

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

RETROANÁLISE DO DESLIZAMENTO DE ENCOSTA, ASSOCIADO À PRESENÇA
DE DIQUE, OCORRIDO NA RODOVIA SC-401, FLORIANÓPOLIS/SC.

Felipe Golin Frederico

Trabalho de Conclusão de Curso submetido a banca examinadora para a obtenção do
Grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Martini de Oliveira

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Frederico, Felipe
RETROANÁLISE DO DESLIZAMENTO DE ENCOSTA, ASSOCIADO À
PRESENÇA DE DIQUE, OCORRIDO NA RODOVIA SC-401,
FLORIANÓPOLIS/SC. / Felipe Frederico ; orientador, Orlando
Martini de Oliveira, 2019.
77 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia,
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Geologia. 2. Maciço Rochoso, Retroanálise,
Estabilidade de Taludes. I. Martini de Oliveira, Orlando .
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Geologia. III. Título.

Felipe Golin Frederico

RETROANÁLISE DO DESLIZAMENTO DE ENCOSTA, ASSOCIADO À PRESENÇA
DE DIQUE, OCORRIDO NA RODOVIA SC-401, FLORIANÓPOLIS/SC.

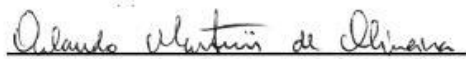
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Geologia, e aprovado em sua forma final pelo Coordenador do Curso de Geologia.

Florianópolis, 09 de dezembro de 2019.



Prof. Mariyaldo dos Santos Nascimento, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Prof.^a Orlando Martini de Oliveira, Dr.
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

PI 

Prof.^a Juan Antônio Altamirano Flores, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a cidade de Florianópolis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma na realização deste trabalho de conclusão de curso, onde encerro uma etapa muito importante da minha vida. Agradeço com todo carinho a meu pai José Frederico Neto, minha mãe Jussara Golin Frederico e minha irmã Julia Golin Frederico pelo total apoio e confiança nesta jornada.

Aos meus colegas de rocha e amigos de faculdade que tive o imenso prazer de conhecer e conviver, contribuindo para o meu crescimento profissional e pessoal. Um agradecimento especial aos colegas de graduação Bernardo Salum e Ricardo Rosa, tanto pelo apoio moral quanto pela ajuda em etapas de campo e discussões deste presente trabalho. Agradeço também meu orientador Orlando de Oliveira Martini pelas diversas manhãs de aprendizado e contribuição para a realização do trabalho, sempre muito tranquilo e amigável.

A Universidade Federal de Santa Catarina que me proporcionou momentos muito gratificantes. A todo corpo docente da UFSC , em especial aos professores pelo conhecimento passado.

A todos, muito obrigado!

RESUMO

O relevo da Ilha de Santa Catarina é moldado por seus maciços rochosos onde são seccionados por intrusões básicas conhecidas por diques, estas com direção preferencial nordeste e complementado por suas planícies quaternárias. Solos residuais de granito são abundantes em quase toda costa sul brasileira. No litoral do município, por se tratar de um clima subtropical, o intemperismo químico possibilita a formação de perfis de solo mais espessos. As discontinuidades geológicas, presentes nos contatos entre o granito e as intrusões básicas, também influenciam no intemperismo, atuando como facilitadores no fluxo de água. Em Florianópolis, diversas ocorrências de instabilidade de encostas estão relacionadas à presença de diques de diabásio intrusivos ao granito ou preenchendo seus falhamentos. O trabalho em questão aborda um talude localizado na SC-401, uma das principais vias da cidade, próximo a entrada do bairro Cacupé, onde em 2008; mais precisamente no dia 23 de novembro, devido à intensas chuvas, veio a romper, obstruindo por dias a rodovia e acarretando a morte de um caminhoneiro que passava por ali no momento do deslizamento. Visando todos esses problemas, o trabalho realizou um levantamento das características geológicas dos maciços por meio de visitas a campo e ensaios laboratoriais, classificou-os através de métodos empíricos e por fim efetuou a retroanálise do deslizamento com a ajuda do software GeoSlope e ferramenta SLOPE/W para as condições do talude totalmente saturado e com nível de água de 3 metros.

Palavras-chave: 1. Maciço Rochoso. 2. Retroanálise. 3. Fator de Segurança 4. Estabilidade de Talude

ABSTRACT

The relief of Santa Catarina Island is shaped by its rocky massifs where they are sectioned by basic intrusions known as dykes, these with a preferential northeast direction and complemented by its quaternary plains. Granite residual soils are abundant in almost every southern Brazilian coast. As it is a subtropical climate on the coast of the city, chemical weathering enables the formation of thicker soil profiles. Geological discontinuities, present in the contacts between granite and basic intrusions, also influence weathering, acting as facilitators in water flow. In Florianópolis, several occurrences of slope instability are related to the presence of granite intrusive diabase dikes or filling their faults. The work in question deals with a slope located in SC-401, one of the main roads of the city, near the entrance of Cacupé neighborhood, where in 2008; More precisely, on November 23rd, due to heavy rains, came to rupture, obstructing the highway for days and causing the death of a trucker passing by at the time of the slide. Aiming at all these problems, the work carried out a survey of the geological characteristics of the massifs through field visits and laboratory tests, classified them by empirical methods and finally made the retroanalysis with the help of GeoSlope software and SLOPE / W for fully saturated and 3 meter water level slope conditions.

Keywords: 1. Rock Massif. 2. Retroanalyse. 3. Safety Factor. 4. Slope Stability

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem aérea do deslizamento ocorrido em 1996, vista de norte para sul.....	24
Figura 2 - Dique básico fraturado.....	25
Figura 3 - Estimativa da resistência à compressão uniaxial.....	28
Figura 4 - Orientação da descontinuidade onde α é a direção do pendor e β o pendor.....	30
Figura 5 – Gráfico ϕ x c	33
Figura 6 - ϕ x FS crítico.....	34
Figura 7 - Horizontes de solo.....	36
Figura 8 – Rastejos.....	40
Figura 9 - Escorregamento Rotacional.....	41
Figura 10 - Escorregamento Translacional.....	41
Figura 11 - Escorregamento em Cunha.....	42
Figura 12 - Localização da área de estudo.....	43
Figura 13 - Localização da área de estudo com os limites do dique básico.....	44
Figura 14 - Chuvas diárias ocorridas no mês de novembro de 2008 (Dados registrados na Estação Florianópolis).....	45
Figura 15 - Interdição da rodovia SC-401 pelo material escorregado.....	46
Figura 16 - Local antes do deslizamento.....	47
Figura 17 - Local após a deslizamento.....	47
Figura 18 - Local em obras.....	48
Figura 19 - Local nos dias atuais.....	48
Quadro 20 - Coluna estratigráfica proposta para as rochas da ISC.....	49
Figura 21 - Exame de diques Florianópolis.....	52
Figura 22 - Fluxograma do presente trabalho.....	55
Figura 23 - Imagens do levantamento de campo do maciço.....	56
Figura 24 - Amostras macroscópicas do diabásio e granito, respectivamente.....	57
Figura 25 - Amostra do diabásio vista de um microscópio petrográfico em luz natural e polarizada, respectivamente.....	57
Figura 26 - Amostra do granito vista de um microscópio petrográfico em luz natural e polarizada, respectivamente.....	58
Figura 27 - Amostras do diabásio.....	59
Figura 28 - Amostras secando em estufa e sob pressão saturada, respectivamente.....	59
Figura 29 - Representação das curvas de nível da região atingida pelo escorregamento anterior a sua ocorrência.....	60
Figura 30 - Representação das curvas de nível da região atingida pelo escorregamento após a	

sua ocorrência.....	60
Figura 31 - Estereograma confeccionado pelo software ROCSCIENCE DIP 6.	64
Figura 32 - Afloramento do diabásio na margem da rodovia SC-401.....	64
Figura 33 - Imagem pós-escorregamento mostrando a camada espessa de solo deslocada. ..	66
Figura 34 - Superfície natural do talude com superfície de ruptura crítica definida.	67
Figura 35 - Croqui de localização dos indicadores de nível d'água.....	68
Figura 36 - Gráfico coesão vs ângulo de atrito para solo saturado.	69
Figura 37 - Gráfico FS crítico vs ângulo de atrito para solo saturado.....	70
Figura 38 - Retroanálise para solo saturado.	71
Figura 39 - Gráfico coesão vs ângulo de atrito para nível de água de 3 metros.....	72
Figura 40 - Gráfico FS crítico vs ângulo de atrito para NA 3 metros.	72
Figura 41 - Retroanálise para NA de 3 metros.	73

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Classificações geomecânica do sistema RMR.....	26
Quadro 2 - Correção relacionada com a orientação das descontinuidades.	27
Quadro 3 - Classificação dos maciços rochosos de acordo com o RMR.....	27
Quadro 4 - Classificação Geomecânica SMR, fator de ajustamento para a orientação das descontinuidades (F1, F2, F3).	31
Quadro 5 - Fator de ajuste segundo o método de escavação (F4).....	31
Quadro 6 - Classificação da estabilidade.	32
Quadro 7 - Grupos de solos segundo a classificação MCT.....	37
Quadro 8 - Classificação proposta por Varnes.	38
Quadro 9 - Classificação proposta por Augusto Filho.	39
Quadro 10 - Coluna litoestratigráfica proposta para os depósitos da planície costeira da planície costeira da Ilha de Santa Catarina.....	50
Quadro 11 - Resultados dos ensaios de caracterização dos solos residuais de granito.	54
Quadro 12 - Resultados do levantamento sistemático das descontinuidades do maciço rochoso de diabásio.	63
Quadro 13 - Resultados obtidos pela classificação SMR.	65
Quadro 14 - Resumo dos dados pluviométricos obtidos na UCAD e série histórica para Florianópolis.	68
Quadro 15 - Resumo retroanálise.	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

DEINFRA - Departamento Estadual de Infra-Estrutura

ISC – Ilha de Santa Catarina

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

INA – Indicador de Nível de Água

NA – Nível de Água

MCT - Miniatura Compactada Tropical

UCAD – Unidade de Conservação Ambiental

RQD - Rock Quality Designation

SMR – Slope Mass Rating

RMR – Rock Mass Rating

LABLAM – Laboratório de Lâminação

LMO – Laboratório de Microscopia Ótica

IAEg - Associação Internacional de geologia e Engenharia

FS – Fator de Segurança

ISRM - Método para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos

LISTA DE SÍMBOLOS

Φ – Ângulo de atrito

Jv – somatório do número de descontinuidades por unidade de comprimento

$Esp(i)$ - corresponde ao espaçamento

n - número de famílias de descontinuidades

α_s : direcção do pendor do talude

α_j : direcção do pendor das diáclases

β_s : pendor do talude

β_j : pendor das diáclases

γ_{nat} – peso específico natural

γ_{sat} – peso específico saturado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
1.1. OBJETIVOS	22
1.1.1. <i>Objetivo Geral</i>	22
1.1.2. <i>Objetivos Específicos</i>	22
1.2. JUSTIFICATIVA	22
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1. HISTÓRICO DA ÁREA	23
2.2. FRATURAMENTO DE MACIÇO ROCHOSO	24
2.3. CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS	25
2.3.1. <i>Classificação de Bieniawski ou sistema RMR (Rock Mass Rating)</i>	25
2.3.1.1. RESISTÊNCIA DA ROCHA INTACTA.....	28
2.3.1.2. ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD)	29
2.3.2. <i>Classificação geomecânica de romana SMR (Slope Mass Rating)</i>	30
2.4. RETROANÁLISE	32
2.5. PEDOLOGIA	34
2.5.1. <i>Classificação dos solos</i>	34
2.5.1.1. CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA.....	35
2.5.1.2. CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA	35
2.5.1.3. OUTRAS CLASSIFICAÇÕES.....	36
2.6. MOVIMENTOS DE MASSA	37
2.6.1. <i>Deslizamentos de encostas</i>	37
2.6.1.1. RASTEJOS.....	39
2.6.1.2. ESCORREGAMENTOS.....	40
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
3.2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	44
3.2.1. <i>O deslizamento de 2008</i>	44
3.2.2. <i>Quadro evolutivo do local do deslizamento</i>	46
3.3. GEOLOGIA REGIONAL	48
3.4. GEOLOGIA LOCAL	50
3.4.1. <i>Diques de Diabásio</i>	50
3.4.2. <i>Granito Ilha (Suíte Pedras Grandes)</i>	52
3.5. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO RESIDUAL DE GRANITO	53
4. MATERIAIS E MÉTODO	55

4.1. LEVANTAMENTOS DE CAMPO	55
4.2. TRABALHOS DE LABORATÓRIO	56
4.2.1. <i>Análise mineralógica</i>	56
4.2.2. <i>Metodo para determinação de porosidade/densidade saturado</i>	58
4.3. RETROANÁLISE.....	59
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
5.1. CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO DE DIABÁSIO PELO MÉTODO EMPÍRICO SMR	62
5.2. RETROANÁLISE DO DESLIZAMENTO	65
6. CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS	75

1. INTRODUÇÃO

Deslizamentos de encostas são eventos naturais ou induzidos e fazem parte da dinâmica superficial de evolução da paisagem. Esses processos moldam o relevo ao longo do tempo, transportando o material de áreas fonte para as partes mais baixas, próximas à linha de base de sedimentação das bacias onde ocorrem tais movimentos (BIGARELLA *et al*, 1996). Podem ser classificados em diversos tipos de movimentos como deslizamentos, tombamento de blocos, rastejo e corridas de detritos (AUGUSTO FILHO, 1994). Nas áreas urbanas, os deslizamentos causam transtornos à população, pois danificam a infraestrutura dos municípios, podem causar a interrupção dos serviços de abastecimento de água e energia elétrica, provocam danos materiais aos atingidos e podem ainda ocasionar a perda de vidas (AUGUSTO FILHO, 1994). A engenharia geotécnica tem uma vasta área de abrangência, como a delimitação dos comportamentos físicos, mecânicos e geológicos dos materiais, compressibilidade, resistência ao cisalhamento e permeabilidade dos solos. Como exemplos de algumas áreas de aplicações na geotecnia têm-se estabilidade de taludes, construção de rodovias, projetos como aterros sanitários e água subterrânea até a parte de fundações de barragens, edifícios, pontes, etc (DAS, 2007).

O uso e ocupação do solo em zonas urbanas é um fato preocupante no Brasil. Existem cada vez mais áreas críticas devido o processo de expansão desordenada. Estes casos mostram a necessidade de um conhecimento das características dos terrenos frente a esta ocupação acelerada. Segundo Dias (1995), o Brasil apresenta mais de 80% do seu território coberto por solos tropicais e subtropicais com comportamento particular diferindo, em muitos aspectos, dos tradicionais solos estudados nas Referências Bibliográficas. Vários tipos de rochas são encontradas no território brasileiro e através da ação dos processos geológicos e pedogenéticos, são os formadores dos perfis de solos.

Solos residuais de granito são abundantes ao longo da costa brasileira, entre os estados do Rio Grande do Sul e da Bahia. No litoral da Ilha de Santa Catarina, por tratar-se de uma área de clima subtropical, a intensidade com que estes processos ocorrem, principalmente o intemperismo químico, possibilita o desenvolvimento de espessos perfis de solos saprolíticos, os quais podem ser considerados solos tropicais. Descontinuidades geológicas também influenciam a intensidade e forma com que ocorrem processos de intemperismo e alteração, já que aumentam a área superficial da rocha exposta à degradação e atuam como facilitadores ao fluxo de água (HEIDEMANN, 2015).

Segundo Raimundo (1998), na ilha de Santa Catarina, diversas ocorrências de instabilidades em encostas estão relacionadas a presença de diques de diabásio intrusivos ao granito ou preenchendo falhamentos no granito. Estes diques têm grande influência na forma atual do relevo de diversos morros, além de coordenarem o fluxo de água subterrâneo, dadas suas características de maior

fraturamento e permeabilidade. Por apresentarem maior fraturamento e estarem expostos ao intemperismo, principalmente químico, devido a circulação d'água, os diques de diabásio, nas áreas de granito, alteram-se mais rapidamente a solos argilosos, favorecendo os escorregamentos em encostas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa consiste em realizar a retroanálise do deslizamento de encosta ocorrido em 2008 na rodovia SC-401.

1.1.2. Objetivos Específicos

A região onde ocorreu o deslizamento de encosta está situada em um maciço rochoso de granito com presença de um dique de diabásio. Portanto, para se atingir o objetivo geral os objetivos específicos envolvem estudos nestes dois tipos de maciço rochoso. Os objetivos específicos são os seguintes:

- Realizar um levantamento das características das discontinuidades dos maciços rochosos;
- Obter as características geológicas das rochas através de estudos de campo e de lâmina petrográfica;
- Classificar os maciços rochosos através de métodos empíricos;
- Determinar os condicionantes geotécnicos associados ao deslizamento de encosta estudado nesta pesquisa;
- Realizar a retroanálise do escorregamento.

