



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE GEOLOGIA

BENITO RAFAEL SANTANA DE LA TORRE

**A INFLUÊNCIA DAS ESTRUTURAS DÚCTEIS E RÚPTEIS
NA ESTABILIDADE DOS TALUDES ROCHOSOS DO RIO
VERMELHO E ONDINA, SALVADOR, BAHIA**

Salvador

2019

BENITO RAFAEL SANTANA DE LA TORRE

**A INFLUÊNCIA DAS ESTRUTURAS DÚCTEIS E RÚPTEIS
NA ESTABILIDADE DOS TALUDES ROCHOSOS DO RIO
VERMELHO E ONDINA, SALVADOR, BAHIA**

Monografia apresentada ao Curso de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade Federal da
Bahia como requisito parcial para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. MSc. Henrique César Assumpção

Salvador

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Santana de la Torre, Benito Rafael
A INFLUÊNCIA DAS ESTRUTURAS DÚCTEIS E RÚPTEIS NA
ESTABILIDADE DOS TALUDES ROCHOSOS DO RIO VERMELHO E
ONDINA, SALVADOR, BAHIA / Benito Rafael Santana de la
Torre. -- Salvador, 2019.
68 f.

Orientador: Henrique César Pereira Assumpção.
ICC (Graduação - Geologia) -- Universidade Federal
da Bahia, IGEO, 2019.

1. Geotecnia. 2. Geologia Estrutural. I. Pereira
Assumpção, Henrique César. II. Título.

TERMO DE APROVAÇÃO

BENITO RAFAEL SANTANA DE LA TORRE

**A INFLUÊNCIA DAS ESTRUTURAS DÚCTEIS E RÚPTEIS
NA ESTABILIDADE DOS TALUDES ROCHOSOS DO RIO
VERMELHO E ONDINA, SALVADOR, BAHIA**

Trabalho final de graduação aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

1º Examinador – Prof. MSc. Henrique César Assumpção – Orientador.
Instituto de Geociências - Universidade Federal da Bahia

2º Examinador – Geólogo Msc. José Carlos Fernandes da Silva
SUCOP – Superintendência de Obras Públicas

3º Examinador – Prof. Dr. Luiz César Corrêa Gomes
Instituto de Geociências - Universidade Federal da Bahia

Salvador, 22 de novembro de 2019.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar a geomecânica e instabilidade dos cortes de estradas e correlacioná-los com o contexto geoestrutural da região, que está subjugado aos eventos deformacionais tectônicos do Paleoproterozóico e do Cretáceo. A área de estudo localiza-se no município sede de Salvador, cuja geomorfologia atual é uma herança dos eventos tectônicos ocorridos no passado. Para a realização deste trabalho foram usados dados de campos em dois taludes rochosos, localizados na região do Rio Vermelho e Ondina. Os locais foram escolhidos devido ao fácil acesso, localização privilegiada e importância do ponto de vista geotécnico. Foram descritas as litologias a partir de medidas das atitudes por meio de bússola. Para a análise estrutural foi utilizado o método *scanline*, que consiste na análise das estruturas que interceptam uma linha de barbante, com 1 metro de largura, posicionada horizontalmente sobre o talude. Esta técnica foi utilizada para melhor entender o espaço físico da superfície da encosta e suas interações com todas as discontinuidades. O estudo foi realizado com a criação dessas linhas em regiões onde o comportamento da encosta e suas discontinuidades foram mais bem representadas. Após a coleta, esses dados foram tratados no Excel 2016, onde tabelas foram criadas para atingir os valores a serem analisados por meio de dois métodos: o primeiro relacionado à cinemática e a geomecânica, cuja análise é realizada através de estereogramas. Posteriormente utilizou-se o método SMR (*Slope Mass Rating*) para identificar quais discontinuidades, relacionados aos eventos tectônicos, apresentaram instabilidade. Com isso, o trabalho identificou que os dois taludes encontram-se instáveis, sendo os tombamentos e as cunhas as principais rupturas que ocorrem na região. Estas estruturas apresentam orientação principal N-S e E-W e estão diretamente relacionadas com as fraturas geradas com a separação Brasil-África e com as foliações geradas nos eventos deformacionais D_n e D_{n+1} .

Palavras-chave: movimentos de massa; geologia estrutural; susceptibilidade.

ABSTRACT

The main goal of this subject is to analyse the geomechanics and instability of road sections correlating them with the geostructural context of the region, that is subjugated to the Paleoproterozoic and Cretaceous tectonic deformational events. The study area is located in Salvador city, whose current geomorphology is a heritage of the past tectonic events. This work used data from fields in two rocky slopes, located in Rio Vermelho and Ondina. The lithologies were described and the attitude measurements were taken by means of the compass. For the structural analysis, we used the scanline method, which consists of the analysis of the structures that intersect a 1 meter wide line, positioned horizontally over the slope. This technique was used to better understand the physical space of the slope surface and its interactions with all discontinuities. The study was conducted with the creation of these lines in regions where the behavior of the slope and its discontinuities were better represented. After collection, these data were subjected to a treatment in Excel 2016, where tables were created to reach the values to be analyzed by two methods, the first related to kinematics and geomechanics whose analysis is performed through stereograms. Subsequently, the SMR (Slope Mass Rating) method was used to identify which discontinuities related to tectonic events presented instability. Thus, the work identified that the 2 slopes are unstable, with the tipping and the wedges being the main ruptures that occur in the region, which, in turn, are directly related to the fractures generated with the Brazil-Africa separation and with the foliation generated in the deformational events D_n and D_{n+1} .

Keywords: mass movement; structural geology; susceptibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo no município de Salvador.	11
Figura 2. A) Localização do Talude 1 na Rua Oswaldo Cruz, no bairro do Rio Vermelho. B) Localização do Talude 2 na Avenida Oceânica, bairro de Ondina.	12
Figura 3. Climograma da cidade de Salvador. Fonte: Climate-data.org.	14
Figura 4. Mapa de solos da Bahia, com destaque para o município de Salvador. Fonte: IBGE, Embrapa (2001).	15
Figura 5. Mapa geomorfológico regional da costa leste da Bahia. Fonte: Almeida Junior (2011).	18
Figura 6. A) Cráton São Francisco com os principais compartimentos tectônicos e as faixas brasileiras; (B) Mapa geológico simplificado da porção sul do Cinturão Salvador-Esplanda-Boquim, onde se localiza a cidade de Salvador. Fonte: modificado de Dalton de Souza <i>et al.</i> (2003).	19
Figura 7. Mapa geológico da cidade de Salvador. Fonte: Souza <i>et al.</i> (2009) <i>apud</i> Marinho (2013). ..	20
Figura 8. Etapas de investigação geológico-geotécnica voltada à correção de escorregamentos. Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1992).	29
Figura 9. Elementos importantes para análise cinemática. Fonte: Adaptado de Goodman (1989).	33
Figura 10. Principais tipos de deslizamento em taludes e estereogramas de estruturas que podem dar origem a esses deslizamentos. Fonte: Hoek & Bray (1981).	34
Figura 11. Análise de cinemática de uma ruptura planar. Fonte: Adaptado de Goodman (1989).	35
Figura 12. Análise cinemática da ruptura em cunha. Fonte: Adaptado de Goodman (1989)	36
Figura 13. Análise estereográfica para ruptura por tombamento. Fonte: Adaptado de Goodman (1989).	37
Figura 14. Exemplo de seção apresentando descontinuidades medidas da rocha.	42
Figura 15. Descontinuidades preenchidas por água, aumentando os fatores de instabilidade do Talude 1.	43
Figura 16. Descontinuidades preenchidas por água, aumentando os fatores de instabilidade do Talude 1.	44
Figura 17. Descontinuidades observadas no Talude 2.	44
Figura 18. Fotografia do Talude 1, localizado no bairro do Rio Vermelho, com destaque zona de cisalhamento que ocorre em toda sua extensão. A orientação da seção é aproximadamente E-W. ..	46
Figura 19. Fotografia do Talude 2, localizado no bairro de Ondina. A orientação da seção é aproximadamente E-W.	46
Figura 20. Diagrama estereográfico de isodensidade polar da foliação S_n nos taludes 1 e 2. $N = 18$ medidas.	47
Figura 21. Diagrama estereográfico de isodensidade polar da foliação S_{n+1} nos taludes 1 e 2. $N = 19$ medidas.	47
Figura 22. Estrutura sigmoidal presente em zona de cisalhamento do talude 1 apresentando cinemática dextral reversa.	48
Figura 23. Diagrama de rosetas da distribuição de fraturas do Talude 1 evidenciando dois <i>trends</i> preferenciais de faturamento N-S e W-E.	49
Figura 24. Diagrama de rosetas da distribuição de fraturas do talude 2 evidenciando 2 <i>trends</i> preferenciais de faturamento N-S e W-E. $N =$ número de medidas.	49
Figura 25. Truncamento de fraturas N-S e E-W observado no Talude 1.	50
Figura 26. Fraturas abertas preenchidas por água, fator contribuinte para a instabilização do talude.	50

Figura 27. Movimento de massa visto em campo no Talude 1. Visada para norte.....	51
Figura 28. Mosaico de fotografias mostrando descontinuidades com percolação de água no Talude 2.	52
Figura 29. Diagrama estereográfico das principais descontinuidades encontradas.	53
Figura 30. Diagrama estereográfico das rupturas do tipo cunha, mostrando seis pontos de interseção de planos de ruptura.	54
Figura 31. Diagrama estereográfico de rupturas do tipo tombamento Talude 1.....	54
Figura 32. Diagrama estereográfico revelando um ponto crítico ruptura do tipo planar relacionado a família J6.....	55
Figura 33. Diagrama estereográfico apresentando três pontos de interseção de planos de rupturas.56	
Figura 34. Diagrama de rupturas do tipo tombamento, mostrando pontos críticos relacionados a família de rupturas J7.	56
Figura 35. Interseção de rupturas formando uma cunha, Talude 2.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Agentes e causa de escorregamentos. Fonte: Adaptado de Guidicini e Nieble, 1976.....	23
Tabela 2. Fatores causadores do aumento da sollicitação e da redução da resistência e suas principais causas. Fonte: Adaptado de Varnes 1978.....	23
Tabela 3. Características dos principais movimentos de encosta na dinâmica ambiental brasileira. Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1992).	24
Tabela 4. Principais causas de movimentos de massa. Fonte: Adaptado de Augusto Filho & Virgili (1998).	25
Tabela 5. Morfologia do sistema radicular. Fonte: Fiori & Carmignani (2009) <i>apud</i> Gerscovich (2012).	27
Tabela 6. Classificação RQD convencional. Fonte: Barton, Lien e Lunde (1974) <i>apud</i> Fiori e Carmignani (2009)	38
Tabela 7. Sistema RMR de BIENIAWSKI (1989).....	39
Tabela 8. Valores dos fatores de ajuste quanto para as classes de orientação. Nota: P – Ruptura planar; T- Tombamento; C – Ruptura em cunha; as – direção do talude; aj – direção da descontinuidade; ai- direção da interseção; bs – mergulho do talude e bj – mergulho do talude e bj – mergulho da descontinuidade. Fonte: Romana (1985).	40
Tabela 9. Fator de ajuste referente ao método de escavação utilizado. Fonte: Romana (1985).....	40
Tabela 10. Classes de estabilidade. Fonte: Romana (1985).....	41
Tabela 11. Família de descontinuidades Talude 1	52
Tabela 12. Família de descontinuidades Talude 2	53
Tabela 13. Tabela classificação SMR rupturas do tipo planar, Talude 1.....	57
Tabela 14. Tabela classificação SMR rupturas do tipo cunha, talude 1.....	58
Tabela 15. Tabela classificação SMR rupturas do tipo Tombamento, talude 1.....	58
Tabela 16. Tabela classificação SMR rupturas do tipo planar, Talude 2.....	59
Tabela 17. Tabela classificação SMR rupturas do tipo cunha, talude 2.....	59
Tabela 18. Tabela classificação SMR rupturas do tipo planar, Talude 2.....	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	11
2. OBJETIVOS.....	13
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
3.1. CLIMA	14
3.2. SOLOS	14
3.4. GEOLOGIA	18
4. ESTADO DA ARTE	21
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS TALUDES	21
4.1.1. Condicionantes de movimentos.....	22
4.1.2. Processos de investigação.....	28
4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MACIÇOS ROCHOSOS	29
4.2.1. Descrição das descontinuidades	30
4.2.2. Análise da cinemática em taludes rochosos	32
4.3. CLASSIFICAÇÃO DOS MACIÇOS ROCHOSOS	37
4.3.1. Rock Mass Rating (RDR).....	38
4.3.2. Slope Mass Rating (SMR).....	39
5. MATERIAIS E MÉTODOS	42
5.1. APLICAÇÕES DAS CARACTERIZAÇÕES	42
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
6.1. CONTEXTO GEOLÓGICO	45
6.1.1. Talude 1	45
6.1.2. Talude 2.....	46
6.2. CONTEXTO ESTRUTURAL	47
6.3. CONTEXTO GEOTÉCNICO	50
6.4. ANÁLISE GEOMECÂNICA E ESTABILIDADE DOS TALUDES ROCHOSOS	52
6.4.1. Talude 1	53
6.4.2. Talude 2.....	55
6.4.3. Classificação SMR	57
6.5. ANÁLISE GEOTECNO-ESTRUTURAL	60
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	62
REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento da engenharia geotécnica teve fundamental importância para o desenvolvimento das civilizações. Tendo em vista a diversidade de materiais, ambientes e formas no planeta a engenharia geotécnica surgiu para atenuar o grau de incerteza e por consequência aumentar os fatores de segurança de obras que envolvessem trabalhos com os diferentes materiais terrestres. Assim, levando-se em consideração a heterogeneidade inerente aos diferentes agentes que participam do processo da geotecnia, precisou-se estudar o comportamento destes materiais em diferentes perspectivas, assim como classificá-los de maneira a simplificar as características dos mesmos, para que os trabalhos sejam viabilizados.

Deslizamentos de terra, enchentes, desmoronamentos, escorregamentos dentre outros fazem parte dos processos de modelamento da terra. Entretanto, podem ser potencializados pela ação humana sobre áreas de risco em potencial.

O processo de urbanização de Salvador ocorreu de forma desordenada assim como diversas cidades brasileiras, características expressivas da desigualdade social que se perpetua no país. Estas ocupações refletem problemas sociais que atingem diversas camadas da população, principalmente na questão da infraestrutura, podendo colocar em risco a vida dos populares. A falta de políticas públicas e de orientação do estado, assim como a demanda pela moradia, leva a camada mais carente da população a habitar zonas de risco em regiões declivosas da cidade acarretando danos materiais e até perdas de vida nestas comunidades.

De acordo com Leonardo (2017), a área do rio vermelho possui estruturas que contribuem para os movimentos de massa na região do Rio vermelho. Nos estudos desenvolvidos por Arthur (2018) foram identificadas rupturas em forma de cunha na área localizada na pedra da sereia, indicando que a área tem um forte controle estrutural que contribui para os movimentos de massa na região de estudo.

Assim, o movimento de massa é de grande interesse de estudo da geotecnia, sendo estes fenômenos naturais que fazem parte da ação da dinâmica externa da Terra. A forma e a intensidade destes fenômenos variam de acordo com o clima, as características do relevo, a distribuição e a intensidade pluviométrica, as propriedades dos solos, o tipo e a resistência das rochas.

O presente trabalho tem como objetivo analisar e classificar taludes rochosos com o método *Slope Massa Rating* (SMR), buscando elucidar as causas de seus problemas geotécnicos e propondo soluções para os mesmos, buscando a melhoria na qualidade de vida das populações residentes em áreas declivosas.

1.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Salvador, Estado da Bahia, e corresponde a dois taludes provenientes de cortes de detonações para construção e ampliação de vias urbanas.

O Talude 1 se localiza na Rua Oswaldo Cruz, uma das principais vias do bairro do Rio Vermelho. O Talude 2 está localizado no bairro de Ondina, a aproximadamente 2,3km do Talude 1, tendo sido escavado durante as obras para ampliação da Avenida Oceânica, em 2018.

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo no município de Salvador.



2. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é analisar a partir de parâmetros geomecânicos a estabilidade dos taludes rochosos, diagnosticando possíveis problemas geotécnicos e sugerindo soluções para evitar deslizamentos de massa.

Como objetivos específicos, destacam-se:

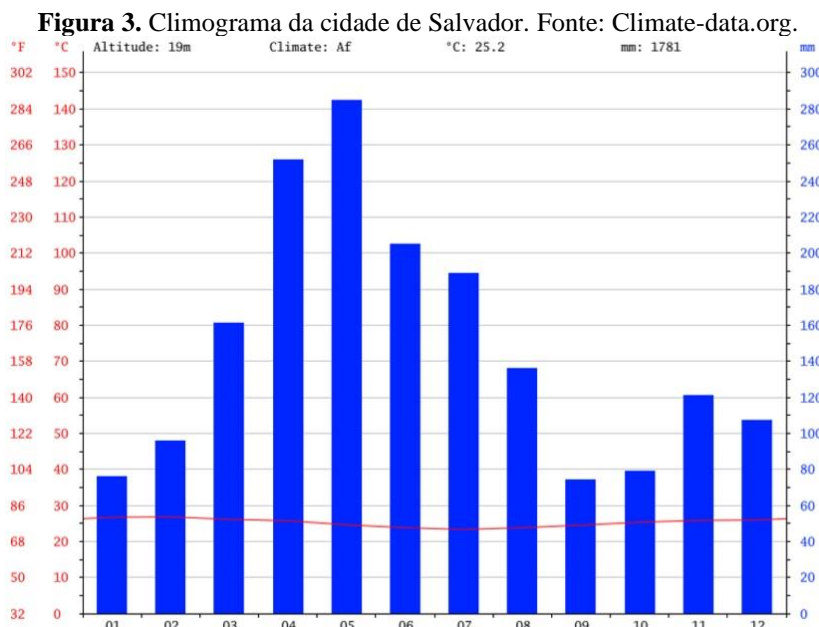
- Caracterizar os taludes rochosos de acordo com o método *Slope Mass Rating* (SMR) e a partir de diagramas estereográficos e de rosetas;
- Relacionar as questões geotécnicas observadas na área de estudo com a geologia estrutural regional e com os processos geotectônicos envolvidos;
- Realizar a classificação qualitativa dos taludes estudados.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para um maior entendimento dos processos naturais que atuam sobre a área de estudo, bem como os fatores que contribuem para a susceptibilidade a riscos geológicos, a área de estudo será brevemente caracterizada levando em consideração os principais condicionantes atuantes nesses processos. Serão descritas brevemente as características climáticas, de relevo, os tipos de solo e as litotipias encontradas.

