

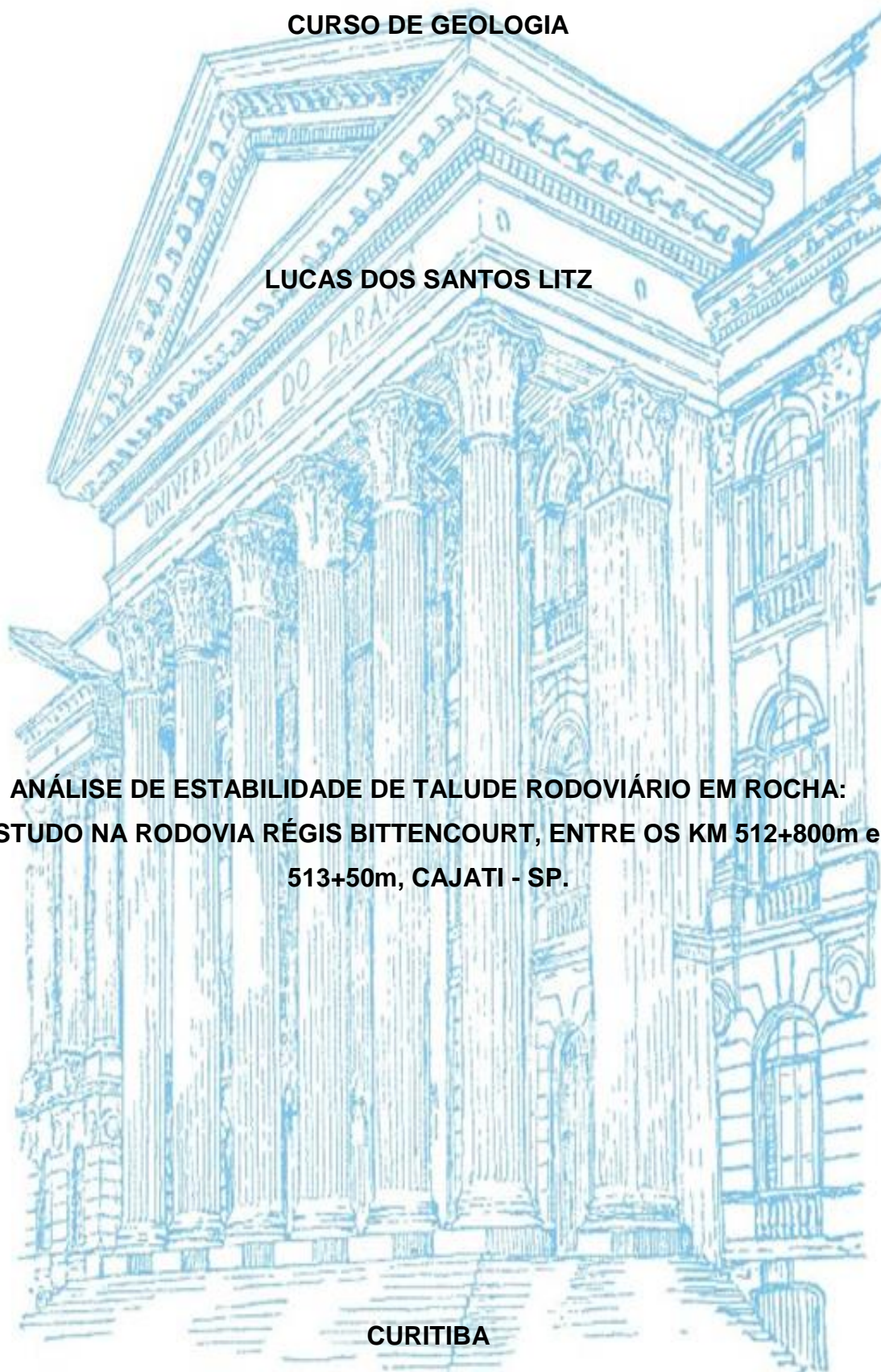
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA**

LUCAS DOS SANTOS LITZ

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE RODOVIÁRIO EM ROCHA:
ESTUDO NA RODOVIA RÉGIS BITTENCOURT, ENTRE OS KM 512+800m e
513+50m, CAJATI - SP.**

CURITIBA

2016



LUCAS DOS SANTOS LITZ

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE RODOVIÁRIO EM ROCHA:
ESTUDO NA RODOVIA RÉGIS BITTENCOURT, ENTRE OS KM 512+800m e
513+50m, CAJATI - SP.

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Geólogo no curso de Geologia, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Rubens José Nadalin

Co-Orientador: Dr. Alberto Pio Fiori

CURITIBA

2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos Professores José Rubens Nadalin e Alberto Pio Fiori, orientadores desse trabalho, pelo tempo despendido.

