento das tensões de cisalhamento, sem que haja diminuição da resistência do material (aumento do declive do talude por processos naturais ou artificiais, deposição de material na porção superior do talude, vibrações); causas intermediárias, que resultam de efeitos causados por agentes externos no interior do talude (liquefação espontânea, rebaixamento rápido, erosão retrogressiva).

Os processos que ocasionam a instabilização de taludes e encostas são controlados por uma cadeia de eventos, muitas vezes de caráter cíclico, que tem sua origem com a formação da própria rocha e toda sua história geológica e geomorfológica subsequente, como movimentos tectônicos, intemperismo, erosão, ação antrópica, etc (Augusto Filho e Virgili, 1998).

A tabela 2.1 apresenta uma lista de processos e características que contribuem para os movimentos de massa, elaborada por Cruden e Varnes (1996).

**Tabela 2.1 – Lista das causas de movimentos de massa (Cruden e Varnes, 1996)**

Causas geológicas	Causas morfológicas	Causas físicas	Causas humanas
– materiais fracos	– levantamento tectônico ou vulcânico	– chuvas intensas	– escavações de taludes
– materiais sensíveis	– alívio por degelo	– derretimento rápido de neve	– sobrecarga no talude ou na crista
– materiais intemperizados	– erosão fluvial no pé do talude	– precipitações excepcionalmente prolongadas	– rebaixamento (reservatórios)
– materiais cisalhados	– erosão por ondas no pé do talude	– rebaixamentos rápidos (enchentes, marés)	– desmatamento
– materiais fissurados ou fraturados	– erosão glacial no pé do talude	– terremotos	– irrigação
– orientação desfavorável de descontinuidades (acamamento, xistosidade, etc.)	– erosão nas margens laterais	– erupções vulcânicas	– mineração
– orientação desfavorável de descontinuidades estruturais (falhas, contatos, inconformidades, etc.)	– erosão subterrânea (Solução e piping)	– descongelamento	– vibração artificial
– contraste de permeabilidade	– deposição de cargas no talude ou na crista	– intemperismo por congelamento e descongelamento	– vazamento de água

Augusto Filho e Virgili (1998) sugerem os seguintes principais condicionantes para movimentos de massa nas encostas brasileiras: (a) características climáticas, com destaque para o regime pluviométrico; (b) características e distribuição dos materiais que compõem o

substrato das encostas e taludes, abrangendo solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas (xistosidade, fraturas, etc.); (c) características geomorfológicas, com destaque para a inclinação, amplitude e forma do perfil das encostas (retilíneo, convexo e côncavo); (d) regime das águas de superfície e subsuperfície; (e) características do uso e ocupação, incluindo cobertura vegetal e as diferentes formas de intervenção antrópica das encostas, como cortes, aterros, concentração de água pluvial e servida, etc.

É incontestável a importância da atuação da água como agente condicionante e deflagrador dos vários processos de instabilização de encostas. Os principais processos de instabilização ocasionados pelos modos de atuação da água nas encostas são devido ao fluxo d'água em solos e rochas. Nos solos, o fluxo d'água provoca o surgimento de forças de percolação, elevação das poro-pressões, erosão interna (*piping*), saturação com diminuição da coesão aparente (sucção).

Fernandes e Amaral (1998) apud Pinheiro (2000) apresenta várias feições que podem atuar como fatores condicionantes de escorregamentos, associados sempre aos condicionantes geológicos e geomorfológicos. Os principais fatores condicionantes destes processos segundo estes autores são: fraturas, falhas, foliação, bandeamento composicional, descontinuidades no solo, morfologia da encosta e depósitos de encosta.

#### **2.2.4 Os solos de Florianópolis e a tendência a instabilidades**

Na Ilha de Santa Catarina, ocorrem diferentes regiões geomorfológicas, cada uma com problemas ambientais característicos. Nas zonas de relevo ondulado, os solos apresentam propriedades características e problemas específicos. É comum o rompimento de taludes ou estruturas de contenção, além de desprendimento de blocos.

Em 1995, durante as chuvas de Natal, houve inúmeros eventos de instabilidade de encostas em Florianópolis. Na estrada da Lagoa da Conceição, aconteceram três escorregamentos de pequenas proporções. No Cacupé, ocorreu um deslizamento que envolveu, aproximadamente, 10.000 m<sup>3</sup> de solos, causando sérios transtornos ao tráfego por mais de duas semanas. Esse local encontra-se sobre uma região de falhas do granito e apresenta diques de diabásio e riolito nas proximidades. No Córrego Grande, no Morro Jardim Guarani, houve outro deslizamento de aproximadamente 15m de altura, movimentando aproximadamente 2.000 m<sup>3</sup> de solo e interditando a rua de acesso à região. Na Costeira do Pirajubaé ocorreram mais 40 escorregamentos de taludes. Em 1996, também aconteceram inúmeros escorregamentos, inclusive com vítima fatal (Santos, 1997).

As zonas de relevo ondulado têm sua geologia formada por diferentes tipos de granitos com sua posterior evolução pedogenética. Apresentam solos com horizonte B de pequena espessura e horizonte C, em geral, bastante erodível.

Os principais fatores considerados na análise estabilidade dos taludes naturais ou de cortes são ruptura, erosão e drenagem. A estrutura do solo do horizonte B sofre grande influência da coesão aparente conferida aos agregados, e da drenagem interna dos mesmos, principalmente no caso de solos parcialmente saturados. Os óxidos de ferro também têm sua importância, pois funcionam como agente cimentante dos micro agregados responsáveis pela estrutura porosa permeável dos solos tropicais e subtropicais. Essa estrutura permeável evita a saturação do solo atuando favoravelmente na estabilidade de taludes.

No horizonte C dos granitos da Ilha, o grau de intemperismo varia com a distância da rocha de origem. Ocorrem, também, variações horizontais, sendo encontrados núcleos mais ou menos resistentes, que dependem do início do processo de intemperismo segundo os planos de falha da rocha. Nesse horizonte, os planos iniciais de argilização ficam preservados e interferem na resistência dos taludes. A constituição mineralógica, a textura e as feições residuais da rocha tais como fissuras, falhas ou fraturas, presentes no horizonte C, bem como nas regiões mais argilizadas, funcionam como planos preferenciais de fraqueza e atuam na conformação da superfície de ruptura dos taludes, (Santos,1997).

No caso do horizonte C de qualquer solo, é importante que se observe o substrato rochoso, pois existem características da rocha de origem que evidenciam o perigo da exposição dos taludes ao intemperismo, principalmente à ação da água.

O horizonte C, quando exposto no estado natural, é muito erodível, especialmente quando originado de granito com textura mais grosseira e menor teor de máficos (biotitas) como é o caso dos granitos da Ilha. Essa erosão típica dos granitos da Ilha é verificada na figura 2.3. O quartzo e os feldspatos se soltam constituindo um material de textura bastante grosseira e sem nenhuma coesão. Com a transformação gradual dos feldspatos em argilas, a coesão vai aumentando. No horizonte B, que se apresenta mais evoluído, portanto com maior teor de argila e, conseqüentemente, maior coesão, a resistência à erodibilidade é maior.



**Figura 2.3 – Erosão característica do horizonte C de granito (Santos,1997)**

A erosão aparece freqüentemente associada a escorregamentos, estando diretamente ligada à resistência, ao cisalhamento dos solos. Dessa forma, a coesão surge como parâmetro de maior importância, pois quanto maior a coesão, menor o potencial erosivo. Foi verificado, ao longo dos cortes das rodovias, que o horizonte C dos solos de alteração de granito, apesar da menor coesão, desenvolvem em curto espaço de tempo uma película biológica natural que protege os taludes dos processos erosivos, conforme mostra a figura 2.4. Esse processo parece ser mais rápido nos taludes mais íngremes.

Santos (1997) verificou nos trabalhos de campo que, quando a exposição do horizonte C é menos inclinada, a erosão é muito maior e a formação da película protetora é mais difícil. Isso ocorre devido ao maior impacto da gota de chuva e a menor retenção da umidade para o desenvolvimento da película sobre as superfícies mais horizontais.



**Figura 2.4 – Película natural desenvolvida nos solos graníticos**

As características geotécnicas dos solos de alteração de granitos da Ilha indicam que todo o movimento de solo executado trará problemas de erosão, sempre que for removido o horizonte B, deixando exposto o horizonte C. Nas escavações e obras de terraplenagem, a manutenção do horizonte B é muito importante na proteção do horizonte C contra a erosão.

Os escorregamentos de encostas podem ser previstos através de análise de estabilidade de taludes utilizando parâmetros geotécnicos dos materiais envolvidos. A análise da geomorfologia também é importante, pois os microrrelevos são evidências do potencial de escorregamento. A resistência ao cisalhamento é o fator mais importante na estabilidade de taludes naturais. Os horizontes que apresentam processo de argilização mais intenso (geralmente o horizonte B) são mais estáveis devido à formação de óxidos de ferro e alumínio que aumentam o intercepto de coesão.

### **2.3 Resistência ao Cisalhamento**

A resistência ao cisalhamento dos materiais integrantes de um perfil de intemperismo de rochas, como as graníticas, é influenciada por diferentes fatores, que são variados em função do grau de intemperismo (Dearman et al, 1978).

Segundo esse autor os solos de horizontes superficiais possuem propriedades de resistência muito ligadas aos processos pedológicos de formação (laterização, gleização, plintização e outros). De maneira geral, a resistência é dada por uma estrutura de grãos

resistentes (geralmente de quartzo) em uma matriz fina de argila e outros produtos de decomposição.

Nos primeiros estágios do intemperismo, a resistência ao cisalhamento passa a ser controlada, principalmente, pela resistência das descontinuidades. Aspectos relacionados a influência de slickensides, argilas e outros materiais preenchendo essas descontinuidades devem ser levados em conta. A localização destas zonas de fraqueza, nos seus diferentes graus de alteração, não é uma tarefa fácil, depende da intensidade do programa de investigação e de conhecimentos básicos de geologia estrutural.

As estruturas reliquias, além de difíceis de localizar constituem situações mais complexas para a amostragem e para a execução de ensaios. Em muitos casos, a resistência do material de enchimento das descontinuidades tem grande influência na ruptura ao longo destas estruturas reliquias (Sandroni, 1985).

Outro ponto importante é que as estruturas reliquias ocasionam heterogeneidades na massa de solo, devido à atuação diferenciada do intemperismo, gerando planos de diferentes permeabilidades e resistência.