3.1. CLIMA

A área de estudo apresenta um clima tropical com pluviosidade significativa ao longo do ano, com média de 1781 mm. Segundo Köppen e Geiger, o clima de Salvador é classificado como Af – clima tropical úmido ou superúmido, sem estação seca e com precipitação superior a 60 mm no mês mais seco, possuindo precipitações anuais superiores a 1500 mm e tendo temperatura média do mês mais quente superior a 18°C. A temperatura média anual é de 25,2°C, apresentando pouca variação ao longo do ano tendo como o mês mais quente fevereiro, com temperatura média de 26,8°C e como mês mais frio julho, com temperatura média de 23,3°C.

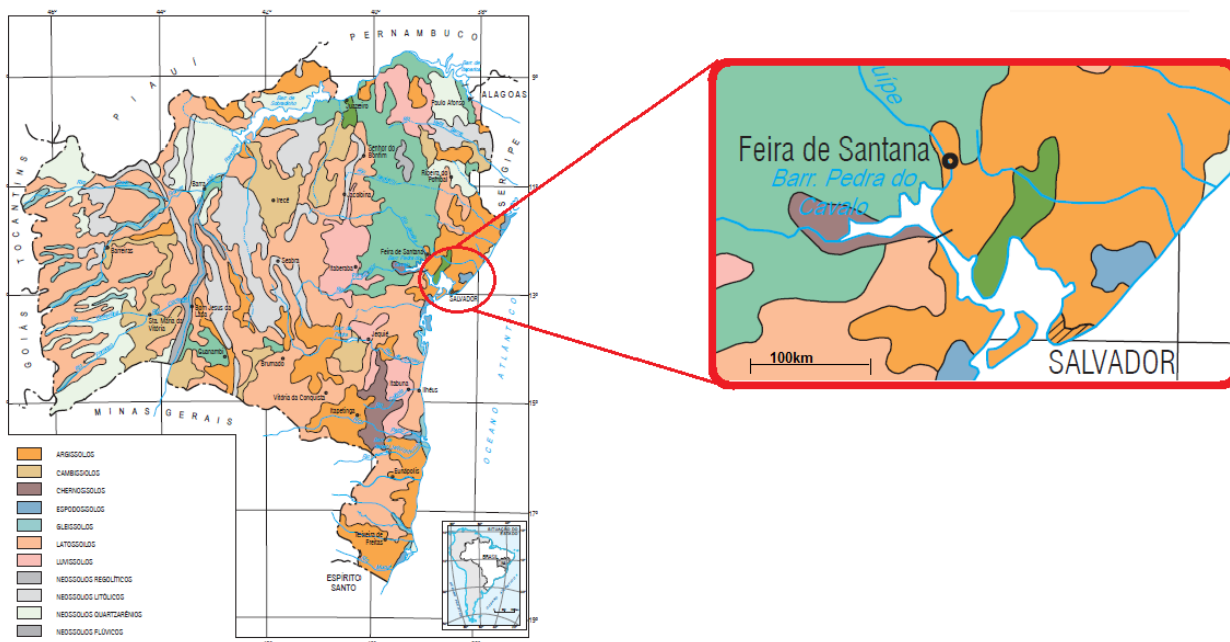


3.2. SOLOS

Os solos são produtos dos processos de pedogênese que ocorrem na superfície da terra tendo influência de agentes como o clima, tempo e a composição da rocha fonte. Estes fatores

ocorrem forma diacrônica, formando diferentes tipos de solo (ALMEIDA-JUNIOR, 2011). As informações utilizadas para embasar o estudo sobre os solos da região de Salvador foram obtidas através do Projeto Radam, Folha SD24 (Salvador), Centro de Estatísticas e informações – Informações básicas dos municípios baianos: Região metropolitana de Salvador – Salvador (1994) e a nomenclatura e classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

Figura 4. Mapa de solos da Bahia, com destaque para o município de Salvador. Fonte: IBGE, Embrapa (2001).



A capital baiana apresenta uma complexidade geomorfológica e geográfica característica que contribuiu para a formação de diferentes tipos de solos em sua superfície. A seguir serão descritos os principais tipos encontrados no município que foram evidenciados na figura 4.

Latossolos vermelho-amarelos álicos: solos álicos com saturação de alumínio trocavel superior a 50%. Localizados, em geral, em relevo plano que propicia a mecanização agrícola. Ocorre principalmente nos municípios de Salvador e São Francisco do Conde.

Latossolos amarelos álicos: solos com boa permeabilidade, profundos, forte a moderadamente drenados, álicos que possuem caráter alumínico, boa porosidade e características que propiciam o plantio de plantas e raízes. Ocorrem principalmente em relevo plano a suavemente ondulado, sendo produto da Formação Barreiras. Ocorrem entre os municípios de Salvador e São Francisco do Conde.

Argissolo vermelho-amarelo álico (Podzólico): compreende solos álicos que possuem caráter alumínico, constituídos por material mineral. Geralmente profundos, moderados a fortemente ácidos. A transição do horizonte A para o B textural ocorre de maneira tanto gradual quanto abrupta, sendo bastante susceptíveis aos processos erosivos. Ocorrem em grande expressão na região e nos mais variados contextos geomorfológicos a exemplo dos municípios de Camaçari, Itaparica, Salvador, Lauro de Freitas, Simões filho e Vera Cruz.

3.3. GEOMORFOLOGIA

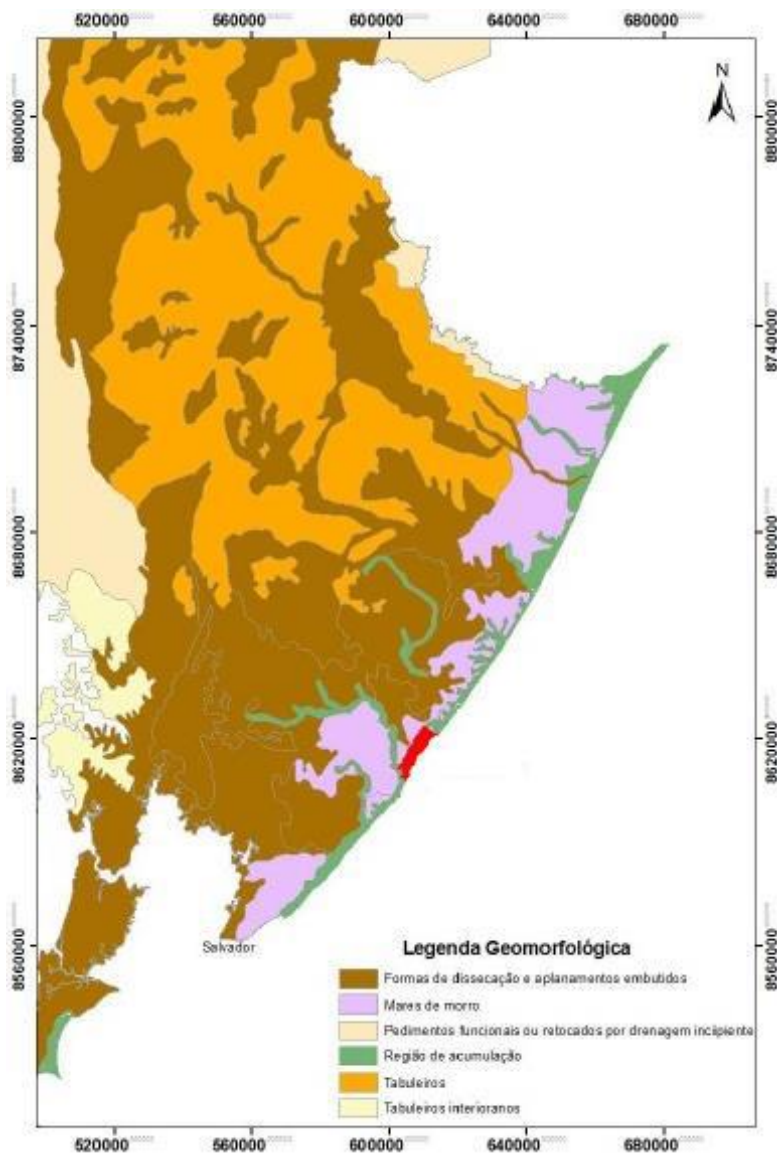
Segundo Nunes *et al.* (1981), a geomorfologia da região metropolitana de Salvador e litoral norte da Bahia é caracterizada por quatro domínios, descritos a seguir e visualizadas na Figura 5.

- **Domínio dos Planaltos Cristalinos:** representado pelas regiões dos planaltos rebaixados e unidades de Tabuleiros Pré-Litorâneos, correspondentes ao embasamento cristalino, o qual apresenta um modelado de dissecação homogênea, independente do controle estrutural. A sua geologia remonta a ciclos orogenéticos muito antigos, com rochas de elevado grau de metamorfismo e nítido alinhamento do relevo, seguindo direções preferenciais e áreas de rochas granitizadas removimentadas, incluindo faixas marginais incorporadas do Cráton do São Francisco. As unidades de Tabuleiros Pré-Litorâneos compreendem os relevos dissecados instalados sobre a dorsal ocidental da Fossa Oceânica e se encontram topograficamente rebaixadas em relação à unidade de Tabuleiros Costeiros e superior aos relevos situados a leste. O relevo dessa unidade é bastante uniforme, caracterizado como “mares de morros”, com vertentes convexas e côncavo-convexas e topos abaulados, englobando colinas da cidade do Salvador. Estes morros apresentam-se profundamente escavados pela drenagem, que é do tipo dendrítica.
- **Domínio das Bacias e Coberturas Sedimentares:** esse domínio abrange áreas de coberturas metassedimentares pré-cambrianas e sedimentos paleozóicos e mesozóicos de disposição horizontal ou sub-horizontal. É representado pela Região do Recôncavo, que por sua vez possui a unidade Tabuleiros do Recôncavo. Estes se apresentam, em sua maior parte, dissecados, com um modelado do tipo diferencial por causa da erosão causada pelo tectonismo, estando, assim, recoberta por uma camada de alteração espessa, sendo constituído de arenitos, folhelhos, siltitos e calcários da Fm. São Sebastião, das Fms. Candeias e Itaparica, que compõem o Grupo Santo Amaro, e

areias e argilas da Fm. Marizal, incluindo manchas pontuais do Grupo Barreiras. Já a oeste ocorrem arenitos, folhelhos e calcários jurássicos do Grupo Brotas, constituídos pelas Fms. Sergi e Aliança. O relevo encontra-se retalhado em interflúvios pequenos, de modo geral convexizados, com ocorrência de residuais de topo tabular, o qual sempre limitados por ressaltos ou pequenas escarpas, predominando encostas côncavo-convexas.

- **Domínio dos Planaltos Inumados:** a unidade dos Tabuleiros Costeiros faz parte do Domínio de Planaltos Inumados, que está representado pela Região dos Baixos Planaltos, abrangendo relevos desenvolvidos sobre áreas de depósitos continentais cenozóicos, que recobrem e mascaram feições estruturais típicas de outros domínios. Em geral, os topos tabulares coincidem com os sedimentos cenozóicos do Grupo Barreiras, correspondendo a um tabuleiro submetido à dissecação intensa e uniforme, sendo, assim, caracterizada como modelado de dissecação homogênea, com ocorrência de ravinamentos, principalmente em cortes de estrada e em locais onde houve desmatamento da vegetação nativa.
- **Domínio dos Depósitos Sedimentares:** esse domínio compreende sedimentos do Quaternário, pouco ou não consolidados, cuja região geomorfológica é representada pelas Planícies Litorâneas, que englobam modelados de origem marinha, fluviomarinha, coluviale eólica, traduzindo as etapas de evolução do litoral e dos cursos inferiores dos rios. Esse domínio compreende as unidades de Depósitos de Leques Aluviais Coalescentes, de Terraços Marinhos Pleistocênicos e Holocênicos, Eólicos, Flúvio- Lagunares, Aluvionares, além dos Depósitos Litorâneos Costeiros Indiferenciados e os Arenitos de Praia. Contêm somente modelados de acumulação formados por materiais arenosos, argilosos ou cascalheiros, influenciados pelas enchentes e marés e pela existência ou não de vegetação nativa. Essas unidades se estendem por uma faixa estreita que ocupa quase todo o litoral do estado da Bahia. Por vezes penetram mais para o interior e em outros locais desaparecem, quando os relevos de Tabulares Costeiros chegam até o mar. Os depósitos de leques aluviais podem ser considerados como uma zona de transição entre a região dos Baixos Planaltos, Tabuleiros Costeiros e a Região de Planícies Litorâneas. Esta unidade pode aparecer com pequenas elevações isoladas, o que pode indicar que são remanescentes de depósitos mais extensos que foram retrabalhados por rios e pelo mar durante as duas últimas transgressões marinhas.

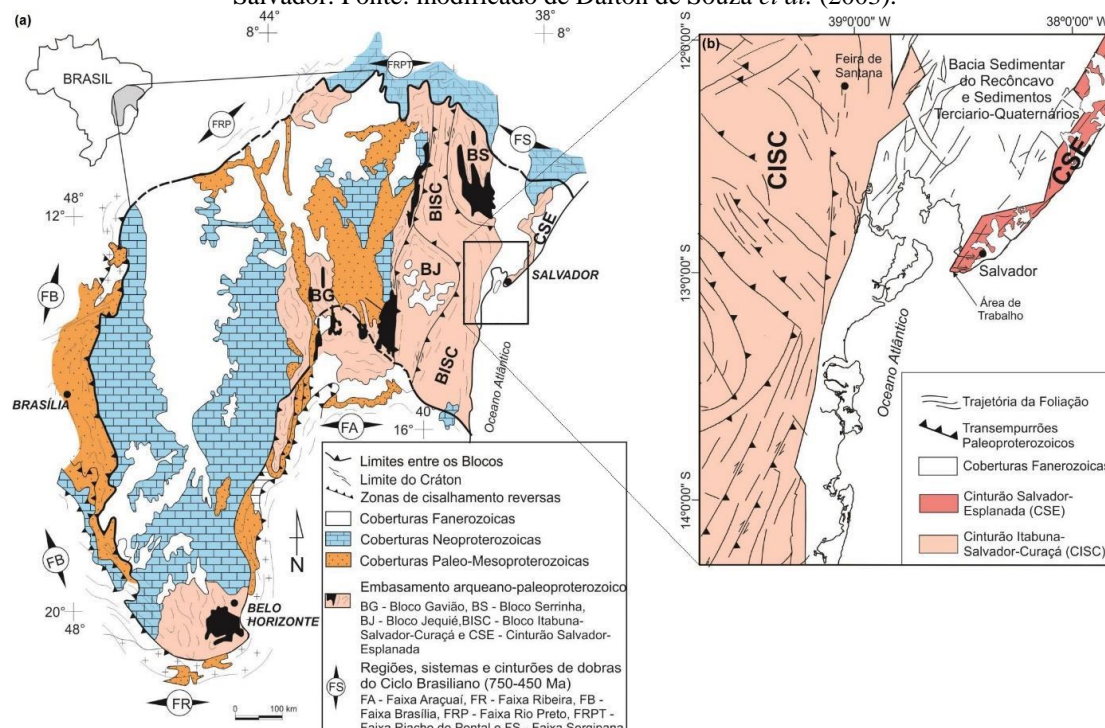
Figura 5. Mapa geomorfológico regional da costa leste da Bahia. Fonte: Almeida Junior (2011).



3.4. GEOLOGIA

A área de estudo encontra-se situada no Cráton do São Francisco (Almeida, 1977) que corresponde a uma gigantesca entidade geotectônica construída durante o ciclo orogênico do Paleoproterozoico. Este evento culminou na amalgamação de blocos arqueanos na porção setentrional do Cráton São Francisco, que foram identificados por Barbosa e Sabaté (2002, 2003, 2004) como os blocos gavião, Serrinha, Jequié e Itabuna-Salvador-Curaçá.

Figura 6. A) Cráton São Francisco com os principais compartimentos tectônicos e as faixas brasileiras; (B) Mapa geológico simplificado da porção sul do Cinturão Salvador-Esplanda-Boquim, onde se localiza a cidade de Salvador. Fonte: modificado de Dalton de Souza *et al.* (2003).