Ao Departamento de Geologia da UFPR, por disponibilizar seus laboratórios e professores.

Aos meus pais Carlos e Rosane Litz, pelo exemplo dado e pela oportunidade da vida.

A minha irmã Camila Litz, pelo companheirismo, discussões e apoio.

A minha família, avós, tios e primos pela paciência, apoio e compreensão.

Ao meu avô Claudio Santos, pelo exemplo de Fortaleza.

A minha namorada Patrícia, pela paciência, carinho e por estar ao meu lado todo esse tempo.

A Deus.

**“Você vai, então, descobrir o mundo real e o mundo irreal.
Vai reconhecer o efêmero e o passageiro.
Aí, então, você vai se posicionar e vai descobrir quem você é.
Você vai descobrir que é transeunte, ser em evolução, que precisa se
manifestar para mostrar a sua utilidade.”**
Dr. Celso Charuri

RESUMO

Os projetos de obras lineares, como rodovias, ao serem executadas em extensas áreas territoriais, atravessam diversos tipos de relevos, e para viabilizar a execução de alguns projetos é necessário que haja o corte de maciços rochosos e o taludamento da face livre. Entretanto, devido ao clima tropical e da presença de descontinuidades internas nos maciços rochosos, os mesmos se tornam propensos à desestabilização e à consequentemente a queda de taludes. A Rodovia Régis Bittencourt, obra linear de grande extensão, é um exemplo de construção que envolve este tipo de metodologia, pois para atravessar a Serra do Azeite no município de Cajati – SP foi necessário o corte de maciços rochosos e a formação de taludes. A análise da estabilidade deste ponto pode auxiliar na prevenção de incidentes com quedas de barreiras sobre a pista, evitar a construção de obras de contenção desnecessárias e evitar prejuízos humanos e materiais.

Palavras-Chaves: Geotecnia. Estabilidade de talude. Classificação de maciço rochoso. Corte de estrada.

ABSTRACT

Linear work projects like highways, when executed in an extensive territorial area, cross several terrain types. To enable the execution of some projects is required the cutting of rock masses and the slope of the free face. However, due to the tropical climate and the presence of internal discontinuities in the rocky massifs, they become prone to destabilization and, consequently, the decline of slopes. The Regis Bittencourt highway is an example of construction that involves this type of methodology, because to cross the Serra do Azeite in Cajati - SP, it was necessary the cutting of rock masses and the formation of slopes. Stability analysis at this point can help to prevent falling barriers on the runway, avoiding the construction of unnecessary containment works and avoiding human and material damage.

Key-Words: Geotechnics. Stability of slope. Classification of rocky massif. Road cut.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	OBJETIVOS	14
2	GEOLOGIA REGIONAL.....	15
2.1	COMPLEXO ATUBA	16
2.2	GNAISSE BANDADO BARRA DO AZEITE	17
3	ASPECTOS TEÓRICOS	20
3.1	TALUDES E ENCOSTAS NATURAIS.....	20
3.2	GEOMORFOLOGIA.....	21
3.3	AÇÃO ANTRÓPICA.....	21
3.4	DESCONTINUIDADE.....	21
3.5	CARACTERÍSTICAS DAS DESCONTINUIDADES	22
3.5.1	Espaçamento (S).....	22
3.5.2	Persistência (P)	22
3.5.3	Abertura (A)	22
3.5.4	Rugosidade (R).....	23
3.5.5	Preenchimento (PR)	23
3.5.6	Alteração (ALT).....	23
3.5.7	Presença de água (W).....	23
3.5.8	Resistência a Compressão Simples Da Rocha	24
3.6	ANÁLISE CINEMÁTICA DE TALUDES EM ROCHA	24
3.6.1	Ruptura Circular.....	24
3.6.2	Ruptura Planar.....	25
3.6.3	Ruptura em Cunha	26