1.2. JUSTIFICATIVA

Este projeto tem enfoque nos deslizamentos de encostas, os quais trazem enormes prejuízos econômicos, bloqueiam vias expressas e, com frequência, levam à perda de muitas vidas. Com base no histórico de deslizamentos de encostas na Ilha de Santa Catarina; os ocorridos na rodovia SC-401, assim como o Morro da Cruz estão associadas a presença do dique de diabásio. Na SC-401 ocorreram

as maiores instabilizações em termos de volume de matéria mobilizada. As causas desses movimentos carecem de uma análise mais aprofundada. Neste sentido, o projeto visa compreender melhor estes condicionantes geotécnicos que servirá como ferramenta para direcionar as formas de ocupação das áreas de encosta.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. HISTÓRICO DA ÁREA

Tendo em vista como uma das áreas mais problemáticas da Ilha de Santa Catarina no que diz respeito à deslizamentos, em frente ao local de estudo realizado neste projeto, ocorreu uma série de impasses. Na margem esquerda da SC-401, sentido norte, logo após o trevo de entrada para o bairro Cacupé. SOTEPA (1996) relata que já havia sérios problemas de drenagem que dificultavam o andamento dos serviços de escavações do corte para a duplicação da SC-401. Em 1983, ocorreu o primeiro caso de instabilidade, associado a intensas chuvas, onde parte de talude escorregou e obstruiu inteiramente as duas faixas de tráfego. A geologia local é composta pelo Granito Ilha e cortado diagonalmente por um dique de diabásio estimado pela SOTEPA (1996) na ordem de 60m.

Segundo Raimundo (1998), o volume de solo deslizado foi estimado em cerca de 7.000 m³, onde a causa desse escorregamento se deu pela infiltrabilidade de água pelo horizonte C, fraturas do granito e pelo solo de diabásio, percolando por gravidade até o encontro do próprio dique de diabásio, no qual, intensamente fraturado funcionou como um dreno coletor de água subterrânea, comprovado pela surgência de água no pé do talude próximo a pista. Em 1989 foi realizado o projeto de duplicação da rodovia e verificou-se que o sistema de drenagem, havia sido modificado em virtude de pequenos deslizamentos localizados, agravando a situação no local. Para desviar o problema dessa surgência de água no pé do talude, optou-se por uma solução de contenção sob a forma de enrocamento na base do talude. Apenas em 1995 começou a execução das obras de duplicação, no início do ano foi realizada pela empresa responsável a limpeza dessas canaletas de drenagem. Porém no final do ano devido as chuvas fortes no município houve o rompimento de parte das canaletas e abertura de fendas no solo. Durante os meses de janeiro e fevereiro, novas chuvas ocasionaram um escorregamento de solo e matações que ficaram aprisionados na primeira banquetta do talude. No começo do mês de março, mais precisamente no dia 06 de março de 1996, ocorreu o que os sinais evidentes mostravam, escorregamento que atingiu as duas pistas da SC-401, impedindo o tráfego por diversos dias e causando transtorno para a população de Florianópolis. A Figura 1 mostra uma foto aérea do local do deslizamento durante a realização das obras de estabilização.

Figura 1 - Imagem aérea do deslizamento ocorrido em 1996, vista de norte para sul.



Fonte: Santos, 1997.

2.2. FRATURAMENTO DE MACIÇO ROCHOSO

O principal elemento estrutural de um maciço rochoso é a descontinuidade, pois este determina os tamanhos de blocos e o grau de fraturamento, no qual influencia muito no comportamento mecânico do maciço. De acordo com sua densidade, tamanho e orientação, as descontinuidades podem definir o tipo de ruptura do maciço, o tamanho dos blocos, fluxo de água, etc. Nos maciços rochosos, pode-se ter dois tipos de descontinuidades, as principais (falhas, diques etc.) e as secundárias (fissuras, contatos, juntas etc.). A Figura 2 demonstra parte do afloramento do dique básico em estudo, destacando seu elevado grau de fraturamento.

A Geologia Estrutural deve ser considerada parte fundamental no estudo de casos isolados e em abordagens regionais sobre o potencial de ocorrência de escorregamentos numa determinada área. Como fator predisponente destes processos, as estruturas exercem enorme influência sobre outras condicionantes controladores de sua deflagração (perfil de solo, forma das encostas, fluxo d'água subterrânea e superficial, escavabilidade dos materiais superficiais), (Porto et al. 2005).

No caso de maciços rochosos, a erosão pode causar mudanças de geometria externa. Pontos de surgência de água subterrânea podem contribuir para instabilização do maciço, retirando material incoerente.

Figura 2 - Dique básico fraturado.



Fonte: Autor, 2019.

2.3. CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS

A região de estudo foi palco dos maiores deslizamentos de talude da Ilha de Santa Catarina, sendo a presença do dique de diabásio um dos principais condicionantes destas instabilidades. Portanto, é de fundamental importância o conhecimento dos aspectos relacionados ao seu fraturamento, presença de famílias de descontinuidades, espaçamento e persistência. Estes são dados de entrada das classificações geomecânicas que possibilitam a classificação do maciço rochoso e fornecem informações importantes para diversas decisões de projetos de engenharia. Desenvolvidas empiricamente, as classificações geomecânicas resultam da necessidade de caracterizar o maciço rochoso, auxiliando a resolução de problemas de engenharia. Estas têm como princípio a observação direta do maciço rochoso e a realização de ensaios, *in situ* ou em laboratório, atribuindo pesos.

2.3.1. Classificação de Bieniawski ou sistema RMR (Rock Mass Rating)

O sistema RMR (*Rock Mass Rating*) apresenta um índice de qualidade para um determinado maciço rochoso e uma proposta de suporte a executar, sendo aplicável a vários tipos de escavações como túneis, minas, taludes e fundações.

Introduzido por Bieniawski em 1973, a classificação RMR foi sofrendo atualizações na forma

de cálculo e no suporte proposto, tendo em 1989 a sua última versão que dá importância aos seguintes parâmetros:

- Resistência da rocha intacta;
- *Rock Quality Designation*;
- Espaçamento das descontinuidades;
- Condições das descontinuidades;
- Presença de água;
- Orientação das descontinuidades.

No Quadro 1 serão listadas as características de cada parâmetro com suas respectivas atribuições de pesos para o cálculo da classificação.

Quadro 1 - Classificações geomecânica do sistema RMR.

Parâmetros de classificação									
1	Resistência do material rochoso intacto	Resistência à compressão uniaxial (MPa)	>250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	<1
		Valores ponderais	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)	Valores ponderais	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	<25		
			20	17	13	8	3		
3	Descontinuidades (m)	Valores ponderais	>2	0,6 - 2	0,2 - 0,6	0,06 - 0,2	<0,06		
			20	15	10	8	5		
4	Condições das descontinuidades	Comprimento descontinuidade (m)	<1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	>20		
		Valores ponderais	6	4	2	1	0		
		Abertura (mm)	Nenhuma	<0,1	0,1 - 1	1 - 5	>5		
		Valores ponderais	6	5	4	1	0		
		Rugosidade	Muito rugosa	Rugosa	Ligeiramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valores ponderais	6	5	3	1	0		
		Preenchimento (mm)	Nenhuma	Duro <5	Duro > 5	Mole <5	Mole > 5		
		Valores ponderais	6	4	2	2	0		
		Meteorização	Inalterada	Ligeiramente alterada	Moderadamente alterada	Muito alterada	Decompõe-se		
Valores ponderais	6	5	3	1	0				
5	Presença de água	Condições gerais do maciço	Seco	Ligeiramente e húmido	Húmido	Escorrimentos	Fluxo abundante		
		Valores ponderais	15	10	7	4	0		

Fonte: Adaptação de Bieniawski (1989).

Depois de obtermos os cinco parâmetros desta classificação, efetua-se uma correção na orientação das descontinuidades, assim alcançando um valor numérico, conforme o Quadro 2. Estas orientações para encostas condicionam o comportamento do maciço rochoso.

Quadro 2 - Correção relacionada com a orientação das descontinuidades.

Direcção das descontinuidades perpendicular ao eixo do túnel				Direcção das descontinuidades paralela ao eixo do túnel		Qualquer
Avanço do túnel no sentido do pendor		Avanço do túnel no sentido inverso ao pendor		Inclinação		Inclinação
45-90°	20-45°	45-90°	20-45°	45-90°	20-45°	0-20°
Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável	Razoável	Razoável
Orientação das descontinuidades		Muito favoráveis	Favoráveis	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável
Valor ponderativo para ajuste de RMR	Tuneis	0	-2	-5	-10	-12
	Fundações	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fonte: Adaptado de Bieniawski (1989).

Não é fácil a aplicação desta correção, já que uma determinada orientação pode ser favorável ou desfavorável, dependendo das condições das águas subterrâneas e das próprias descontinuidades.

O significado geotécnico expressa-se no Quadro 3, sendo que os resultados classificam o maciço em cinco tipos, muito bom (classe I) ao muito fraco (classe V), estando apresentado também os valores da coesão e do ângulo de atrito interno dos maciços rochosos.

Quadro 3 - Classificação dos maciços rochosos de acordo com o RMR.

Somatório dos pesos (factor RMR)	81-100	61-80	41-60	21-40	<20
Classes	I	II	III	IV	V
Qualidade do maciço	Muito bom	Bom	Razoável	Fraco	Muito fraco
Coesão da massa rochosa (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Angulo de atrito da massa rochosa	>45	35<45	25<35	15<25	<15

Fonte: Adaptado de Bieniawski (1989).

Um maciço da classe 1 será um maciço rochoso duro, pouco fraturado, sem infiltrações importantes e pouco intemperizado, ou seja, apresenta poucos problemas de relação à estabilidade e resistência.

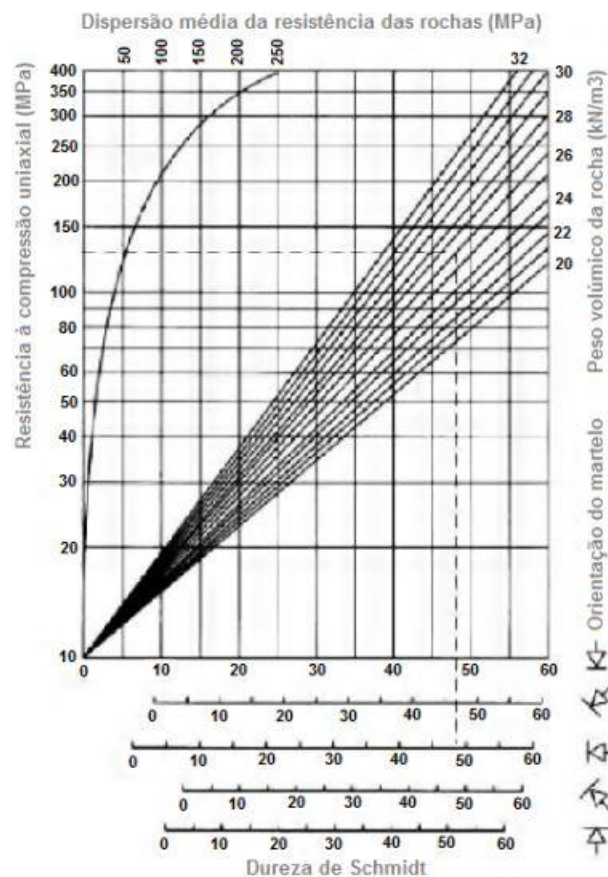
Segundo Romana, Serón e Montalar (2003), foram classificadas várias encostas, onde obtiveram resultados com uma certa tendência estatística.

- Quando $RMR > 40$, a estabilidade do talude é regida tanto pela orientação e resistência das discontinuidades;
- Para $RMR < 30$, a fratura desenvolve em todo o maciço rochoso.

2.3.1.1. RESISTÊNCIA DA ROCHA INTACTA

A resistência da rocha intacta pode ser obtida através de ensaios de compressão simples, utilizando os testemunho obtidos de sondagem rotativas, ou indiretamente com utilização do Martelo de *Schmidt* (esclerômetro), avaliando a dureza da superfície da rocha *in situ*. O esclerômetro mede a recuperação de energia do impacto de uma massa de mola contra a superfície da rocha, ou seja, o martelo golpeia o maciço com uma energia definida. A recuperação é dependente da dureza da maciço que é medida pelo equipamento de teste. O valor dessa recuperação é convertida por meio de um abaco (Figura 3), assim determinando sua resistência à compressão.

Figura 3 - Estimativa da resistência à compressão uniaxial.



Fonte: Hoek (2007).

2.3.1.2. ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD)

O *Rock Quality Designation* (RQD) é um sistema de classificação que avalia, em percentagem, o grau de fracturação do maciço rochoso. O seu cálculo baseia-se no quociente entre a soma do comprimento dos fragmentos da amostra superiores a 10 centímetros e o comprimento total da amostra.

Na impossibilidade de realizar sondagem, o índice RQD pode ser calculado através da correlação empírica proposta por Palmstrom (1982), onde Jv representa o número de descontinuidades por metro cúbico.

- $RQD = 115 - 3,3 Jv$, para $Jv > 4,5$
- $RQD = 100$, para $Jv \leq 4,5$

em que:

- Jv - índice de diaclasamento volumétrico
- RQD - Rock quality designation

Para um conjunto de famílias de descontinuidades o valor de Jv pode ser encontrado de acordo com a Equação 1:

$$Jv = \frac{1}{\sum_{i=1}^n Esp(i)} \quad (1)$$

Em que:

- Jv – somatório do número de descontinuidades por unidade de comprimento, para o conjunto de famílias;
- $Esp(i)$ - corresponde ao espaçamento;
- n - número de famílias de descontinuidades.

Os valores de RQD podem ser estimados em afloramentos, através do número de descontinuidades por unidade de volume (Jv). Verifica-se que os valores do RQD de acordo com a expressão de Palmstrom (1982) são dependentes do espaçamento e do número de famílias das descontinuidades. O valor de RQD pode mudar significativamente, dependendo da orientação.

2.3.2. Classificação geomecânica de romana SMR (Slope Mass Rating)

Adaptação da classificação de Bieniawski (RMR), o Slope Mass Rating, SMR, é um método para avaliar as situações de instabilidade em taludes rochosos. Romana (1996) estabeleceu que esta classificação é definida a partir da classificação RMR, adicionando um fator de ajuste que resulta do produto de três subfatores (F1, F2, F3) que dependem da orientação das descontinuidades (Quadro 4) e um adicional de um fator de ajuste que está relacionado com o método de escavação ou desmonte, conforme a Equação (2):

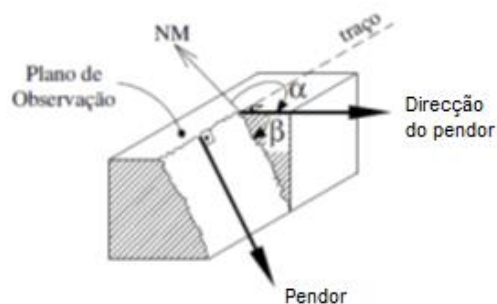
$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4. \quad (2)$$

Em que:

- SMR – Slope Mass Rating
- RMR - Rock Mass Rating
- F1: depende do ângulo relacionado com a direção do pendor das descontinuidades e do talude.
- F2: depende da inclinação das descontinuidades no plano de ruptura.
- F3: reflete a relação entre os ângulos dos pendores das descontinuidades e do talude.
- F4: empiricamente estabelecido, (Quadro 5).

As atitudes das descontinuidades são definidas por dois parâmetros: a direção e o pendor. Pendor é o ângulo (0 a 90°) formado entre a linha perpendicular ao traço e a projeção desta ao plano de observação. O traço é a linha de intersecção da descontinuidade com o plano de observação. Medida através de um clinómetro. A direção do pendor é o ângulo (0 a 360°) medido no sentido horário, ou anti-horário podendo, eventualmente, ser necessário efetuar a correção da medida, entre o norte magnético e a linha no plano de observação perpendicular ao traço.

Figura 4 - Orientação da descontinuidade onde α é a direção do pendor e β o pendor.



Fonte: (Ferrer, 2002)

A Figura 4 apresenta um plano de descontinuidade e as suas coordenadas são definidas em termos de pendora e direcção do pendora. A representação gráfica das coordenadas das descontinuidades pode ser efetuada através de projecção estereográfica, diagramas de roseta, entre outros.

Quadro 4 - Classificação Geomecânica SMR, fator de ajustamento para a orientação das descontinuidades (F1, F2, F3).

Tipo de situação		Muito favorável	Favorável	Normal	Desfavorável	Muito desfavorável
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	>30	20 - 30	10 - 20	5 - 10	<5
B	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $					
P/B	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P/B	$ \beta_j $	<20	20 - 30	30 - 35	35 - 45	>45
P	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
B		1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	>10	0 - 10	0	0 - -10	<-10
B	$\beta_j + \beta_s$	<110	110 - 120	>120	-	-
P/B	F3	0	-6	-25	-50	-60

Fonte: Adaptado de Romana (1996).

em que:

- P: ruptura planar
- B: ruptura por basculamento
- α_s : direcção do pendora do talude
- α_j : direcção do pendora das diáclases
- β_s : pendora do talude
- β_j : pendora das diáclases

O fator de ajuste para o método de escavação, foi fixado empiricamente, como se observa:

Quadro 5 - Fator de ajuste segundo o método de escavação (F4).