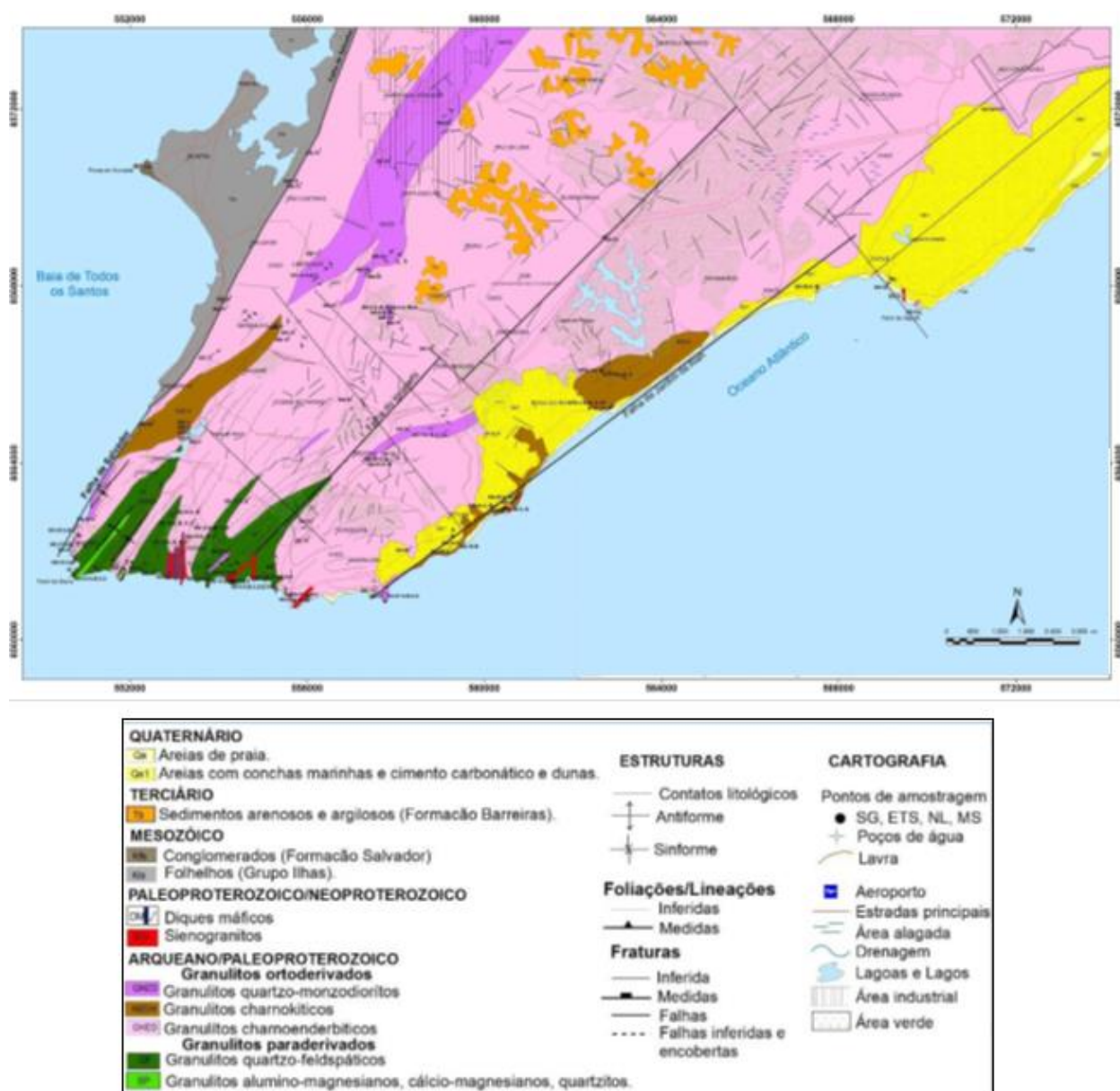
No estado da Bahia afloram as rochas da porção norte do Cráton São Francisco, constituída por maciços metamórficos de alto grau polideformadas e que apresentam preservadas as raízes do orógeno Paleoproterozóico (ALKMIM, 2004). Este orógeno é produto das acreção e da colagem continental envolvendo os blocos Gavião, Serrinha, Jequié e o Cinturão Itabuna-Salvador-Curaça (BARBOSA; DOMINGUES 1996; TEIXEIRA et al. 2000; SABATÉ 2001;2004). Na porção nordeste do cráton, podemos encontrar três grandes domínios principais:

- Domínio do Embasamento Cristalino: composto por rochas metamórficas médio alto grau, reequilibradas nas fácies anfibolito alto e granulito cortadas por enxames de diques máficos (CORREA-GOMES et al., 1996) e corpos granitoides (CELINO, CONCEIÇÃO, 1983)
- Domínio da bacia do Recôncavo: composto por rochas sedimentares que preenchem a bacia do Recôncavo, uma sub-bacia do conjunto de bacias Recôncavo-Tucano-Jatobá (DOMINGUEZ; BITTENCURT, 2009). Possuem orientação Norte-Sul tendo sido formadas durante o processo de separação entre o Brasil e a África por volta de 145 milhões de anos atrás (SILVA et al., 2007).

- Domínio da Marge Costeira Atlântica: depósitos do Neógeno e quaternário, que se distribuem-se de maneira irregular pelo litoral da Bahia, marcando as mudanças climáticas e as transgressões e regressões do nível do mar.

O domínio que possui mais relevância para a realização do trabalho é o Domínio da Margem do Embasamento Cristalino, tendo em vista que abrange os granulitos que constituem os taludes que foram estudados. Estes granulitos fazem parte do Orógeno Salvador-Esplanada-Boquim, que configura-se como um ramo nordeste do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá. O mapa geológico da cidade de Salvador (Souza, 2009) evidencia os domínios descritos a cima e as principais rochas que compõe a base da capital.

Figura 7. Mapa geológico da cidade de Salvador. Fonte: Souza *et al.* (2009) *apud* Marinho (2013).



4. ESTADO DA ARTE

O estudo bibliográfico foi embasado em publicações de artigos nacionais e internacionais, assim como livros e textos acadêmicos referentes aos assuntos abordados no trabalho. O entendimento prévio dos métodos, etapas e conceitos é de suma importância para a realização de um bom trabalho, assim como ajuda a sustentar a base teórica exposta no mesmo.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS TALUDES

Uma região inclinada formada por material rochoso ou terroso é denominado talude, se possuir origem antrópica, ou encosta, quando formado por processos naturais. Estas áreas estão sujeitas a diversos processos erosivos e intempéricos que são capazes de modificar a sua estrutura, estabilidade e propriedades mecânicas. Estes agentes podem ser cíclicos e são inerentes a dinâmica da Terra, entretanto, ações de origem humana podem acarretar alterações destas características e proporcionar a deflagração de acidentes ou desenvolvimento urbano de modo seguro e ordenado. Os taludes são divididos em dois principais tipos de acordo com o material que os formam: taludes terrosos e rochosos.

Os taludes terrosos são aqueles formados por um material mais inconsolidado e possuem sua estabilidade controlada por parâmetros como ângulo de atrito e coesão, determinantes na resistência ao cisalhamento do material. A interação entre os grãos destes materiais é que irá reger o comportamento do talude em geral. Características granulométricas, mineralógicas, físico-químicas, hidráulicas e deformacionais serão responsáveis por garantir, ou não, a sustentação de uma encosta. Rochas semelhantes são capazes de produzir solos diferentes, quando expostas a condições intempéricas distintas. Por se tratar de um corpo heterogêneo, as investigações geotécnicas em taludes terrosos são indispensáveis antes da realização de qualquer tipo de intervenção neles.

Já os taludes rochosos são declives onde há o afloramento de diferentes tipos de rocha. Por ser, em geral, mais coesivo que os solos, os taludes rochosos tendem a apresentar maiores estabilidades. Entretanto, condicionantes como grau de faturamento, orientação das descontinuidades, preenchimento dos planos de fraqueza e a litotipia envolvida podem acarretar instabilidades tão graves quanto as dos seus correspondentes terrosos. Sendo assim, a presença de zonas de baixa ou nenhuma resistência a tração possui papel fundamental na

integridade do talude. Assim como os solos, as rochas possuem heterogeneidades e necessitam de estudos geotécnicos aprofundados em obras que envolvam essas estruturas, como na mineração, na construção civil e em barragens.

4.1.1. Condicionantes de movimentos

De acordo com as pesquisas realizadas em periódicos, quando se trata de movimentos de massa fica evidente que o condicionante declividade é estudado com mais frequência, destacando que a grande maioria das pesquisas utiliza essa variável. A maioria dos autores consultados considera a declividade o principal condicionante dos movimentos de massa e nesse aspecto estudos voltados a análise de risco e suscetibilidade destes eventos, via de regra consideram este fator.

Porém, ao analisar os condicionantes da Geologia Estrutural, fica evidente que apesar de ser um fator de grande importância no processo de movimentos de massa, ele é pouco estudado e quando evidenciado nos artigos, não é bem detalhado.

Segundo Silva (2006), a estabilidade de maciços rochosos depende, em grande parte, da presença de descontinuidades nas rochas. Os movimentos de massa em taludes rochosos e/ou terrosos dependem de diversos fatores. Alguns são intrínsecos à geologia e demais características do terreno onde irão ocorrer e são chamados por Guidicini e Nieble (1976) de *Agentes Predisponentes*. Já os eventos causadores das instabilizações são chamados de *Agentes Efetivos* por estes autores. Estes últimos podem ser subdivididos em *preparatórios* e *imediatos*, distinguindo-se pela sua atuação momentos antes do acidente. A tabela 1 representa, de forma simplificada, os componentes de cada item.

Ainda segundo Guidicini e Nieble (1976), as causas dos movimentos podem ser de origem interna, externa e intermediária, como mostrado na tabela 1. Já Varnes, em 1978, debate os condicionantes essenciais para a deflagração dos movimentos de massa, reconhecendo fatores que contribuem com a sobrecarga do terreno e que reduz sua resistência frente as solicitações. Na tabela 2, Varnes (1978) correlaciona os fatores deflagradores e as causas destes.

Tabela 1. Agentes e causa de escorregamentos. Fonte: Adaptado de Guidicini e Nieble, 1976.

AGENTES			CAUSAS		
Predisponentes	Efetivos		Internas	Externas	Intermediárias
	Preparatórios	Imediatos			
Complexos geológicos, morfológicos, climato-hidrológicos, gravidade, temperatura e tipo de vegetação	Pluviosidade, erosão, variação de temperatura, dissoluções químicas, oscilações de mananciais, ações de animais e antrópicas.	Chuvas intensas, tremores de terra, erosão, ondas de vento e ações antrópicas.	Efeito das oscilações térmicas, redução dos parâmetros de resistência por intemperismo.	Mudanças na geometria do sistema, vibrações externas, modificação na inclinação das camadas	Elevação do nível piezométrico em massas "homogêneas", aumento da coluna d'água nas descontinuidades, rebaixamento do lençol freático. Processos de <i>piping</i> e diminuição do efeito de coesão aparente.

Tabela 2. Fatores causadores do aumento da sollicitação e da redução da resistência e suas principais causas.

Fonte: Adaptado de Varnes 1978

AÇÃO	FATORES	FENÔMENOS NATURAIS/ANTRÓPICAS
Aumento da Sollicitação	Remoção de massa (lateral ou base)	Erosão, escorregamentos
	Sobrecarga	Cortes
		Peso da água da chuva, neve, granizo, etc.
		acumulo natural de material (depósitos)
		Peso da vegetação
	Construções de estruturas, aterros, etc.	
Sollicitações dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões, etc.	
	Explosões, tráfego, sismos induzidos	
Pressões Laterais	Água em trincas, congelamento, material expansivo, etc.	
Redução da Resistencia	Características inerentes ao material (textura, estrutura, geometria, etc.)	Características geomecânicas do material, estado de tensões iniciais
	Mudanças ou fatores variáveis	Intemperismo, redução da coesão, ângulo de atrito
		Elevação do nível de água
	Outras Causas	Enfraquecimento devido ao rastejo progressivo
Ação das raízes das arvores e buracos de animais		

Enquanto a classificação de Varnes (1978) se tornou padronizada e aceita pela IAGE (*Internacional Association of Engineering Geology and Environment*), Augusto Filho (1992) propôs uma releitura das preposições de Varnes (1978) e às adaptou para o contexto

ambiental brasileiro (Tabela 3). Nesta nova interpretação, não foram considerados a ação da erosão, pois seus agentes deflagradores podem possuir diversas origens e devem ser tratados com maior atenção.

Tabela 3. Características dos principais movimentos de encosta na dinâmica ambiental brasileira. Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1992).

TIPO DE MOVIMENTAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO, MATERIAL E GEOMETRIA
Rastejo (<i>creep</i>)	Vários planos de deslocamento (internos).
	Velocidade muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade.
	Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes.
	Solo, depósitos, rocha alterada/fraturadas.
	Geometria indefinida.
Escorregamentos (<i>slides</i>)	Poucos planos de deslocamento (externos).
	Velocidades médias (m/h) a altas (m/s).
	Pequenos a grandes volumes de material.
	Planares - solos pouco espessos, solo e rochas com um plano de fraqueza.
	Circulares - solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas.
Quedas (<i>falls</i>)	Cunha - solos e rochas com dois planos de fraqueza.
	Sem planos de deslocamentos.
	Movimento tipo queda livre ou em plano inclinado.
	Velocidades muito altas (vários m/s).
	material rochoso.
	Pequenos e médios volumes.
	Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.
	Rolamento de matacão.
Tombamento.	
Corridas (<i>flows</i>)	Muitas superfícies de descolamento (internas e externas à massa em movimentação).
	Movimento semelhante ao de um líquido viscoso.
	Desenvolvimento ao longo de drenagens.
	Velocidades médias a altas.
	Mobilização de solo, rocha, detritos e água.
	Grandes volumes de material.
Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.	

Ainda segundo Augusto Filho & Virgili (1998), os principais condicionantes dos processos de instabilização podem ser descritos pela tabela 4.

Tabela 4. Principais causas de movimentos de massa. Fonte: Adaptado de Augusto Filho & Virgili (1998).

CAUSAS	FENÔMENOS
Geológicas	Materiais fracos ou sensíveis.
	Materiais alterados.
	Materiais fraturados.
	Orientação da descontinuidade (acamamento, xistosidade, falha, contato, entre outros).
	Contraste na permeabilidade e/ou dureza dos materiais.
Morfológicas	Atividades vulcânicas ou terremotos.
	Dinâmica glacial.
	Erosão fluvial, por ondas do mar ou glaciais do pé e lateral das encostas.
	Erosão subterrânea (<i>pipping</i>).
	Carregamento e deposição.
	Remoção da cobertura vegetal.
	Degelo.
	Intemperismo por congelamento e derretimento.
	Intemperismo por variação de volume.
Antrópicas	Escavações.
	Carregamentos.
	Exploração do lençol freático.
	Desmatamento.
	Irrigação.
	Mineração.
	Vibrações artificiais.
	Vazamento de tubulações.

- **Ação de águas subterrâneas**

Segundo Augusto Filho & Virgili (1998) o movimento das águas subsuperficiais é responsável por alterar as características que promovem a estabilidade do solo. Em materiais terrosos, o aumento da permeabilidade com a profundidade promove uma elevação do grau de saturação que reduzem os efeitos da coesão aparente e promove a formação de uma região de baixa resistência a tração que pode acarretar, por fim, deslizamentos planares nesse tipo de material. Quando um material granular se encontra com um teor de umidade que supere o seu limite de liquidez, dizemos que a água entre suas partículas promoverá uma redução tão grande no seu grau de coesão, que este material passará a se comportar como um fluido-denso.

Já nos taludes de caráter rochoso, o aumento do nível de água subterrânea, em decorrência de chuvas intensas, ocorrerá através dos seus sistemas de fraturas. Esta elevação

poderá provocar, nas discontinuidades, a redução das tensões normais efetivas e o crescimento de esforços laterais cisalhantes, que podem acarretar acidentes.

- **Ação de águas pluviais**

Segundo Augusto Filho & Virgili (1998), os escorregamentos em materiais rochosos são mais comuns quando há um alto índice pluviométrico em um curto intervalo de tempo, já em corpos terrosos, chuvas espaçadas permitem maior infiltração da água no solo e, assim, uma maior possibilidade de desencadear escorregamentos. Guidicini e Iwasa (1976) foram responsáveis por estabelecer uma correlação entre a ocorrência das chuvas e o índice de deslizamentos. Com dados pluviométricos anuais, até a data do episódio de escorregamento e do dia do evento, eles conseguiram concluir que pluviosidades acima de 20% da média anual registrada na região já é capaz de indicar alta probabilidade de escorregamentos.

- **Presença de cobertura vegetal**






A presença de vegetação nas encostas e taludes acaba promovendo alterações no seu grau de instabilidade. Segundo Gray e Leiser (1982) *apud* Augusto Filho & Virgili (1998), a redistribuição das águas pluviais nas copas das Árvores promove uma redução do impacto dessas gotículas no solo promovendo, assim, uma redução da infiltração naquela região. Ainda segundo eles, a evapotranspiração é um efeito positivo que favorece a estabilidade, já que esse processo acaba por retirar a água do solo com o auxílio das raízes das plantas. Em taludes rochosos, por exemplo, a presença de espécimes arbóreos com raízes mais grossas pode diminuir a instabilidade do talude, pois estes corpos conseguem segurar alguns matacões soltos e, com isso, impedi-los de rolar pela encosta. Entretanto, os autores ainda frisam alguns efeitos desfavoráveis a estabilização, como a ação de forças cisalhantes nos troncos das árvores quando estas são atingidas por ventos muito fortes, podem acabar reduzindo a coesão do material superficial e favorecendo o escorregamento. O peso e a pressão que algumas raízes exercem ao penetrar na estrutura do solo ou nas discontinuidades das rochas também podem provocar a desestabilização do terreno.

Segundo Wolle (1986) o processo de desmatamento das encostas pode proporcionar, num primeiro momento, um aumento da resistência do terreno, devido à retirada da sobrecarga e dos efeitos de alavanca. Entretanto, esse acréscimo de estabilidade tende a cair à

medida que ocorre a decomposição dos restos das raízes que sobraram e o incremento da infiltração de água naquela região.

A estruturação do sistema radicular, segundo Fiori e Carmignani (2009), pode favorecer a estabilidade do talude, como visto na Tabela 5.

Tabela 5. Morfologia do sistema radicular. Fonte: Fiori & Carmignani (2009) *apud* Gerscovich (2012).

TIPO	CARACTERÍSTICAS	FUNÇÃO
	Tipo H: mais de 80% das raízes se desenvolvem até uma profundidade de cerca de 60 cm; muitas se estendem horizontalmente.	Indicadas para a estabilização do talude
	Tipo V-H: o desenvolvimento máximo se dá a profundidades maiores, mas a maioria situa-se até 60 cm de profundidade; a raiz central é forte e as laterais crescem horizontalmente, com comprimentos longos.	
	Tipo R: o desenvolvimento máximo atinge grandes profundidades e somente 20% situam-se nos 60 cm iniciais; muitas raízes se estendem obliquamente e sua abrangência lateral é extensa.	
	Tipo V: semelhante ao tipo V-H, mas as raízes horizontais são curtas.	Benéfica para resistir ao vento
	Tipo M: mais de 80% das raízes ocorrem na faixa dos 30 cm de profundidade, com extensão lateral pequena.	Aumento de resistência superficial do talude

- **Contribuição antrópica**

O ser humano é um importante modificador dos componentes que compõem a dinâmica das encostas. Segundo Augusto Filho 1992, as principais interferências antrópicas indutoras de escorregamento englobam:

1. Remoção da cobertura vegetal;
2. Lançamento e concentração de águas servidas;
3. Vazamento na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas;
4. Execução de cortes com geometria inadequada (altura e inclinação);

5. Execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação);
6. Lançamento de entulho e lixo nas encostas;
7. Vibrações produzidas por tráfego pesado, explosões, etc.