3.6.4	Ruptura por Tombamento.....	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS	28
4.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	28
4.2	MÉTODOS UTILIZADOS.....	29
4.2.1	Características das Descontinuidades.....	29
4.2.2	Análise Cinemática de Taludes em Rocha	32
4.2.3	Visitas de Campo.....	35
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
5.1	FRATURAS.....	36
5.1.1	Fratura 1 (F1).....	37
5.1.2	Fratura 2 (F2).....	40
5.1.3	Fratura 3 (F3).....	42
5.1.4	Resistência a Compressão da Rocha.....	45
5.2	ANÁLISE CINEMÁTICA DE TALUDES EM ROCHA	45
5.2.1	Talude Norte (Direita da Pista)	46
5.2.2	Talude Sul (Esquerda da Pista)	48
6	CONCLUSÕES	51
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Parte do afloramento, a direita da rodovia, estudado no Km 513.	12
Figura 2: Afloramento estudado do lado esquerdo da rodovia no Km 513.....	13
Figura 3: Mapa geológico 1:100.000 Folha Eldorado Paulista (CPRM, 2013). 15	
Figura 4: Detalhe do Km513 no Mapa Geológico 1:100.000 Folha Eldorado Paulista.	16
Figura 5: Gnaisse Bandado Barra do Azeite. Observar a estrutura bandado. .	18
Figura 6: Modelo de ruptura circular	25
Figura 7: Modelo de ruptura planar.	26
Figura 8: Modelo de ruptura em cunha.	27
Figura 9: Modelo de ruptura por tombamento.	27
Figura 10: Overlay com as medidas definidas para determinar o tipo de ruptura no maciço	33
Figura 11: Principais tipos de deslizamentos em vertentes e estereogramas de estruturas que podem dar origem a esses deslizamentos	34
Figura 12: Famílias de fraturas representadas: F1 – Amarelo, F2 – Vermelho e F3 – Azul.	36
Figura 13: Estereograma com atitudes da fratura 1 plotadas.....	38
Figura 14: Detalhe nas discontinuidades da família de fratura 1.....	39
Figura 15: Estereograma com as medidas da fratura 2 plotadas.	41
Figura 16: Estereograma com as atitudes da família de discontinuidade fratura 3.	43
Figura 17: Plano da discontinuidade F3 com detalhe na rugosidade.....	44
Figura 18: Estereograma com as atitudes das famílias de discontinuidades F1, F2 e F3 plotadas, com seus respectivos polos.	46
Figura 19: Estereograma plotado com <i>overlay</i> sobreposto do talude norte. Nota-se que já está plotado o ângulo de atrito interno estipulado e o ângulo do talude.	47
Figura 20: Talude norte á direita da Rodovia. Nota-se blocos de rocha soltos com risco de queda.	48

Figura 21: Estereograma plotado com <i>overlay</i> sobreposto do talude sul. Nota-se que já está plotado o ângulo de atrito interno estipulado e o ângulo do talude..	49
Figura 22: Formação de cunha no talude sul..	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação utilizada para a definição de parâmetros geotécnicos das descontinuidades.....	29
Tabela 2: Parâmetros utilizados para a estimativa de Resistência à Compressão de Rochas.....	30
Tabela 3: Atitudes dos planos medidos da família de fratura 1.....	37
Tabela 4: Classificação geotécnica da família de descontinuidades F1 medida em campo.....	38
Tabela 5: Atitudes da família de descontinuidade fratura 2 medida em campo.	40
Tabela 6: Classificação geotécnica da família de descontinuidades F2 medida em campo.....	41
Tabela 7: Atitudes das descontinuidades da fratura 3 medidas em campo.	42
Tabela 8: Classificação geotécnica da família de descontinuidades F3 medida em campo.....	43
Tabela 9: Classificação a resistência simples a compressão do maciço rochoso estudado.....	45

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, por sua predominância de maciços montanhosos e pelas condições climáticas que proporcionam a percolação de fluidos nas descontinuidades favorecendo o intemperismo às rochas, há constantes movimentos de massas em encostas que podem, na maioria das vezes, causar desastres pela ocupação do solo sem a adequada consideração dos condicionantes geológicos e geotécnicos.

Segundo Fiori e Carmignani. (2009) a estabilidade e deformidade de maciços rochosos é influenciada pela presença de descontinuidades nas rochas. Entendesse que maciço rochoso é uma massa de rocha interrompida por descontinuidades constituindo blocos discretos, partes de rocha que não apresenta planos de fraquezas.

De acordo com Tonus (2009), as rodovias, devido a grande extensão em países com dimensão continental igual ao Brasil, são classificadas como obras lineares. Ocupando diversas condições de relevo, climático e antrópico, o que vem a dificultar um estudo abrangente no sentido de identificar pontos ou zonas favoráveis a desastres e, portanto, sua previsibilidade.

Essa ocupação, devido a diversos fatores, vem evoluindo de forma desordenada sendo, em geral, necessária a realização de cortes e aterros nos terrenos. Estas intervenções, ainda que acompanhadas de estudos, acabam por deixar trechos sujeitos a instabilidades e, por consequência, áreas propensas a acidentes. Segundo Tabalipa (2008), a estabilidade em uma encosta está relacionada a fatores principais, são eles: características morfológicas, características geológicas e ao ambiente fisiográfico onde inseridos. Ao se alterar um ou mais desses condicionantes, pode ocorrer a alteração nas características originais do terreno, acelerando os processos de desestabilização dos taludes.