Método	Talude natural ou vertentes	Desmonte de Pré-corte	Desmonte com explosivos do tipo <i>smooth blasting</i>	Desmonte com explosivos ou escavação mecânica	Desmonte com explosivo deficiente
F4	15	10	8	0	-8

Fonte: Hudson (1993).

O índice SMR deve ser determinado para cada uma das famílias de descontinuidades presentes no talude, o valor mais baixo do índice SMR será o adotado para o talude.

Quadro 6 - Classificação da estabilidade.

Classe	V	IV	III	II	I
Coesão (MPa)	<0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4
Angulo de atrito (°)	15	15 - 25	25 - 35	35 - 45	>45
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Descrição	Muito má	Má	Normal	Boa	Muito boa
Estabilidade	Completamente instável	Instável	Parcialmente instável	Estável	Completamente estável
Roturas	Roturas de grandes dimensões por planos contínuos	Roturas planares ou roturas por cunhas de grandes dimensões	Algumas roturas planares ou muitas roturas por cunhas	Alguns blocos	Nenhuma
Sustimento	Re-escavação	Correcção	Sistemático	Ocasional	Nenhum

Fonte: Adaptado de Romana (1996).

Diferentes medidas corretivas podem ser aplicadas para a sustentação da encosta instável, em função das cinco classes distintas de índices SMR de estabilidade conforme o Quadro 6.

2.4. RETROANÁLISE

Segundo vários autores a aplicação das técnicas de retroanálise é um dos meios mais práticos e confiáveis para se obter uma estimativa rápida e a baixo custo dos parâmetros de resistência equivalentes de uma encosta ou talude.

Esta técnica baseia-se praticamente no instante que um talude rompe, seu fator de segurança (FS) atingiu um valor inferior à unidade ($FS < 1,00$). Essa consideração em termos determinísticos permite que se calcule os parâmetros de resistência que levariam ao limite do equilíbrio, ou seja, $FS = 1,00$. Segundo a NBR 11682/1991, o fator de segurança é definido pela relação de esforços estabilizantes (resistentes) e os esforços instabilizantes (atuantes) para determinado cálculo escolhido, sejam determinísticos ou estatísticos. Para maior eficiência da retroanálise é necessário um conhecimento mais perto da realidade possível, como a geometria original do talude, disposição das camadas de solo, forma da superfície de ruptura e das condições de pressão neutra prevalentes no momento da ruptura.

Augusto Filho & Virgili (1998) ressaltam que a técnica da retroanalise consiste na realização de tentativas de cálculo do fator de segurança até ajustar os parâmetros de resistência do solo para que o FS seja igual a 1,00.

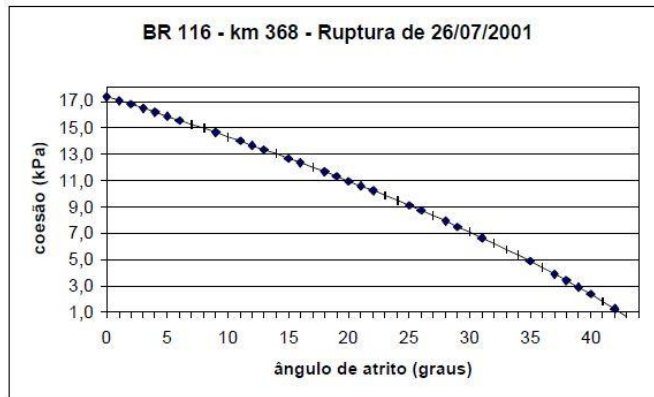
Segundo Gomes (2003), se o fator de segurança calculado diferir-se de 1,00, geralmente, o valor do ângulo de atrito é fixado (Mello, 1972), alterando o valor da coesão, por tentativas, até que o

fator de segurança seja igual a 1,00. Para a obtenção de todos os pares de parâmetros da curva $c = f(\phi)$ que satisfazem a condição de $FS = 1,00$, o procedimento acima mencionado é repetido, o que o torna muito trabalhoso devido ao elevado número de tentativas necessárias.

O método de Bishop Simplificado (Bishop, 1955) é um dos mais utilizados entre os métodos determinísticos baseados na teoria do equilíbrio limite. Este método consiste em algumas simplificações como aceitar somente superfícies circulares, adotar o fator de segurança constante em toda extensão da superfície de ruptura; e que as componentes verticais das forças atuantes nas faces laterais da lamela se anulam.

A metodologia proposta por Gomes (2003) baseia-se sucintamente em determinar os pares de coesão e ângulo de atrito para $FS=1$, variando o ângulo de atrito de 5° em 5° , elaborando assim o gráfico da Figura 5.

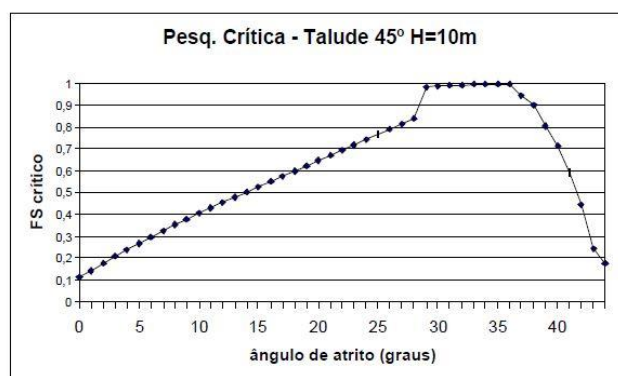
Figura 5 – Gráfico $\phi \times c$



Fonte: Gomes, 2003.

Posteriormente, com a obtenção dos pares é efetuada análises da superfície de ruptura crítica para cada par de parâmetro, gerando assim fatores de segurança críticos em função do ângulo de atrito, conforme o gráfico da Figura 6.

Figura 6 - ϕ x FS crítico



Fonte: Gomes, 2003.

Será escolhido pelo ângulo de atrito, segundo a Figura 6, o que mais se aproximar do FS crítico igual a 1,00. Por fim, retorna ao gráfico da Figura 5 e define-se o par de ângulo de atrito x coesão.

2.5. PEDOLOGIA

A pedologia é uma palavra de origem grega que significa ciência que estuda o solo, ou seja, responsável pelo estudo da origem do solo, sua morfologia e classificação. Todos os solos se formam da decomposição das rochas, através de intemperismo físico e químico. No intemperismo físico as rochas são fraturadas, sem qualquer alteração da composição química, enquanto que, no intemperismo químico, os minerais das rochas são transformados em novos minerais através de reações químicas (DAS, 2007). Os principais agentes físicos do intemperismo são o vento, a água, o gelo e a temperatura, sendo a água e a temperatura também considerados como principais agentes químicos. As variações de temperatura podem provocar trincas nas rochas, nas quais penetram água que acabam atacando quimicamente os minerais. Essa água, quando congelada, pode gerar tensões elevadas, provocando a fragmentação dos blocos de rocha (PINTO, 2000).

2.5.1. Classificação dos solos

Existem muitos sistemas de classificação dos solos que levam em conta tanto a sua origem e formação como as características dos grãos que os constituem. Não existe classificação errada, apenas classificação mais adequada para certa finalidade.

2.5.1.1. CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA

De acordo com Das (2007), classificou os solos em dois tipos:

- 1) Solos Residuais: material derivados dos produtos de intemperismo da rocha de origem e que não foi transportado de seu local original, ou seja, decomposição do material é “in situ”. Tem como característica importante a gradação do tamanho dos grãos, onde o tamanho das partículas aumenta com a profundidade, assim como sua resistência e densidade.
- 2) Solos Sedimentares: são aqueles que foram carregados ao seu local atual por algum agente transportador e estes são classificados em função do agente de transporte, sendo eles:
 - Coluvionares: solos formados sob ação da gravidade, como os escorregamentos de terra;
 - Aluvionares: solos resultantes de carregamento pela água;
 - Eólicos: solos carregados pelo vento.

2.5.1.2. CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA

Além das ações pedogenéticas temporais, o intemperismo dos solos decresce com a profundidade, formando uma sucessão de camadas chamadas de horizontes do solo (Figura 7), e estas são distinguidas, em geral, pela sua cor, textura, estrutura, consistência, etc.

a) Horizonte A - é a camada geralmente mais escura, frequentemente alterada pelo homem e resultante da mistura da matéria orgânica superficial com o material mineral, como argila, areia, entre outros. Possui espessuras inferiores a 80 cm e não apresenta muitas aplicações à engenharia geotécnica;

b) Horizonte B – também denominado solo laterítico ou residual maduro, é a camada imediatamente inferior ao horizonte A. Com pouquíssima matéria orgânica, nesse horizonte predomina o material mineral bastante alterado, impossibilitando o reconhecimento do substrato de origem. Geralmente apresentam coloração amarelo-avermelhado, avermelhado ou marrom. Apresenta espessuras variáveis e grande quantidade de óxido de ferro e alumínio;

c) Horizonte C - é a camada de solo mais profunda, já sendo possível identificar o material de origem, como fragmentos de rocha e/ou sedimentos. É chamado também de solo residual jovem ou saprolítico;

d) Horizonte RA – composto por rochas alteradas, que sofreram fraturas através de processos geológicos;

e) Horizonte R – correspondem à rocha sã, sem qualquer alteração.

Figura 7 - Horizontes de solo.



Fonte: Ribeiro (2011).

2.5.1.3. OUTRAS CLASSIFICAÇÕES

Nogami e Villibor (1995) propuseram uma nova sistemática de classificação denominada MCT (Miniatura Compactada Tropical) tendo em vista que os resultados obtidos pelas classificações tradicionais nos solos tropicais não correspondiam ao comportamento geotécnico em campo. Esta classificação se baseia em dois grandes grupos, que podem apresentar comportamento laterítico (L) ou não laterítico (N), subdivididos em sete grupos menores conforme o Quadro 7.

Quadro 7 - Grupos de solos segundo a classificação MCT.

LG'	Argilas lateríticas e argilas lateríticas arenosas: Constituem o horizonte B dos latossolos, solos podzólicos e terras roxas estruturadas. Quando apresentam agregados bem desenvolvidos, são altamente permeáveis, apesar de serem granulometricamente argilas e, devido a isto, geram taludes de corte não sujeitos à erosão pluvial.
LA'	Areias argilosas lateríticas: Constituem o horizonte B dos latossolos arenosos e podzólicos ou podzolizados arenosos (textura média). Apresentam matizes vermelho e amarelo, dão cortes firmes, nitidamente trincados, quando expostos às intempéries.
LA	Areias com pouca argila laterítica: Típico de horizonte B das areias quartzosas e regossolos.
NG'	Argilas, argilas siltosas e argilas arenosas não-lateríticas: Solos saprolíticos argilosos, provenientes de rochas sedimentares argilosas ou cristalinas pobres em quartzo e ricas em anfíbólios, piroxênios e feldspato cálcicos. Típicos de vertissolos ou solos transportados.
NS'	Siltes cauliniticos e micáceos, siltes arenosos e siltes argilosos não-lateríticos:
NA'	Areias siltosas e areias argilosas não-lateríticas: Compostos granulometricamente por misturas de areias quartzosas. Geneticamente, os tipos mais representativos são os solos saprolíticos originados de rochas ricas em quartzo, tais como granitos, gnaisses, arenitos e quartzitos impuros.
NA	Areias siltosas com siltes quartzosos e siltes argilosos não-lateríticos: Possuem grãos constituídos essencialmente de quartzo e/ou mica. Praticamente não possuem finos argilosos coesivos siltes cauliniticos.

Fonte: Nogami e Villibor (1995)

2.6. MOVIMENTOS DE MASSA

Dentre os diferentes tipos de movimentos de massa destaca-se no Estado de Santa Catarina os deslizamentos de encosta. Diversos autores têm procurado definir critérios para identificação de escorregamentos, classificando os possíveis tipos de fenômenos desta natureza. A dinâmica de movimentação de massas de solos é complexa, podendo ser originada pela ação de forças internas e externas por meio de agentes geológicos, climáticos, biológicos e humanos.

2.6.1. Deslizamentos de encostas

A classificação dos deslizamentos de encostas tem sido realizada por diversos autores. Um dos pioneiros na classificação destes movimentos foi feito por Dana (1862), seguido por Sharpe (1938) que utilizou dos parâmetros de velocidade do movimento, tipo do material (solo ou rocha) e quantidade de água e gelo contidos na massa. Anos depois temos Varnes (1978) e Hutchinson (1988) onde ambas foram influenciadas pela proposta de Sharpe.

O Quadro 8 mostra a classificação proposta por Varnes (1978), segundo a Associação

Quadro 8 - Classificação proposta por Varnes.

Tipo de Movimento			Tipo de Material		
			Rocha	Solo (Engenharia)	
				Grosseiros	Finos
Quedas (fall)			Queda de rocha	Queda de detritos	Queda de terra
Tombamentos (topple)			Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de terra
Escorregamento (slide)	Rotacional	Poucas unidades	Escorregamento de rocha	Escorregamento de detritos	Escorregamento de terra
	Translacional	Muitas unidades			
Expansões laterais (lateral spread)			Expansões de rochas	Expansões de detritos	Expansões de terra
Corridas (flow)			Corrida de rochas (rastejo profundo)	Corrida de detritos	Corrida de terra
				(rastejo de solo)	
Complexos (complex)			Combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos		

Fonte: Varnes (1978).

No Brasil, uma das primeiras elaboradas foi por Freire em 1965 onde este classifica os movimentos em escoamento (rastejo e corridas), escorregamentos (rotacionais e translacionais), subsidências e desabamentos. Também encontramos em território brasileiro o trabalho de GUIDICINI e NIEBLE (1983). Mas para fins de mapas de risco, utiliza-se a classificação proposta por Augusto Filho, na qual apresenta os principais movimentos de dinâmica ambiental brasileira e suas características, como matérias, velocidade e geometria mobilizada. Classificação é apresentada no Quadro 9:

Quadro 9 - Classificação proposta por Augusto Filho.

Tipo de Movimento	Características do movimento, material e geometria
Rastejos (creep)	Vários planos de deslocamento (internos) Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada Geometria indefinida.
Escorregamentos (slides)	Poucos planos de deslocamento (externos) Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) Pequenos a grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis Planares – solos pouco espessos, solo e rochas com um plano de fraqueza Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraquezas
Quedas (falls)	Sem planos de deslocamento Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidades muito altas (vários m/s) Material rochoso Pequenos a médios volumes Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matacão Tombamento
Corridas (flows)	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimento) Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo das drenagens Velocidades médias a altas Mobilização de solo, rocha, detritos e água Grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fonte: Augusto Filho (1992).

A seguir alguns conceitos de deslizamentos de encostas de acordo com a classificação proposta por Augusto Filho (1992).

2.6.1.1. RASTEJOS

Caracterizados por serem movimentos lentos de grande volume de massa com deslocamento ao longo do tempo na ordem de mm a cm/ano. Normalmente não apresentam plano de ruptura e podem ser contínuos ou pulsantes, conforme a Figura 8. Este processo é comum atuar nos horizontes de transição solo/rocha e horizontes superficiais do solo.

Wolle (1980 apud Freire 1995) indica alguns mecanismos que atuam nos processos de rastejos:

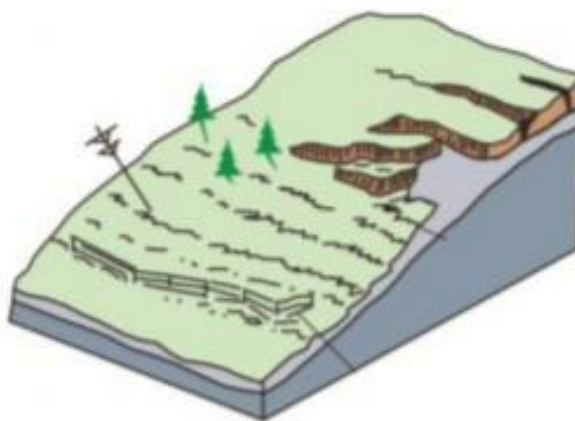
- Inchamento e contração do solo devido às variações térmicas e de umidade;
- Ação constante da gravidade, intensificada nos períodos chuvosos com aumento de peso do

solo e o conseqüente aumento das tensões cisalhantes;

- Formação de pressões positivas de percolação na água, em função do fluxo subterrâneo ou de pressão neutras hidroestáticas, durante chuvas intensas;
- Redução da coesão do solo como consequência do aumento da umidade.

Segundo Queiroz (2009), rastejos são mais comuns em solos residuais, em clima tropical úmido, onde o intemperismo é mais atuante.

Figura 8 – Rastejos.



Fonte: HIGHLAND e BOBROWSKY (2008).