Segundo Sandroni (1985), a resistência anisotrópica é relacionada às descontinuidades estruturais e feições anisotrópicas da própria rocha-mãe. Entretanto, deve-se considerar que a forte atuação do intemperismo pode tornar desprezíveis os efeitos anisotrópicos dos solos formados.

À medida que aumenta o grau de alteração do perfil devido à atuação do intemperismo, a resistência ao cisalhamento dos solos saprolíticos passa a condicionar o comportamento mecânico desse perfil. Entretanto, as descontinuidades reliquias presentes na massa de solo ainda exercem grande influência.

### **2.3.1 Sucção**

Os solos parcialmente saturados apresentam uma pressão neutra negativa denominada sucção. Frequentemente a sucção é determinada a partir de uma curva que expressa a relação entre a sucção e o teor de umidade. A sucção varia inversamente ao teor de umidade, tendendo a um valor nulo à medida que cresce o grau de saturação. A sucção pode ser proveniente das forças capilares e, nos solos finos, também é originada da água adsorvida e da água associada à estrutura do solo. Nos solos arenosos, predomina o fenômeno capilar.

Sandroni (1985) comenta que a redução no intercepto de coesão, devido à perda da sucção por inundação, é clara em ensaios a altas tensões confinantes. Em níveis baixos de



tensões, outros efeitos, como a destruição de cimentações, podem mascarar a influência da sucção.

Segundo Davison Dias (1988), os principais fatores que influenciam na relação teor de umidade x sucção são: mineralogia, composição granulométrica, estrutura e temperatura. Esta influência ocorre de uma forma conjunta. A granulometria e a mineralogia influenciam segundo a natureza da superfície das partículas e dos cátions trocáveis. Exemplificando, a montmorilonita apresenta maior superfície específica que a caolinita, conseqüentemente a retenção de umidade na montmorilonita é maior que na caolinita.

A condição de parcial saturação da maioria dos solos saprolíticos e lateríticos de rochas graníticas tem grande influência na resistência ao cisalhamento. Ho e Fredlund (1982) apud Bastos (1991) destacam que a sucção tem um importante papel na estabilidade de taludes de solos graníticos em Hong Kong, aumentando a coesão dos materiais. Segundo os autores, a redução da sucção com o grau de saturação é uma das principais causas pela qual a instabilidade de taludes daquele país está associada a fortes chuvas.

### **2.3.2 Ensaio de cisalhamento direto**

Dentre os ensaios de laboratório empregados para avaliação da resistência ao cisalhamento de solos tropicais e subtropicais de granito, os ensaios de cisalhamento direto e ensaios triaxiais consolidados drenados com medida de poropressão, são os mais utilizados.

Os ensaios de cisalhamento direto são os preferidos, no caso de solos arenosos, pois a modelagem de corpos de prova para ensaios triaxiais mostra-se muito difícil.

Brand e Phillipson (1985) abordam sobre algumas precauções quanto ao uso do ensaio de cisalhamento direto em solos graníticos. A maioria delas diz respeito às feições estruturais de alguns solos que podem condicionar a zonas de fraqueza nas amostras, não solicitadas pelo plano de cisalhamento pré-estabelecido neste tipo de ensaio.

Cheung et al. (1988) realizaram ensaios de cisalhamento direto em solos de granito de Hong Kong. Salientam que, apesar das limitações práticas e teóricas do ensaio, ele oferece algumas vantagens sobre os ensaios triaxiais. Os autores enfatizam que os triaxiais, em geral, são mais dispendiosos em tempo e custo, além disso conduzem a certas dúvidas quanto à perturbação da amostra decorrente da saturação por contrapressão em baixas tensões de confinamento e quanto à determinação acurada da área da seção transversal da amostra em altas deformações axiais. Sobre o ensaio de cisalhamento direto é colocado que, embora apresente fortes restrições teóricas (rotação das tensões principais, falha progressiva e, em

geral, a impossibilidade de medir-se pressões neutras), simula bem as condições de baixas tensões normais e inundação, além de apresentar condições de deformação que, muitas vezes, são mais representativas da maioria das rupturas de taludes.

Bastos (1991) aborda sobre a boa adequabilidade do ensaio de cisalhamento direto para análise da resistência ao cisalhamento de solos graníticos. O ensaio mostrou-se simples e repetitivo, facilitando a investigação de um grande número de amostras e pontos amostrados. Na investigação de uma massa de solo heterogênea, como é o caso dos materiais originados do intemperismo subtropical de rochas graníticas, é bem mais representativo o emprego de um grande número de amostras de um mesmo ponto de amostragem. A heterogeneidade destes solos é verificada dentro de um mesmo bloco de amostra indeformada.

### 2.3.3 Parâmetros de resistência ao cisalhamento

Dearman et al (1978) ensaiaram várias amostras de solos dos horizontes B e C de granito à resistência ao cisalhamento, chegando à conclusão que os solos saprolíticos de granito são, geralmente, arenosos e bem drenados, com ângulos de atrito entre 30° e 40°. Estes elevados valores dos ângulos de atrito estão relacionados com a estrutura do solo, que consiste de grãos angulares resistentes. Os valores da coesão podem chegar a 75 kN/m<sup>2</sup>, estando geralmente ligados à sucção, desaparecendo com a total saturação.

Davison Dias (1987) estudou perfis de solo residual granítico, da litologia Granito Santana, por meio de ensaios de cisalhamento direto, cujos valores estão apresentados na tabela 2.2. Picos de resistência foram observados, tanto na umidade natural como inundados, sendo atribuídos ao pré-adensamento virtual e ao grau de estruturação.

**Tabela 2.2 - Parâmetros de resistência ao cisalhamento obtidos por Davison Dias (1987), para solos graníticos (Granito Santana) da região de Porto Alegre**

Discriminação		Horizonte B	Horizonte C
Parâmetros De Resistência :	$c_{\text{natural}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	45,5	43,5
	$c_{\text{inundado}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	32,0	29,2
Coesão (c) e Âng. Atrito ( $\phi$ )	$\phi_{\text{natural}}$ (°)	35,0	34,0
	$\phi_{\text{inundado}}$ (°)	28,0	30,0

Bastos (1991) mediu a resistência ao cisalhamento dos solos graníticos do município de Porto Alegre através de ensaios de cisalhamento direto. Foram ensaiadas amostras no estado natural e inundado, para os horizontes B e C do solo de granito. A tabela 2.3 mostra os resultados obtidos por Bastos (1991).

**Tabela 2.3 - Resultados dos parâmetros de resistência encontrados por Bastos (1991)**

Geologia	Horizonte	c ( kN/m <sup>2</sup> )	c ( kN/m <sup>2</sup> )	φ (graus)	φ (graus)
		Natural	Inundado	Natural	Inundado
Granito Ponta Grossa	Hor B	54,3 – 66,5	20,5 – 56,0	33,0 – 37,0	28,0– 35,0
	Hor C	28,4 – 43,5	20,7 – 50,8	34,0 – 41,0	28,0 – 36,0
Granito Independência	Hor B	38,4 – 55,7	15,4 – 17,8	26,0 – 41,0	23,0 – 26,0
	Hor C	33,2 – 61,9	14,5 – 34,4	29,0 – 35,0	24,0 – 34,0
Granito Santana	Hor B	45,5	32,0	35,0	28,0
	Hor C	43,5	29,0	34,0	30,0

Conforme o esperado, os valores da coesão são maiores para os solos do horizonte B, pois nestes o teor de argila e o acúmulo de cimentantes é maior.

Ocorreu uma grande diminuição na coesão com a inundação. Os valores do ângulo de atrito interno apresentaram pequenos decréscimos com a inundação, isto devido a desarranjos estruturais provocados pela expansão ou decomposição de minerais sensíveis à água de inundação. Esses valores do ângulo de atrito foram bastante variáveis para as diferentes unidades geotécnicas estudadas, sendo a explicação para este fato, a grande variabilidade textural e mineralógica dos solos residuais graníticos.

Foi constatada a ocorrência de um comportamento dilatante em algumas amostras ensaiadas. Esse comportamento ocorria para tensões de até 200 kN/m<sup>2</sup>, na maioria das amostras ensaiadas na umidade natural.

As curvas de deformação pela tensão cisalhante revelaram picos de resistência, ou seja, ruptura frágil, em baixas tensões normais. O fato ocorre principalmente na condição de umidade natural, mas em alguns casos, também em amostras inundadas. O limite para as baixas tensões em que se revelam os picos é muito variável, mas no geral, aproxima-se do limite ao comportamento dilatante.

Em suas conclusões, Bastos (1991) definiu que a composição mineralógica mostrou influência sobre a resistência ao cisalhamento, principalmente nos solos saprolíticos do horizonte C. Ângulos de atrito inferiores a 25<sup>o</sup> (na condição inundada) referiram-se a solos com menor presença de quartzo. Estes materiais apresentaram abundância de feldspatos friáveis ou mica.

Santos (1997) estudou os solos de Florianópolis, e ao analisar a unidade - PVg1-Podzólico Vermelho Amarelo substrato granito, com solos originados do granito Ilha ( granito de textura grosseira, que origina solos bastante granulares), com amostras do horizonte C desse granito, concluiu que no estado natural, o valor da coesão apresentou uma variabilidade de 17,9 a 25,6 kN/m<sup>2</sup> e de 0 (zero) a 7 kN/m<sup>2</sup> para a condição inundada. O ângulo de atrito

interno, para as mesmas condições no estado natural variou de 36 a 37° e no inundado ficou em torno de 35°.

Nas amostras com solo de horizonte C de granito, representativas da unidade PVg2 - Podzólico Vermelho Amarelo substrato granito, com solos originados do granito Itacorubi (origina solos de textura média, mais argilosos), Santos (1997) encontrou o valor de 26,3 kN/m<sup>2</sup> para a coesão no estado inundado. O ângulo de atrito interno no estado inundado ficou em torno de 22° .

Raimundo (1998) analisou dois escorregamentos ocorridos em Florianópolis em solos graníticos. Um escorregamento ocorreu no morro do Cacupé (Granito Ilha) e o outro no Jardim Guarani (Granito Itacorubi). Foi utilizado o ensaio de cisalhamento direto para obtenção dos parâmetros de resistência, no estado natural e inundado.

Foram também analisados os planos argilosos contidos no interior do solo residual granítico do escorregamento Jardim Guarani, a fim de caracterizar a influência deste plano nas condições de equilíbrio ou na resistência ao cisalhamento. No escorregamento do Morro do Cacupé, os ensaios pautaram-se em diferenciar o solo residual granítico do solo residual de diabásio, para também avaliar os parâmetros de resistência.