É comum a necessidade de cortes em encostas para a realização de obras de infraestrutura, entretanto, essas ações acabam por alterar o estado natural de tensões atuante naquela porção de solo e/ou rocha. O aparecimento de trincas de tração é possível e, quando preenchidas com água da chuva, podem promover a ruptura do talude.

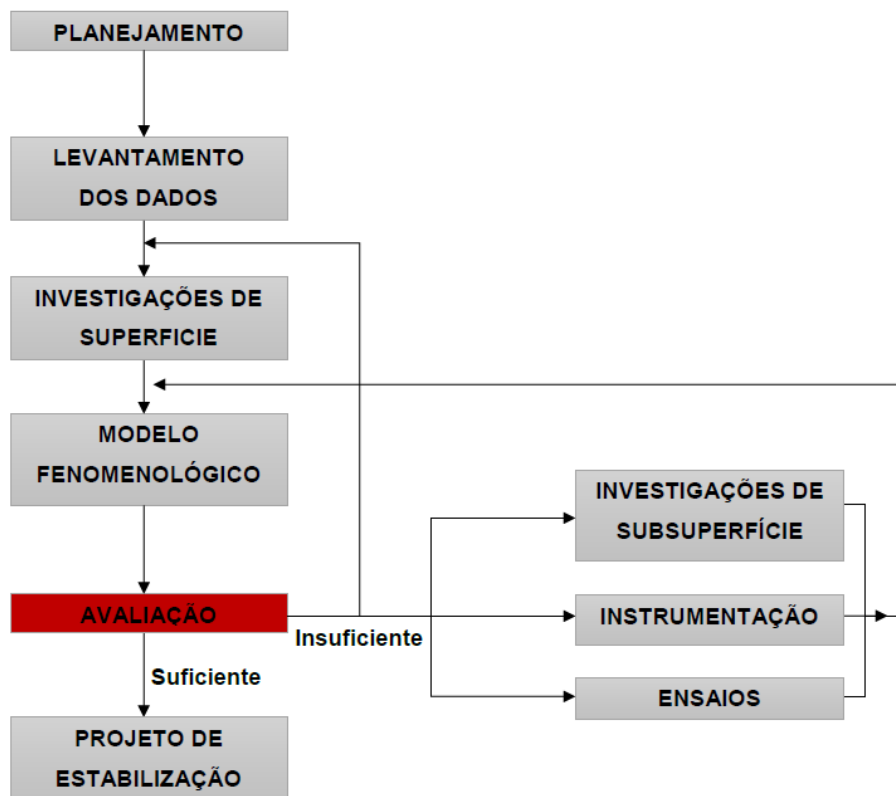
4.1.2. Processos de investigação

Quando se trabalha com taludes, a caracterização possui um importante papel na definição dos agentes, causas e condicionantes que atuam no processo de instabilização já existente ou que pode vir a ocorrer. Segundo Augusto Filho 1992, os dados a serem obtidos com a investigação são:

1. Geometria da instabilização;
2. Mecanismo da movimentação;
3. Natureza e o estado do material mobilizado;
4. Comportamento no tempo;
5. Identificação, caracterização e mapeamento espacial das unidades geológico-geotécnicas;
6. Estabelecimento de correlações entre as unidades mapeadas e o processo de instabilização;
7. Previsão dos comportamentos das unidades, ante as solicitações impostas por alguns tipos de obras de contenção.

Baseado nos trabalhos de Santos (1981) e Wolle (1981), Augusto Filho (1992) criou um fluxograma (Figura 8) cíclico dividido em oito etapas que servem de base para a análise e estudo de taludes. O avanço dessas etapas é precedido de custos e prazos crescentes para que o modelo final possua um desempenho aceitável quanto a estabilização.

Figura 8. Etapas de investigação geológico-geotécnica voltada à correção de escorregamentos. Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1992).



4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MACIÇOS ROCHOSOS

A classificação e caracterização geotécnica das formações rochosas apresentadas no ambiente objetiva a criação de um modelo que represente regiões com comportamentos estruturais e respostas mecânicas semelhantes e que forneçam informações necessárias para a execução de obras nestes meios. Essas análises costumam ser feitas em regiões onde a rocha aflora ou com dados obtidos através de furos de sondagens. Após isso, tenta-se estimar um comportamento geomecânico do corpo, mesmo nas regiões onde não foram coletadas informações diretas.

A avaliação das propriedades geotécnicas de um maciço rochoso inclui conhecimento das propriedades da rocha intacta, da ocorrência e natureza das discontinuidades, da extensão e do grau de alteração e da posição espacial das discontinuidades no maciço. Fatores como a mineralogia, textura, granulometria e material cimentante afetam de forma significativa a resistência e a deformabilidade. Por exemplo, rochas que apresentam engranzamento dos minerais, como as rochas ígneas, por exemplo, apresentam uma resistência maior do que as

rochas clásticas, nas quais os grãos minerais apenas se tocam. O intemperismo químico altera as propriedades geotécnicas das rochas em um grau que depende do tipo de rocha, clima e tempo. Além disso, há ainda uma diminuição da resistência mecânica da rocha por causa do movimento da água através das descontinuidades, gerando pressões neutras (Fiori; Carmignani, 2009).

4.2.1. Descrição das descontinuidades

Segundo a ISRM (1978) um maciço rochoso (*rock mass*) é considerado um meio composto por blocos de rocha intactas que são separados, ou não, por descontinuidades que podem se encontrar preenchidas por um material menos coesivo. O comportamento mecânico diante a solicitações atuantes nestes corpos irá depender do tipo da rocha que o compõem, bem como da natureza, orientação, número e condição das descontinuidades que os cortam. Na geotecnia, o termo “Descontinuidade” é usado para qualquer região que apresente diferença de comportamento mecânico dentro de um maciço rochoso, ou seja, são áreas que possuem baixa, ou nenhuma, resistência a tração. Este é um conceito global onde incluem estruturas geológicas distintas, tais como xistosidades, acamadamentos, falhas, fraturas, juntas e outras zonas de fraqueza.

Pelo fato dessas estruturas possuírem importante papel no comportamento geomecânico de um corpo rochoso, a ISRM (1978) sugeriu métodos para a caracterização dessas áreas. Segundo esta, dez parâmetros são os mais importantes quando se estuda estas regiões. São eles:

- **Orientação:** Atitude da descontinuidade no espaço. Descrita pela direção do mergulho (azimute) e mergulho da linha de maior inclinação sobre o plano da descontinuidade;
- **Espaçamento:** É a distância perpendicular entre descontinuidades adjacentes. Refere-se normalmente ao espaçamento médio ou modal de uma família de juntas;
- **Persistência:** É a extensão do traço de uma descontinuidade conforme observado em um afloramento. Pode ser uma medida aproximada de sua extensão em área ou comprimento de penetração da descontinuidade. Se a descontinuidade acaba em rocha sã ou em outra descontinuidade a persistência diminui;

- **Rugosidade:** É a rugosidade da superfície e ondulação relativas ao plano médio de uma descontinuidade. A rugosidade e ondulação contribuem para a resistência ao cisalhamento. Ondulação em grande escala pode também modificar o mergulho local;
- **Resistencia das paredes:** É a resistência a compressão das paredes adjacentes de uma descontinuidade. Deve ser menor que a da rocha intacta devido ao intemperismo ou alteração das paredes. Se as paredes estão em contato, teremos um importante componente da resistência ao cisalhamento;
- **Abertura:** É a distância perpendicular entre paredes adjacentes de uma descontinuidade, cujo espaço intermediário é preenchido por ar ou água;
- **Preenchimento:** É o material que separa as paredes adjacentes de uma descontinuidade e que usualmente é mais fraco que a rocha que lhe deu origem;
- **Percolação:** Fluxo de água e umidade livre, visíveis em descontinuidades individuais ou no maciço rochoso como um todo;
- **Número de famílias:** É o número de famílias que compõem um sistema de juntas e falhas. O número pode conter também descontinuidades individuais;
- **Tamanho de blocos:** São as dimensões dos blocos de rocha que resultam da orientação das famílias de juntas que se intersectam e do espaçamento das famílias individuais. Descontinuidades individuais podem também influenciar o tamanho e a forma dos blocos.

Os maciços rochosos são tipicamente heterogêneos e anisotrópicos por causa dos diferentes tipos de rocha, presença de descontinuidades e variáveis graus de alteração. É possível delimitá-los com base em propriedades geotécnicas similares, geralmente com os limites coincidindo com descontinuidades maiores, tais como contatos litológicos ou falhamentos. Maciços rochosos com características litológicas e estruturais similares são conhecidas como domínios estruturais (ou regiões estruturais), para fins de geologia de engenharia (Jennings; Robertson, 1969 *apud* Fiori; Carmignani, 2009).

4.2.2. Análise da cinemática em taludes rochosos

Os taludes em rocha, na maioria dos casos, têm sua instabilidade condicionada pelas descontinuidades. O sistema de descontinuidades pode ou não formar um mecanismo de ruptura cinematicamente admissível. Caso exista um mecanismo a estabilidade será função das características de resistência das descontinuidades e das solicitações. Na maioria dos estudos apresentados neste Capítulo serão admitidos que estejam atendidas as condições cinemáticas para ruptura do talude sempre ao longo de descontinuidades, ou seja, a resistência do material intacto é de tal ordem de grandeza que não permita a ruptura.

No caso de maciços extremamente fraturados ou muito intemperizados a cinemática de ruptura pode não ser explicitamente definida pelas descontinuidades. Nestas situações o comportamento dos maciços admite similaridade com o comportamento dos solos. Um estudo de estabilidade de taludes em rocha envolve usualmente duas fases:

1. **A análise cinemática:** identificação dos modos de ruptura cinematicamente admissíveis;
2. **A verificação da estabilidade:** usualmente realizada através do cálculo de um Fator de Segurança por equilíbrio limite.

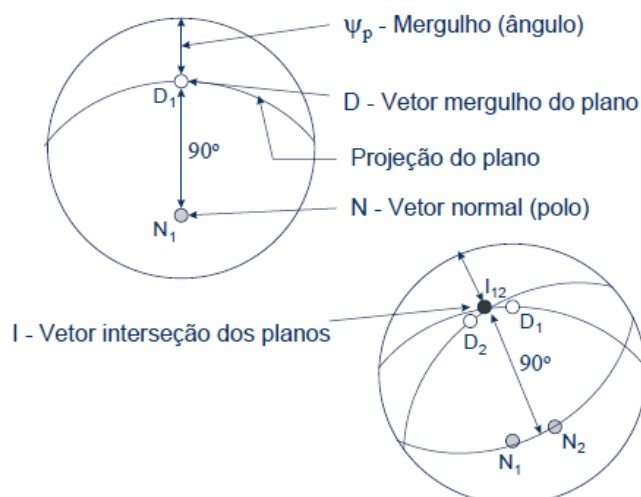
Nas análises tradicionais admite-se ser possível determinar plenamente tanto as resistências quanto as solicitações, este tipo de análise é chamado de determinística. Uma outra abordagem constitui o conjunto das análises probabilísticas, onde busca-se levar em conta explicitamente as incertezas envolvidas no problema. Mais recentemente vem sendo desenvolvidos enfoques probabilísticos para o problema, sendo determinadas probabilidades de ruína do talude.

A determinação da orientação das diversas descontinuidades é fundamental para a análise de estabilidade. Este levantamento deve ser realizado pelo geólogo na fase de prospecção. A representação da orientação em um estereograma é utilizada para a análise cinemática e determinação dos parâmetros na análise. Elementos importantes para a análise cinemática: o polo do plano (N), o vetor mergulho do plano (D). A reta de interseção de dois planos (I) pode ser determinada pelo cruzamento dos grandes círculos dos dois planos ou na forma do polo de um grande círculo que passa pelos polos dos dois planos (Figura 9). É usual

trabalhar com polos médios determinados através de estudos estatísticos de levantamento de campo.

A maioria das rupturas em taludes rochosos pode ser classificada em quatro modos: planar, cunha, tombamento e ruptura sem padrão estrutural. No modo de ruptura planar a ruptura é governado por uma descontinuidade. No modo de ruptura em cunha duas descontinuidades condicionam o escorregamento. No modo de ruptura por tombamento ocorre a queda de placas ou colunas formadas por descontinuidades que mergulha para dentro da face do talude. Rupturas sem padrão são aquelas em que não se detecta um padrão estrutural no movimento de massa, as formas são mais suaves ou arredondadas. Apesar de estes serem os quatro modos principais de ruptura, podem existir outros mecanismos.

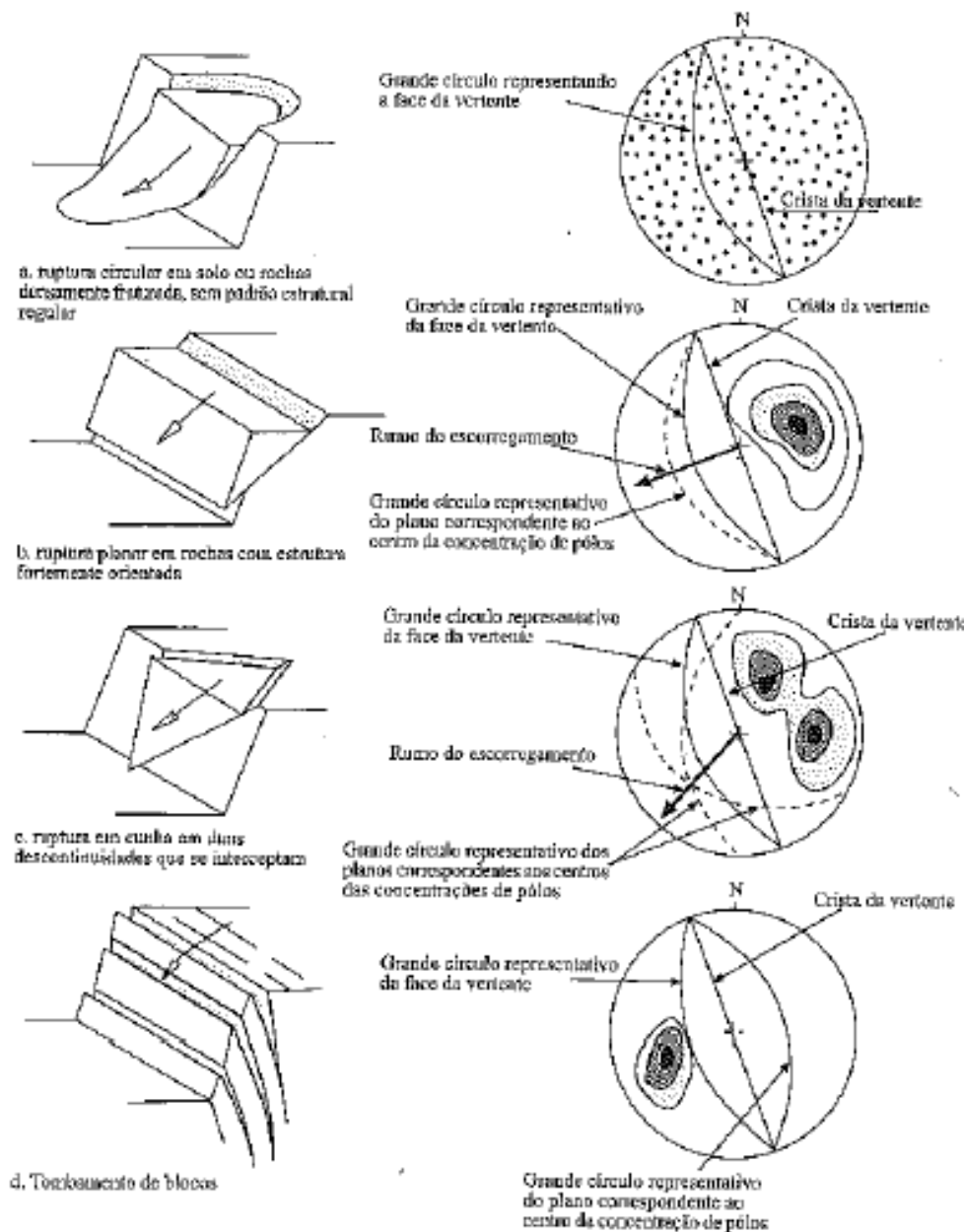
Figura 9. Elementos importantes para análise cinemática. Fonte: Adaptado de Goodman (1989).



A Figura 10 ilustra os quatro tipos de ruptura mais comumente encontrados em maciços rochosos e terrosos e a representação estereográfica das condições estruturais do maciço, suscetíveis de fornecer os tipos de ruptura para cada caso (Hoek; Bray, 1981). Na análise da estabilidade de um talude, o plano que a representa deverá ser incluído no estereograma, já que a ruptura somente poderá ocorrer como consequência de movimento em direção a face livre do talude. Os diagramas representados na figura são simplificados; na realidade, podem ocorrer combinações de diversos tipos de estruturas geológicas que podem dar origem a tipos mais complexos de deslizamentos. É importante, pois, identificar no campo as estruturas que representam planos potenciais de ruptura e eliminar aqueles que provavelmente não serão envolvidos em deslizamentos. Os dados estruturais para a análise da estabilidade de maciços rochosos dizem respeito, geralmente, a estruturas planares, como

falhas, fraturas, xistosidade, acamamento, etc. e dados lineares, como linhas de interseção de planos, estrias de atrito em planos de falhas, eixos de dobras, entre outros.

Figura 10. Principais tipos de deslizamento em taludes e estereogramas de estruturas que podem dar origem a esses deslizamentos. Fonte: Hoek & Bray (1981).