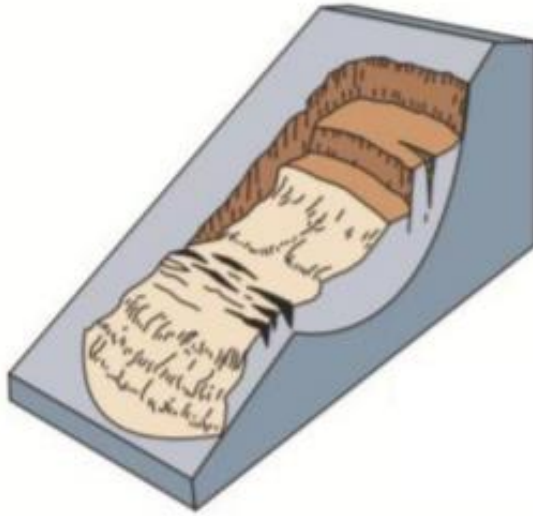
2.6.1.2. ESCORREGAMENTOS

Principal agente deste tipo de movimento são as chuvas, juntamente com os índices pluviométricos críticos. Segundo Fernandes e Amaral (1996) estes escorregamentos são rápidos, de curta duração e com o plano de ruptura bem definido. Já Massad (2010) diz que para ocorrer tal movimento necessita da saturação do solo através das chuvas, assim elevando as pressões neutras, diminuindo a resistência do solo ou também a remoção das cobertura vegetal e colocação de sobrecargas no topo das encostas, ilustrado na Figura 9.

No quesito geometria do plano de ruptura, este tipo de escorregamento é dividido em três tipos: rotacionais ou circulares, translacionais ou planares, e em cunha.

- a) Escorregamentos Rotacionais ou Circulares: ocorrem principalmente em encostas de solos espessos e homogêneos e em regiões com intemperismo forte. Apresentam uma ruptura côncava para cima, no qual ocorre o movimento rotacional de uma massa de solo.

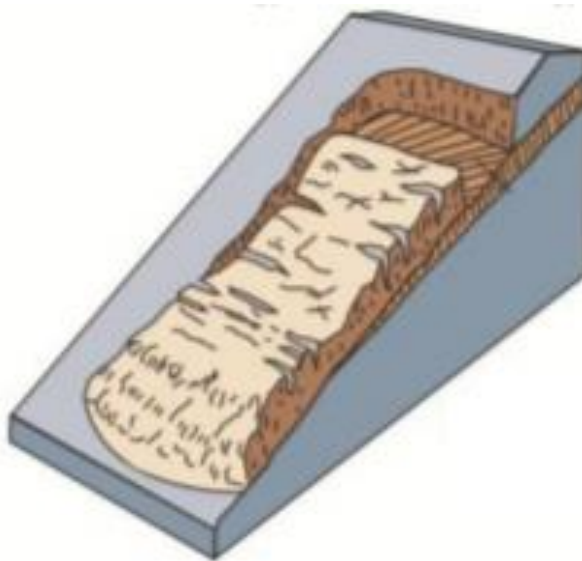
Figura 9 - Escorregamento Rotacional.



Fonte: HIGHLAND e BOBROWSKY (2008).

- b) Escorregamentos Translacionais ou Planares (Figura 10): bastante comuns nas encostas brasileiras, esta apresenta uma superfície de ruptura planar e o movimento é de translação. Identifica por uma pequena espessura e costumam ser compridos e rasos (IPT, 2007). Segundo Dias (2002), estes eventos acontecem durante chuvas intensas, quando a taxa de infiltração supera a taxa de retirada de água da encosta, assim aumentando a poro-pressão acarretando em sua ruptura.

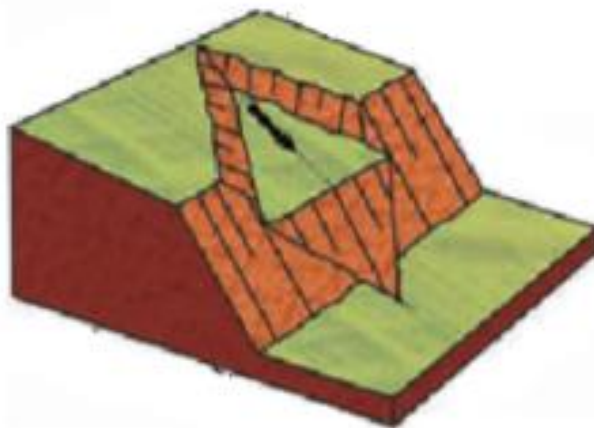
Figura 10 - Escorregamento Translacional.



Fonte: HIGHLAND e BOBROWSKY (2008).

- c) Escorregamentos em Cunha: são restritos a regiões que apresentam relevo controlado por estruturas geológicas, ocorrendo principalmente em taludes ou encostas que sofrem desconfinamento, tanto natural quanto por ação antrópica, demonstrada na Figura 11.

Figura 11 - Escorregamento em Cunha.



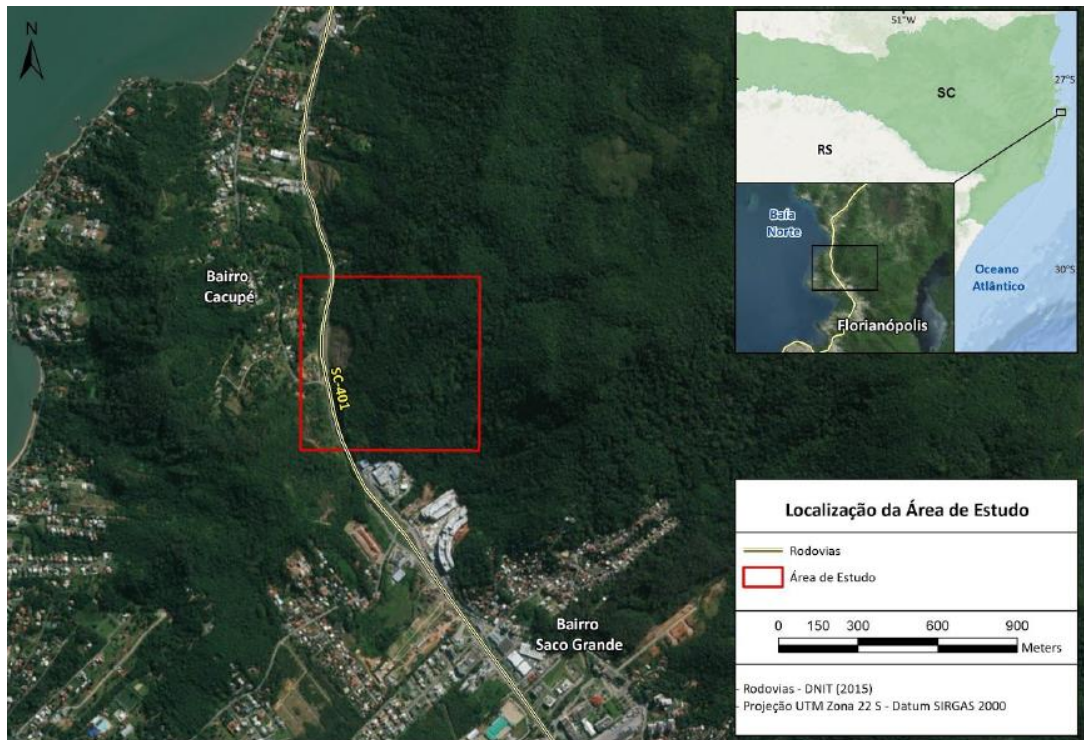
Fonte: Montgomery (1992).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A figura 12 mostra a área de estudo, localizada na cidade de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina, na Região Sul do Brasil. Encontra-se entre os paralelos 27°22' e 27°50' de Latitude Sul e entre os meridianos 48°50' e 48°20' de Longitude Oeste, estando inserida no Bairro do Cacupé. A encosta a ser estudada fica às margens da rodovia SC-401 que é uma das principais vias de acesso que liga a parte central da cidade às praias do norte.

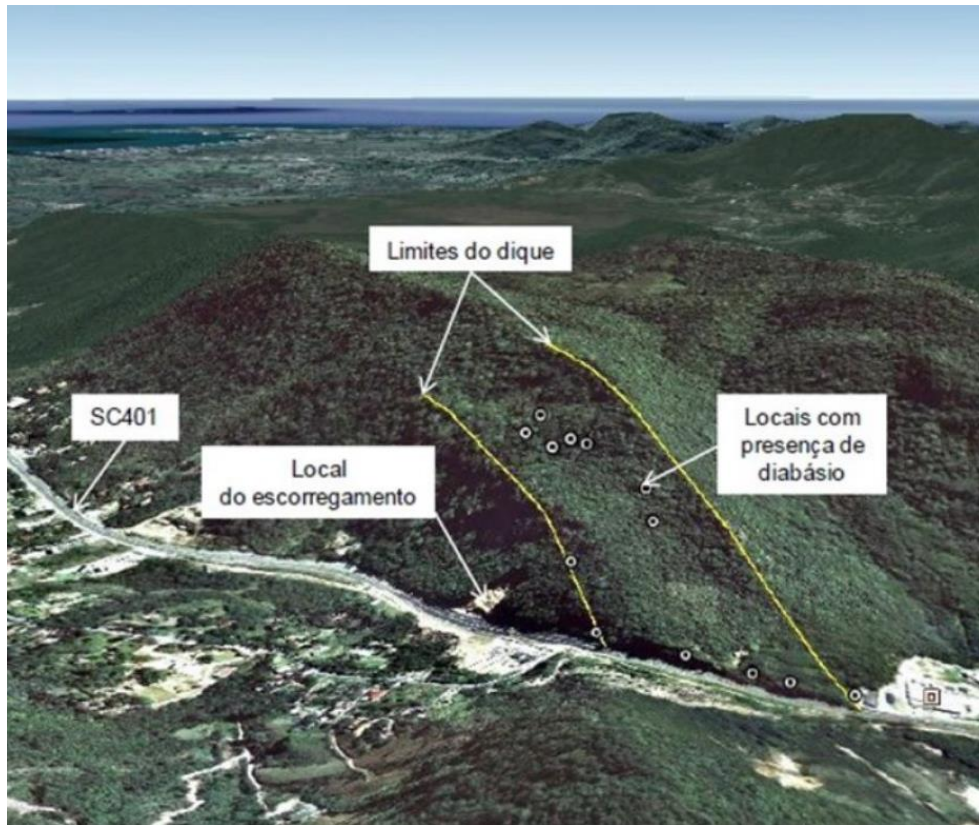
Figura 12 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autor (2019).

A Figura 13 mostra a localização da área de estudo em outro ângulo, situada na margem direita da rodovia SC-401 (sentido norte), no bairro de Cacupé, Florianópolis/SC. A imagem google enfatiza o local onde ocorreu o escorregamento em 2008 e a presença do dique de diabásio em contato com o solo residual de granito.

Figura 13 - Localização da área de estudo com os limites do dique básico.



Fonte: Oliveira *et al.*, (2012).

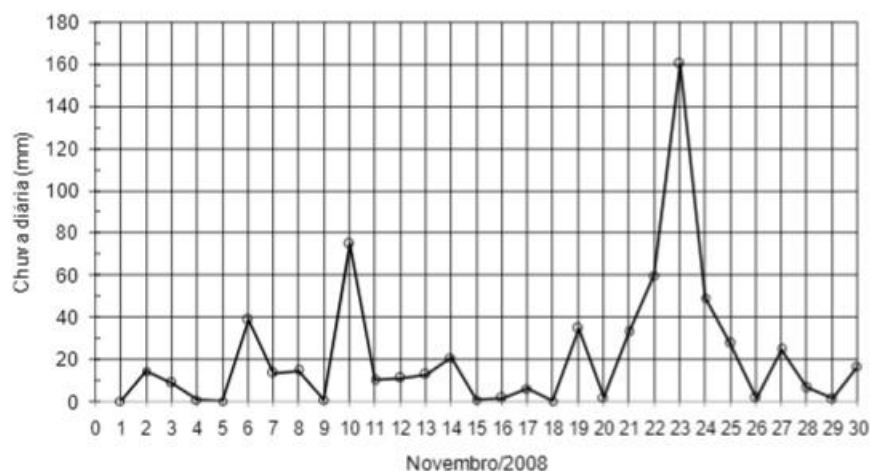
3.2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste item será relatado o deslizamento de encosta no do Morro da Praia Comprida, em 2008, onde está o enfoque deste presente trabalho.

3.2.1. O dezlizamento de 2008

Cerca de 300m a frente (sentido norte) do escorregamento ocorrido em 1996; este situa-se na margem direita da rodovia SC-401, logo após a entrada do bairro Cacupé. Contendo a mesma composição geológica, Granito Ilha e o dique de diabásio. Oliveira *et al.* (2012) estima um volume de 26,143,78 m³ de solo e rocha mobilizados, sendo que este valor pode ser maior ainda pois parte permaneceu no interior da cavidade. As chuvas ocorridas no mês de novembro segundo registro da EPAGRI (Figura 14), Estação Florianópolis, mostra um acumulo entre os dias 20 e 24 de 303mm de chuva e observa-se também que no dia do escorregamento, 23 de novembro, foi o dia mais chuvoso chegando ao valor de 160 mm.

Figura 14 - Chuvas diárias ocorridas no mês de novembro de 2008 (Dados registrados na Estação Florianópolis).



Fonte: EPAGRI/SC.

Segundo Dias (2009), esse período de chuvas foi ocasionado devido um bloqueio atmosférico no oceano Atlântico, acompanhado por um vórtice ciclônico em altitude que favoreceu a ascensão do ar úmido ao longo da Serra do Mar.

Oliveira *et al.* (2012) levantaram a hipótese que a água infiltrava pelo dique de diabásio com maior facilidade chegando ao maciço granítico. O solo, menos permeável, sob este maciço funcionou como um material confinante de água elevando sua poro-pressão, que por sua vez resultou na diminuição das tensões normais atuantes nas discontinuidades do granito causando a redução de sua resistência ao cisalhamento, ocasionando assim o escorregamento, que mobilizou tanto o maciço rochoso quanto o solo residual. A Figura 15 mostra o material escorregado junto a interdição da rodovia SC-401.

Figura 15 - Interdição da rodovia SC-401 pelo material escorregado.



Fonte: Flávio Neves.

3.2.2. Quadro evolutivo do local do deslizamento

Para o melhor entendimento da região, este tópico visa mostrar por imagens de satélite um quadro evolutivo do local onde ocorreu o deslizamento.

- I. Local anos antes do escorregamento mostrando sua vegetação densa (Figura 16);
- II. Imagem após o escorregamento com dimensões aproximadas de 350m de largura por 90m de profundidade (Figura 17);
- III. Obras de retaludamento e contenções sendo realizadas (Figura 18);
- IV. Imagem atual do local (Figura 19).

Figura 16 - Local antes do deslizamento.



Fonte: Google Earth – 27/11/2003.

Figura 17 - Local após a deslizamento.



Fonte: Google Earth – 08/01/2009.

Figura 18 - Local em obras.



Fonte: Google Earth – 11/07/2009.

Figura 19 - Local nos dias atuais.



Fonte: Google Earth – 09/06/2019.

3.3. GEOLOGIA REGIONAL

Segundo Tomazzoli (2015) o município de Florianópolis pode ser dividido, do ponto de vista geomorfológico, em dois grandes domínios: 1) maciços rochosos que contrastam com; 2) depósitos sedimentares quaternários inconsolidados dispostos por entre esses maciços.

Quadro 20 - Coluna estratigráfica proposta para as rochas da ISC.

ERA/PERÍODO	LITOTIPO	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA
Cretáceo	Cataclasitos/Brechas de falha	Rochas cataclásticas policíclicas
	Dacito (diques)	Enxame de Diques Florianópolis
	Andesito/Traquiandesito (diques)	
	Basalto/Diabásio (diques)	
Neoproterozoico	Riolito (diques e derrames)	Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela
	Rochas vulcanoclásticas finas	
	Tufos e Ignimbritos indiferenciados	
	Rochas piroclásticas estratificadas	
	Tufos e Ignimbritos com maiores concentrações em bombas	
	Granito Itacorubi	
	Granito Ilha	Suíte Pedras Grandes
Granito São Pedro de Alcântara	Suíte Maruim	
Meso/Paleoproterozoico	Milonito	Complexo Águas Mornas
	Migmatito/Ortogneisse	

Fonte: Tomazzoli e Pellerin (2014).

As unidades litoestratigráficas que constituem esses maciços são, da mais antiga para a mais recente (Quadro 20); Complexo Aguas Mornas que aparece a nordeste da ilha (Morro dos Ingleses e das Aranhas) onde mostra uma mescla de rocha totalmente heterogênea, formada por granodioritos, localmente foliados, contendo xenólitos de diorito-tonalito geralmente justapostas a bandas de granito rosado. Também ocorrem enclaves microgranulares maficos, representando possíveis diques sinplutônicos.

Localmente, o granito São Pedro de Alcântara é mencionado por Zanini et al. (1997) como membro da Suíte Maruim, de natureza calcioalcalina e com frequentes enclaves de tonalito e quartzo dioritos. Já com predomínio na Ilha de Santa Catarina (ISC) temos o Granito Ilha, integrante da Suíte Intrusiva Pedras Grandes (Zanini et al. 1997) que se apresenta extremamente homogênea e dispersa por toda a ilha, tem sua classificação como um sieno ou monzogranito e frequentemente cortada por veios de aplito/pegmatitos de espessura variada.

A Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela é constituída por rochas piroclásticas ácidas (tufos e ignimbritos em sua maioria) diretamente ligadas ao Granito Itacorubi (Caruso Jr.,1993; Zanini et al., 1997), onde esse trata-se de um sieno-monzogranito com textura equigranular fina a média ou pórfira, podendo apresentar xenólitos de riolito e vice-versa, demonstrando a contemporaneidade entre as rochas dessa unidade.

Também basaltos alto-Titânio (ATi), baixo-Titânio (BTi), andesitos basálticos, traquiandesitos basálticos, andesitos, traquiandesitos e dacitos que compõem o Enxame de Diques Florianópolis. São diques que podem atingir até 200m de espessura, com orientação principal de N10°-20°E e, secundariamente, N-S, N20°-30°W, E-W.

A coluna estratigráfica proposta por Livi (2009), Livi & Horn Filho (2010), Horn Filho & Livi (2013) e Horn Filho et al. (2014), para os depósitos da planície costeira da ISC (Quadro 10), define 13 depósitos, sendo três do sistema deposicional continental, oito do sistema deposicional

transicional e dois do sistema deposicional antropogênico. Já Tomazzoli & Pellerin (2014) propuseram 17 depósitos para a planície costeira da ISC, sendo 4 pleistocênicos e 13 holocênicos. Neste trabalho mostrará ambas colunas estratigráficas, tomando como base os mapas geológicos de Horn Livi & Livi (2013) e Tomazzoli & Pellerin (2014).

Quadro 10 - Coluna litoestratigrafica proposta para os depósitos da planície costeira da planície costeira da Ilha de Santa Catarina.

Depósito	Sistema deposicional	Idade			Interpretação litossedimentológica		
		Período	Época	Ka AP			
Depósito tecnogênico	Antropogênico	Quaternário	Holoceno	5,1	Aterros compostos prioritariamente por detritos úrbicos, gárbicos e espólicos, associados à ocupação urbana		
Depósito do tipo sambaqui					Sítios arqueológicos compostos por sedimentos bioclastos, siliciclastos e artefatos humanos e líticos, sob forma de colinas		
Depósito marinho praial	Sedimentos arenosos de textura variada, resultantes de processos marinhos						
Depósito cólico	Sedimentos arenosos finos, de coloração esbranquiçada, sob forma de dunas móveis e fixas que sofreram o retrabalhamento pela ação cólica						
Depósito lagunar	Sedimentos pelíticos e arenosos finos depositados em ambientes de baixa energia						
Depósito lagunar praial	Depósitos arenosos de textura variada, sob forma de praias e cristas lagunares, desenvolvidos nas margens de lagoas e lagunas						
Depósito flúvio-lagunar	Sedimentos arenosos depositados nas margens lagunares sob influência fluvial						
Depósito de baía	Sedimentos arenosos finos, estratificados, ricos em matéria orgânica, típicos da planície "Entremares"						
Depósito paludial	Sedimentos finos, ricos em matéria orgânica em áreas de baixas altitudes. Apresentam-se na região sob formas de manguezais e turfeiras						
Depósito cólico	Pleistoceno superior				120	Sedimentos arenosos finos, de coloração avermelhada devido à presença de minerais ferrosos. Apresentam-se sob forma de paleodunas e mantos cólicos	
Depósito aluvial	Continental				Quaternário indiferenciado	2.000	Sedimentos mal selecionados transportados através do fluxo dos rios
Depósito de leque aluvial							Sedimentos mal selecionados que provêm do embasamento e depósitos colúvies a partir de fluxos torrenciais nas encostas das elevações
Depósito colúvial							Sedimentos mal selecionados resultantes de processos intempéricos atuantes sobre o embasamento e transportados, principalmente, através da gravidade

Fonte: Horn Filho & Livi (2013).

3.4. GEOLOGIA LOCAL

3.4.1. Diques de Diabásio

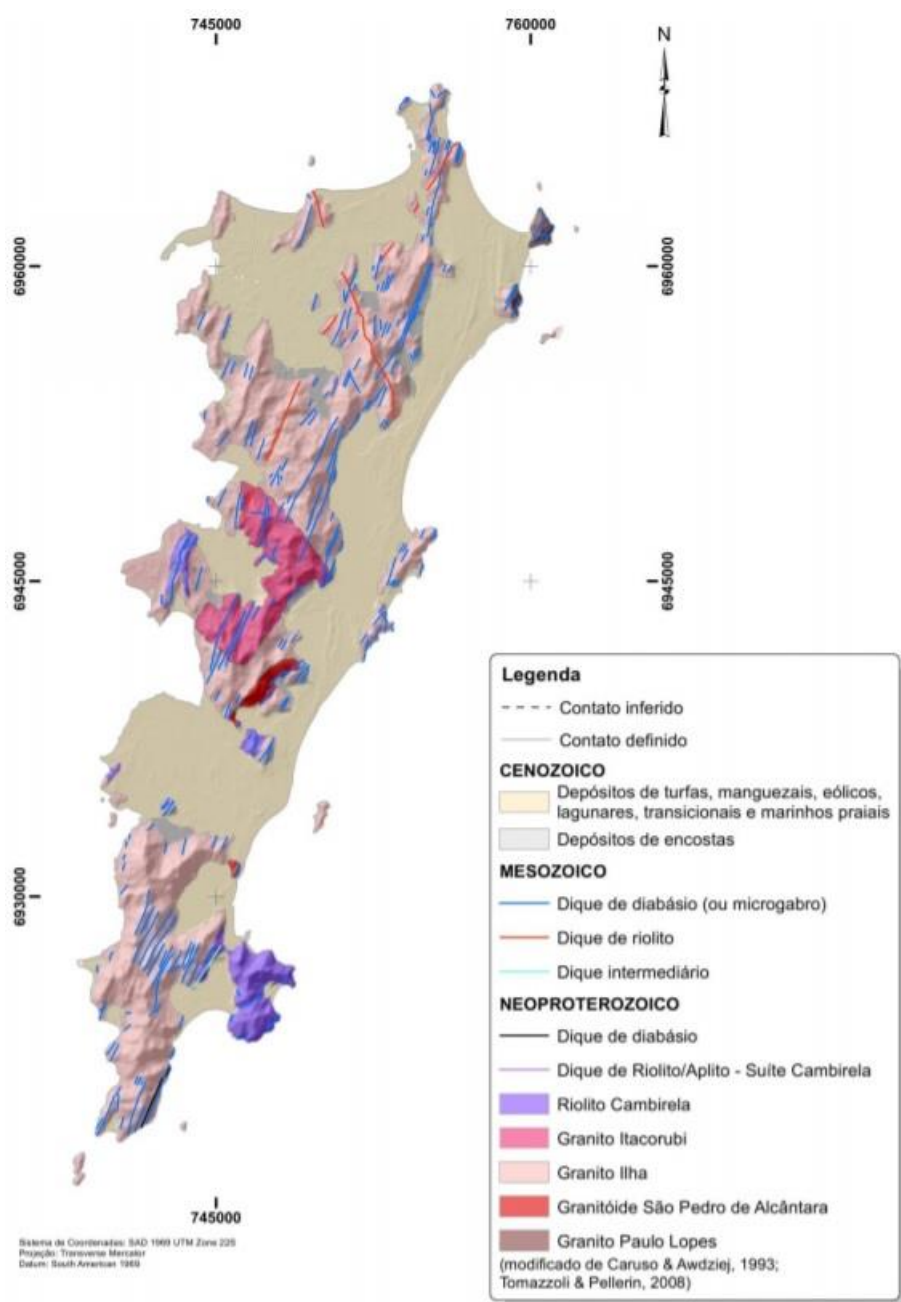
Em Florianópolis a tectônica foi bastante atuante atingindo praticamente todas as rochas, onde são expressas por falhas, brechas e milonitização. No caso das falhas foram inseridos magmas básicos e ácidos que formaram, respectivamente, rochas do tipo diabásio e riolito.

Foram mapeados cerca de 400 diques integrantes do Enxame de Diques Florianópolis, estes

são a representação da Formação Serra Geral na ilha, de expressão métrica a quilométrica, podendo atingir dezenas de metros de largura também. Os diabásios ou basaltos ATi (alto-Titânio) são os litotipos predominantes e apresentam textura afanítica ou equigranular fina a média. Ocorrem encaixados nos granitoides da ilha e tem sua direção principal NE-SW e secundariamente NW-SE. Dados em Ar-Ar sugerem idades entre $119,0 \pm 0,9$ Ma e $128,3 \pm 0,5$ Ma com dois picos de magmatismo, o primeiro há aproximadamente 119-122 Ma e o segundo com 126-128 Ma. Entretanto, não se pode afirmar que o alojamento destas duas fases de magmatismo ocorreu continuamente ou esporadicamente (Raposo et al., 1998). Estas idades são coesas com os estágios finais de rifteamento nestas latitudes, sugerindo que o alojamento destes diques encontra-se relacionado com o processo de extensão da crosta continental anterior a formação do Oceano Atlântico Sul.

Os diques de diabásio, normalmente alterados devido ao intemperismo, aparecem cortando os granitoides ao longo de toda ilha. Tem sua maior expressão no Morro da Cruz, no sentido N-S e alcança uma espessura de até 300m. Além dessa, temos várias outras ocorrências na ilha e junto a isso tem se verificado um problema de geotécnica, normalmente relacionado a estabilidade de taludes. A Figura 21 exibe um mapa da ISC enfatizando os diques básicos pela cor azul.

Figura 21 - Exame de diques Florianópolis.



Fonte: Modificado de Caruso & Awdziej (1993); Tomazzoli & Pellerin (2008).

3.4.2. Granito Ilha (Suíte Pedras Grandes)

A configuração alongada em cunha da ilha se dá pelos morros de composição ígnea que estão grosseiramente alinhados na direção NE, onde estes servem de anteparo para o acúmulo de material sedimentar, muitas vezes derivados dos próprios morros.

São expressos por morros altos, fortemente dissecados, com encostas íngremes, onde afloram principalmente matações de médio a grande porte. Estes afloramentos ocorrem basicamente nos topos

dos morros e nas encostas junto ao mar, quase sempre intensamente alterados, dificultando a amostragem destas rochas.

Corresponde ao Granito Grosseiro Ilha, originalmente definido por Scheibe & Teixeira (1970) onde integra a Suíte Intrusiva Pedras Grandes e engloba também o Granito Serra do Tabuleiro e outros granitoides alcalinos de natureza pós-tectônica, com muita pouca ou nenhuma deformação dúctil. Sendo a rocha predominante na Ilha de Santa Catarina, mostra-se como um sieno-monzogranito maciço, isotrópico, de cor rosada/cinza, textura equigranular, por hora pórfira, grossa ou média e tem como minerais constituintes o quartzo, feldspato K e biotita (anfíbólio); como minerais acessórios zircão, alanita, apatita e minerais de óxidos de Fe-Ti (magnetita/ilmenita). Também apresenta epidoto, sericita/muscovita, clorita, titanita, carbonatos e fluorita como minerais secundários. Idades para a Suíte Pedras Grandes são de U-Pb 595 +/- 5 Ma (Jelinek *et al.*, 2005), e 585-600 Ma (Corrêa, 2016).

3.5. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO RESIDUAL DE GRANITO

Neste tópico serão abordados alguns dados de caracterização do solo residual de granito retirados de Pedroso (2019), onde este estudou a variação do nível de água com a instalação de piezômetros próximos ao local do escorregamento.

O quadro 11 apresenta os resultados dos ensaios mostrando uma heterogeneidade em relação a distribuição granulométrica; e que as amostras do INA 04, 05, 09, mesmas utilizadas pelo autor para inferir o nível de água ao realizar a retroanálise, apontando uma predominância das frações finas (argila e silte) em quase todas as camadas. O escorregamento ocorrido na SC-401 se deu em uma encosta formada por solo residual de granito, classificado por Santos (1997) como Podzólico Vermelho – Amarelo.

Quadro 11 - Resultados dos ensaios de caracterização dos solos residuais de granito.

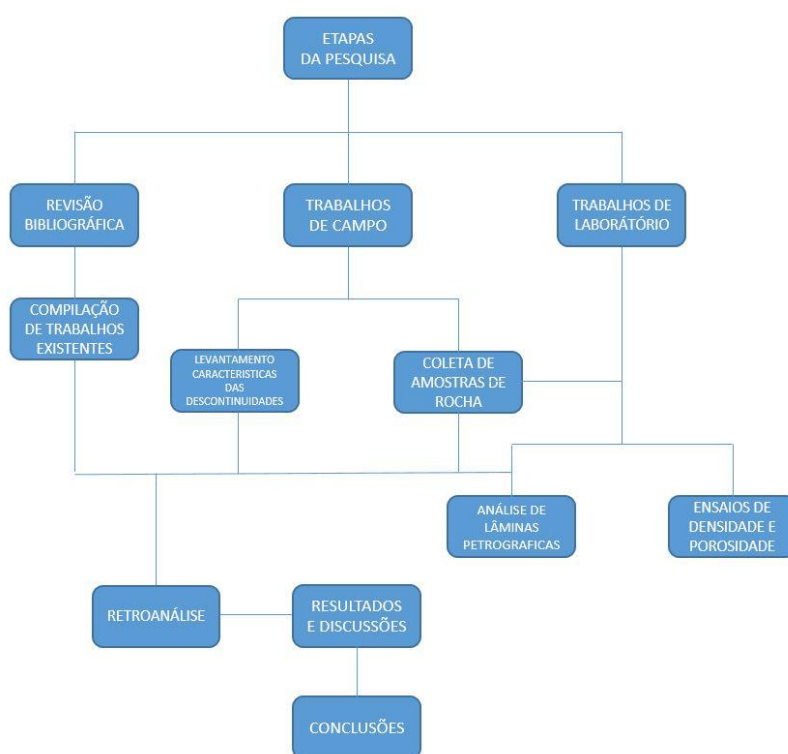
Amostra (INA)	Prof. (cm)	Frações distribuídas por profundidade (%)					
		Argila	Silte	Areia Fina	Areia Méd.	Areia Gr.	Pedreg.
04	* 0 a 30	12,2	18,7	2,0	15,1	30,2	21,8
	* 30 a 50	38,1	26,4	1,2	11,0	13,8	9,5
	* 50 a 80	62,7	5,1	1,8	9,9	11,4	9,1
	* 80 a 100	55,5	11,8	2,2	9,4	13,6	7,5
	* 100 a 120	55,5	9,7	2,6	9,6	11,4	11,2
	* 120 a 150	50,6	12,5	2,8	10,3	12,8	11,1
	* 150 a 170	45,6	17,8	2,1	9,5	11,7	13,2
	* 170 a 190	40,8	15,8	6,5	12,0	12,8	12,0
	* 190 a 210	65,0	9,3	2,0	6,5	10,9	6,3
	200 a 300	58,3	13,5	2,6	8,8	10,9	5,8
05	30 a 150	29,4	25,5	3,4	14,5	15,6	11,6
	150 a 280	32,3	21,9	3,9	10,6	14,1	17,2
08	30 a 150	18,8	15,3	7,9	22,8	21,0	14,2
	150 a 280	30,4	7,5	6,2	20,8	27,1	8,0
09	30 a 150	60,4	9,1	1,0	10,4	12,3	6,9
	150 a 280	49,1	12,5	1,5	13,7	16,2	7,0
Valor médio (somente do autor)		39,8	15,1	3,8	14,5	16,7	10,1

Fonte: Pedroso, 2019.

4. MATERIAIS E MÉTODO

Nesse capítulo é apresentado o método aplicado para a realização dos trabalhos, desde a revisão bibliográfica que foi uma ferramenta utilizada durante todo o desenvolvimento do trabalho, os trabalhos de campo que foram fundamentais para o entendimento do local, análises em laboratório e o uso de software para a realização da retroanálise do escorregamento. O fluxograma apresentado na Figura 22 expressa as etapas que permitiram que se atingisse o objetivo desta pesquisa.

Figura 22 - Fluxograma do presente trabalho



Fonte: Autor (2019).

4.1. LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Para o melhor entendimento local, é de suma importância as visitas técnicas de campo (Figura 23). Foram um total de 10 campos dispersos durante este ano de trabalho; sendo primeiro para o reconhecimento geral do local, posteriormente para os levantamentos de dados como as características das descontinuidades dos maciços rochosos no que diz respeito ao tamanho de suas fraturas, espaçamentos, rugosidade, infiltrabilidade, grau de alteração e com o auxílio da bússola suas orientações de direção e mergulho para assim classificar este maciço de forma empírica. Houve

retirada de amostras de rocha tanto do diabásio quanto do granito para posterior análises em laboratório.

Figura 23 - Imagens do levantamento de campo do maciço.