Estes planos argilosos são facilmente encontrados no interior dos solos graníticos da Ilha de Santa Catarina, sendo marcante “in loco” a diferença do solo residual granítico para o solo desses planos argilosos. Observa-se que esses planos, caracterizados pela lixiviação de cátions, tanto o ferro como o plagioclásio cálcico, possuem uma elevada capacidade de absorção e retenção d’água, provocando fluxo no seu contorno, logo, pelo solo residual que é mais arenoso. Isso também provoca uma condição de sobre-pressão hidrostática, pois a passagem de água é dificultada pelos planos argilosos.

Na tabela 2.4, estão os valores encontrados por Raimundo (1998), para os parâmetros de resistência ao cisalhamento para o solo residual granítico (foram ensaiadas amostras para o topo e pé do talude escorregado) e para o plano argiloso do escorregamento ocorrido no Jardim Guarani – Florianópolis. Resultados obtidos através do ensaio de cisalhamento direto.

**Tabela 2.4 – Resumo dos Parâmetros de Resistência encontrados por Raimundo (1998)**

Discriminação		Superfície de Ruptura – Horizonte C (Granito)		Plano Argiloso
Parâmetros	$c_{\text{natural}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Topo	Pé	8,14
		De Resistência :	42,25	
Coesão (c)	$c_{\text{inundado}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	16,82	5,75	2,12
e	$\phi_{\text{natural}}$ (°)	36,7	40,3	37,7
Ângulo de Atrito ( $\phi$ )	$\phi_{\text{inundado}}$ (°)	32,4	35,5	26,6

## 2.4 Análise Granulométrica

É considerada uma característica física de fundamental importância para identificação e classificação dos solos. No caso de solos tropicais e subtropicais, entretanto, tem gerado muitas discussões em torno de seu emprego para a estimativa de propriedades desses solos. Questões referentes aos procedimentos de ensaios granulométricos, sensibilidade deste tipo de solo e a presença de agentes cimentantes são muito discutidas na literatura.

Brand e Phillipon (1985) comentam a necessidade de cuidados especiais no destorroamento das amostras de solo saprolíticos granulares de granito e gnaisses, pela presença de grãos de feldspato friáveis.

Bastos (1991) afirma que outro problema está na determinação da real fração de argila deste tipo de solo. A quantidade de argila estimada por microscopia é bem maior que a verificada em ensaios granulométricos. Este fato manifesta-se tanto para solos saprolíticos como para os lateríticos. Nos primeiros, a argila está fortemente presa aos minerais primários e nos últimos, cimentações devido a sesquióxidos de ferro e alumínio criam fortes ligações macro e microestruturais, dificultando a dispersão química da argila.

Radwan (1988) caracterizou um solo granítico do Egito e observou o aumento da porcentagem de finos com a distância da rocha de origem, refletindo o aumento no grau de intemperismo.

Bastos (1991) estudou os solos residuais graníticos da região de Porto Alegre, verificando que ambos os horizontes apresentaram granulometria bastante variada, e concluiu que muitos fatores influenciam na granulometria destes solos, sendo os principais o grau e tipo de intemperismo e os procedimentos granulométricos.

Com a intenção de investigar a influência do intemperismo, foram analisados perfis completos do solo granítico daquela região, e comprovado o aumento esperado no teor de finos da rocha até os horizontes superficiais.

Dentro do horizonte C saprolítico, ocorrem zonas menos intemperizadas em meio à massa de solo saprolítico, como resquícios estruturais de núcleos de rocha (matacões). Estas heterogeneidades na massa de solo resultam em dispersões numa suposta variação contínua do intemperismo com a profundidade, constatadas numa simples análise visual dos materiais. Zonas mais intemperizadas, como superfícies de infiltração de água (diaclasses, falhas, zonas de contato, etc) foram ainda frequentemente observadas em campo. Isto se reflete diretamente na granulometria, materiais localizados lado a lado no perfil e com intemperismo visivelmente diferente apresentam distribuição granulométrica distinta.

A heterogeneidade causada pelo intemperismo não só influencia a granulometria, mas também outras características e propriedades geotécnicas, (Bastos, 1991).

Santos (1997), no estudo de perfis oriundos de granito de Florianópolis classificados como Podzólico Vermelho-Amarelo, verificou que em ambos os perfis estudados, foi constatado que os horizontes B e BC são mais finos do que o horizonte C.

Os Podzólicos Vermelho-Amarelos admitem ampla variedade de classes texturais, quer de um solo para outro, quer na seqüência de horizontes de um mesmo perfil, podendo inclusive apresentar pedregulhos.

Raimundo (1998) analisou a distribuição granulométrica dos solos residuais de granito do escorregamento Jardim Guaraní (Granito Itacorubi) e Cacupé (Granito Ilha) em Florianópolis, e concluiu que, por serem originários de dois tipos distintos de granito, apresentam diferenciações quanto à forma em que se apresentam no campo e quanto ao comportamento mecânico.

## **2.5 Compressibilidade**

Em solos tropicais e subtropicais, o fenômeno de adensamento é pouco significativo, ou seja, grande parte dos recalques não são diferidos no tempo, conforme preconiza a Teoria Clássica do Adensamento de Terzaghi. Os ensaios oedométricos realizados são mais corretamente denominados de ensaios de compressão confinada (Davison Dias, 1987).

Os solos residuais podem ser muito compressíveis, apresentando deslocamentos praticamente instantâneos após a colocação do carregamento. Esse comportamento ocorre devido à grande permeabilidade apresentada por esse tipo de solo.

Segundo Santos (1997), uma peculiaridade dos solos tropicais e subtropicais é que esses apresentam comportamento semelhante ao dos solos puramente granulares encontrados na literatura clássica de Mecânica dos Solos, apesar do elevado teor de finos obtido na análise granulométrica. Essa diferença de comportamento é consequência da estruturação dos solos tropicais e subtropicais que tem sua origem na pedogênese. A estrutura porosa torna os solos permeáveis apesar da elevada proporção de finos. Isso ocorre porque os micro agregados (constituídos por partículas muito pequenas cimentadas por óxidos de ferro) se comportam como partículas individuais no solo, ao passo que no ensaio de granulometria, onde as partículas são individualizadas por um defloculante, a textura resultante será de um material relativamente mais fino.

### **2.5.1 Pressão de pré-adensamento virtual**

Vargas (1951) introduz o conceito de pré-adensamento virtual. O conceito de pressão de pré-adensamento criado para solos sedimentares perde o significado para os solos residuais. O fenômeno de adensamento não integra os processos de formação desses solos. Dessa forma, para solos residuais, o valor da pressão obtido em ensaios oedométricos, abaixo do qual observa-se proporcionalidade entre os decréscimos no índice de vazios e os acréscimos das pressões aplicadas na razão logarítmica, foi definido como “pressão de pré-adensamento virtual.

Para Vargas (1970), a origem do pré-adensamento virtual pode ser devida aos seguintes processos:

- secamento das camadas superiores, ocorrendo um efeito de carregamento prévio, devido à tensão capilar;
- cimentação dos grãos pela coagulação dos colóides de argila, ao redor dos grãos mais grossos;
- compressibilidade dos solos, devido ao peso das camadas superiores, durante o processo de formação.

De acordo com o mesmo autor, a pressão de pré-adensamento virtual pode ser originada por um pequeno índice de vazios, no momento da formação do solo, ou também devido ao fenômeno de iluviação (imigração), ou ainda, decorrente de um ressecamento.

Davison Dias (1987) enfatiza a macroestrutura de origem pedológica como um fator do pré-adensamento virtual, associada à sucção e à cimentação por sesquióxidos de ferro e alumínio.

A pressão de pré-adensamento virtual não é definida claramente nas curvas dos logaritmos das pressões aplicadas versus índice de vazios. Davison Dias (1987) comenta que são encontradas dificuldades na determinação do coeficiente de adensamento ( $C_v$ ) em solos tropicais e subtropicais bem drenados, e também, aborda sobre o curto espaço de tempo em que é processada a compressão primária, mesmo em solos ensaiados em condições de inundação. Em alguns solos lateríticos do planalto meridional do Rio Grande do Sul, Davison Dias estimou o tempo de adensamento primário em menos de 20 segundos.

Bastos (1991) relaciona o pré-adensamento virtual nos solos saprolíticos às ligações minerais herdadas da rocha e às tensões surgidas do processo de intemperismo e das conseqüentes variações volumétricas.

As características de compressibilidade quantificadas pelos índices de recompressão e compressão são muito variáveis para esses solos tropicais e subtropicais de granito. Essas características são relacionadas a diferentes fatores: heterogeneidade do intemperismo, macroestrutura de origem pedológica, cimentação, sucção, tensões residuais e índice de vazios inicial (Bastos, 1991).

Cruz (1989) comenta que a heterogeneidade causada pelos diferentes graus do intemperismo em solos saprolíticos resulta em compressibilidades variáveis e , conseqüentemente, na distribuição não uniforme das pressões verticais atuantes nas diferentes fases dos materiais.

### **2.5.2 Parâmetros de compressibilidade**

Davison Dias (1987) estudou solos podzólicos e litólicos oriundos do Granito Santana da região Metropolitana de Porto de Porto Alegre, obtendo os valores apresentados na tabela 2.5.



**Tabela 2.5 - Valores da pressão de pré-adensamento, índice de compressão e recompressão para o Granito Santana, encontrados por Davison Dias (1987)**

Unidade Geotécnica	Horiz/ Cond.Ensaio	Cc	Cs	P'c (kN/m <sup>2</sup> )
*PVg	Hor B Inundado	0,23	0,023	170
	Hor C Natural	0,19	0,003	190
		Inundado	0,29	0,027

\*PVg – Solos em perfis Podzólico Vermelho-Amarelo oriundo de granito.

Bastos (1991) realizou ensaios de compressão confinada em solos residuais graníticos da região de Porto Alegre, obtendo os valores listados na tabela 2.6. Foi verificado que a inundação influenciou as características de compressibilidade. No geral, a inundação reduziu os valores das pressões de pré-adensamento virtual, mas não existiu uma tendência clara em aumentar os valores máximos de deformação (em altas tensões verticais). A redução no pré-adensamento parece ter sido ocasionada pela ação da água afetando as cimentações e a sucção, reforçando a tese de que seriam esses fatores os principais causadores do pré-adensamento.