Sabendo que os movimentos de massa frequentemente são relacionados a perdas de fator econômico e humano, percebeu-se que além da compreensão dos fatores que levam a movimentação de massa, é importante definir um método capaz de prever os possíveis movimentos e mitigar os danos materiais e a vida.

Foi com esse intuito que se propôs o presente trabalho. Ou seja, definindo um método, utilizando-o em uma região com riscos, e buscando antever os riscos de instabilidade de taludes rochosos.

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para este trabalho foi escolhido a Rodovia Régis Bittencourt e seus taludes rochosos entre os quilômetros 512+800m e 513+050m, no município de Cajati–SP. Rodovia que liga São Paulo a Curitiba.

Nesse trecho, para a construção da rodovia foram necessários cortes do maciço rochoso e formação de dois taludes altos e verticalizados. Segundo moradores da região, esse trecho da rodovia sofre comumente quedas de blocos, ocasionando o fechamento parcial ou total da pista sul da Rodovia Régis Bittencourt.

Um talude no lado direito no sentido da rodovia com mergulho para o azimute N205 com aproximadamente 80 graus de inclinação. O corte possui aproximadamente 30 metros de altura e 250 metros de extensão, conforme apresentado na Figura 1.



FIGURA 1: PARTE DO AFLORAMENTO, A DIREITA DA RODOVIA, ESTUDADO NO KM 513.
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

O outro talude está localizado a frente ao lado esquerdo da rodovia, afloramento com mergulho para o azimute N25 com aproximadamente 80 graus de inclinação. Este corte possui 8 metros de altura e 250 metros de extensão aproximadamente conforme mostrado na Figura 2.



FIGURA 2: AFLORAMENTO ESTUDADO DO LADO ESQUERDO DA RODOVIA NO KM 513.
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

Os afloramentos utilizados para realização deste trabalho do Km 513 está inserido no meridiano $48^{\circ}13'3''W$ e paralelo $24^{\circ}51'4''S$.

1.2 JUSTIFICATIVA

O transporte rodoviário representa o principal meio de ligação entre os centros urbanos, utilizado para deslocamento de pessoas e cargas. Por vezes é necessário atravessar trechos sinuosos para fazer essas ligações, e nesses locais é necessária a construção de vias próximas à encosta. Comumente, em períodos de chuva intensa, essas rodovias são paralisadas por escorregamentos e queda de barreiras sobre a pista.

Para controlar esses movimentos é necessário compreender a susceptibilidade intrínseca da paisagem no sentido de prever o comportamento dos taludes e diante de possíveis movimentos de massa, especialmente aqueles associados a perdas materiais.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho será avaliar a susceptibilidade a escorregamentos em maciços rochosos nas vertentes da Rodovia Régis Bittencourt, trecho da Serra do Mar PR-SP conhecida como Serra do Azeite que está entre o Km 512+800 e Km 513+050.

Como objetivos específicos destacam-se:

- Determinação de propriedades físicas e mecânicas do maciço rochoso;
- Determinar os possíveis tipos de escorregamento no maciço rochoso;

2 GEOLOGIA REGIONAL

Segundo CPRM (2013), a região da Serra do Azeite é composta pelo Complexo Atuba (PP2at) compreendendo o Gnaiss Bandado Barra do Azeite (PP2ba) e pela Formação Turvo-Cajati (NPtc) que engloba as Unidades de Filito (NPtcf), de Micaxisto (NPtcx) e Paragnáissica (NPtcp). Segundo Autopista Régis Bittencourt (2016), o Gnaiss Bandado Barra do Azeite tem ocorrência em dois trechos da rodovia, sendo um no Km 504 ao 507 e outro no Km 512 ao 514, pista sul.