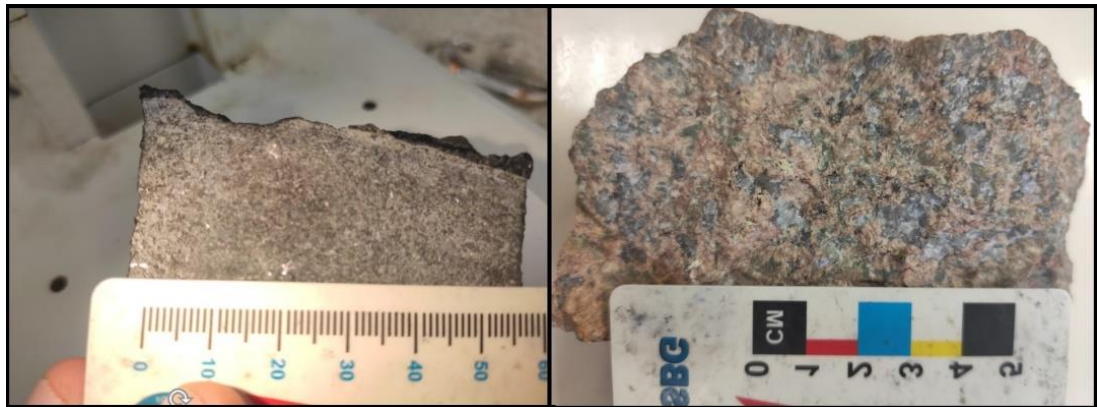
Fonte: Autor (2019).

4.2. TRABALHOS DE LABORATÓRIO

4.2.1. Análise mineralógica

Após a obtenção das amostras em campo, tanto do diabásio quanto do granito (Figura 24), as mesmas foram encaminhadas para o Laboratório de Laminação da UFSC (Lablam) onde foram confeccionadas 2 lâminas petrográficas delgadas de 0,03mm. Posteriormente no Laboratório de Microscopia Ótica da UFSC (LMO) estas lâminas foram observados no microscópio OLYMPUS para uma análise aprofundada de sua composição mineralógica.

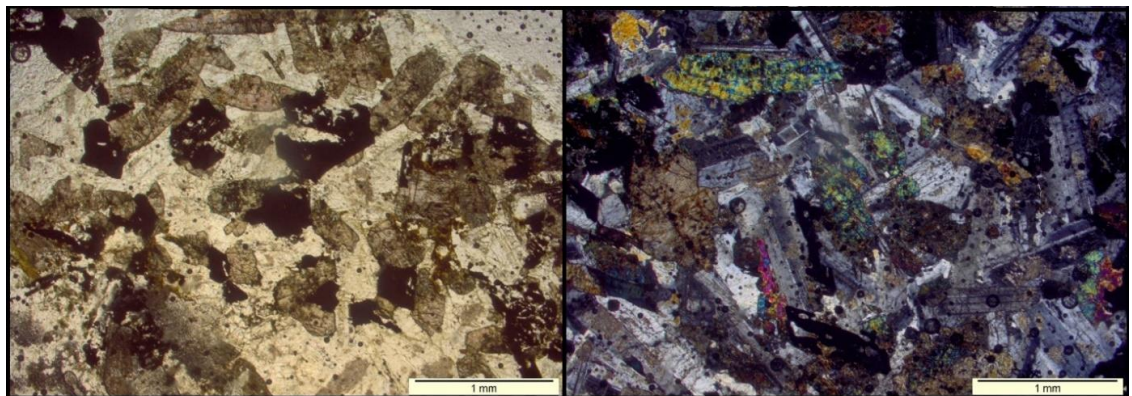
Figura 24 - Amostras macroscópicas do diabásio e granito, respectivamente.



Fonte: Autor (2019).

A rocha básica foi identificada como um diabásio devido sua granulometria média, cristais variando entre 1mm e 3mm. Constituída essencialmente por plagioclásios básicos, clinopiroxênios (titanoaugitas) e opacos (magnetita e ilmenita). De cor negra, melanocrática, textura equigranular fina a média. Apresenta feição de entelhamento dos plagioclásios devido ao fluxo, estes são predominantemente euédricos e temos o intercrescimento de opacos com quartzo mostrando uma cristalização tardia. Na Figura 25 a visão da lâmina em um microscópio petrográfico:

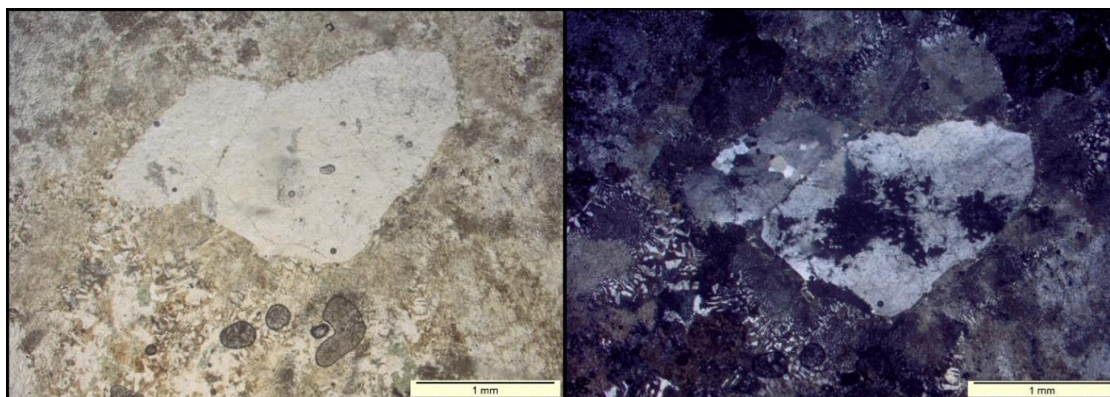
Figura 25 - Amostra do diabásio vista de um microscópio petrográfico em luz natural e polarizada, respectivamente.



Fonte: Autor (2019).

Já a segunda rocha é composta praticamente por feldspato alcalino, quartzo e plagioclásio. É um granito raso de resfriamento rápido pois contém uma matriz com textura micrográfica que se evidencia pelo intercrescimento do quartzo com o feldspato alcalino e típico de série alcalina devido ao quartzo facetado precoce que aparece incluso dentro dos feldspatos. Rocha classificada como um sienogranito. Na Figura 26 a visão da lâmina em um microscópio petrográfico:

Figura 26 - Amostra do granito vista de um microscópio petrográfico em luz natural e polarizada, respectivamente.



Fonte: Autor (2019).

4.2.2. Metodo para determinação de porosidade/densidade saturado

Este método, sugerido pela ISRM (1997), destina-se a medir porosidade, densidade seca e propriedades relacionadas de uma amostra de rocha sob a forma de agregados de geometria irregular, este deve ser usado para rochas que não desintegre sensivelmente quando for imerso em água.

Foram coletados 10 fragmentos do diabásio, cada um com uma massa de pelo menos 50g. Primeiramente foram levadas em uma estufa a 100 C por um período de 24hrs, assim obtendo sua massa seca ($M_s=669,6g$). Posterior as amostras foram saturadas por imersão em água em vácuo inferior a 800 Pa (6 torr) por um período de 1 hora e meia, com agitações periódicas para remover o ar preso, então colocadas em uma cesta em banho de imersão onde foi adquirida a massa saturada submersa ($M_{sub}=446g$). Após removida do banho de imersão e seco em um pano úmido com cuidado se adquire a massa saturada ($M_{sat}=672,6g$). Estas etapas são melhor visualizadas na Figura 25 e Figura 26. Os resultados da porosidade e da densidade seca são obtidos com o emprego das Equações 3 e 4. Obteve-se para as amostras de diabásio um valor de densidade seca de $2,95g/cm^3$ (Pd), porosidade de 1,32% (n).

$$\bullet \quad n = 100V_v/V \% \quad (3)$$

$$\bullet \quad Pd = M_s/V \quad (4)$$

Onde:

n – porosidade da rocha

V_v – volume de vazios

V – volume da amostra

Pd – densidade seca da rocha

M_s – massa seca da rocha

As Figuras 27 e 28 mostram algumas etapas para a realização deste método.

Figura 27 - Amostras do diabásio.



Fonte: Autor (2019).

Figura 28 - Amostras secando em estufa e sob pressão saturada, respectivamente.



Fonte: Autor (2019).

4.3. RETROANÁLISE

Foi utilizado para a realização retroanálise o método de equilíbrio limite de Bishop Simplificado (BISHOP, 1955) e o software Slope/W (GEOSTUDIO, 2012). Para a aplicação desta

técnica foi empregada a metodologia proposta por Gomes (2003) e Jesus (2008) com algumas modificações, onde consiste praticamente em adotar parâmetros de resistência que são constantes na superfície do deslizamento satisfazendo a condição de fator de segurança igual a unidade, $FS=1$. O método aplicado consiste em três etapas distintas resumidas nos itens descritos abaixo:

a) Reconstituição geométrica da encosta rompida

Esta etapa consiste em recuperar as informações a respeito do escorregamento em estudo, tendo em vista que o mesmo ocorreu a mais de uma década. A geometria da superfície antes e depois da ruptura do talude foi obtida a partir dos levantamentos planialtimétricos realizados pelo DEINFRA (2008) e podem ser observadas nas Figuras 29 e 30.

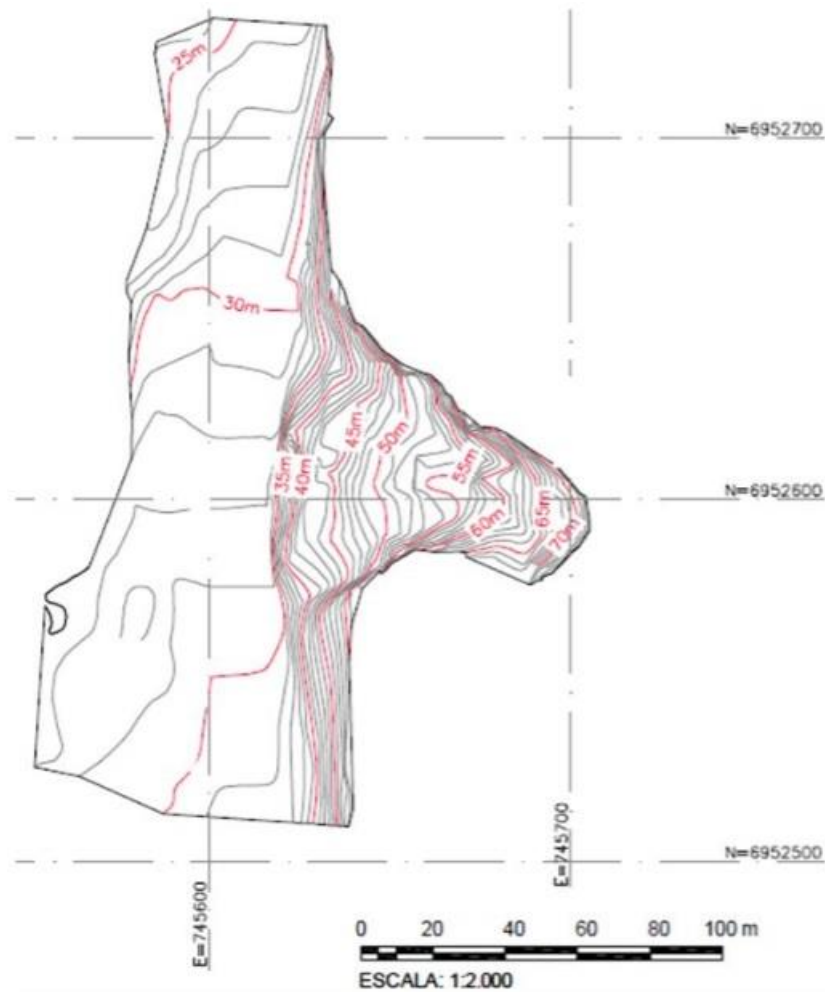
Figura 29 - Representação das curvas de nível da região atingida pelo escorregamento anterior a sua ocorrência.



Fonte: DEINFRA (2008)

Figura 30 - Representação das curvas de nível da região atingida pelo escorregamento após a sua

ocorrência.



Fonte: DEINFRA (2008).

b) Definição da Curva $c = f(\phi)$

Esta etapa consiste em determinar a curva $c = f(\phi)$ para que o fator de segurança seja unitário, através dos seguintes processos:

- Fixar o raio e o centro do círculo de ruptura (Draw → Slip Surface → Fully Specified) determinados pela intersecção das geometrias antes e depois da ruptura;
- Determinar os pares de coesão e ângulo de atrito para FS=1;
- Construir gráfico de coesão x ângulo de atrito;

c) Determinação dos parâmetros de resistência

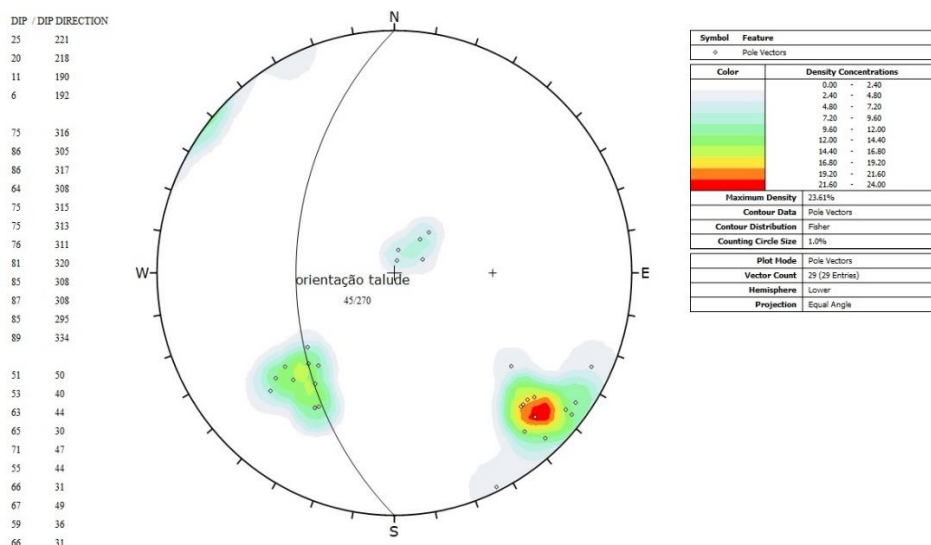
Após definição do gráfico coesão x ângulo de atrito, é fixado o centro do círculo de ruptura e deixado livre o raio (Draw → Slip Surface → Entry and Exit), então utiliza-se todos os pares de $c = f(\phi)$ definidos em “b”, gerando a superfície de ruptura com FS mais crítico para assim traçar o gráfico de FS crítico x ângulo de atrito. Escolhido o ângulo de atrito que mais se adequa a superfície de ruptura e mais se aproxima do valor do FS=1, volta-se ao gráfico $c = f(\phi)$ e determina-se a coesão correspondente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO DE DIABÁSIO PELO MÉTODO EMPÍRICO SMR

Primeiramente foi aplicado o sistema RMR (Bieniawski, 1973) que conta com uma série de parâmetros retirados dos trabalhos de campo (Quadro 12), como medições com fita métrica de comprimento e espaçamento das descontinuidades, verificação da largura de suas aberturas, também quanto ao seu preenchimento, presença de água, rugosidade e grau de alteração. Para o cálculo do RQD foi usada a Equação (1) de Palmstrom (1982) e com ajuda do esclerômetro foi possível obter o valor da resistência da rocha *in situ*. Por fim, foi realizado o levantamento das atitudes das descontinuidades com o auxílio da bússola.

Figura 31 - Estereograma confeccionado pelo software ROCSCIENCE DIP 6.



Fonte: Autor (2019).

Este método consiste em analisar estes diversos fatores para cada família de descontinuidade presente no afloramento. Como o afloramento (Figura 32) é de apenas um tipo de rocha (dique de diabásio) com extensões relativamente pequenas, na ordem de 3 metros de altura por 20 metros de comprimento, os parâmetros não variaram muito, condizente com o quadro 12.

Figura 32 - Afloramento do diabásio na margem da rodovia SC-401.



Fonte: Autor (2019).

Adaptado de Bieniawski, o Slope Mass Rating é um método mais complexo para avaliar as situações de instabilidade de um talude rochoso, pois este utiliza a classificação RMR, adicionando

três subfatores que dependem da orientação das descontinuidades mais um fator de ajuste relacionado ao método de escavação ou desmonte.

Quadro 13 - Resultados obtidos pela classificação SMR.

SLOPE MASS RATING							
FAMILIA 1 (245/15)		FAMILIA 2 (312/80)		FAMILIA 3 (50/60)			
P	B	P	B	P	B		
f1	0,4	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
f2	0,15	1	1	1	1	1	1
f3	-60	0	0	-25	0	0	0
f4	0	0	0	0	0	0	0
RMR	77	77	80	80	80	80	80
SMR	73,4	77	80	76,2	80	80	80

Fonte: Autor (2019).

Neste processo foram utilizadas diversas medidas de campo de fraturamento do maciço em relação ao mergulho e direção do mergulho ($45^{\circ}/270^{\circ}$) do talude estudado, onde se obteve o Quadro 13 acima. Os valores de f1, f2, f3 são confeccionados a partir do Quadro 4. No que diz respeito ao fator de ajuste (f4), o valor adotado foi de 0 (zero), pois trata-se de um talude rodoviário feito por escavação mecânica ou desmonte com explosivos, conforme citado no Quadro 5.