**Tabela 2.6 - Índices de recompressão (Cr), de compressão (Cc) e de descarga (Cd) e pressão de pré-adensamento em função dos horizontes geotécnicos (variações e médias), Bastos (1991)**

Unidade Geotécnica	Horiz/ Cond.Ensaio	Cr	Cc	Cd	P'c (kN/m <sup>2</sup> )
*PVg e Rg (g. PG)	Hor B Natural Inundado	-	0,27	0,02	60
		-	0,20	0,01	35
	Hor C Natural Inundado	0,02-0,10 (0,05)	0,26-0,50 (0,33)	0,02-0,031 (0,02)	87-603 (223)
		0,02-0,09 (0,06)	0,23-0,36 (0,27)	0,02-0,03 (0,03)	24-263 (106)
**PVg e Rg (g. I)	Hor B Natural Inundado	0,01-0,05 (0,03)	0,26-0,41 (0,33)	0,01-0,02 (0,01)	93-214 (241)
		0,04-0,07 (0,06)	0,31	0,02	132-155 (144)
	Hor C Natural Inundado	0,02-0,06 (0,04)	0,26-0,31 (0,29)	0,02-0,07 (0,05)	186-275 (228)
		0,04-0,07 (0,06)	0,24-0,31 (0,27)	0,03-0,07 (0,05)	120-302 (194)

Observações:

\*PVg e Rg (g. PG) – Solos em perfis Podzólico Vermelho-Amarelo e Litólico oriundos do Granito Ponta Grossa.

\*\*PVg e Rg (g. I) – Solos em perfis Podzólico Vermelho-Amarelo e Litólico oriundos do Granito Independência.

Foi encontrada grande dificuldade para a definição do valor da pressão vertical na qual as amostras passam de uma fase de pequenas a uma de maiores deformações aproximadamente proporcionais ao logaritmo das pressões aplicadas. Nas curvas do logaritmo da pressão pelo índice de vazios obtidas, a passagem de uma fase a outra mostrou ser, na maioria dos casos, representada por meio de uma curva de raio longo, dificultando a determinação precisa da pressão de pré-adensamento virtual por meio de gráficos convencionais.

O coeficiente de adensamento  $C_v$  foi calculado somente para os estágios onde foi possível distinguir uma etapa de adensamento primário. Este valor, porém, deve ser encarado com cautela, pois não representa a velocidade dos recalques totais para os solos ensaiados, e sim uma menor parcela, na qual não são considerados os significativos recalques instantâneos.

Valores de  $C_v$  adequados para a avaliação da velocidade dos recalques totais dos solos com propriedades semelhantes, devem ser obtidos por via indireta, a partir de coeficientes de permeabilidade e de módulos de variação volumétrica.

A mineralogia também influenciou nos parâmetros de compressibilidade, pois amostras fortemente micáceas (solo saprolítico do granito Independência) mostraram destacada recuperação na fase de descarregamento, com  $C_d$  da ordem de 0,07.

Bastos (1991) analisou ainda, a evolução tempo - recalque dos solos residuais graníticos da região de Porto Alegre, através das curvas do logaritmo do tempo pela altura do corpo de prova. Essa evolução dos recalques com o tempo mostrou-se em três etapas:

1<sup>a</sup>) significativo recalque instantâneo (verificado a 7 segundos da aplicação da carga), que variou de 16 a 86% do recalque total em um dado estágio de carga. Na maioria dos casos, o valor médio fica em torno de 60% do recalque total;

2<sup>a</sup>) um adensamento primário que se aproximou da curva teórica somente nas mais altas tensões;

3<sup>a</sup>) uma compressão secundária da mesma ordem de grandeza da etapa anterior. Somados os recalques da 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> etapas, em média atingem os 40% restantes do recalque total do estágio.

Santos (1997) analisou a compressibilidade dos solos residuais de granito de Florianópolis com ensaios de compressão confinada, de onde foram obtidos os índices de compressão  $C_c$ , descompressão  $C_d$  e recompressão  $C_r$ , conforme a tabela 2.7. A unidade Pvg1 corresponde a solos de perfil Podzólico Vermelho-Amarelo oriundos do Granito Ilha, cuja textura é grosseira, originando solos bastante granulares. A unidade Pvg2 corresponde a

solos de perfil Podzólico Vermelho-Amarelo oriundos do Granito Itacorubi, apresentando textura média, originando solos mais argilosos.

**Tabela 2.7 – Características de compressibilidade das unidades PVg1 e PVg2, avaliada pelo índice de compressão Cc, de recompressão Cr e de descompressão Cd, além de pressão de pré-adensamento, Santos (1997)**

Unidade Geotécnica	Horiz/ Cond.Ensaio	Cr	Cc	Cd	P'c (KN/m <sup>2</sup> )	
PVg 1	Hor B	Natural	0,026	0,232	0,028	120
		Inundado	0,022	0,258	0,027	15
	Hor C	Natural	0,009	0,308	0,02	130
		Inundado	0,022	0,207	0,007	73
PVg 2	Hor C	Natural	0,007	0,576	0,063	300
		Inundado	0,014	0,651	0,116	3.4

Foi constatado que tanto os solos da unidade PVg1, quanto os da PVg2, atingiram 90% de adensamento em menos de um minuto no ensaio de compressão confinada, ou seja, a maior parte do recalque aconteceu quase instantaneamente.

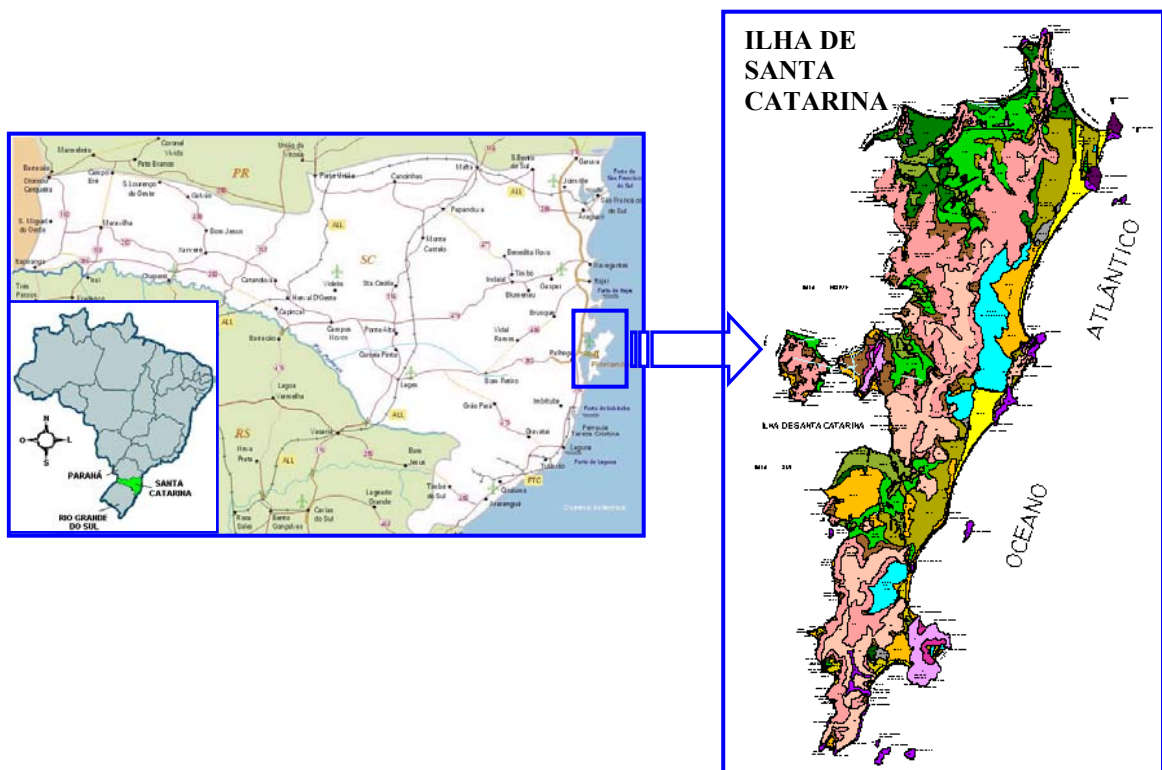
### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área deste estudo geotécnico compreende o município de Florianópolis em sua parte insular, também denominada Ilha de Santa Catarina.

O objetivo desse capítulo é caracterizar a área estudada através da descrição de aspectos físicos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos e geotécnicos correspondentes da região.

#### 3.1 Definição da área

O município de Florianópolis está localizado entre os paralelos de 27°10' e 27°50' de latitude sul, e entre os meridianos de 48°25' e 48°35' de longitude a oeste de Greenwich. A figura 3.1 mostra o mapa de localização do município de Florianópolis .



**Figura 3.1 – Localização da área de estudo**

Numa área total de 451 km<sup>2</sup>, o município está dividido em duas porções de terra: uma localizada na área continental, com 12,1 km<sup>2</sup>, e a outra - a própria Ilha de Santa Catarina, que

possui uma área de 438,90 km<sup>2</sup>. Seu contorno é bastante irregular, composto de baías, pontas e enseadas.

A Ilha de Santa Catarina tem uma forma alongada no sentido norte/sul, com uma área de 423 km<sup>2</sup>. Situada paralelamente ao continente, é separada por um estreito de 500 m de largura, com uma profundidade média de 28 m, formando duas bacias: norte e sul. A área do relevo, voltada para o continente (costa oeste), apresenta abundância de planícies, onde aparecem os mangues. Do outro lado do Atlântico, o declive é mais íngreme e proporciona a acumulação de areia (dunas e praias muito extensas).

Sua costa, composta por 172 km de extensão, é repleta de praias, costões, restingas, manguezais e dunas. A morfologia da Ilha é descontínua, formada por cristas montanhosas, que chegam a alcançar 532 metros de altitude no morro do Ribeirão da Ilha, e terrenos sedimentados de formação recente, compondo as planícies litorâneas.

### **3.2 Clima e vegetação**

A ilha de Florianópolis é dotada de um clima mesotérmico, sem estação seca, com precipitações distribuídas por todo o ano, não apresentando deficiências hídricas e contendo bons índices de excedentes hídricos (Clima Mesotérmico Úmido).