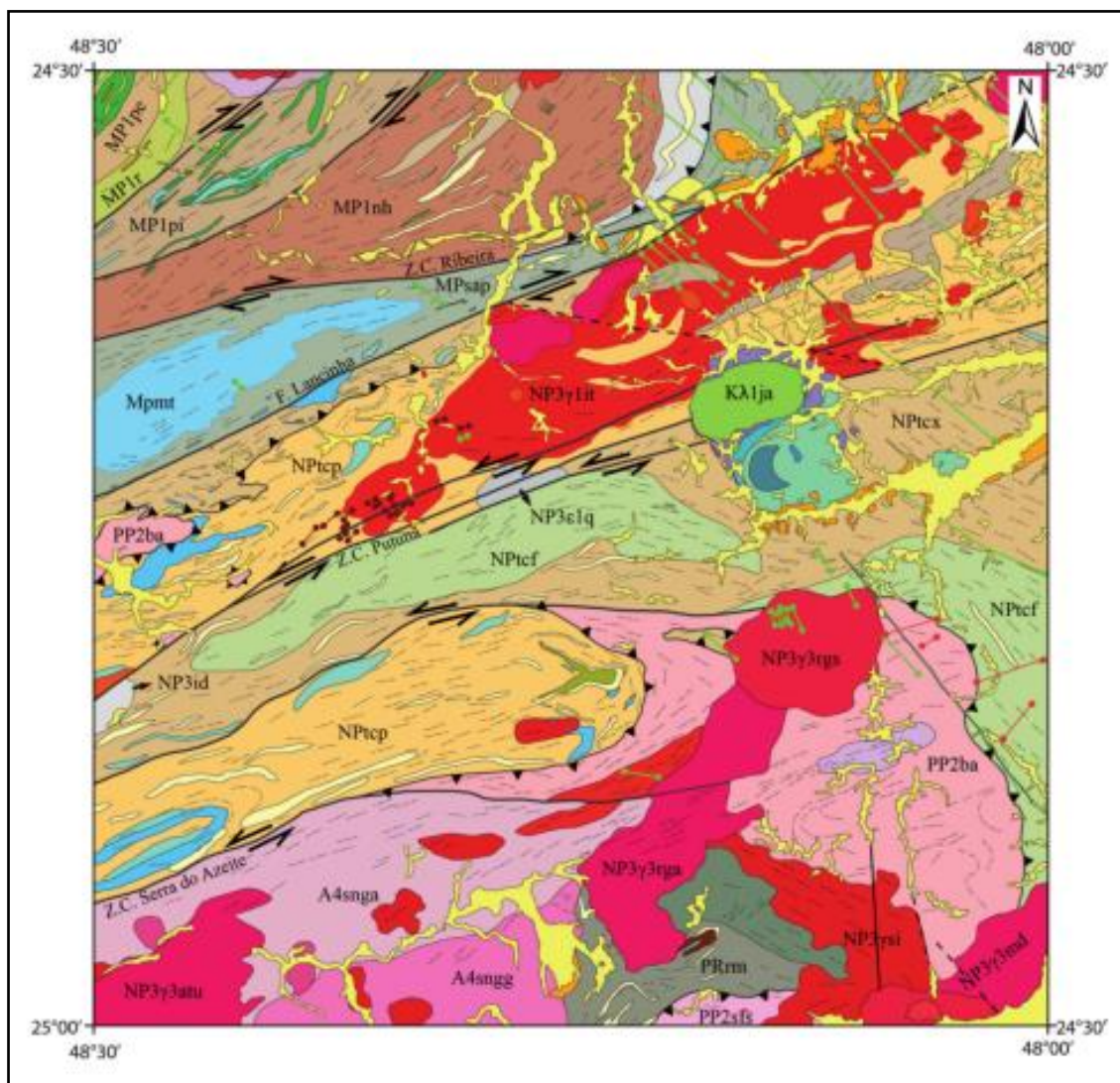
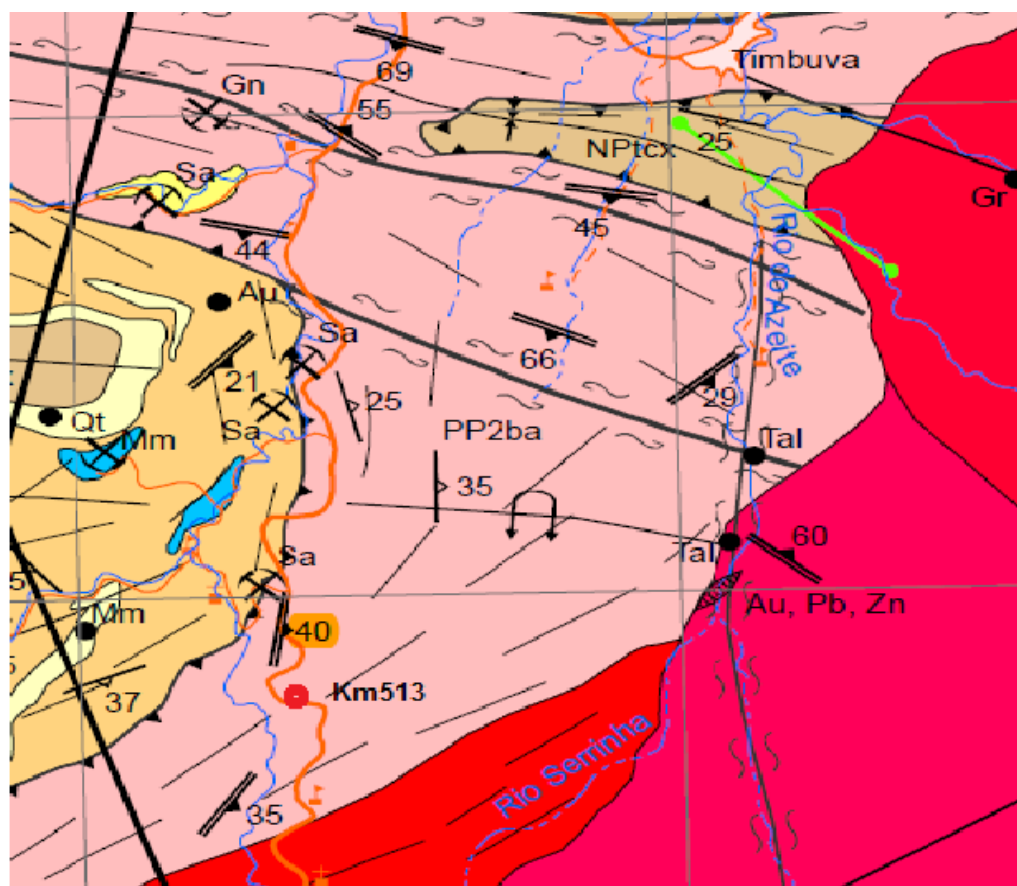