- Ruptura Planar

Escorregamentos planares envolvem deslocamento de massas de rochas e solos ao longo de superfícies subparalelas entre si (Fiori & Carmignari, 2009), não é necessário que o escorregamento afete uma estrutura do corpo de rocha, como planos de acamamento, foliação,

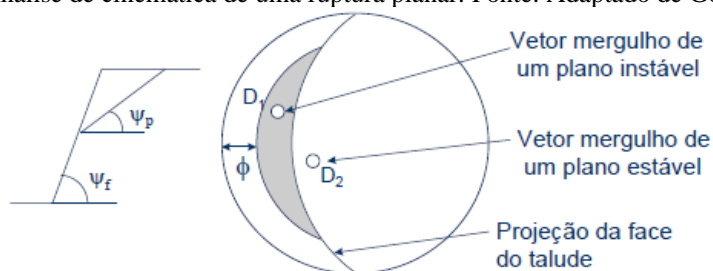
falhas ou juntas, para que seja considerado planar: basta que a superfície de deslizamento seja aproximadamente formada por um plano. Para que o escorregamento ocorra, as estruturas devem ser aflorantes e inclinadas na direção da face livre da vertente, com ângulo superior ao ângulo de atrito interno da rocha e ângulo menor que o da inclinação da superfície livre da vertente.

A presença de água subterrânea em taludes instáveis, nos planos de descontinuidades, ou nas fendas dos blocos rochosos, pode afetar a estabilidade do maciço rochoso. A água nos planos de descontinuidade favorece o deslizamento, ao reduzir a resistência ao cisalhamento, enquanto se estiver acumulada em fendas de tração podem aumentar as forças mobilizantes. Além disso, a água acelera o processo de intemperismo, levando à progressiva perda da resistência do material. Onde houver a possibilidade de deslizamentos planares é importante controlar não somente a água subterrânea, mas também a água superficial.

Na análise cinemática, realizada com o auxílio da projeção estereográfica (Figura 11), devem ser observadas as seguintes condições para ocorrer a ruptura:

- O mergulho do plano da descontinuidade deve ser menor que o mergulho da face do talude ($\Psi_p < \Psi_f$);
- O mergulho do plano da descontinuidade deve ser maior que o ângulo de atrito da superfície;
- As influências de feições laterais são desconsideradas.

Figura 11. Análise de cinemática de uma ruptura planar. Fonte: Adaptado de Goodman (1989).



- Deslizamento em cunha

Deslizamentos em cunha estão relacionados a escorregamentos translacionais ao longo de pelo menos dois conjuntos de planos que se cruzam. As orientações dos dois conjuntos são críticas para condicionar escorregamentos em cunha, sendo necessário que a linha de interseção (que representa a direção efetiva do deslocamento) aflore na face livre do talude

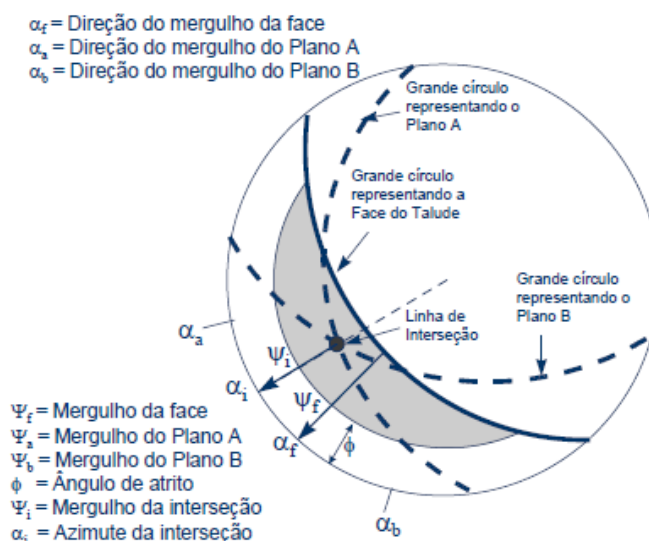
com ângulo de inclinação maior que o ângulo de atrito interno da rocha (Fiori e Carmignari, 2009).

As forças mobilizantes e resistentes atuantes no deslizamento em cunha requerem análises mais detalhadas do que as envolvidas em escorregamentos planares. Se os planos de inclinação são muito diferentes, a força normal atuante em cada um também será diferente. Além disso, os planos podem apresentar diferentes valores de resistência ao deslocamento. A presença de água no sistema, da mesma forma que no caso anterior, pode levar à instabilização da cunha pela ação do aumento da pressão ao longo dos planos de deslocamento. Para que ocorra um deslizamento em cunha, três condições básicas devem ser observadas em campo:

- As superfícies envolvidas no deslizamento devem se cruzar ou aflorar na face livre da vertente;
- A linha de interseção dos planos envolvidos deverá aflorar na vertente;
- O ângulo de mergulho da linha de interseção deverá ser maior que o ângulo de atrito dos planos envolvidos.

Ao estudar individualmente a estabilidade de uma cunha deve ser realizado o Teste de Markland: caso a direção do mergulho de um dos planos (α_a ou α_b) esteja entre o azimute da interseção (α_i) e a direção do mergulho da face (α_f), a ruptura ocorrerá ao longo da direção do maior mergulho, será, portanto uma ruptura planar condicionada apenas pelo plano de maior mergulho (Figura 12).

Figura 12. Análise cinemática da ruptura em cunha. Fonte: Adaptado de Goodman (1989)

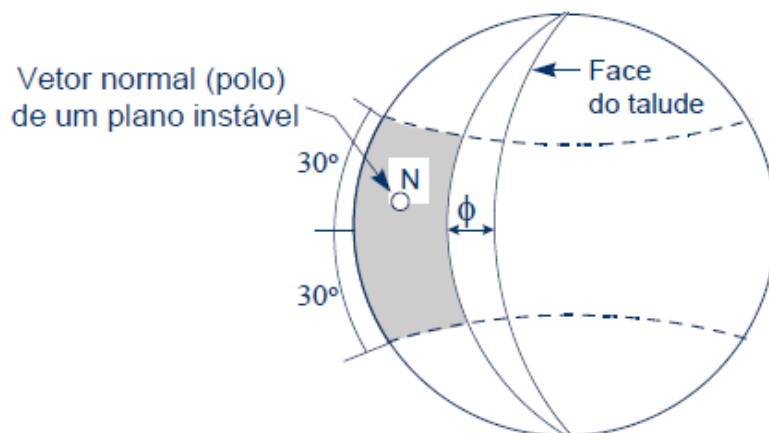


- Ruptura por tombamento

De acordo com Fiori e Carmignari (2009), o processo de tombamento de blocos (toppling) envolve mecanismos diferentes de movimentação das massas rochosas, não ligados à algum tipo de escorregamento. Blocos individuais, ou conjunto de blocos, sofrem uma rotação sobre eixos fixos, tombando assim na face livre da vertente. Para que ocorra o tombamento de blocos, é essencial a presença de planos estruturais bem definidos como acamamento, xistosidade, falhas, juntas etc.

Em um talude rochoso, a face do talude é a direção da tensão principal maior. Se as camadas possuem ângulo de atrito ϕ , o deslizamento entre as camadas ocorrerá apenas se a direção da compressão aplicada fizer um ângulo maior que o ângulo de atrito ϕ com a direção normal das camadas (Goodman, 1989). Em uma projeção estereográfica o tombamento pode ser detectado caso o vetor normal (N) esteja inclinado menos de ϕ graus em relação a face do talude (Figura 13). Além disso, o tombamento pode ocorrer somente se a direção das camadas é aproximadamente paralela a direção da face, com desvio máximo de 30° (Goodman, 1989).

Figura 13. Análise estereográfica para ruptura por tombamento. Fonte: Adaptado de Goodman (1989).



4.3. CLASSIFICAÇÃO DOS MACIÇOS ROCHOSOS

Segundo Fiori e Carmignani (2009), os sistemas de classificação tiveram início com trabalhos realizados por Terzaghi em 1946 e, desde então, estas análises foram avançando junto com a tecnologia e com um aumento na quantidade de estudos realizados. A classificação de maciços rochosos é um importante instrumento de comparação de litotipos e estruturas, visando à análise de sua estabilidade. Assim, um bom método de classificação

estrutural/geotécnica deve incluir em suas análises variáveis mais significativas ao processo de instabilização destes maciços.

A classificação da rocha através do método do RQD (*Rock Quality Designation*), proposto por Deere *et al.* em 1967 é utilizado nos principais sistemas de classificação dos maciços rochosos. Este índice pode ser mensurado tanto na recuperação de sondagens rotativas, quanto em afloramentos de rocha com auxílio de trenas para medições. O valor deste parâmetro é a porcentagem obtida pela divisão da soma dos comprimentos de todas as partes do testemunho com medidas iguais ou superiores a 10 cm pelo comprimento total da manobra ou do furo. Este cálculo é feito com o auxílio da equação a seguir e os valores obtidos são classificados de acordo com a Tabela 6.

$$RQD = (\sum L > 10 \text{ cm}) / (\sum L) \times 100$$

Tabela 6. Classificação RQD convencional. **Fonte:** Barton, Lien e Lunde (1974) *apud* Fiori e Carmignani (2009)

VALORES RQD (%)	DESCRIÇÃO
90 – 100	Rocha de excelente qualidade
75 – 90	Rocha de boa qualidade
50 – 75	Rocha de qualidade regular
25 – 50	Rocha de má qualidade

4.3.1. Rock Mass Rating (RMR)

A classificação geomecânica proposta por Bieniawski (1989) leva em consideração, além do RQD, outros cinco parâmetros: resistência a compressão simples da rocha intacta, espaçamento das descontinuidades, padrão das descontinuidades, ação da água subterrânea e orientação das descontinuidades em relação a escavação. Os critérios são avaliados, e ganham notas de acordo com a tabela proposta por ele (Tabela 7). Este fator, o RMR, é um valor que varia de 0 a 100, onde a qualidade do maciço é melhor quanto maior for o RMR.

Tabela 7. Sistema RMR de BIENIAWSKI (1989)

A. Parâmetros de classificação e seus pesos						
Parâmetro		Faixa de valores				
Ação da água subterrânea	Infiltração por 10m de túnel (1/m)	Nula	<10	10 - 25	25 - 125	>125
	Relação u/s1	0	<0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	>0,5
	Condições gerais	Completamente seco	Umedecido	Úmido	Gotejando	Fluxo abundante
Pesos		15	10	7	4	0
B. Ajustes dos pesos para a orientação das descontinuidades						
Direção geológica do mergulho		Muito favorável	Favorável	Moderado	Desfavorável	Muito desfavorável
Pesos	Túneis e minas	0	-2	-5	-10	-12
	Fundações	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	
C. Classe do maciço rochoso determinada pelo somatório dos pesos						
Somatório de pesos (RMR)		81-100	61-80	41-60	21-40	<21
Classe maciço		I	II	III	IV	V
Descrição		Muito bom	Bom	Regular	Ruim	Muito ruim
D. Descrição das classes						
Número da classe		I	II	III	IV	V
Tempo médio de auto-sustentação do vão livre		20 anos para 15m. De v. livre	1 ano para 10m de v. livre	1 semana para 5m de v. livre	10 horas para 2,5m de v. livre	30 min. Para 1m de v. livre
Coesão do maciço (kpa)		>400	300-400	200-300	100-200	<100
Ângulo de atrito com maciço (°)		>45	35-45	25-35	15-25	<15
E. Recomendações para a classificação da condição das descontinuidades						
Persistência da descont. /Pesos		<1 m /6	1-3 m /4	3-10 m /2	1-20 m /1	>20 m /0
Abertura /Pesos		Nenhuma /6	<01mm /5	0,1-1,0 mm /4	1-5 mm /1	> 5 mm /0
Rugosidade /Pesos		Muito rugosa /6	Rugosa /5	Pouco rugosa /3	Suave /1	Estriadas /0
Preencimento /Pesos		Nenhum /6	Duro, <5mm /4	Duro, >5mm /2	Mole, <5mm /2	Mole, >5mm /0
Alteração /Pesos		Não-alterada /6	Pouco /5	Moderada /3	Altamente /1	Decomposta /0
F. Efeito da direção geológica e do mergulho na construção do túnel						
Direção geológica perpendicular ao eixo do túnel			Direção geológica paralela ao eixo do túnel			
Escavação no sentido do mergulho. Mergulho 45°-90°		Escavação no sentido do mergulho. Mergulho 20-45°		Mergulho 45-90°	Mergulho 20-45°	
Muito favorável		Favorável		Muito desfavorável	Moderado	
Escavação contra mergulho. Mergulho 45-90°		Escavação contra mergulho. Mergulho 20-45°		Mergulho 0-20° - Dir. Geol. Qualquer		
Moderado		Desfavorável		Moderado		

*Relação entre a pressão neutra nas paredes das descontinuidades (u) e a tensão principal maior (s1).

4.3.2. Slope Mass Rating (SMR)

O sistema RMR criado por Bieniawski (1989) é mais voltado para o estudo de tuneis, já o SMR, proposto por Romana (1985) leva em consideração os parâmetros utilizados no

RMR e faz correções com relação a posição de estruturas importantes e a face do talude e o método de escavação empregado. O valor do SMR é dado por:

$$\text{SMR} = \text{RMR} + (\text{F1} \times \text{F2} \times \text{F3}) + \text{F4}$$

A correção quanto a posição das estruturas é feita através do produto de outros 3 subfatores presentes na Tabela 8. Já o método de escavação é obtido com o auxílio da Tabela 9.

Tabela 8. Valores dos fatores de ajuste quanto para as classes de orientação. Nota: P – Ruptura planar; T- Tombamento; C – Ruptura em cunha; as – direção do talude; aj – direção da descontinuidade; ai- direção da interseção; bs – mergulho do talude e bj – mergulho do talude e bj – mergulho da descontinuidade. Fonte: Romana (1985).

Modo de Ruptura		Muito Favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito Desfavorável
P	aj-as	>30°	30°-20°	20°-10°	10-5°	<5°
T	aj-as-180					
C	ai-as					
P/C/T	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P	bj	<20°	20-°30	30-35°	35°-45°	>45°
C	bj					
P/C	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
T	F2	1	1	1	1	1
P	bj-bs	>10°	10-0°	0°	0-(-10°)	<-10°
C	bj-bs					
T	bj+bs	<110°	110-120°	>120°	-	-
P/C/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

Tabela 9. Fator de ajuste referente ao método de escavação utilizado. Fonte: Romana (1985)

Método de escavação	F4
Talude Natural	15
Pre-corte	10
Detonação Suave	8
Escavação Mecânica	0
Detonação Deficiente	-8

Os maciços são classificados de acordo com os valores de SMR obtidos e são enquadrados em uma das classes presentes na Tabela 10.

Tabela 10. Classes de estabilidade. Fonte: Romana (1985)

Classe	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descrição	Muito Ruim	Ruim	Normal	Bom	Excelente
Estabilidade	Totalmente Instável	Instável	Parcialmente Estável	Estável	Totalmente Estável
Ruptura	Grandes Cunhas	Grandes Cunhas	Algumas Cunhas	Alguns Blocos	Estável
Tratamento	Escavação	Correção	Sistemático	Ocasional	Nenhuma

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Após a fase de pesquisa bibliográfica, foi realizada a etapa de campo com 4 dias de visita à área de estudo. As visitas foram realizadas nos dias 2, 17, 25 de agosto e 1 de setembro de 2019. Nesta etapa foram colhidos os dados de solo, litotipia e geologia estrutural dos taludes estudados. Durante as visitas para a realização da medição das estruturas, foi utilizada uma bússola do tipo Brunton para a medição dos planos de faturamento, foliação e atitudes do talude. O talude foi compartimentado em secções de 1 m por 1 m utilizando o método *scanline*, nos locais mais representativos das estruturas e discontinuidades presentes. Estas medições correram com o auxílio de uma trena e um fio de barbante de 1m, que fora posicionado no centro das “secções” na horizontal. Assim, foram medidas as estruturas e discontinuidades que estavam contidas no perímetro das secções e que foram interceptadas pelo barbante.

Figura 14. Exemplo de seção apresentando discontinuidades medidas da rocha.



Após a realização da etapa de campo, as coordenadas das “janelas” obtidas foram importadas para os softwares ArcGis 10.4 e Google Earth Pro, para a visualização e confecção de mapas que proporcionassem um maior entendimento do contexto da área de estudo.

5.1. APLICAÇÕES DAS CARACTERIZAÇÕES

O processo de classificação geomecânica dos taludes estudados foi feito através da medição das principais estruturas presentes no mesmo. Para a classificação RMR e posterior

SRM, foram levados em conta os seguintes critérios: orientação das estruturas; grau de alteração da rocha; espaçamento, espessura, repetição e preenchimento das descontinuidades e por fim, a rugosidade característica das paredes do talude.

Após o processo de coleta de dados em campo, foram confeccionadas tabelas no software *Excel 2016* para o posterior tratamento destes dados no software *Dips v7.0*. Com as tabelas importadas para o *Dips*, foram gerados diagramas estereográficos utilizando os dados obtidos em campo e considerando um coeficiente de atrito de (ϕ) estimado em 42° segundo dados de Barton, 1974. Para a visualização das rosetas das estruturas presentes, assim como a análise dos principais trends das descontinuidades medidas, foi utilizado o software *OpenStereo*, que auxiliou na montagem de diagramas estereográficos e o cálculo estatístico dos trends preferenciais das estruturas apresentadas.

O programa *Dips* é utilizado para a confecção de diagramas estereográficos e posterior análise das descontinuidades presentes nos maciços rochosos estudados, facilitando o entendimento e a análise da cinemática dos taludes analisados.

O estudo consiste na análise geotécnica dos taludes presentes na área de estudo, levando-se em conta feições que possam contribuir para a instabilidade dos mesmos considerando fatores geológicos e estruturais e, por fim, recomendando medidas de preservação, ocupação adequada ou proteção permanente das áreas instáveis em potencial.

Figura 15. Descontinuidades preenchidas por água, aumentando os fatores de instabilidade do Talude 1.



Figura 16. Descontinuidades preenchidas por água, aumentando os fatores de instabilidade do Talude 1.



Figura 17. Descontinuidades observadas no Talude 2



6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir dos métodos aplicados, subdivididos em contexto geológico, contexto estrutural e contexto geotécnico. Posteriormente é realizada discussão dos resultados, a partir da análise geomecânica e estabilidade dos taludes rochosos.

6.1. CONTEXTO GEOLÓGICO

Neste item serão descritos as rochas encontradas nos taludes estudados e apresentadas informações sobre as condições dos afloramentos.