- Temperatura (°C) - Média: 20,4° Máxima: 40° Mínima: 3°
- Umidade Relativa Média: 80% (considerado úmido, segundo o quadro da proposta climática de Thornthwaite e Mather)
- Índice Pluviométrico Anual: 1.200mm

A pluviosidade é bem distribuída durante todo ano, devido as atuações do relevo, e fundamentalmente da Massa Tropical Atlântica, dominando na primavera e verão e da Massa de Ar Polar Atlântica, com maior frequência nos meses de outono e inverno.

Segundo dados do IPUF (1998), a Ilha de Santa Catarina possui diferentes tipos de formações vegetais, de acordo com o tipo do solo e relevo. Dessa forma, nas encostas do maciço cristalino, a cobertura vegetal é de Floresta Ombrófila Densa (Floresta Pluvial de Encosta Atlântica). Tendo em vista os diferentes tipos de ações do homem sobre a vegetação, hoje se encontra na Ilha este tipo de vegetação desde áreas em estágios iniciais de regeneração (capoeirinha) até matas secundárias regeneradas. Também ocorrem áreas de mata primária pouco alterada, que sofreram apenas a retirada parcial e seletiva de algumas espécies de interesse econômico.

Nas planícies arenosas do quaternário, a cobertura vegetal é constituída por formações de restinga – arbustiva, sub-arbórea ou arbórea, dependendo do tipo de formações de solo e do uso que se procedeu sobre ele. Além da Floresta Atlântica e das restingas, ocorrem ainda formações de vegetação fixadora de dunas e manguezais, com sua vegetação típica.

### **3.3 Geomorfologia**

A geomorfologia da ilha consiste de uma série de maciços rochosos cristalinos, atualmente, representados pelos morros, interligados por áreas planas constituídas por sedimentos marinhos, lacustres, eólicos e fluviais, que, hoje, constituem as planícies.

Os terrenos cristalinos, Pré-Cambrianos, formam as partes mais elevadas da ilha, com altitudes variando de 180 a 519 m, tendo como pontos culminantes o Morro do Ribeirão ao sul, com 519 m e o Morro da Costa da Lagoa ao norte, com 493 m de altitude.

As áreas planas são ocupadas, principalmente, por lagoas costeiras, campos de dissipação de dunas, cordões arenosos e zonas de mangues.

Segundo Herrmann apud Santos (1997), na planície sedimentar verifica-se a atuação de processos erosivos e deposicionais sob várias condições distintas de ambiente. Nas regiões do cristalino, os solos, via de regra, possuem espessura em torno de 1 m (horizonte A + B), onde predominam os solos do tipo Podzólicos Vermelho-Amarelo. Isso ocorre nas regiões mais acidentadas, sendo maiores as espessuras nos relevos menos acidentados. Devido às características topográficas acidentadas do relevo, a erosão nesses solos é acentuada sendo necessário conservá-los com culturas perenes.

O sistema estuário pode ser entendido como as baías Norte e Sul, situadas entre a Ilha e o Continente, com os ecossistemas associados, ou seja, principalmente os rios que nelas deságuam e os manguezais situados em suas orlas, tanto insular como continental. Na Ilha, as principais contribuições de água doce para as baías provêm dos rios Ratonés e Itacorubi, na porção norte, e o Rio Tavares, no sul.

As principais lagoas da Ilha se originaram do represamento de corpos d'água por cordões arenosos de restingas na sua costa leste. A lagoa do Peri, situada no sul da ilha, com uma área de 5,2 Km<sup>2</sup>, é o maior manancial de água potável, sendo utilizada para suprir o abastecimento da região sul e leste da ilha.

A lagoa da Conceição possui uma área de cerca de 17,6 Km<sup>2</sup>, estendendo-se de norte a sul ao longo de 15 Km. Nas águas salobras, desenvolve-se uma fauna marinha rica em crustáceos e peixes.

### 3.4 Geologia

A geologia da Ilha de Santa Catarina pode ser descrita como um conjunto de rochas cristalinas, granitóides e vulcanitos associados, representando o Ciclo Tectônico Brasileiro, cortados localmente por diques de diabásio de idade Juro-Cretácia, sobrepostos por coberturas sedimentares recentes, relativas aos eventos Terciários / Quaternários. As rochas cristalinas (ígneas) constituem os morros, formando um conjunto de elevações grosseiramente alinhados na direção NE, ao longo de toda a ilha, conferindo a esta, um aspecto alongado como de uma cunha. Esses morros servem como anteparos para acúmulo de material sedimentar, comumente retrabalhados, muitas vezes derivados dos próprios morros. Os granitóides afloram sob a forma de matacões de médio e grande porte e lajeados, usualmente apresentando uma alteração superficial bastante pronunciada.

A geologia da Ilha de Santa Catarina abrangendo todo o município de Florianópolis foi descrita por Caruso Jr. (1993) na escala 1:100.000, conforme mostra a tabela 3.1. A geologia da Ilha, referente aos diferentes tipos de rochas graníticas é descrita sucintamente a seguir:

**Tabela 3.1 - Coluna estratigráfica da Ilha de Santa Catarina, segundo Caruso Jr. (1993)**

<p><b>QUATERNÁRIO</b>  <i>Holoceno e/ou Pleistoceno</i>          Depósitos de turfas          Depósitos de manguezais          Depósitos eólicos          Depósitos lagunares          Depósitos transicionais lagunares          Depósitos marinhos praias</p> <p><b>TERCIÁRIO / QUATERNÁRIO</b>          Depósitos de encosta</p> <p><b>JURO-CRETÁCEO</b>          Diques de diabásio</p> <p><b>PROTEROZÓICO SUPERIOR AO EO-PALEOZÓICO</b>          (Ciclo Tectônico Brasileiro)</p> <p><i>Magmatismo pós-tectônico</i>          Riólito Cambirela          Granito Itacorubí          Suíte Pedras Grandes          Granito Ilha ou Florianópolis</p> <p><i>Magmatismo tardi-tectônico</i>          Granitóide São Pedro de Alcântara</p> <p><i>Magmatismo sin-tectônico</i>          Granitóide Paulo Lopes</p>
---

### - Granitóide Paulo Lopes

Este granito ocorre em pontos isolados na porção nordeste da ilha, como na ponta dos Ingleses e das Aranhas. Compõe-se, principalmente, por granodioritos de cor cinza escura, com textura porfírica, com cristais de feldspato alcalino. A mineralogia consiste de quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino, biotita e, secundariamente, muscovita.

As porções mais deformadas dessas rochas ocorrem sob a forma de gnaisses, principalmente no costão sul da praia do Santinho, evidenciando um aumento na taxa deformacional. A figura 3.2 mostra um afloramento do granito Paulo Lopes no Costão do Santinho.



**Figura 3.2 - Granitóide Paulo Lopes: rochas granito-gnáissicas, Costão do Santinho, Santos (1997)**

### - Granito São Pedro de Alcântara

Este tipo de rocha granítica aflora principalmente na região do rio Tavares, ao sul da Lagoa da Conceição.

É composto petrograficamente por monzogranitos e granodioritos. São rochas de textura porfírica média a grossa, com fenocristais freqüentes de k-feldespato e ocasionais de plagioglásio. Nos trabalhos de campo realizados por Santos (1997) em Florianópolis, este granito não foi identificado, não fazendo parte do mapa geotécnico desse município.

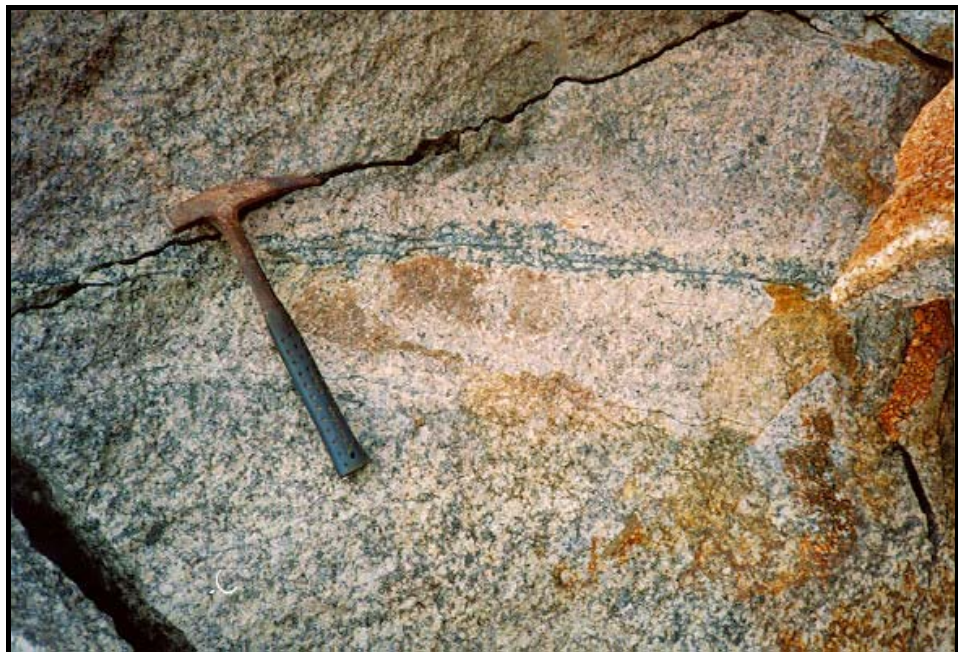


### - Granito Ilha

Segundo Caruzo Jr (1993), a maior parte das rochas da Ilha de Santa Catarina são compostas por esse granitóide, ocupando aproximadamente 90% das ocorrências rochosas da Ilha.

O Granito Ilha apresenta granulação média a grosseira. Mineralogicamente é constituído por plagioclásio, k-feldespato, quartzo e biotita.

Os modelos geomorfológicos apresentados pelo Granito Ilha são de morros altos, fortemente dissecados, com encostas íngremes, onde afloram principalmente matacões de médio a grande porte. Os afloramentos mais extensos ocorrem nas encostas, junto ao mar e nos topos dos morros. Esses afloramentos apresentam-se intensamente alterados, o que dificulta a amostragem dessas rochas. A cor é sempre rosa ou cinza claro. A figura 3.3 mostra um afloramento do Granito Ilha.



**Figura 3.3 - Granito Ilha de maior ocorrência em Florianópolis, Santos (1997)**

Santos (1997) observou, em seus trabalhos de campo, que o granito Ilha apresenta pouca variação textural, sendo isótropo, de composição mineralógica homogênea ao longo da Ilha.

### - Granito Itacorubi

Este tipo de granito ocorre encaixado em zonas de falha de direção predominantemente NNE, sendo de expressão marcante nos morros da Cruz, Cacupé (figura 3.4) e Sambaqui.