FIGURA 3: MAPA GEOLÓGICO 1:100.000 FOLHA ELDORADO PAULISTA
 FONTE: CPRM, 2013.

Trechos inseridos no Mapa Geológico Folha Eldorado Paulista (SG.22-x-b-VI) com escala 1:100.000, abrange parte dos estados de São

Paulo e Paraná, limitada pelos meridianos 48°30'W e 48°00'W e paralelos 24°30'S e 25°00'S de acordo com CPRM (2013).



FORMAÇÃO TURVO-CAJATI (NPtc)

q	NPtcf	Unidade de filito (NPtcf): filito prateado laminado ou homogêneo, quartzoso a micáceo, com intercalações de ardósia cinza escura bandada e laminada, e presença de lentes de quartzito (q)
q	NPttx	Unidade de micaxistos (NPttx): granada-muscovita-biotita xisto dominante, por vezes com clorita e estauroilita, com lentes de mármore (m), rochas calciossilicáticas (cs) e quartzito (q)
q	NPtcp	Unidade paragnáissica (NPtcp): granada-sillimanita-biotita paragnáissica, granada paragnáissica com cianita, granada micaxisto anatético, com lentes de mármore (m), rochas calciossilicáticas (cs), hornblenda gnaissica (hg) e quartzito (q)
		585±5 Ma U-Th-Pb, (monazita metamórfica)

COMPLEXO ATUBA (PP2at)

PP2pdm	Augengnaiss Pindaúva do Meio (PP2pdm): biotita granito gnaiss milonítico, porfiroclástico (blastoporfiritico), com porfiroclastos oclares de feldspato potássico róseo (augen gnaiss) 2147±26 Ma U-Pb (zircão)
PP2ba	Gnaiss Bandado Barra do Azeite (PP2ba): biotita e biotita-hornblenda gnaiss bandado migmatítico e milonítico com leitos mesocráticos ricos em plagioclásio ou tonalíticos, leucossomas graníticos leucocráticos e bandas e lentes de anfibolito, com lentes de talco xisto e serpentina-talco xisto

FIGURA 4: DETALHE DO KM513 NO MAPA GEOLÓGICO 1:100.000 FOLHA ELDORADO PAULISTA.

FONTE: MODIFICADO DE CPRM, 2013.

2.1 COMPLEXO ATUBA

De acordo com os autores descritos e as descrições de campo, a região estudada do Km 513 da Br-116 pista sul, está inserida no Gnaiss Bandado Barra do Azeite (PP2ba) do Complexo Atuba. Este complexo, por sua vez, está inserido no Terreno Curitiba.

O Domínio tectônico Curitiba (Terreno Curitiba) introduzido na Província Mantiqueira, que segundo CPRM (2013) é formada por rochas do embasamento representadas pelo Gnaisse Bandado Barra do Azeite. O Terreno Curitiba é limitado pela Falha da Lancinha ao norte e pela Zona de Cisalhamento Serra do Azeite ao sul, compreendendo a Formação Capiru e Turvo-Cajati, e o Complexo Atuba, compostos por rochas metassedimentares e rochas de embasamento gnáissico-migmatítico respectivamente.