6.1.1. Talude 1

O Talude 1 está situado na rua Oswaldo Cruz nas coordenadas UTM 55974E – 8561450N, em uma das principais vias do bairro do Rio Vermelho. O mesmo encontra-se bastante modificado, possuindo diversas construções em seu entorno assim como em sua crista. Possui aproximadamente 50 m de comprimento e 15 m de altura.

O talude é constituído por granulitos quartzo-feldspáticos com características macroscópicas e microscópicas semelhantes às dos granulitos tonalíticos descritos por Barbosa *et al.* (2005) e Souza *et al.* 2010, de origem paraderivada. A rocha possui uma foliação bem marcada, formando bandamentos bem definidos com *trends* paralelos a S_n e S_{n+1} descritas por Marinho (2013) com orientações NE-SW paralelas e mergulho variando de baixo a alto ângulo.

A rocha encontra-se bastante fraturada por toda sua extensão e a apresenta porções bastante alteradas principalmente sobre a grande zona de cisalhamento que ocorre na região (Figura 18). Acima da zona de cisalhamento principal, observa-se que as rochas apresentam médio grau de intemperismo, indicando que existe uma maior percolação de água atuando nas descontinuidades. As descontinuidades apresentam-se em grandes quantidades e com penetratividade expressiva. As rochas estão cobertas por um pacote de solo de 4m de altura.

Figura 18. Fotografia do Talude 1, localizado no bairro do Rio Vermelho, com destaque zona de cisalhamento que ocorre em toda sua extensão. A orientação da seção é aproximadamente E-W.



6.1.2. Talude 2

O Talude 2 está situado na Avenida Oceânica, no bairro de Ondina, nas coordenadas UTM 553806E -8561625N. O mesmo sofreu um processo de retaludamento durante as obras de ampliação da Avenida Oceânica, no ano de 2018, para a construção de um ponto de ônibus.

Figura 19. Fotografia do Talude 2, localizado no bairro de Ondina. A orientação da seção é aproximadamente E-W.



O Talude 2 apresenta composição semelhante à do Talude 1, constituído por granulitos quartzo-feldspáticos de origem paraderivada. Apresenta duas foliações bem marcadas, com *trend* NE-SW, e encontra-se bastante fraturado por toda sua extensão.

6.2. CONTEXTO ESTRUTURAL

Estruturalmente os taludes apresentam duas foliações bem marcadas com trends NE-SW, apresentando direção variando entre N240° e N260° e mergulhos variando com ângulos entre 20° e 80°. Estas foliações podem ser classificadas como S_n e S_{n+1} , sendo a foliação S_n constituída pelos bandamentos gnáissicos. A foliação S_{n+1} identificada em campo é fruto do caráter progressivo desta deformação, apresentando mergulhos subverticais variando entre 55° e 85°.

Figura 20. Diagrama estereográfico de isodensidade polar da foliação S_n nos taludes 1 e 2. N = 18 medidas.

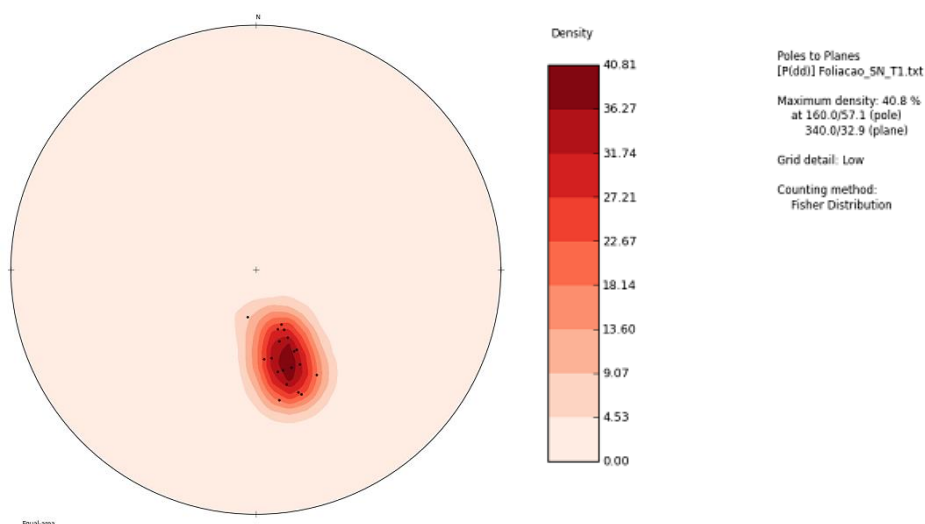
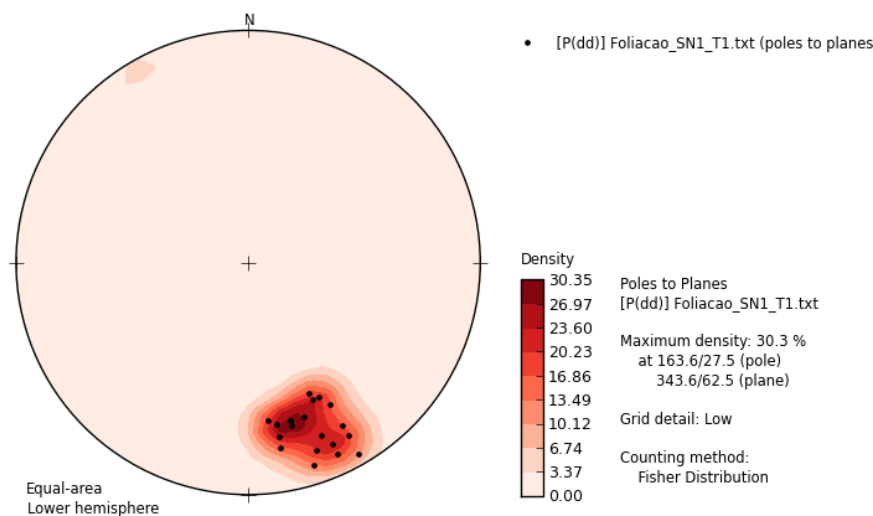
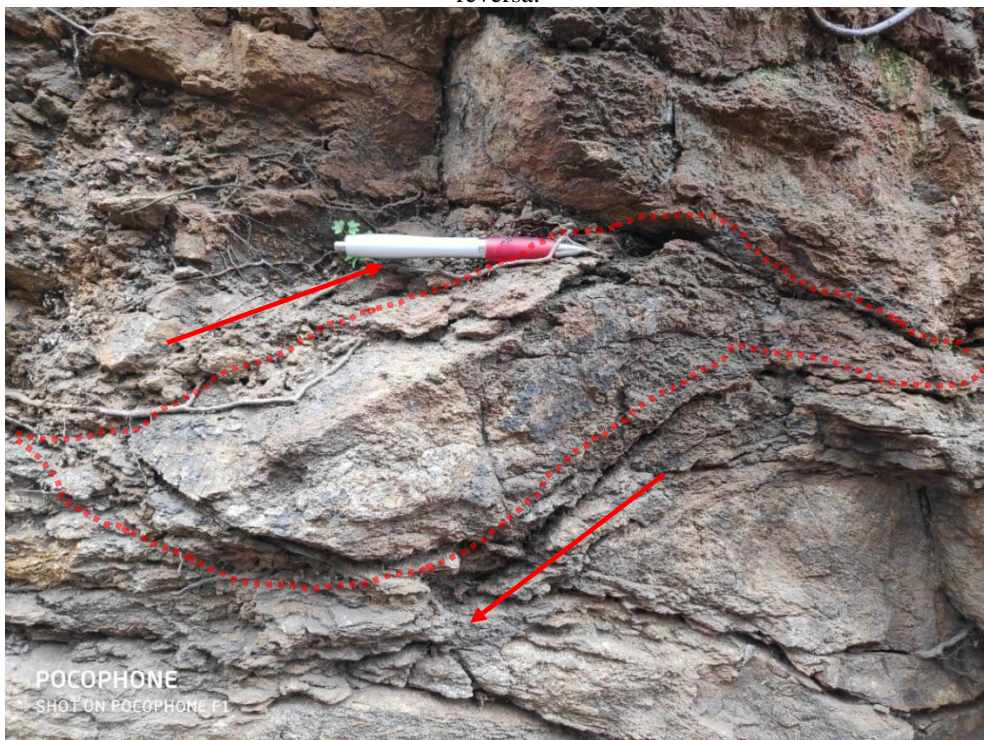


Figura 21. Diagrama estereográfico de isodensidade polar da foliação S_{n+1} nos taludes 1 e 2. N = 19 medidas.



Ocorre, também, uma zona de cisalhamento dúctil apresentando cinemática reversa e foliação monolítica bem marcada paralela a este *trend*, caracterizando a fase de maior compressão deste evento.

Figura 22. Estrutura sigmoidal presente em zona de cisalhamento do talude 1 apresentando cinemática dextral reversa.



O padrão de juntas apresentando na rocha possui dois *trends* principais N-S e W-E, representados por falhas de caráter normal de alto ângulo de mergulho e fraturas subjugadas com direção W-E. As falhas com *trend* N-S são condicionantes das demais estruturas rúpteis presentes, o que é evidenciado pela relação de truncamento que existe nestas estruturas. As famílias de fraturas W-E são provenientes da propagação e alívio das tenções existentes na rocha durante o falhamento, criando estruturas do tipo *horsetail* e fraturas de tração. Outro fator importante na geração destas fraturas é o processo de intemperismo físico e as detonações realizadas durante o processo do corte do talude para a construção da rua Oswaldo Cruz.

Segundo Marinho (2013) e Santos (2017), as estruturas rúpteis encontradas estão relacionadas a deformações distensionais pan-africanas, possivelmente relacionadas ao processo de abertura do Oceano Atlântico e com a evolução da Bacia do Recôncavo, isso corrobora com o *trend* N-S encontrado nas falhas normais na área de estudo.

Figura 23. Diagrama de rosetas da distribuição de fraturas do Talude 1 evidenciando dois *trends* preferenciais de faturamento N-S e W-E.

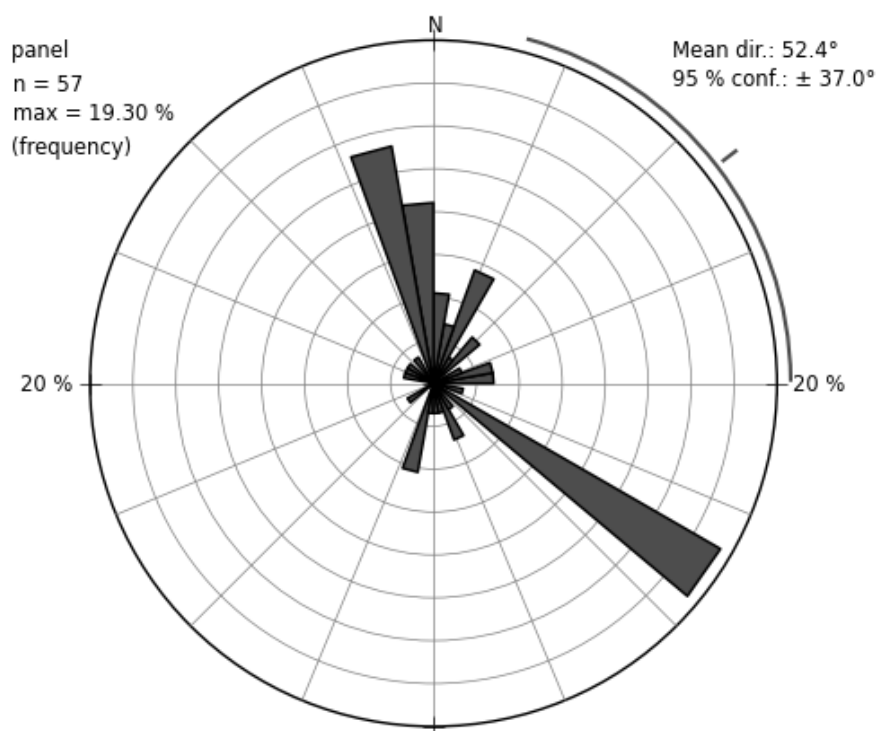


Figura 24. Diagrama de rosetas da distribuição de fraturas do talude 2 evidenciando 2 *trends* preferenciais de faturamento N-S e W-E. N = número de medidas.

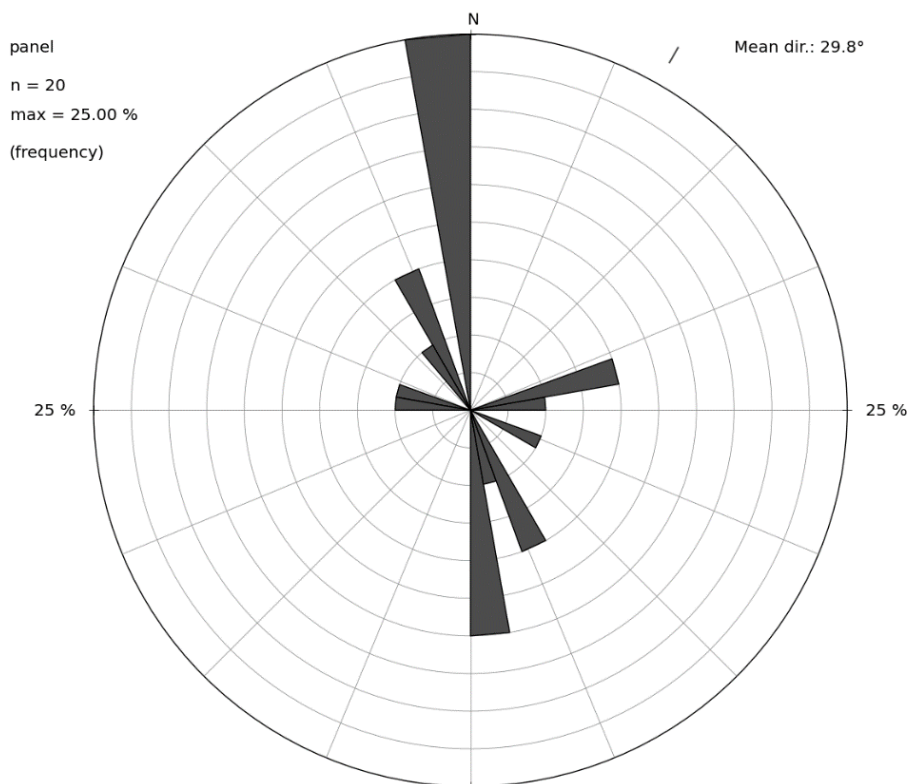


Figura 25. Truncamento de fraturas N-S e E-W observado no Talude 1.

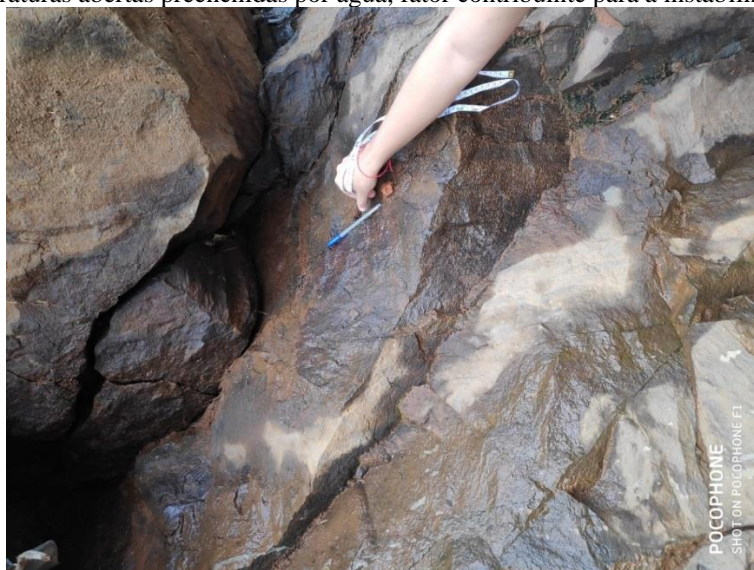


6.3. CONTEXTO GEOTÉCNICO

O Talude 1 apresenta diversas características que contribuem para a sua instabilidade dentre elas: as estruturas presentes na rocha, o sobrepeso das construções existentes sobre o talude, a presença de entulho e a falta de obras de contenção adequadas.

O granulito que constitui o paredão do Talude 1 encontra-se bastante fraturado, com famílias de fraturas que se repetem por toda a sua extensão e que são geralmente preenchidas por água (Figura 26), que chega a fluir das fraturas revelando que existem diversos pontos de conexão entre as mesmas.

Figura 26. Fraturas abertas preenchidas por água, fator contribuinte para a instabilização do talude.



Além disso, a rocha apresenta uma zona de cisalhamento dúctil-rúptil expressiva com *trend* paralelo a da foliação existente, caracterizando uma superfície de descontinuidade importante para que haja uma superfície de ruptura destes materiais. A alta declividade que o talude possui, que chega a até 80° associada a falta de vegetação existente na porção superior do mesmo, são outros fatores que contribuem para sua instabilidade.

Durante o segundo dia de visita de campo, realizada no dia 17 de agosto de 2019, constatou-se que o talude já havia sofrido movimentos de massa em diferentes pontos em sua extensão que levaram material para a calçada (Figura 27). Outro fator que chama a atenção é a presença de estacas de ferro presas a rocha para a fixação de um outdoor que não se encontra mais no local associados a uma grande lona preta que encobre uma grande porção do mesmo. Este tipo de tratamento paliativo dado ao talude não contribui para a redução dos processos de instabilização que atuam no local, inclusive podem contribuir para que eles ocorram criando uma grande superfície de escoamento para a ação das águas das chuvas.

Figura 27. Movimento de massa visto em campo no Talude 1. Visada para norte.



O Talude 2 teve seu corte realizado recentemente, fazendo com que os processos de intemperismo físico e químico atuassem por menos tempo sobre a rocha, deixando-a um pouco mais preservada. Entretanto, o talude apresenta o mesmo padrão de faturamento e declividade do Talude 1, com construções em seu entorno e sobre o mesmo.

As descontinuidades presentes encontram-se, também, preenchidas por água (Figura 28), de maneira semelhante ao Talude 1.

Figura 28. Mosaico de fotografias mostrando descontinuidades com percolação de água no Talude 2.