São monzo a sienogranitos, com cor castanho médio a cinza, por vezes esverdeado, de textura heterogranular média, em alguns locais podendo ser fina, com cristais de feldespato alcalino de cor castanho esverdeado, apresentando, também, textura subvulcânica, pelos agregados máficos microcristalinos. O quartzo ocorre como pequenos cristais anédricos, vítreos, intersticiais. O plagioclásio possui cor castanho, ocorrendo como cristais subédricos. As biotitas ocorrem de forma pronunciada na rocha, conferindo um aspecto escuro à rocha.

Associados a esses granitóides são comuns diques de riolito e diabásio encaixados segundo a zona de falha.



**Figura 3.4 - Granito Itacorubi do Morro do Cacupé, Santos (1997)**

### **- Riolito Cambirela**

O Riolito Cambirela é a expressão vulcânica do Granito Itacorubi. Ocorre na região sul da ilha, principalmente entre a Armação e Pântano do Sul, secundariamente no Morro da Cruz, Morro do Campeche, Ratonés e Ribeirão da Ilha.

Os seus minerais possuem cor cinza escuro ou vermelho escuro, com textura porfírica. Podem apresentar granulometria grosseira ou fina. A mineralogia mostra k-feldspato, quartzo e plagioclásio, secundariamente a biotita.

### **- Formação Serra Geral**

É representado na ilha sob a forma de diques de diabásio, de espessuras e comprimentos variados, ocorrendo sempre encaixados nos granitóides da ilha, preenchendo falhas e fraturas cuja direção principal é NE-SW e secundariamente NW-SE.

### **- Depósitos de Encosta**

Segundo Caruzo Jr. (1993), os depósitos de encostas são acumulações de material detrítico, proveniente do intemperismo de rochas graníticas que compõem os morros da ilha.

A ação climática subtropical atuante sobre esses depósitos, geralmente produz solos bem desenvolvidos.

Os depósitos de encostas recobrimo dunas ou as chamadas rampas de dissipação, são depósitos que sofreram ação marinha e eólica. De acordo com Caruzo Jr. (1993) representam o cavalgamento de dunas sobre as encostas graníticas, onde passaram a receber contribuição de sedimentos grosseiros e imaturos provenientes do cristalino, resultando num tipo de depósito que representa a mistura de sedimentos finos de origem eólica com grosseiros originários das rochas duras.

## **3.5 Unidades Pedológicas**

A Ilha de Santa Catarina apresenta características de solos tropicais e subtropicais, com uma variedade muito grande de tipos de solos, com os mais diferentes graus de evolução, desde os menos aos mais evoluídos segundo a pedogênese.

De acordo com o Mapa Pedológico do Município de Florianópolis elaborado pelo IBGE (1991), as unidades que ocorrem na região sujeitas a escorregamentos são classificadas pedologicamente como:

- Associação de Podzólico Vermelho-Amarelo Tb textura média e média/argilosa fase rochosa + Podzólico Vermelho-Escuro Tb textura argilosa relevo forte ondulado e ondulado. Substrato granito. No caso do Podzólico Vermelho-Escuro, o substrato é o diabásio.
- Associação de Podzólico Vermelho-Amarelo Tb textura média e média/argilosa cascalhenta e não cascalhenta relevo forte ondulado e montanhoso fase rochosa + Podzólico Vermelho-Escuro Tb textura argilosa relevo forte ondulado e ondulado. Substrato granito.
- Associação de Cambissolo Ta textura arenosa a média + Podzólico Vermelho-Amarelo Tb textura média/argilosa relevo suave ondulado. Substrato granito.
- Litólico relevo suave ondulado + Afloramentos de Rocha.
- Afloramento de Rocha

Este trabalho tem por objetivo estudar somente as unidades pedológicas: Podzólico Vermelho-Amarelo e Cambissolo, ambos de substrato granito da Ilha de Santa Catarina. Foram adotados estes tipos de solo em razão desta pesquisa estar baseada no horizonte C do perfil de intemperismo, por esse ser o mais suscetível a instabilidades. Na Ilha, tanto os Podzólicos Vermelho-Amarelo quanto os Cambissolos são os tipos de solo que apresentam o horizonte C mais desenvolvido, dessa forma, propiciando o estudo e análise desse horizonte.

### **3.6 Unidades Geotécnicas**

A tese de doutorado de Santos (1997) teve como objetivo de estudo os solos de Florianópolis e a elaboração de um Mapa de Unidades Geotécnicas desse município. Assim, foram mapeadas as seguintes unidades geotécnicas:

- PVg1: Associação de Podzólico Vermelho-Amarelo Tb + Podzólico Vermelho-Escuro, substrato granito, relevo forte ondulado e ondulado.

São solos oriundos do Granito Ilha e de maior ocorrência na Ilha. É o tipo de solo no qual a ocupação urbana tem causado os maiores problemas de estabilidade de encostas. O perfil típico pode apresentar toposequência, desde o horizonte A ao R, passando pelo B, B/C, C e RA.

O horizonte B geralmente apresenta coloração vermelho-amarelada e espessura na ordem 1 a 3m.

O horizonte C apresenta cores rosadas e amareladas e espessuras que chegam a 25m. Exibe a estrutura da rocha, mostrando os planos de falha e fraturas dela remanescentes, sob a forma de veios argilizados.

- PVg2: Associação de Podzólico Vermelho-Amarelo + Podzólico Vermelho-Escuro  
Tb substrato granito, relevo forte ondulado e ondulado.

São solos oriundos do Granito Itacorubi, caracterizados pela maior plasticidade e maiores espessuras, atingindo até 20m de perfil de alteração. Os horizontes A e B são de pequenas espessuras, muito consistentes, plásticos e pegajosos no primeiro metro de profundidade. O horizonte C apresenta menor plasticidade que o B, sendo bastante resistente à escavação.

Esta unidade pedológica apresenta parâmetros de resistência ao cisalhamento menos sensíveis à inundação do que os solos da unidade PVg1.

- Cambissolo substrato granito: ocorre próximo ao topo dos morros e, em função do próprio relevo, tem o horizonte B incipiente. Apresenta grande número de matacões dispersos em seu meio, horizonte C espesso e de textura variada.

Outras unidades geotécnicas encontradas em Florianópolis, tais como Podzólico Vermelho-Amarelo substrato diabásio, Cambissolo depósito de encosta, Litólico e Afloramento de Rocha, embora apresentem risco de escorregamento, não foram alvo de estudo desta dissertação que tem como objetivo analisar os solos residuais de granito de Florianópolis. As unidades Litólico e Afloramento de Rocha se enquadram melhor no estudo de mecânica das rochas.

As demais unidades referem-se a solos hidromórficos, de ocorrência geralmente associada ao relevo plano. Como esses solos não apresentam maiores problemas relacionados à estabilidade de taludes, será feita apenas uma listagem da denominação dessas unidades. Maiores detalhes referentes a essas unidades podem ser encontrados em Santos (1997).

PZsq: Podzol Hidromórfico (PZ) + Areias Quartzosas Hidromórficas (Aqsq), substrato sedimentos quaternários.

AQrd: Areias Quartzosas das rampas de dissipação.

AQsq: Areias Quartzosas substrato sedimentos quaternários.

DNse: Dunas substrato sedimentos eólicos.

Gsq: Associação de Glei + Areias Quartzosas Hidromórficas + Solo Orgânico, textura siltosa e média, relevo plano (GPH1) e Associação de Glei, textura média + Areias Quartzosas Hidromórficas, relevo plano (GPH2).

HOsq: Solos Orgânicos substrato sedimentos quaternários.

SMSq: Solos Indiscriminados de Mangue substrato sedimentos quaternários.

AQsq1: Areias Quartzosas Hidromórficas substrato sedimentos quaternários, lençol freático próximo ou à superfície do solos.

AQsq2: Areias Quartzosas Hidromórficas associadas a solos orgânicos com argila de atividade alta.

## **4 METODOLOGIA**

As etapas desenvolvidas para a obtenção dos objetivos desta dissertação consistiram desde a busca por bibliografias e estudos já existentes sobre o tema tratado, escolha da área de estudo, coleta de amostras, análise mineralógica da rocha de origem e ensaios de laboratório.

### **4.1 Escolha dos locais de amostragem**

A área de estudo escolhida foi a Ilha de Santa Catarina por ser formada por uma grande extensão de morros de rochas graníticas, que podem apresentar sérios problemas decorrentes da ocupação desordenada. Além disso, os granitos da Ilha apresentam uma grande heterogeneidade no horizonte C, sendo este horizonte, o mais suscetível à erosão, devido à forma de atuação do intemperismo, que acarreta a baixa coesão desse horizonte, aliado à grande proporção de minerais pouco intemperizados oriundos da rocha de origem. A escolha dos locais de amostragem foi baseada no mapa geotécnico elaborado por Santos (1997).

Foram analisados 8 perfis típicos de solo residual de granito de unidades geotécnicas de maior ocorrência na Ilha de Santa Catarina. Esses perfis estão localizados na região central e norte da Ilha. O Anexo 1 apresenta o mapa geotécnico do município de Florianópolis elaborado por Santos (1997) com a localização exata dos oito pontos amostrados.

As coordenadas geográficas de cada local de amostragem foram obtidas com o uso do equipamento GPs. A tabela 4.1 apresenta a identificação e localização dos locais de amostragem.

**Tabela 4.1- Identificação e localização dos locais de amostragem**

<b>Amostra</b>	<b>Coordenadas Geográficas (UTM)</b>	<b>Localização</b>
Dos Araquãs	X: 74552911,9 Y: 694433907,9	Rua João Pio Duarte Silva com a Rua Ana Maria Nunes – Bairro Córrego Grande.
Praia Mole	X: 75317166,08 Y: 694478955,4	Margem direita da rodovia SC – 406, a 200m da entrada principal da Praia Mole (no sentido Lagoa da Conceição – Barra da Lagoa).
Subida Lagoa	X: 74768829,3 Y: 649478955,4	Margem direita da SC 404, no início da subida do Morro da Lagoa da Conceição - sentido centro – Lagoa da Conceição, a aproximadamente 200m após a rótula de entrada para o Parque São Jorge.
Cacupé	X: 74546698,45 Y: 695162434,7	Rodovia Aroldo Soares Glavam a 600m da SC – 401, no Morro do Cacupé.
SC - 401	X: 75079501,67 Y: 695951542,7	Margem direita da rodovia SC – 401, no sentido centro – Canasvieiras, na travessia urbana Vargem Grande.
João Paulo	X: 74677180,87 Y: 694948070,8	Margem direita da rodovia SC – 401, no sentido centro – Canasvieiras, em frente ao cemitério Jardim da Paz.
Córrego Grande	X: 74529611,46 Y: 694463421,4	Rua João Pio Duarte Silva, em frente ao prédio da Engenharia Civil da UFSC – Bairro Córrego Grande.
Serrinha	X: 74422429,47 Y: 694497595,7	Rua Jornalista Tito de Carvalho, numa encosta do Morro da Cruz – Bairro Serrinha.