Segundo Siga Junior, 1995; Siga Júnior *et al.*, (1995 *Apud* Faleiros, 2008) o Complexo Atuba é constituído principalmente por ortognaisses migmatíticos, com bandamento composicional, mesossomas ricos em biotita e hornblenda e leucossomas de composição tonalito-granodiorítica. É também encontrada concordante ao bandamento principal uma intercalação com granitos remobilizados brancos a róseos, de uma possível segunda fase de migmatização.

De acordo com Siga Junior, 1995; Siga Júnior *et al.*, (1995 *Apud* Faleiros, 2008) o Complexo Atuba passou por metamorfismo regional em fácies anfibolito alto a granulito, com migmatização associada, no Paleozóico datado em 2,15 – 1,8 Ga, idades U-Pb em Zircão e Rb-Sr, e um segundo evento no Neoproterozóico datado em 640-560 Ma, idades Rb-Sr, Sm-Nd e K-Ar. Também foi reconhecida uma idade de 633 e 645 Ma do segundo evento, segundo Faleiros (2008, *apud* Sato *et al.*, 2003) obtida a partir de U-Pb *SHRIMP*.

2.2 GNAISSE BANDADO BARRA DO AZEITE

Descrito no Mapa Geológico Folha Eldorado Paulista da CPRM (2013) e comprovado em campo, o ponto descrito no Km 513 da Serra do Azeite na Rodovia Régis Bittencourt é composto pelo Gnaisse Bandado Barra do Azeite. Segundo CPRM (2013) trata-se de:

“Gnaisse migmatítico e milonítico com bandamento bem desenvolvido definido pela alternância entre leitos mesocráticos de cor cinza-escuro, leucossomas rosados a esbranquiçados, melanossomas negros e bandas ou lentes anfibolíticas de cor verde-escuro a negra.”

No campo, a partir de amostras de mão, foi descrito como gnaiss com bandamento centimétrico à decimétrico, evidenciado por bandas mesossomáticas e leucossomáticas e dispostas segundo uma estrutura planar. As bandas mesossomáticas apresentam alto teor de biotita e as leucossomáticas possuem composição granítica. As lentes apresentam espessura de 1 a 20 centímetros.

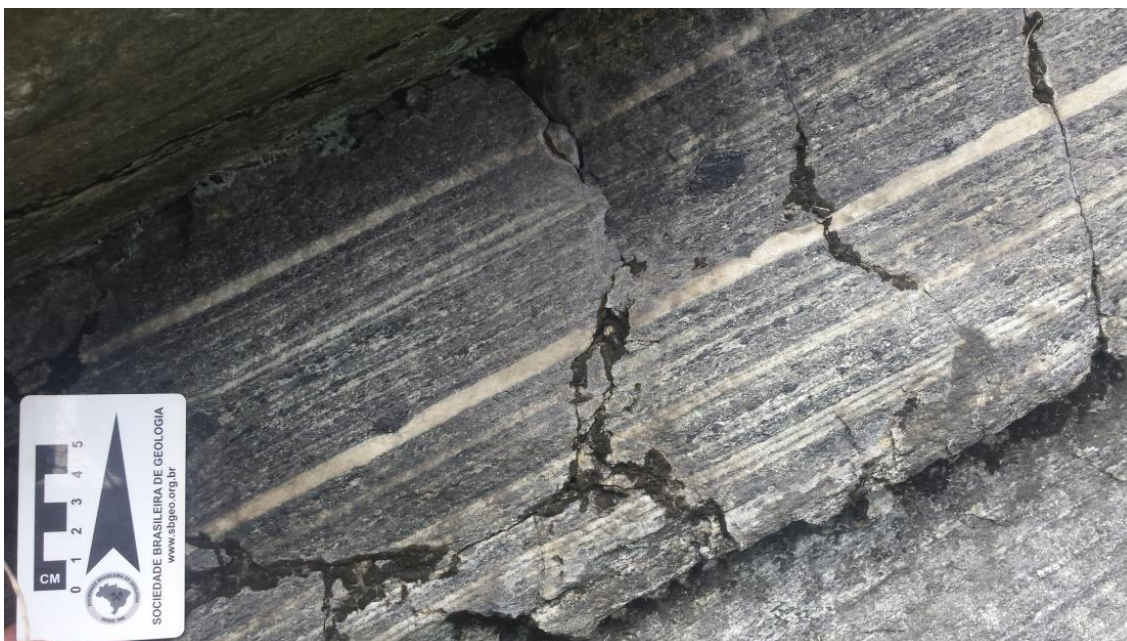


FIGURA 5: GNAISSE BANDADO BARRA DO AZEITE. OBSERVAR A ESTRUTURA BANDADA.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

Características semelhantes foram descritas por Faleiros (2008), onde é evidenciado nas bandas mesossomáticas estrutura lenticularizada com porfiroclastos arredondados e comumente pisciformes de plagioclásio, mineral que está envolvido por matriz mais fina de quartzo recristalizado e biotita com hornblenda disseminados. Essas bandas são descritas variando em espessura entre 2 milímetros até alguns centímetros. Faleiros descreve as faixas leucossomáticas como sendo formadas por microclínio, quartzo, plagioclásio e biotita, dando a classificação de álcali-feldspato granito, granito e granodiorito.