6.4. ANÁLISE GEOMECÂNICA E ESTABILIDADE DOS TALUDES ROCHOSOS

Para a análise da cinemática foram utilizadas medidas das principais descontinuidades da área. Foram coletados direções e ângulos de mergulho de estruturas geológicas, tais como fraturas, foliação e zonas de cisalhamento. As tabelas apresentam as atitudes das principais descontinuidades e da face livre dos taludes 1 e 2.

Tabela 11. Família de descontinuidades Talude 1

Dip direction	Dip	Família
263	3	J1
120	22	J2
78	47	J3
290	24	J4
83	5	J5
180	35	J6
103	83	J7
32	18	J8

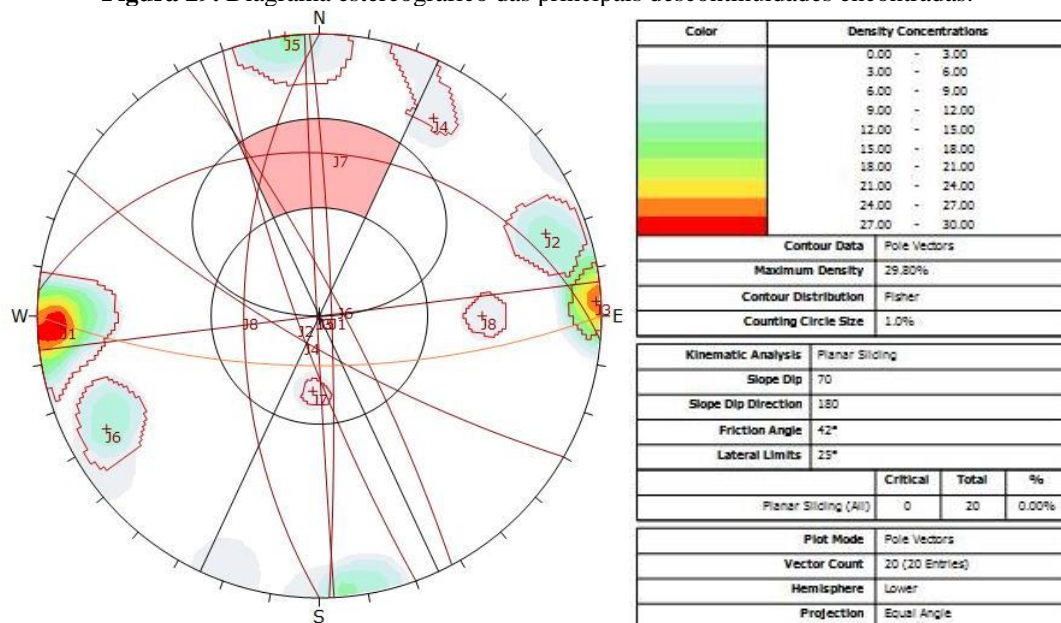
Tabela 12. Família de descontinuidades Talude 2

Dip direction	Dip	Família
40	80	J1
265	86	J2
304	66	J3
258	43	J4
110	66	J5
212	72	J6
360	55	J7
239	4	J8

6.4.1. Talude 1

- Ruptura planar

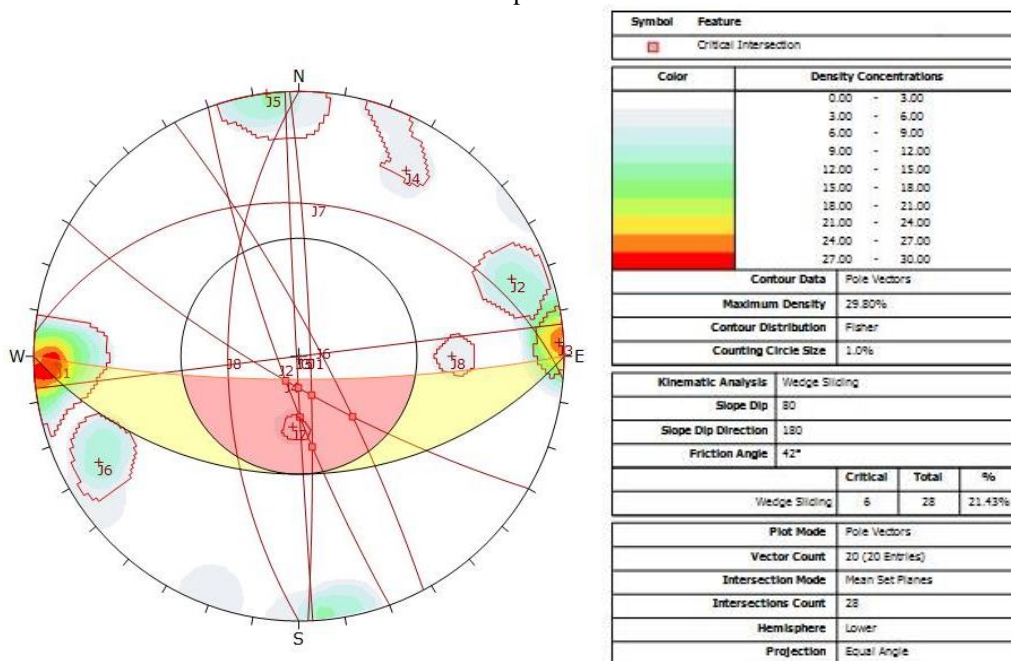
Para a análise de ruptura planar identificou-se que não existe nenhuma descontinuidade criando pontos críticos de instabilidade no talude para este tipo de ruptura.

Figura 29. Diagrama estereográfico das principais descontinuidades encontradas.

- Ruptura em cunha

Para a análise de rupturas em cunha, empregou-se o método de Markland (1972). Identificou-se que os vetores mergulho da interseção das descontinuidades J2 e J4, J3 e J4, J1 e J4, J2 e J1, J6 e J4, J3 e J2 encontram-se dentro do círculo definido pelo ângulo de atrito ($\phi = 42^\circ$) e a face do talude (Figura 30). Este tipo de ruptura possui 21,43% de possibilidade de ocorrer nas presentes condições da face do talude.

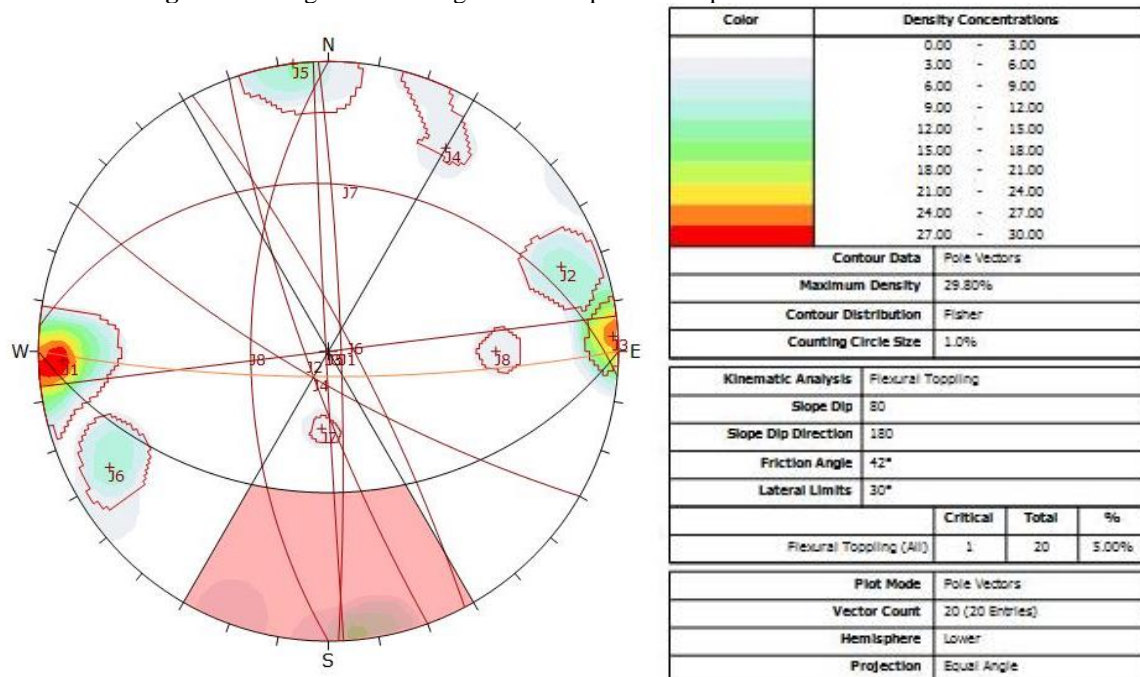
Figura 30. Diagrama estereográfico das rupturas do tipo cunha, mostrando seis pontos de interseção de planos de ruptura.



- Tombamento

Através da análise em rede estereográfica, observa-se que existe apenas um ponto crítico com uma única medida possuindo assim a probabilidade de 5% de ocorrer movimentos de massa do tipo tombamento. Para esta análise foi utilizado o limite de 30° e ângulo de atrito interno de 42°.

Figura 31. Diagrama estereográfico de rupturas do tipo tombamento Talude 1.

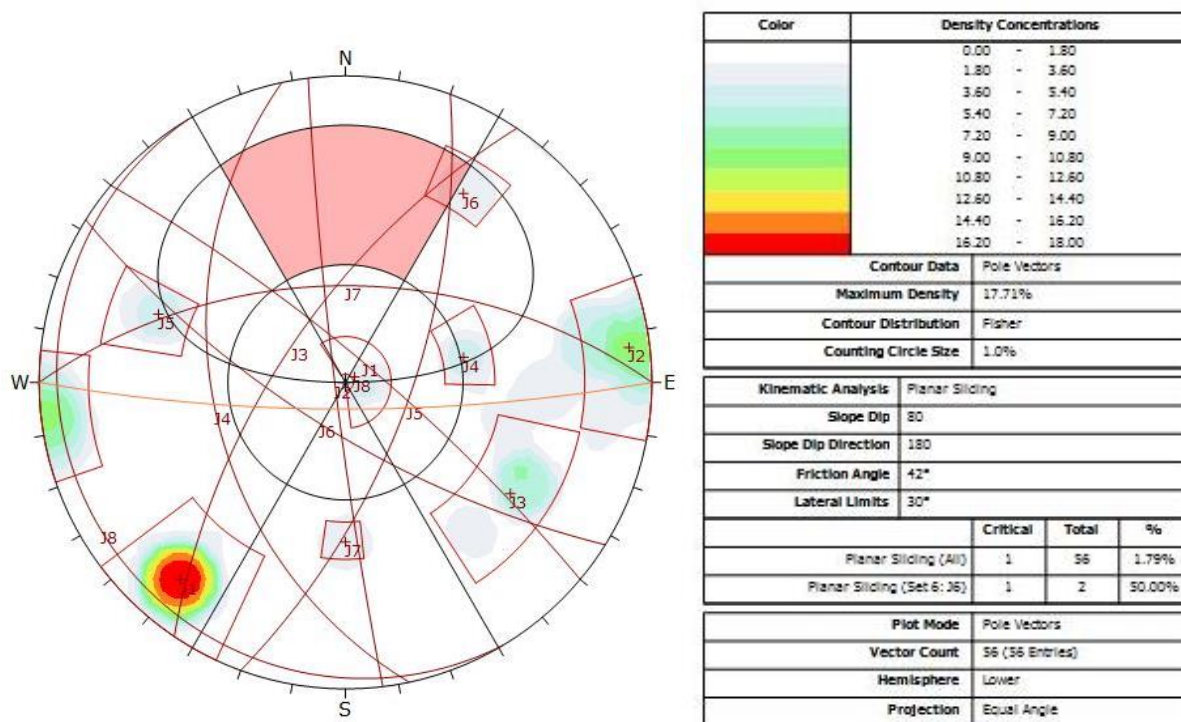


6.4.2. Talude 2

- Ruptura planar

Para a análise de ruptura planar do Talude 2 foi utilizado o diagrama estereográfico (Figura 32), que indica que existe um ponto crítico relacionado a família de descontinuidades J6 com 1,79% de chance de ocorrer rupturas deste tipo.

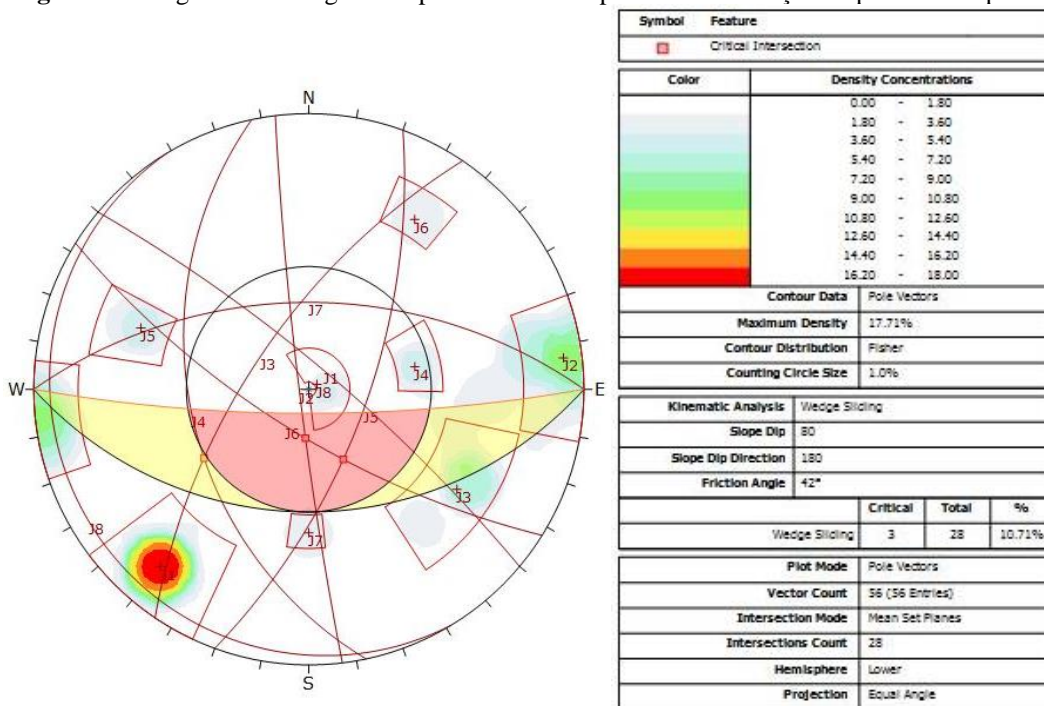
Figura 32. Diagrama estereográfico revelando um ponto crítico ruptura do tipo planar relacionado a família J6.



- Ruptura em cunha

Identificou-se que os vetores mergulho da interseção das descontinuidades J2 e J6, J5 e J6, J4 e J3 encontram-se dentro do círculo definido pelo ângulo de atrito ($\phi = 42^\circ$) e a face do talude (Figura 33). Este tipo de ruptura possui 10,71% de possibilidade de ocorrer nas presentes condições da face do talude.

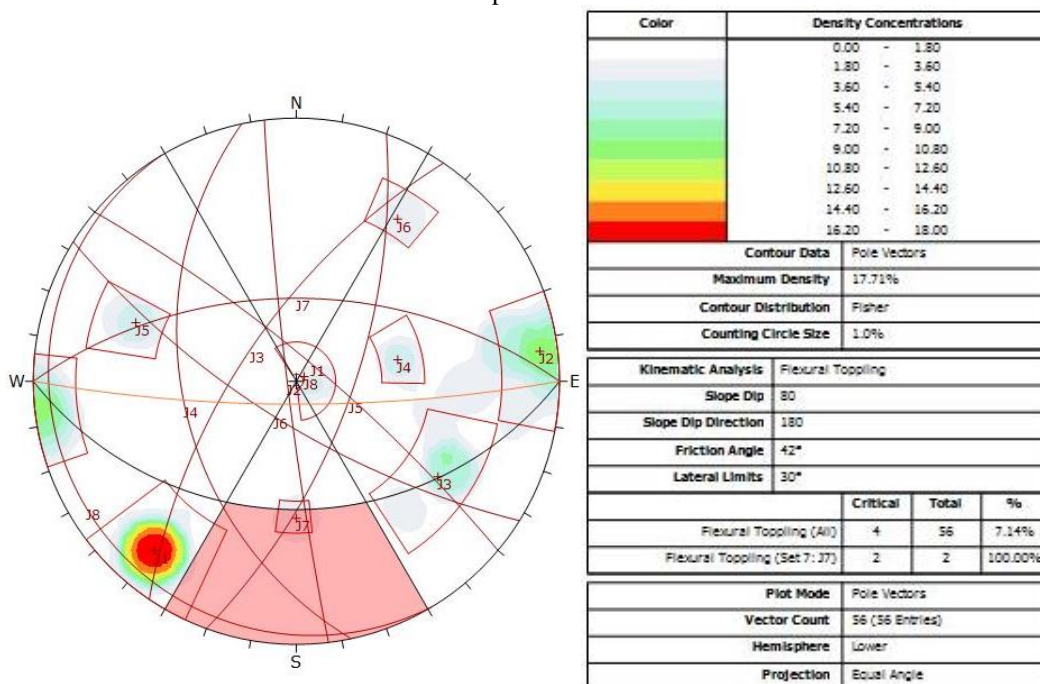
Figura 33. Diagrama estereográfico apresentando três pontos de interseção de planos de rupturas.



- Tombamento

Através da análise em rede estereográfica, observa-se que existem quatro pontos críticos que geram instabilidade no talude. A ruptura em tombamento tem 7,14% de probabilidade de ocorrer neste talude.

Figura 34. Diagrama de rupturas do tipo tombamento, mostrando pontos críticos relacionados a família de rupturas J7.



6.4.3. Classificação SMR

Para a classificação do SMR foi realizada uma avaliação preliminar do método RMR através da tabela proposta por Bieniawski (1989). O valor obtido para este talude foi de 46, que posteriormente foi atribuído nos cálculos para a análise do SMR.

6.4.3.1. Talude 1

- Planar

De acordo com a Tabela 13, a ruptura planar criada em relação as descontinuidades J4, J5, J7 e J8 geram uma condição de instabilidade ao talude. Observa-se que existe uma discrepância entre os dados apresentados pelos estereogramas, o que indica que os valores de RMS obtidos pertencentes a classe IV estão muito próximos dos valores mínimos da classe III sendo estes parcialmente estáveis. Logo, é de se esperar que esta diferença ocorra, sabendo que o modelo estereográfico não considera outros fatores referentes à rocha e as descontinuidades.