## 4.2 Coleta de amostras

Após definição dos pontos de amostragem, foram programadas saídas de campo para coleta de amostras.

O material foi coletado em taludes naturais ou escavações, eliminando-se a capa superficial sujeita a ressecamento, lixiviação e contaminação.

Dos perfis investigados, realizaram-se descrições criteriosas de suas características físicas e morfológicas mediante técnicas de análise visual-táctil. Foram seguidas as indicações de Lemos e Santos (1982), que estabelecem técnicas de levantamento de campo para solos, comumente empregadas por pedólogos, mas também, úteis para fins geotécnicos. Para cada perfil foram observados: seqüência de horizontes, espessura de cada horizonte, altura e inclinação do talude, textura, minerais principais, resquícios estruturais da rocha, macroestrutura e profundidade de coleta das amostras.

As amostras deformadas foram coletadas em sacos plásticos, e utilizadas para análise granulométrica.



As amostras indeformadas foram coletadas com modelagem de blocos indeformados. Posteriormente, foram moldados em laboratório corpos de prova de cisalhamento direto e adensamento. As amostras foram cuidadosamente acondicionadas em sacos plásticos, devidamente etiquetadas e armazenadas em câmara úmida. Esses procedimentos visaram manter a integridade da amostra.

Nos locais de amostragem onde não foi possível a modelagem de blocos indeformados devido à baixa cimentação entre os grãos do solo, os moldes de cisalhamento direto foram utilizados “in situ”, na coleta de amostras.

### **4.3 Análise Mineralógica**

Em todos os perfis investigados foram verificados afloramentos rochosos, sendo possível a coleta de amostras da rocha sã, com a finalidade de determinação da composição mineralógica, para verificação da influência da mesma na formação e desenvolvimento dos solos originados dessas rochas.

Essas amostras foram enviadas ao DNPM (Departamento Nacional de Pesquisa Mineral), a cargo do geólogo Joni de Lima Pires, onde foram submetidas à análise petrográfica.

### **4.4 Ensaio de Laboratório**

Os ensaios de laboratório pautaram-se na caracterização do material e na determinação do comportamento mecânico quanto à resistência ao cisalhamento e compressibilidade dos locais de amostragem, procurando relacionar a resistência do solo com sua distribuição granulométrica.

A caracterização do solo foi baseada em ensaios de granulometria e nas propriedades fornecidas pelos relatórios que acompanham o Mapa Pedológico. Os ensaios de limite de plasticidade e limite de liquidez não foram realizados, porque seus valores não são satisfatórios para a caracterização de solos tropicais. Bastos (1991) aborda sobre as principais razões que limitam o emprego dos limites de Atterberg para classificação dos solos tropicais e subtropicais, que parecem estar ligadas aos procedimentos de ensaios. Entre as principais questões discutíveis envolvendo esses ensaios, têm-se: os métodos de preparação das amostras, relacionados ao grau de secagem e destorroamento e a cura das amostras; e a forma de alteração do teor de umidade nos ensaios. Outra questão abordada por Bastos (1991) é a

pouca valia dos dados de limites de consistência para solos saprolíticos grossos, para os quais a porcentagem da fração mais fina ensaiada é pequena em relação ao todo.

Para a resistência ao cisalhamento foi utilizado o ensaio de cisalhamento direto. Este consiste na imposição de um plano horizontal de ruptura e permite condições de drenagem rápida.

A compressibilidade dos solos foi avaliada por meio de ensaios de compressão confinada. Adotou-se essa denominação, e não de adensamento, pelo fato de que em solos tropicais nem sempre ocorre o fenômeno de adensamento.

Em todos os locais de amostragem, os taludes apresentaram planos de argilização (espécie de veios). Em alguns locais, observaram-se maior quantidade e maiores espessuras. Esses planos representam zonas de fraqueza, regiões de fluxo d'água, que podem vir a causar ruptura, dependendo da situação global do talude. Esses veios apresentam características distintas do maciço granítico como um todo, isto é, planos com material bem diferente, tanto na coloração, textura e composição da fração argilosa, como na alta plasticidade.

Dessa forma, as amostras de cisalhamento direto foram moldadas seguindo a orientação desses planos argilizados ou de maneira que os mesmos estivessem contidos dentro do molde do cisalhamento, para que, assim, os resultados obtidos representem a situação real encontrada “in situ”.

#### **4.4.1 Ensaio de granulometria**

A análise granulométrica por peneiramento e sedimentação dos solos foi realizada de acordo com a norma NBR 7181/84 (solo – análise granulométrica). Os resultados são expressos em função da escala granulométrica da ABNT dada pela NBR 6502/95 (solos e rochas).

Para a caracterização do solo foi coletado material representativo do solo residual granítico, horizonte C, dos respectivos locais de amostragem.

As amostras para a realização deste ensaio foram secas ao ar, depois foi feito o destorroamento dos grãos. Esse destorroamento mostrou aspectos questionáveis, devido à presença constante de grãos de feldspato alterados em diversos tamanhos e em diferentes estágios de friabilidade. Com a preparação das amostras, tais grãos eram reduzidos a diferentes dimensões em função do grau de destorroamento. Houve uma grande preocupação para que fosse evitada essa quebra de grãos durante esse processo, porém, às vezes, isto se mostrava inevitável, gerando uma pequena dispersão nos resultados.

Foi utilizado o defloculante, hexametáfosfato de sódio, para a determinação da fração argila, principalmente para os solos que sofreram uma maior atuação do intemperismo, apresentando uma grande quantidade de fração fina.

Através desse ensaio foi feita a verificação da heterogeneidade dos horizontes C do granito da Ilha de Santa Catarina, analisando o tamanho dos grãos, textura e cor desse horizonte.

#### **4.4.2 Ensaio de Cisalhamento Direto**

Os ensaios de cisalhamento foram realizados segundo a metodologia ASTM.

Para cada local de amostragem foram moldados 8 amostras para o ensaio de cisalhamento direto: 4 amostras foram rompidas na umidade natural, para obtenção de parâmetros de resistência na condição real encontrada “in situ”; outras 4 amostras foram rompidas inundadas, para obtenção de parâmetros de resistência representativos de uma situação crítica, devido à ocorrência de chuvas intensas. Para alguns locais de amostragem, foram moldadas apenas 6 amostras de cisalhamento, 3 amostras no estado natural e 3 amostras no inundado. Isso ocorreu devido à dificuldade de moldagem de amostras do horizonte C de granito, que decorria na perda parcial da amostra indeformada.

As amostras foram submetidas a tensões de 30 kPa, 70 kPa, 150 kPa, 200 kPa. As baixas tensões representam a pressão realmente atuante no campo, relativa à espessura de solo existente. Já as tensões mais elevadas têm por objetivo simular o comportamento do solo sob uma eventual sobrecarga que possa vir a ser imposta ao talude.

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados sempre com a mesma velocidade de carregamento de 0,005cm/s e as amostras foram rompidas em torno de 50 minutos. Essas amostras possuíam dimensões de 2,0cm de altura e 10,16 cm de lado. Para a etapa de consolidação, as amostras eram submetidas ao carregamento normal até a constância de volume, não sendo estipulado um tempo fixo para essa primeira etapa. As amostras no estado natural atingiam a constância de volume em torno de uma hora de consolidação e as no estado inundado em torno de duas horas. As deformações medidas nesta 1ª etapa são a causa da cravação dos dentes da placa de distribuição de tensão tangenciais na amostra e também a deformação de acomodações do próprio solo.

Davison Dias (1987), ao ensaiar amostras de horizonte C de granito da região de Porto Alegre, verificou que ocorria pouca diferença quando o tempo de consolidação variava de 2h para 24h. Este comportamento é devido à alta permeabilidade deste tipo de solo.

#### **4.4.3 Ensaio de Compressão Confinada**

O ensaio de compressão confinada foi realizado segundo a norma NBR 12007/90.

O estudo da compressibilidade dos solos compreende a análise das deformações do solo submetido a diferentes estágios de carregamento.

A compressibilidade dos solos foi avaliada por meio de ensaios de compressão confinada, com a finalidade de verificar a ocorrência de um comportamento pré-adensado virtual, nas condições natural e inundada.

Devido à alta permeabilidade dos solos residuais de granito, adotou-se como 4 horas o tempo de duração de cada estágio. Davison Dias (1987) e Bastos (1991), ao realizarem ensaios de compressão confinada em solos residuais de granito da região Metropolitana de Porto Alegre, verificaram que para um período de 4 horas de duração de cada estágio, os recalques eram muito pequenos, dando diferenças inferiores a 0,001 no índice de vazios.

## 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões decorrentes do estudo e análise das propriedades geotécnicas dos solos residuais de granito de Florianópolis.

### 7.1 Conclusões

Este trabalho analisou solos residuais de granito da Ilha de Santa Catarina. Os pontos amostrados estão localizados na parte central e norte da Ilha.

Foram analisados 8 perfis típicos de unidades geotécnicas de maior predominância em Florianópolis. Segundo o mapa geotécnico elaborado por Santos (1997), essas unidades são classificadas como Podzólico Vermelho-Amarelo substrato granito, Cambissolo substrato granito e Cambissolo substrato depósito de encosta.

As unidades com substrato granito estudadas ocorrem num relevo fortemente ondulado a ondulado, podendo apresentar espessuras variáveis e susceptibilidade a erosão e a escorregamentos. O horizonte C guarda a estrutura da rocha granítica, sendo verificado na maioria dos perfis analisados a presença de matacões.

Os perfis de solos de graníticos da Ilha de Santa Catarina se caracterizam por apresentar um horizonte C, na maioria das vezes, bem desenvolvido, com grandes espessuras. O desenvolvimento dessas espessuras consideráveis de solo pode estar relacionado com o grau de fraturamento dos granitos da região e com a declividade do relevo, que permite uma maior infiltração de água no solo.