Como resultado, a metodologia do SMR propõe pegar valor mais baixo e estender para o maciço todo. A família 1 obteve este menor valor de 73,4 pontos, na coluna de ruptura planar, que se encaixa como classe II, ou seja, maciço definido como bom e estável, porém podendo ocorrer a ruptura de alguns blocos, conforme Quadro 6. Como suporte recomendado, o método indica uma vala na base do talude e/ou redes metálicas - Pregagem pontual ou sistemáticas - Concreto projetado pontualmente.

5.2. RETROANÁLISE DO DESLIZAMENTO

Neste tópico será apresentado os resultados obtidos pelo software GeoStudio (Slope/W), onde foi gerado um perfil levando em consideração a geometria natural do talude que conta com 95 metros de extensão por 50 metros de altura, superfície ondulada e inclinação variando entre 25° e 45° .

Na Figura 33 é possível analisar a dimensão do deslizamento, sendo o maior em volume ocorrido na ISC.

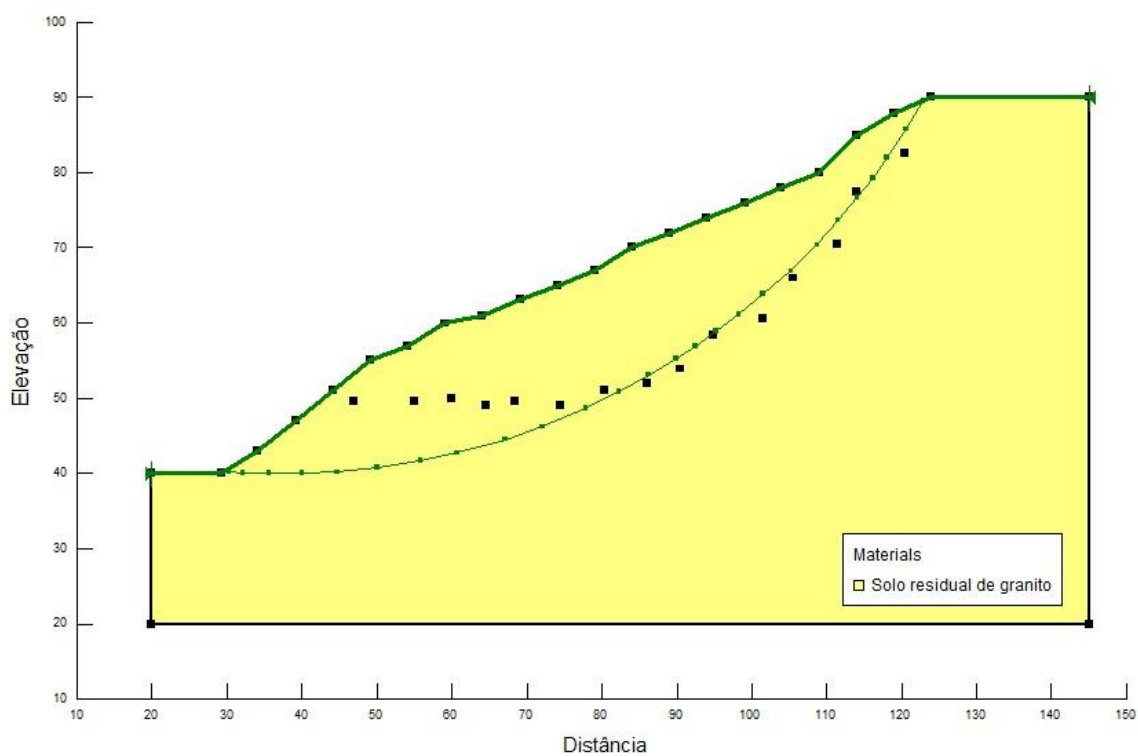
Figura 33 - Imagem pós-escorregamento mostrando a camada espessa de solo deslocada.



Fonte: Oliveira, 2008.

A partir de uma compilação de dados retirados de Nunes (2017) e Oliveira *et al* (2012); ambos da mesma área do local do escorregamento, foi definido o γ_{nat} de 17kN/m^3 e γ_{sat} de $19,04\text{kN/m}^3$. A Figura 34 mostra a superfície natural antes definida pela linha verde e depois da ruptura pelos pares de coordenadas juntamente com uma superfície de ruptura estabelecida com raio e centro da circunferência fixos (Draw \rightarrow Slip Surface \rightarrow Fully Specified).

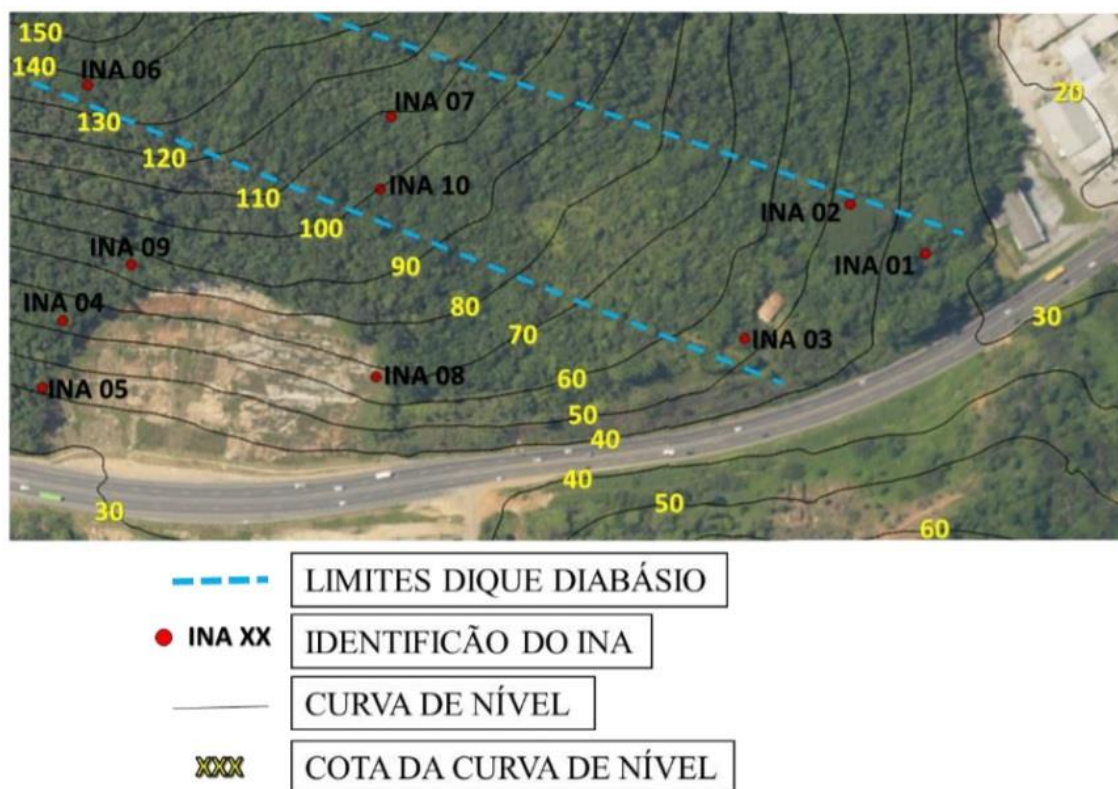
Figura 34 - Superfície natural do talude com superfície de ruptura crítica definida.



Fonte: Autor (2019).

A retroanálise foi feita para o solo saturado, levando em consideração o índice pluviométrico acumulado no dia 23 de novembro, dia do escorregamento, de 160mm. Esse índice alto de chuva é fator preponderante para a ruptura da encosta. Também para o nível de água de 3 metros, retirado de Pedroso (2019), onde foi realizado um estudo de efeito da variação do nível de água subterrânea no mesmo local do presente trabalho, com a instalação de piezômetros e medidores de níveis de sucção no entorno da área conforme a Figura 35.

Figura 35 - Croqui de localização dos indicadores de nível d'água.



Fonte: Imagem Google Earth, retirada de Pedroso (2019).

A partir desta figura foi utilizado os indicadores de nível de água, INA 04, INA 05 e INA 09, ambos de solo residual de granito, juntamente com os dados do dia mais crítico em relação ao índice pluviométrico, 03 de setembro de 2018, conforme o quadro 14:

Quadro 14 - Resumo dos dados pluviométricos obtidos na UCAD e série histórica para Florianópolis.

MÊS	DADOS OBTIDOS (2018)			SÉRIE HISTÓRICA (1948-2018)	
	PLUV. (mm)	MÁXIMO 24h (mm)	DIAS SEM CHUVA	PLUV. (mm)	DIAS SEM CHUVA
Julho	135,40	65,0 (25/07)	15	88,8	21,1
Agosto	82,60	18,2 (21/08)	15	88,4	9,8
Setembro	196,80	73,8 (03/09)	6	129,6	12,8
Outubro	129,80	32,6 (26/10)	7	131,2	15
Novembro	133,40	33,8 (30/11)	9	130,4	14,4
Dezembro	125,60	45,6 (20/12)	15	145,3	15,7

Fonte: EPAGRI/CIRAM (retirado de Pedroso, 2019).

Segundo Pedroso (2019) o evento de precipitação do dia 03 de setembro, com chuva de 78,3 mm e acumulado de 30 mm nos três dias anteriores, pôde ser observado leitura em todos os INA e os valores respectivos para os INA 04, INA 05 INA 09 são de 2,74m, 3m e 2,76m.

O trabalho de retroanálise têm como primeiro passo a obtenção dos diferentes pares de valores de de coesão e ângulo de atrito que fornecem, para a superfície de ruptura (ver Figura 34) um fator de segurança unitário. Para a condição totalmente saturada obteve-se os pares c x ϕ para a condição de FS=1, variando o ϕ de 5° em 5°. A obtenção deste gráfico, apresentado na Figura 36, foi de raio e centro da circunferência fixos (Draw → Slip Surface → Fully Specified).

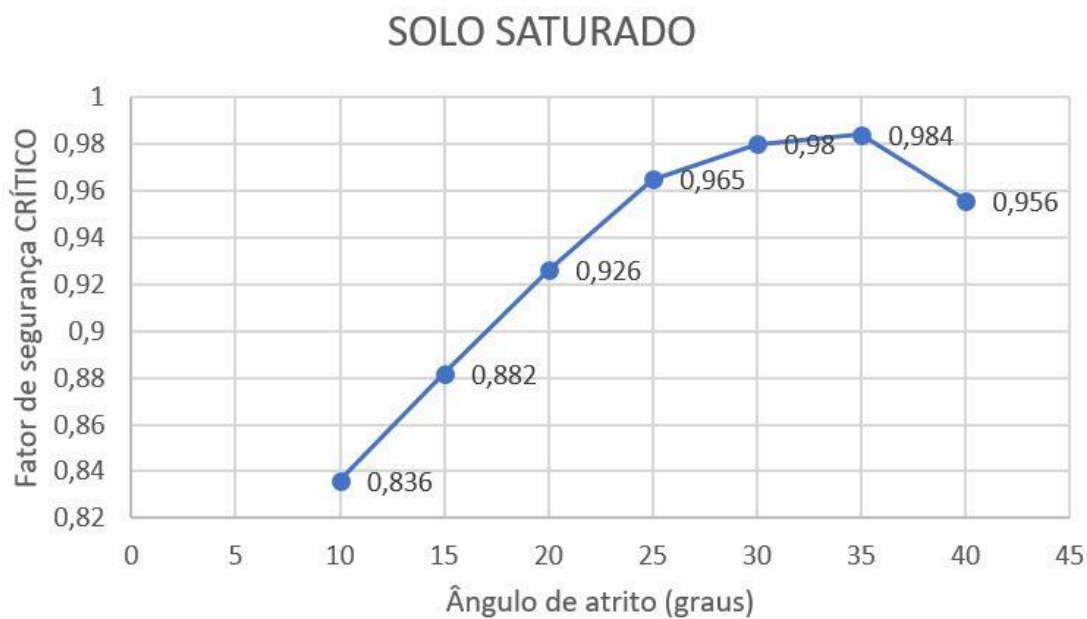
Figura 36 - Gráfico coesão vs ângulo de atrito para solo saturado.



Fonte: Autor (2019).

Nota-se que para condição mais próxima do fator de segurança unitário na Figura 37 com raio livre e centro de círculo fixo (Draw → Slip Surface → Entry and Exit), o ângulo de atrito que mais se aproxima ao FS=1 é igual a 35°. Retornando na Figura 36 é definido o valor de coesão igual a 27kPa.

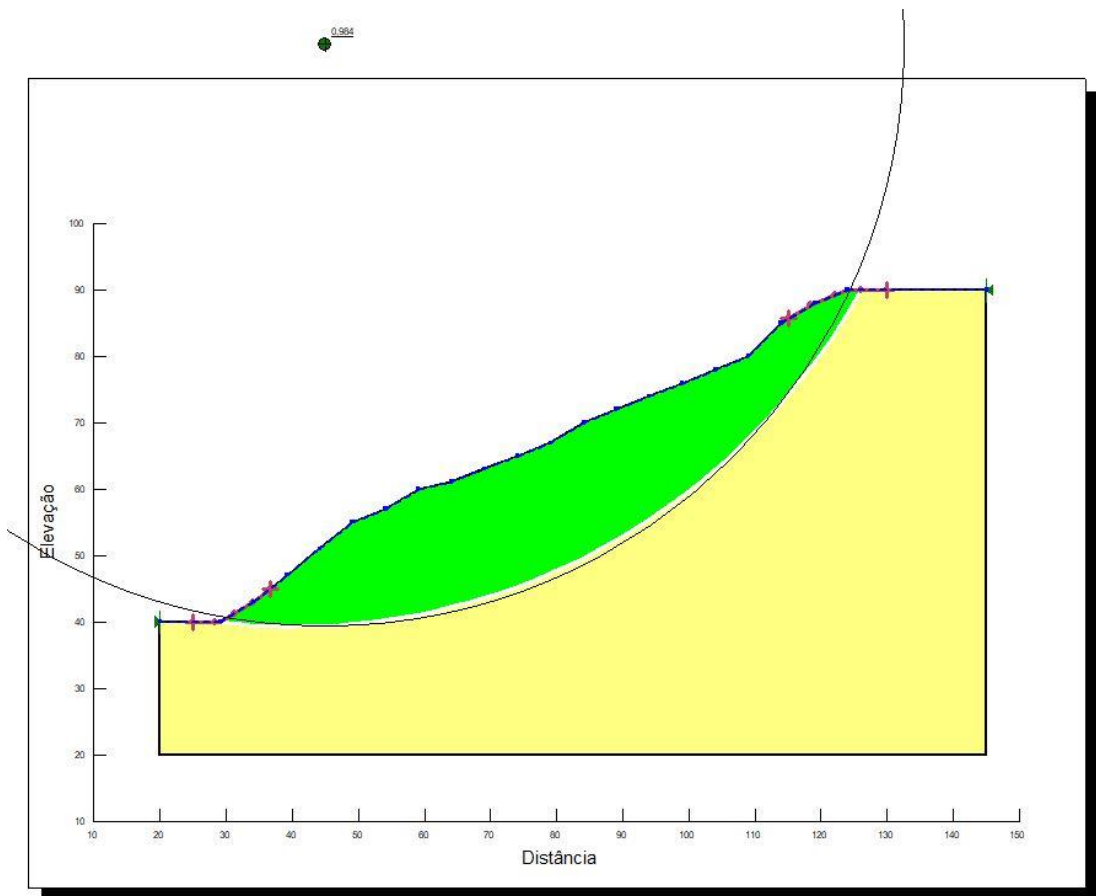
Figura 37 - Gráfico FS crítico vs ângulo de atrito para solo saturado.



Fonte: Autor (2019).

Após definido o par de resistência (35°, 27KPa) realizou-se a etapa final da metodologia de retroanálise, onde se obteve a superfície de ruptura crítica com FS=0,984 identificada na Figura 38 pela cor verde que praticamente se sobrepôs à superfície que esta marcada pela linha preta, pré-estabelecida pelo autor segundo a etapa “b” da metodologia .

Figura 38 - Retroanálise para solo saturado.



Fonte: Autor (2019).

A retroanálise feita para a condição de nível de água de 3 metros abaixo da superfície original obteve os pares de coesão e ângulo de atrito para $FS=1$, variando o ϕ de 5° em 5° , apresentado na Figura 39.