Tabela 13. Tabela classificação SMR rupturas do tipo planar, Talude 1

Planar (P)	F1	F2	F3	F1xF2xF3	F4	RMS	Classe	Estabilidade
J1	0,15	1	-6	-0,9	0	45,1	III	Parcialmente Estável
J2	0,15	1	-6	-0,9	0	45,1	III	Parcialmente Estável
J3	0,15	1	-6	-0,9	0	45,1	III	Parcialmente Estável
J4	0,15	1	-50	-7,5	0	38,5	IV	Instável
J5	0,15	1	-6	-0,9	0	45,9	III	Parcialmente Estável
J6	0,15	1	-6	-0,9	0	45,1	III	Parcialmente Estável
J7	0,15	0,7	-60	-6,3	0	39,7	IV	Instável
J8	0,15	1	-60	-9	0	37	IV	Instável

- Cunha

De acordo com a Tabela 14, a ruptura em cunha apresenta, na grande maioria das descontinuidades, instabilidade no talude. Este fato é observado também no diagrama estereográfico já estudado, revelando seis pontos críticos no total.

Tabela 14. Tabela classificação SMR rupturas do tipo cunha, talude 1

Cunha (C)	F1	F2	F3	F1xF2xF3	F4	RMS	Classe	Estabilidade
J6xJ2	0,15	0,85	-60	-7,65	0	37	IV	Instável
J2xJ4	0,15	0,85	-50	-6,375	0	38,5	IV	Instável
J1xJ2	0,15	0,4	-60	-3,6	0	4	V	Totalmente Instável
J1xJ4	1	1	-60	-20,4	0	0	V	Totalmente Instável
J3xJ2	1	1	-60	-26	0	0	V	Totalmente Instável
J3xJ4	1	1	-60	-26	0	0	V	Totalmente Instável
J8XJ6	0,15	1	-60	-9	0	37	IV	Instável
J8xJ7	0,15	1	-60	-9	0	37	IV	Instável
J2XJ6	0,15	1	-25	-3,75	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J7XJ2	0,15	1	-60	-9	0	37	IV	Instável

- Tombamento

A ruptura tombamento não apresenta pontos de instabilidade criados pelas descontinuidades, corroborando com os dados mostrados pelo diagrama estereográfico respectivo.

Tabela 15. Tabela classificação SMR rupturas do tipo Tombamento, talude 1

Tombamento (T)	F1	F2	F3	F1xF2xF3	F4	RMS	Classe	Estabilidade
J1	0,15	1	-25	-3,75	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J2	0,15	1	-25	-3,75	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J3	0,15	1	-25	-3,75	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J4	0,15	1	-25	-3,75	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J5	0,15	1	-25	-3,75	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J6	0,15	1	-25	-3,75	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J7	0,15	1	-25	-25	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J8	0,15	1	-25	-3,75	0	42,25	III	Parcialmente Estável

6.4.3.2. Talude 2

- Planar

De acordo com a Tabela 16, a ruptura planar criada em relação as descontinuidades J3 e J6 geram uma condição de instabilidade ao talude. É possível observar que existe uma discrepância entre os dados apresentados pelos estereogramas, o que indica que os valores de

RMS obtidos pertencentes a classe IV estão muito próximos dos valores mínimos da classe III sendo estes parcialmente estáveis. Logo, é de se esperar que esta diferença ocorra.

Tabela 16. Tabela classificação SMR rupturas do tipo planar, Talude 2.

Planar (P)	F1	F2	F3	F1xF2xF3	F4	RMS	Classe	Estabilidade
J1	0,15	0,15	-60	-1,35	0	44,65	III	Parcialmente Estável
J2	0,15	0,4	-60	-3,6	0	42,4	III	Parcialmente Estável
J3	0,15	1	-60	-9	0	37	IV	Instável
J4	0,15	0,4	-60	-3,6	0	42,4	III	Parcialmente Estável
J5	0,15	0,15	-60	-1,35	0	44,65	III	Parcialmente Estável
J6	0,15	0,85	-60	-7,65	0	38,35	IV	Instável
J7	0,15	1	0	0	0	46	III	Parcialmente Estável
J8	0,15	0,15	-60	-1,35	0	44,65	III	Parcialmente Estável

- Cunha

De acordo com a Tabela 17, a ruptura em cunha apresenta, na grande maioria das descontinuidades, instabilidade no talude. Este fato é observado também no diagrama estereográfico já estudado, revelando três pontos críticos no total.

Tabela 17. Tabela classificação SMR rupturas do tipo cunha, talude 2

Cunha (C)	F1	F2	F3	F1xF2xF3	F4	RMS	Classe	Estabilidade
J6XJ2	0,85	1	-60	-51	0	0	V	Totalmente instável
J6XJ5	0,7	1	-60	-42	0	4	V	Totalmente instável
J3xJ4	0,15	1	-60	-9	0	37	IV	Instável
J5xJ4	0,15	1	-50	-7,5	0	38,5	V	Totalmente instável
J5xJ7	0,15	1	-6	-0,9	0	45,1	III	Parcialmente Estável
J5xJ3	0,15	0,4	-60	-3,6	0	42,4	III	Parcialmente Estável
J5xJ6	0,15	1	-60	-9	0	37	IV	Instável
J5xJ8	0,15	0,4	-60	-3,6	0	42,4	III	Parcialmente Estável
J7xJ8	0,15	1	-60	-9	0	37	IV	Instável
J7xJ3	0,15	1	-60	-9	0	37	IV	Instável

- Tombamento

A ruptura do tipo tombamento apresenta um ponto de instabilidade criado pelas descontinuidades da família J7, corroborando com os valores obtidos no diagrama estereográfico respectivo.

Tabela 18. Tabela classificação SMR rupturas do tipo planar, Talude 2

Tombamento	F1	F2	F3	F4	RMS	Classe	Estabilidade
J1	0,15	1	-25	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J2	0,15	1	-25	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J3	0,15	1	-25	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J4	0,15	1	-25	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J5	0,15	1	-25	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J6	0,15	1	-25	0	42,25	III	Parcialmente Estável
J7	1	1	-25	0	21	IV	Instável
J8	0,15	1	-25	0	42,25	III	Parcialmente Estável

6.5. ANÁLISE GEOTECNO-ESTRUTURAL

Como mostrado nas tabelas de SRM e nos gráficos estereográficos, os taludes se encontram instáveis principalmente devido às interseções de planos que estão relacionados às diversas famílias de fraturas que ocorrem na área de estudo, sendo que algumas delas formam um sistema de par conjugado formando cunhas, sendo este tipo de ruptura o mais observado na região.

Figura 35. Interseção de rupturas formando uma cunha, Talude 2.

A foliação S_n não influencia na instabilidade do talude, devido ao baixo ângulo de mergulho e também por apresentar mergulho contrário ao mergulho do talude, não gerando assim rupturas por tombamento. Porém, é de se destacar que a foliação S_{n+1} , que está relacionada à zona de cisalhamento dúctil-ruptil, apresenta-se como uma descontinuidade presente na rocha que gera instabilidade devido a esta possuir um alto ângulo de mergulho, apesar de assim como a S_n ela mergulhar no sentido contrário ao mergulho do talude, tendo assim alta probabilidade de gerar rupturas por tombamento.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após a análise dos dados obtidos em campo e seu posterior tratamento, verificou-se que os taludes encontram-se instáveis, sendo os tombamentos e as cunhas as principais rupturas que ocorrem na região.

Foram identificadas uma fase ductil e outra ductil-ruptil nos taludes estudados, que correspondem aos eventos colisionais do paleoproterozoico. Estas deformações produziram as foliações S_n e S_{n+1} presentes na área de estudo, que possuem trend NNW-SSE sendo que, a foliação S_{n+1} possui ângulos de mergulho mais verticalizados, variando entre 55° e 90° .

A ruptura por tombamento são mais prováveis de ocorrer no talude 2, onde existe uma quantidade mais expressiva de foliações geradas pela fase D_{n+1} , que foram geradas a partir do cisalhamento produzida pela colisão que ocorreu durante os eventos de colisão do paleoproterozoico.

As foliações geradas pelo evento D_n não produziram suscetibilidade a ruptura do tipo tombamento, tendo em vista que estas apresentam ângulos de mergulho baixos, variando entre 10° e 50° .

A partir dos diagramas de rosetas foi possível observar que as fraturas ocorrem em duas direções principais, N-S e E-W e que são provenientes dos eventos de abertura do Oceano Atlântico e da bacia do recôncavo. Estes *trends* são condicionantes das discontinuidades produzidas por tectônica rúptil. Estas discontinuidades estão associadas ao tipo de ruptura de cunha que ocorre de maneira mais expressiva nos Taludes 1 e 2, sendo que este apresenta uma quantidade expressiva de pontos críticos nos diagramas estereográficos assim como baixos valores de SRM. Esses fatores culminam em uma elevada suscetibilidade para que eventos de movimentos de massa ocorram a partir destas rupturas.

A ruptura por tombamento são mais prováveis de ocorrer no talude 2, onde existe uma quantidade mais expressiva de foliações geradas pela fase D_{n+1} , que foram geradas a partir do cisalhamento produzida pela colisão que ocorreu durante os eventos de colisão do paleoproterozoico.

Os dados gerados pelos gráficos estereográficos e os dados gerados pelo método SRM foram bastante semelhantes, indicando assim que se para uma análise precisa sobre estabilidade de taludes, os dois devem ser usados em conjunto.

Recomenda-se aos órgãos competentes da prefeitura a realização de obras de contenção da maneira mais eficaz para sanar os problemas encontrados, já que estes colocam a população em risco.

REFERÊNCIAS

ALKIMIN, F.F. O que faz de um Cráton um Cráton? O Cráton do São Francisco e as Revelações Almeidianas ao delimitá-lo. In: MANTESSO-NETO, V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C.D.R., BRITO NEVES, B.B. (orgs); Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Beca. 2004. Cap. 1, p.16-35.

ALMEIDA, F.F.M., O CRATON DO SÃO FRANCISCO, 1977.

AUGUSTO, O.F.; VIRGILI, J.C. Estabilidade de Taludes. In: OLIVEIRA, A.M.S. (Editor). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap. 10, p. 153-162.

BARBOSA J.S.F.; SABATÉ P. Geological features and the Paleoproterozoic collision of four Archaean Crustal segments of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil. A synthesis. Anais Acad. Bras. Ciências, v. 74 (2): p. 343-359. 2002.

BARBOSA, J.S. F.; MASCARENHAS, J. F.; CORREA-GOMES, L. C.; DOMINGUEZ, J. M. L.; SOUZA, J. S. de. Geologia da Bahia Pesquisa e Atualização. 1. ed. Salvador: CBPM - Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, v. 2. 559p. 2012.

BARBOSA, J.S.F. & SABATÉ, P. Archean and Paleoproterozoic crust of the São Francisco Cráton, Bahia, Brazil: geodynamic features. Prec. Res. 2004. 133:1- 27.

BARBOSA, J.S.F. O Embasamento Arqueano e Proterozóico Inferior do Estado da Bahia. In: BARBOSA, J.S.F. & DOMINGUEZ, J.M.L (Cords) Geologia da Bahia: Texto Explicativo para o Mapa Geológico ao Milionésimo. Salvador: Secretário da Indústria, Comércio e Mineração. Superintendência de Geologia e Recursos Minerais. Salvador: 1996 p.65-83.

BARBOSA, J.S.F., CORRÊA-GOMES, L.C., DOMINGUEZ, J.M.L., CRUZ, S.A.S & SOUZA, J.S. Petrografia e Litogeoquímica das Rochas da Parte Oeste do Alto de Salvador, Bahia. Revista Brasileira de Geociências. V. 35 (4 – suplemento). 2005. p. 9-22.

BARBOSA, J.S.F., SABATÉ, P. Colagem Paleoproterozóica de Placas Arqueanas no Cráton do São Francisco na Bahia. Revista Brasileira de Geociências. V. 33 (1 – suplemento). 2003. p. 7-14.

Barton N, Bandis S, Bakhtar K (1985) Strength, deformation and conductivity coupling of rock joints. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 22(3):121–140.

Barton N, Bar N (2015) Introducing the Q-slope method and its intended use within civil and mining engineering projects. In: Schubert W, Kluckner A (eds) *Future development of rock mechanics; Proceedings of the ISRM regional symposium, Eurock 2015 and 64th geomechanics colloquium, Salzburg, 7–10 October 2015*, pp 157–162.

Barton N, Grimstad E (2014) Forty years with the Q-system in Norway and abroad, vol 4.1–4.25. *Fjellsprengningsteknikk, Bergmekanikk, Geoteknikk, NFF, Oslo*.

Barton N, Lien R, Lunde J (1974) Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech* 6:189–236.

Barton N, Quadros E (2015) Anisotropy is everywhere, to see, to measure and to model. *Rock Mech Rock Eng* 48:1323–1339.

BIENIAWSKI Z.T. *Engineering Rock Mass Classification*. New York: John Wiley, 1989. 215p.

Bieniawski ZT (1976) Rock mass classification in rock engineering. In: Bieniawski ZT (ed) *Exploration for rock engineering; Proceedings of the symposium, Cape Town, Balkema*, pp 97–106.

Bieniawski ZT (1989) *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. Wiley, New York, p 272p.

CELINO, J.J.; CONCEIÇÃO, H. Granito porfiróide – evidência de magmatismo ácido tardio na faixa granulítica Atlântica, Salvador, Bahia. In: UFBA, *Sem. Est. Pesq.*, 5, *Bol. Res.*, 1983. p. 30.

DEERE, D.u. *Geological Considerations Rock Mechanics in: Engineering Practice*. Newyork, 1968. pp.1-20.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Geologia. In: HATJE, V.; ANDRADE, J. B. (Org.). Baía de Todos os Santos. Aspectos Oceanográficos. Salvador: EDUFBA, 2009. p. 25- 66.

FIORI, A.P.; CARMIGNANI, L. Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas - Aplicações na estabilidade de taludes. 2ª edição. Oficina de Textos & UFPR, 602 p., 2009.

GOODMAN, R.E. (1989) Introduction to rock mechanics. 2nd ed. Willey, New York. 562p.

GOODMAN. R. E. Introduction to Rock Mechanics. 2.ed. New York: John Wiley, 1989. 412p.

HASUI, Y & MIOTO, J.A. (1992) Geologia estrutural aplicada. ABGE/Votorantim. 459p.

BIENIAWSKI, Z.T. (1989) Engineering rock mass classifications. Wiley, New York. 251p.

HOEK, E.; BRAY, J. Rock Slope Engineering, 3. Ed. Rev. London: Institution of Mining and Metallurgie & Elsevier Applied Science, 1981. 358p.

HOEK, E.; KAISER, P.K.; BAWDEN, W.F. (1995) Suport of underground excavation in hard rock. Balkema, Rotterdam. 215p.

HOEK, E.; KAISER, P.K.; BAWDEN, W.F. (1995) Suport of underground excavation in hard rock. Balkema, Rotterdam. 215p.

ISRM. Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks: Intl. Soc. Rock Mech. Comm. On Standardisation of Laboratory and Field Tests, Instl. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., v. 15, p.89-97, 1978.

MARINHO, G. P. S. Mapeamento Geológico e Analise estrutural do afloramento da praia da paciência (Setor E), Salvador, Bahia. Trabalho de Graduação. 2013. p. 85.

MARKLAND, J. T. A useful technique of estimating the stability of rock slopes when the ridge wedge sliding type of failure is expected. Imperial College Rock Mechanics Research Report, 1972.

MIOTO, J.A.; COELHO, L.F.M. Estado de Tensão dos Maciços Rochosos. In: OLIVEIRA, A.M.S. (Editor). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap. 10, p. 153-162.

Nunes, B., Ramos, V., Dilliger, A. (1981). Geomorfologia. In: Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD. Salvador: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 24, 620 p.

OLIVEIRA, L. M. Utilização da Aerofotogrametria aplicada com VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) para auxílio no mapeamento de áreas de risco geológico no Morro da Paciência, Salvador - BA. Trabalho de Graduação. UFBA. Salvador. 2017.

ROMANA M., “New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes”. In: Symposium on the role of rock mechanics ISRM. Zacatecas, 1985. p 49-53.

ROMANA, M., SERÓN, J.B., MONTALAR, E., SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation ISRM 2003-Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 2003.

SERRA Jr, E.; OJIMA, L.M. Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos. In OLIVEIRA, A.M.S. (Editor). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap. 10, p. 153-162.

SILVA, A. A. B. Caracterização Geotécnica dos Taludes Rochosos da Praia da Paciência, Salvador, Bahia. Trabalho de Graduação. UFBA. Salvador. 2018.

Silva, L.C., Pedrosa-Soares, A.C. & Teixeira, L.R. 2007. Tonian rift-related, A-type continental plutonism in the Araçuaí orogen, Eastern Brazil: new evidences for the breakup stage of the São Francisco-Congo Palecontinent. Gondwana Research (no prelo, doi:10.1016/j.gr.2007.06.002).

SILVA, M.D. Avaliação geológico-geotécnica de uma pedreira no município de Simões Filho, Bahia. Trabalho de Graduação. UFBA. Salvador. 2013. p. 131.

SOUZA, J. S. DE. Petrografia e Litogeoquímica dos Litotipos Granulíticos Ortoderivados da Cidade de Salvador, Bahia. Dissertação de Mestrado, IG-UFBA, Salvador – Ba. 60 p. 2009.

TEIXEIRA, W.; SABATÉ, P.; BARBOSA, J.S.F.; NOCE, C.M.; CARNEIRO, M.A. Archean and Paleoproterozoic Tectonic evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In: U.G. CORDANI, E.J. MILANI, A. THOMAS FILHO, D.A. CAMPOS. (Eds.), Tectonic Evolution of the South America. In: Int. Geol. Congr. 31, Rio de Janeiro: 2000. P. 101-137.

ZINGANO, A.C. Modelamento geomecânico para o dimensionamento de pilares de carvão. PPGEM – UFRGS, 2002. 199p. (Tese de Doutorado).