As unidades com substrato depósito de encosta desenvolvem sobre a rocha residual granítica, ocorrendo na transição entre o morro e a planície. Podem apresentar problemas de instabilidade quando o talude natural for cortado.

A mineralogia da rocha granítica de Florianópolis apresenta concentração mineralógica não muito variável de uma região para a outra. Apresentam como característica principal o baixo teor de quartzo, que pode resultar em solos com teores de fração areia não muito elevados e maior grau de alteração. Os solos saprolíticos são em geral, formados por grãos de quartzo, feldspatos em decomposição e argila.

Os resultados dos ensaios granulométricos, assim como as comparações realizadas com os resultados obtidos por outros autores que estudaram solos residuais de granito da região metropolitana de Porto Alegre e Florianópolis, comprovaram a grande heterogeneidade

característica desse tipo de solo. A textura dos solos saprolíticos está relacionada com a mineralogia da rocha de origem, mas ainda, apresenta grande influência do grau de atuação do intemperismo, que na maioria das vezes, é variável de um local para outro.

Entre os índices físicos, os valores do teor de umidade, grau de saturação e índice de vazios foram os que mostraram maiores dispersões. O tipo de solo estudado tem por característica ser parcialmente saturado, com grau de saturação entre 45 e 75% e peso específico seco entre 12 e 15 kN/m<sup>3</sup>. Os índices de vazios ficaram em torno de 0,85 para os solos de granulometria mais grosseira e 1,05 para os de granulometria mais fina.

Os ensaios de compressibilidade foram realizados com o objetivo de verificação do comportamento pré-adensado desse tipo de solo, ou seja, determinação da pressão de pré-adensamento virtual. Os valores obtidos para essa pressão foram bastante variáveis (de 175 a 330 kPa na condição de umidade natural e 96 a 260 kPa quando inundado), considerando os ensaios com carregamento vertical superior a 320 kPa.

As deformações máximas obtidas sob compressão confinada foram da ordem de 21 % para tensões de até 1280 kPa. Os recalques foram imediatos, sendo que em média 60% das deformações ocorreram instantaneamente à aplicação das cargas e 90% num período de 4 horas. A inundação pouco influenciou os valores dos recalques instantâneos.

Na resistência ao cisalhamento dos solos analisados foi verificada significativa perda da coesão em decorrência da inundação. Os valores encontrados para o intercepto coesivo variaram de 11 a 58 kPa na condição de umidade natural. Com a inundação, esses valores sofreram certa redução, em algumas amostras a coesão atingiu valor nulo ou muito próximo de zero, obtendo-se, assim, resultados variando de 0 até 14 kPa.

Os valores para os ângulos de atrito obtidos não sofreram tanta influência da inundação, apresentando perdas pouco significativas. Para teores de umidade natural os valores do ângulo de atrito variaram de 33,2 a 54,6°. Com a inundação esses valores diminuiram para 32 a 43,3°.

O ângulo de atrito apresenta relação direta com a textura do solo. Foram verificados valores maiores do ângulo de atrito para solos mais granulares (grosseiros) e ângulos menores para solos de textura mais fina.

## 7.2 Sugestões

Considerando os resultados obtidos e os problemas detectados durante o trabalho, são mencionadas as seguintes sugestões:

- Continuação do estudo dos solos residuais de granito, coletando amostras na parte sul da Ilha de Santa Catarina, pois o presente trabalho ficou restrito a pontos de amostragem na parte centro – norte da Ilha.
- Tentativa de identificação pontual da litologia do granito em estudo (ocorrência do granito Ilha ou Itacorubi).
- Realização de análises mineralógicas de rochas por lâminas delgadas e análises mineralógicas de argilas por meio de difratograma de raio X de todos os pontos amostrados.
- Estudo mais específico dos solos residuais de granito de Florianópolis, avaliando variáveis que necessitam de métodos de ensaios especiais, tais como as cimentações, com a utilização de amostras maiores, e a sucção, com o emprego de ensaios de sucção.
- Determinação do comportamento compactado desse tipo de solo, com a investigação das propriedades de compactação e resilientes, devido ao constante emprego dos solos de granito em obras rodoviárias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Análise Granulométrica: NBR 7181. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solos e Rochas: NBR 6502. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Ensaio de Adensamento Unidimensional: NBR 12007. Rio de Janeiro, 1990.

AUGUSTO FILHO, O. (1992) **Caracterização Geológico-Geotécnica Voltada Estabilização de Encostas: uma Proposta Metodológica**. In: 1<sup>a</sup>. COBRAE, Rio de Janeiro. Anais, ABMS/ABGE, v.2, p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O., VIRGILI, J.C. (1998) **Estabilidade de Taludes**. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Ed.). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, cap. 15, p. 243-269.

BASTOS, C. A. B. (1991) **Mapeamento e Caracterização Geomecânica das Unidades Geotécnicas de Solos Oriundos dos Granitos, Gnaisses e Migmatitos de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS.

BRAND, E. W., PHILLIPSON, H. B. (1985) **Review of International Practice for the Sampling and Testing of Residual Soils**. A review of international practice. Hong Kong: Scorpion Press. p.7-21.

CARUZO JUNIOR, F (1993). **Mapa geológico da Ilha de Santa Catarina**. Porto Alegre: Centro de Geologia Costeira e Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Notas Técnicas).

CHEUNG, C. K., GREENWAY, D. R., MASSEY, J. B. (1988) **Direct Shear Testing of a Completely Decomposed Granite**. In: International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, 2, Singapore. Proceedings... Rotterdam: A. A. Balkema. V.1, p.109-118.

CRUDEN, D. M., VARNES, D. J. (1996) **Landslide Types and Processes**. In: TURNER, A.K.; SHUSTER, R.L. (eds), Landslides Investigation and Mitigation. Transportation Research Board Special Report 247. National Research Council, Washington DC, p.36-75.

CRUZ, P. T. da. (1989) **Raciocínios de Mecânica das Rochas Aplicados a Saprólitos e Solos Saprolíticos**. In: Colóquio de Solos Tropicais e Subtropicais e suas Aplicações em Engenharia Civil. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, p.121-146.

DAVISON DIAS, R. (1987) **Aplicação de Pedologia e Geotecnia no Projeto de Fundações de Linhas de Transmissão**. Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ.



DAVISON DIAS, R. (1988) **Considerações Sobre a Resistência ao Cisalhamento em Solos Superficiais Parcialmente Saturados Baseados na Pedologia**. In: Simpósio Sobre Novos Conceitos em Ensaio de Campo e Laboratório em Geotecnia, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: COPPE/ ABMS/ ABGE.

DAVISON DIAS, R. (1989) **Geomecânica dos Solos Lateríticos do Sul do Brasil**. In: Colóquio de Solos Tropicais e Subtropicais e suas Aplicações em Engenharia Civil. Porto Alegre - RS: CPGEC/UFRGS, p.96-120.

DAVISON DIAS, R., ARNOLD, G. P., PINHEIRO, R. B., ABITANTE, E. (1996) **Mecânica dos Solos Laterizados do Norte Rio Grande do Sul Visando Engenharia Civil**. Porto Alegre - RS: CPGEC/ UFRGS e CPGEC/UFSC, Relatório Técnico.

DEARMAN, W. R., BAYNES, F. J., IRFAN, T. Y. (1978) **Engineering Grading of Weathered Granite**. Engineering Geology, v.12, n.4, p.345-374.

GUIDICINI, G., NIEBLE, C. M. (1983) **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. Edgard Blücher Ltda. 2ª ed. São Paulo - SP.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Divisão de Geociências de Santa Catarina – IBGE-DIGEI/SC (1991) **Mapa Temático do Município de Florianópolis: mapas e memoriais descritivos (geologia, geomorfologia, solos e vegetação)**. Florianópolis.

IPIUF (1998) **Gerência de Planejamento: Instituto de planejamento Urbano de Florianópolis – SC**.

LEMONS, R. C., SANTOS, R. D. (1982) **Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 45 p.

OLIVEIRA, J. B., JACOMINE, P.K.T., CAMARGO, M.N. (1992). **Classes Gerais de Solos do Brasil: Guia auxiliar para seu conhecimento**. Editora Funep. São Paulo - SP.

PEDROSA, M. G. A. (1994) **Análise de Correlações entre Pluviometria e Escorregamentos de Taludes**. Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ.

PINHEIRO, R. J. B. (2000) **Estudo de Alguns Casos de Instabilidade da Encosta da Serra Geral no Estado do Rio Grande do Sul**. 318p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS.

RADWAN, A. M. (1988) **Properties of Granitic Soil in Aswan, Egypt**. In: International Conference on Geomechanics in Tropical Soils. Singapore. Proceedings ... Rotterdam: A.A. Balkema.

RAIMUNDO, H. A. (1998) **Aspectos Geotécnicos e Pluviométricos Associados a Instabilidade de Encostas em Florianópolis**. Dissertação ( Mestrado em Engenharia) –

Escola de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina.

SANDRONI, S. S. (1985) **Sampling and Testing of Residual Soils in Brazil**. In: Brand, E. W., PHILLIPSON, H. B. (Eds). **Sampling and Testing of Residual Soils: a review of international practice**. Hong Kong: Scorpion Press. P. 31-50.

SANTOS, G.T. (1997) **Integração de Informações Pedológicas, Geológicas e Geotécnicas Aplicadas ao Uso do Solo Urbano em Obras de Engenharia**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS.

SIMONSOM, R. W. (1959) **Outline of a Generalized Theory of Soils Genesis**. Soil Sci. Soc. Proc.

VARGAS, M. (1951) **Resistência e Compressibilidade de Argilas Residuais**. São Paulo: IPSIS Tese (disciplina de mecânica dos solos e fundações) – Escola Politécnica, USP.

VARGAS, M. (1970) **Origem, Propriedade e Natureza dos Solos Naturais Indeformados**. COPPE/UFRJ.

VARNES, D. J. (1978) **Slope Movement and Types and Processes**. In: SCHUSTER, R.L.; KRIZEK, R.J. (eds), **Landslides, Analysis and Control**. Transportation Research Board Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington DC, p. 11-33.

WOLLE, C. M. (1980) **Taludes Naturais – Mecanismos de Instabilização e Critérios de Segurança**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP, São Paulo.

## **ANEXO 1**

Neste anexo é apresentado o mapa geotécnico do município de Florianópolis elaborado por Santos (1997), em uma escala representativa. São inseridos nesse mapa os locais de coleta de amostras para melhor visualização das unidades geotécnicas solicitadas.