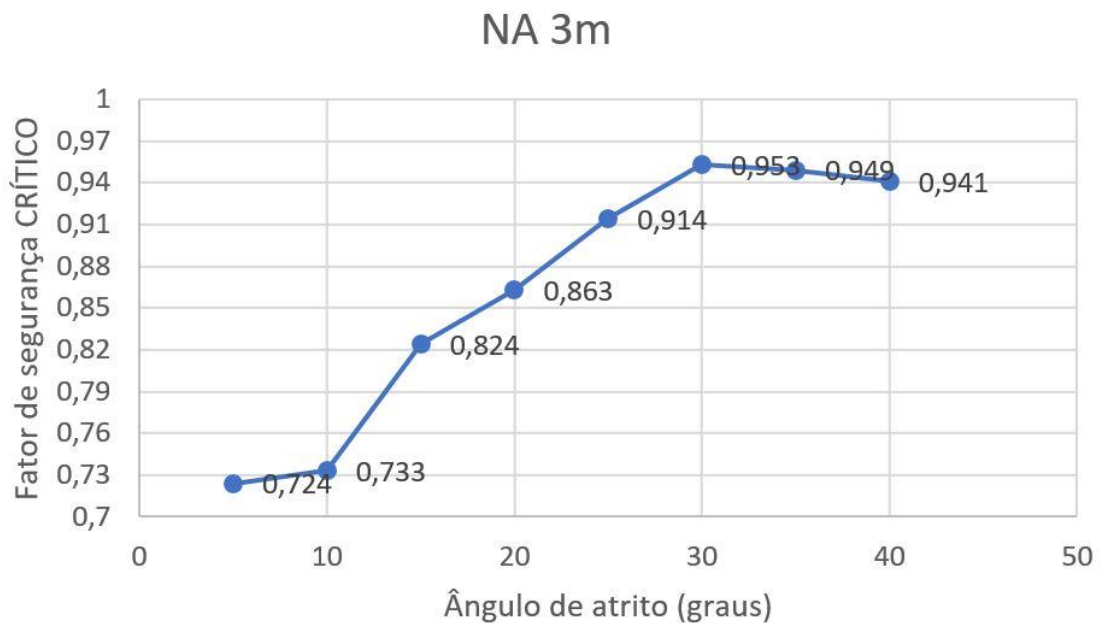
Figura 39 - Gráfico coesão vs ângulo de atrito para nível de água de 3 metros.



Fonte: Autor (2019).

Observa-se que para condição mais próxima do fator de segurança unitário na Figura 40 com raio livre e centro de círculo fixo (Draw → Slip Surface → Entry and Exit), o ângulo de atrito é igual a 30°. Retornando na Figura 39 é definido o valor de coesão igual a 22kPa.

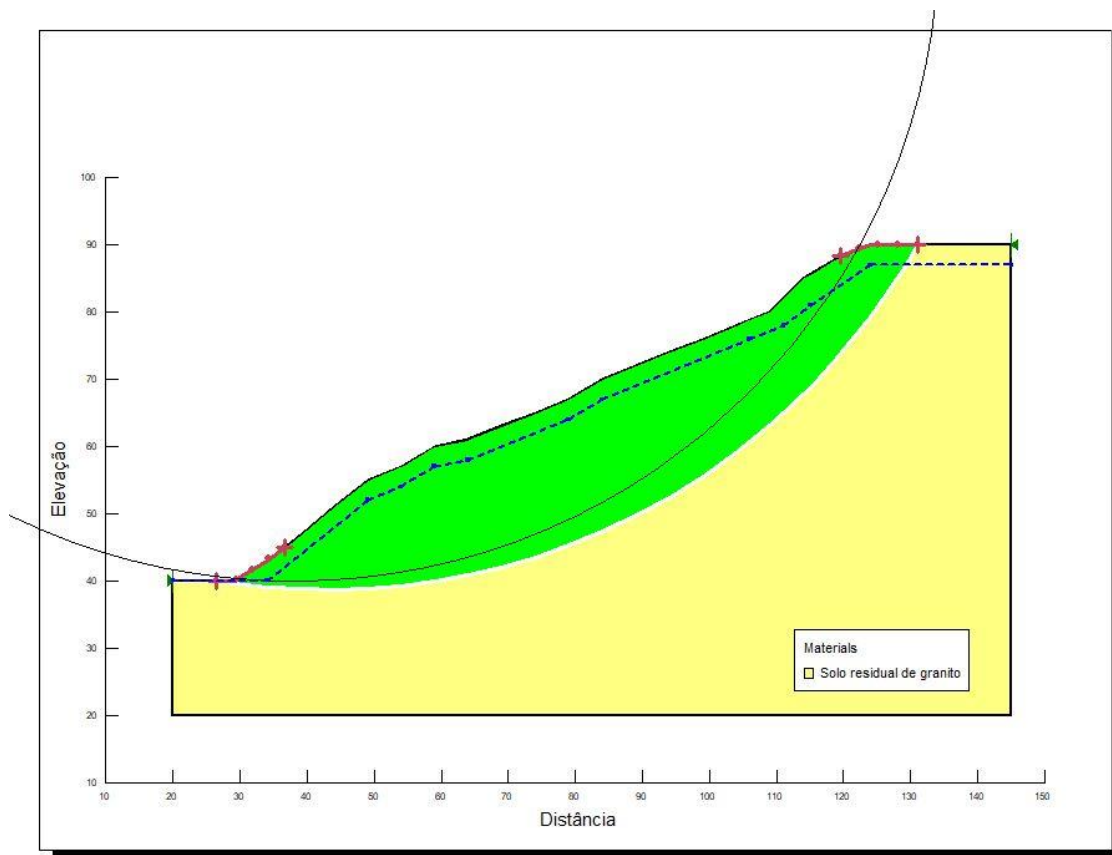
Figura 40 - Gráfico FS crítico vs ângulo de atrito para NA 3 metros.



Fonte: Autor (2019).

Após definido o par de resistência (30°, 22KPa) realizou-se a etapa final da metodologia de retroanálise, onde se obteve a superfície de ruptura crítica com FS=0,953 identificada na Figura 41 pela cor verde. O círculo com linha preta mostra a superfície definida em “b” para poder ser feita a comparação com a superfície gerada pelo par de parâmetros escolhidos.

Figura 41 - Retroanálise para NA de 3 metros.



Fonte: Autor (2019).

Quadro 15 - Resumo retroanálise.

Identificação	ϕ	Coesão	FS crítico
Solo Saturado	35°	27kPa	0,984
NA 3 metros	30°	22kPa	0,953

Fonte: Autor (2019)

O Quadro 15 apresenta uma síntese da retroanálise onde o par de resistência para o solo saturado (35°, 27KPa) foi o que mais se aproximou da superfície de ruptura estabelecida pela etapa “b”

e que obteve o valor de FS crítico mais próximo do unitário. Já para o nível de água de 3 metros tanto o ângulo de atrito quanto a coesão alcançaram valores menores comparados ao anterior e a superfície de ruptura crítica distanciou-se da definida pelo autor. Nunes e Massoco (2017) obtiveram em ensaios laboratoriais de cisalhamento direto inundado os pares de ângulo de atrito e coesão de 28°/12Kpa e 29°/20Kpa, respectivamente. Mostrando assim a diferença entre os resultados encontrados pelo Software e os obtidos por ensaios de laboratório.

6. CONCLUSÕES

A área em estudo conta com a presença do Granito Ilha seccionado pelo dique básico do Enxame de Diques Florianópolis exibido pelo corte de estrada da SC-401. Após investigações geológicas-geotécnicas em campo e laboratório, foi possível obter uma caracterização principalmente em relação ao dique de diabásio onde foi realizado um levantamento completo de suas discontinuidades afim de classificá-lo e descobrir sua interferência no deslizamento do talude. Constata-se pela classificação empírica do sistema Slope Mass Rating, SMR, que o maciço de diabásio é bastante fraturado e apresenta pelo menos três famílias distintas de discontinuidades, porém se encaixa na classe II que reflete a um afloramento de corte de estrada estável, podendo acarretar apenas a rotura de alguns blocos. Como solução de estabilização o emprego de redes metálicas ou pregagem pontual são recomendadas pelo próprio método. Observando o histórico da área como uma das mais problemáticas da Ilha de Santa Catarina no que diz respeito à deslizamentos, juntamente com trabalhos de outros autores realizados no mesmo local é possível afirmar que o dique de diabásio interferiu pelo menos no quesito de infiltrabilidade e percolação da água em sub-superfície. Em relação a retroanálise definiu-se através do software GeoStudio (SLOPE/W) pelo método Bishop Simplificado o par de coesão e ângulo de atrito para a situação com nível de água de 3 metros de 30° e 22Kpa → FS=0,953 e para o solo saturado o par de resistência (35°, 27KPa) que mais aproximou do fator de segurança unitário (FS=0,984) e ajustou-se melhor a superfície de ruptura crítica adotada pelo autor. Por fim, é interessante ressaltar que estudos de retroanálise são de grande importância em relação ao monitoramento de deslizamentos. Uma vez que estes desastres são ocasionados naturalmente ou por ação antrópica do uso indevido de ocupação de encostas. Estes eventos, quando em ocorridos em zonas urbanas, danificam infraestruturas dos municípios, causam transtornos a população, provocam danos materiais e ainda podem acarretar a perdas de vida.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11682: Estabilidade de Taludes**. Rio de Janeiro, 1991. 39p.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**, In: Conferência brasileira sobre estabilidade de encostas. Anais... Rio de Janeiro, v.2. p. 721-733, 1992.

AUGUSTO FILHO, O. & VIRGILI, J. C. (1998), Geologia de Engenharia, **Estabilidade de Taludes**, ABGE, São Paulo, Cap. 15, p. 243-269.

Bieniawski, Z. 1974. Estimating the Strength of Rock Materials. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. Março 1974, pp. 312-320.

Bieniawski, Z. T. 1989. *Engineering rock mass classifications*. 1º. s.l. : Wiley-Interscience, 1989. pp. 51-72. ISBN 0-471-60172-1.

BIM, R; **Mapa de susceptibilidade a movimento de massa da microbacia do Ribeirão das Pedras/SC determinado com ênfase na variação pluviométrica**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis. 2015.

BISHOP, A. W. (1955), **The Use of The Slipe Circle in The Stability Analisyis of Slopes**, *Geotechnique*, v. 5, n. 1, p. 7-17

CARUSO JR., F. **Mapa geológico da ilha de Santa Catarina – Escala 1:100.000**. Texto explicativo e mapa. Notas Técnicas, v. 6, p. 1-28, 1993.

CORRÊA, V. X. **Geoquímica, Isotopia e geocronologia das rochas graníticas do Batólito Florianópolis na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. 2016. 219 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 6 ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Ministério de Agricultura e Abastecimento. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Serviço de Produção de Informação, SPI, Brasília, DF, 1999, 411p. Cadernos Geográficos/Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Departamento de Geociências. Florianópolis: Imprensa Departamento de Geociências, n. 27, 2010.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. (1996). **Movimentos de massa: uma abordagem geológico geomorfológica**. In Guerra, A.J.T. e Cunha, S.B. (org.) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro: 123-194.

FERRER, M., 2002. Rock Mechanics. [autor do livro] L. Vallejo, et al. *Ingeniería Geológica*. 2º. Madrid : Pearson Educación, 2002, III; IX; XIII, pp. 117-236; 429-286; 607-620.

GOMES, C. L. R (2003), **Retroanálise em Estabilidade de Taludes em Solo: Metodologia para Obtenção dos Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento**. 2003. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

GUIDICINI, G., NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo, 1984.

HEIDEMANN, M. **Estudo dos solos de uma encosta instável em São José – SC: Intemperismo e comportamento geotécnico**. Tese de Doutorado – Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2015.

HIGHLAND, Lynn M.; BOBROWSKY, Peter. **The landslide handbook: A guide to understanding landslides**. Reston, Virginia, EUA. Geological Survey, 2008. 129 p.

HIGHLAND, L. M; BOBROWSKY, P. **O manual de deslizamento – um guia para a compreensão de deslizamentos**. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2008.

HORN FILHO, N.O. & LIVI, N.S. **Mapa geoevolutivo da planície costeira da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Departamento de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. ISBN 978-85-60501-10-6. 2013.

Hudson, J. 1993. Rock Testing and Site Characterization. [book auth.] M. R. Romana. *A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating*. 1°. Oxford : Pergamon Press, 1993, Vol. III, p. 45.

HUTCHINSON, J. N. 1968. **Mass movement. Mass movement.** R.W. Fairbridge. Reinhold Book, New York, pp. 688-700.

HUTCHINSON, J. N. (1988) General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *5th International Symposium on Landslides*. A. A. Balkema, Lausanne: 3-35.

IAEG (1990) Suggested nomenclature for landslides. *International Association of Engineering Geology Bulletin*, 41: 13-16.

JELINEK, A. R., BASTOS NETO, A. C., LEITE, J. A. D., HARTMANN, L. A., MCNAUGHTON, N. J. (2005). **SHRIMP U-Pb zircon dating of Pedras Grandes Suite, southern Santa Catarina State, Brazil.** *Academia Brasileira de Ciências*. 77(1): 125-135.

JESUS, A. C. (2008), **Retroanálises de escorregamentos em solos residuais não saturados.** Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.

LIVI, N.S. **Geologia, geomorfologia e evolução paleogeográfica da planície costeira da ilha de Santa Catarina, litoral Central do estado de Santa Catarina, Brasil, em base ao estudo dos depósitos quaternários.** Florianópolis. 2009. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia). Departamento de Geociências. Universidade Federal de Santa Catarina.

LIVI, N.S. & HORN FILHO, N.O. **Geologia e geomorfologia da planície costeira da ilha de Santa Catarina, litoral Central do estado de Santa Catarina, Brasil, em base ao estudo dos depósitos quaternários.** In: HORN FILHO, N.O. (Org.). *Roteiros geológico-oceanográficos costeiros ao longo da ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil.* Cadernos Geográficos/Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Departamento de Geociências. Florianópolis: Imprensa Departamento de Geociências, n. 27, 2010.

MASSOCCO, N. S; **Determinação dos parâmetros geotécnicos de solos residuais com ênfase na mecânica dos solos não saturados.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis. 2017.

MELLO, V. F. B.(1972), Thoughts on Soil Mechanics Applicable to Residual Soils, *Southeast Asian Conference on Soil Engineering*, 3, Hong-Kong, Proceedings, p.5-34.

MONTGOMERY, C. W. **Environmental Geology**. 3ª Ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1992. 465p.

NOGAMI, J. S.; BERNUCCI, L. L. B.; VILLIBOR, D. F. **Contração de solos arenosos finos lateríticos: simplificações para a escolha desses solos para bases de pavimentos de baixo custo**. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação, Anais, Cuiabá, 1995, ABPv, v.1, p.345-363

NUNES, G. B. **Estudo da influência das variações sazonais do perfil de sucção no fator de segurança ao deslizamento de uma encosta de solo residual de granito e diabásio**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis. 2017

OLIVEIRA, O. M; BIM, R; ESPINDOLA, M. S. **Aspectos geotécnicos do escorregamento de encosta da rodovia SC-401/Florianópolis**. In: XVI COBRAMSEG, 2012, Recife/PE. XVI COBRAMSEG, 2012.

PALMSTRON, A. 1982. *The volumetric Joint Count - A useful and simple measure of the degree of Jointing*. 1982, pp. 221-228.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. Oficina de Textos, São Paulo, 2000.

QUEIROZ, Rudney C. **Geologia e geotecnia básica para engenharia civil**. São Carlos: RiMa, 2009. 406p.

RAIMUNDO, Huri Alexandre. **Aspectos Geotécnicos e Pluviométricos Associados a Instabilidade de Encostas em Florianópolis – SC**. Florianópolis, 1998, 325p. – UFSC, CPGEC, Santa Catarina.

ROMANA, M., SERÓN, J. AND MONTALAR, E. 2003. **SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation**. *ISRM 2003–Technology roadmap for rock mechanics*. 2003, p. 4.

SANTOS, G. T., (1997) - **Integração de Informações Pedológicas, Geológicas e Geotécnicas Aplicadas ao Uso do Solo Urbano em Obras de Engenharia. Porto Alegre.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós - Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - PPGEM/UFRGS.

SCHEIBE, L.F. & TEIXEIRA, V.H. **Mapa topogeológico da ilha de Santa Catarina.** Porto Alegre. DNPM (inédito, sem texto explicativo). 1970.

SHARPE, C.F.S. **Landslide and Related Phenomena.** Columbia University press, New York. 1938.

SOTEPÁ. **Projeto de Estabilização do Corte de Cacupé.** Vol. único: caderno de textos e plantas. Florianópolis, 1996.

TOMAZZOLI, E.R. & PELLERIN, J.R.M. **Mapa geológico da ilha de Santa Catarina.** Departamento de Geociências UFSC. 2014.

VARNES, D. J. **Landslides types and processes.** In Eckel, E.B. (ed.) Landslides and Engineering Practice. National Academy of Science, Washington: 20-47. 1958

VARNES, D. J. **Landslides, analysis and control.** Special Report 176, National Academy of Sciences, cap II, 1978.

ZANINI, L.F.P.; BRANCO, P.M.; CAMOZZATO, E.; RAMGRAB, G.E. (Orgs.) **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.** Florianópolis (Folha SH.22- Z-D-V) e Lagoa (Folha SH.22-Z-D-VI). Mapas. Escala 1:100.000 Brasília. CPRM, 252p. 1997.

WOLLE, C.M. **Taludes Naturais: mecanismos de instabilização e critérios de segurança.** Dissertação de Mestrado. São Paulo, 1980.

PEDROSO, V.L. **Efeito da Variação do Nível de Água Subterrânea na Estabilidade de uma Encosta de Solo Residual de Granito e Diabásio da Ilha de Santa Catarina/Florianópolis – SC.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis. 2019