Segundo CPRM (2008), os níveis mesocráticos apresentam composição toleítica a granodiorítica, com 15 a 15% de biotita e 5 a 10% de hornblenda.

Ocorrem titanita, zircão, apatita e minerais opacos como acessórios, e sericita, clorita, epidoto e carbonato como minerais secundários. Afirma também que o bandamento gnáissico está dobrado segundo padrão isoclinal com eixo sub-horizontal, indicando que os eixos das dobras são paralelos à lineação de estiramento.

No gnaiss bandado Barra do Azeite descrito no afloramento de corte de estrada no Km 513 foram encontrados três famílias de descontinuidades, todas caracterizadas por fraturas. Uma família mais penetrativa se apresenta horizontalizada e concordante com a foliação metamórfica do maciço, e as outras duas menos penetrativas, porém verticalizadas.

3 ASPECTOS TEÓRICOS

O estudo dos movimentos de massa ganha importância quando a humanidade utiliza espaços propícios a escorregamentos e tenta entendê-los. O convívio com estes tipos de acidentes geológicos existem há muitos anos, entretanto, muitas vezes, ocorrem pela falta de entendimento básico dos processos naturais das rochas.

Existem relatos de escorregamentos de encostas no Brasil desde o império brasileiro, que causaram danos materiais e a vida. Com isso, o estudo da mecânica de solos e rochas vem ganhando cada vez mais espaço nas ciências, área que necessita de profissionais de diversas ocupações como a Geologia, Geografia, Geomorfologia, engenharias, entre outras.

A análise da estabilidade de taludes estuda o equilíbrio das forças atuantes no maciço, levando em consideração as forças que tendem a movimentar uma massa de solo ou rocha, sendo elas o peso do material, o escoamento da água e as forças de resistência que freiam esse movimento.

De acordo com Tabalipa (2008), vários autores estudam os movimentos de massa visando à delimitação das áreas suscetíveis a escorregamentos, entretanto, existem outros que estudam a possibilidade da ocorrência de instabilidade causando danos às obras de engenharia. Esse trabalho segue a segunda linha, onde propõem estudar possíveis tipos de escorregamentos, onde poderão causar danos às obras de engenharia. Nesse caso, a Rodovia Régis Bittencourt.

3.1 TALUDES E ENCOSTAS NATURAIS

De forma simples, um talude é qualquer terreno que apresente um declive. Entretanto, para Borchardt (2005), talude é qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, rocha ou ambos, podendo ser natural ou artificial quando construído pelo homem.

A ação antrópica, que favorece a desestabilização de encostas é caracterizada pelo desmatamento, cortes, aterros, introdução de cargas como construções, entre outras. Essas ações colocam novos tensores de forças no talude, favorecendo movimentos de massas.

Para Infanti Jr. E Fornasari Filho (1998), as paisagens naturais são formadas por vertentes e encosta com declividades e formas variada, e essas paisagens possuem formas relacionadas aos processos que as modelam. Esses processos englobam o intemperismo, erosão e escorregamentos, que ao trabalharem de forma conjunta ou separada vão remodelando as vertentes.

3.2 GEOMORFOLOGIA

A morfologia de uma vertente está diretamente ligada à instabilidade de um talude, pois quanto mais inclinada uma encosta, maior a velocidade e o volume de material escorregado.

A declividade de um talude é medida em relação a horizontal, e a EMBRAPA (2006) classifica a inclinação da vertente em seis níveis diferentes, em: plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado.

3.3 AÇÃO ANTRÓPICA

A ação antrópica na estabilidade de taludes é notada de diversas formas, e elas compreendem as seguintes formas: Execução de cortes e taludamentos incorretos causando o aumento na tensão cisalhante no maciço, execução de aterros e aumentando a carga nas encostas, remoção da cobertura vegetal que reduz a resistência ao cisalhamento, entre outros, como lançamento de esgoto e lixo nas encostas.

3.4 DESCONTINUIDADE

De acordo com Fiori e Carmignani (2009), descontinuidade consiste em um plano de fraqueza no maciço rochoso, qual é estruturalmente descontínuo e apresenta menos resistência ao cisalhamento. As descontinuidades podem ser de vários tipos, como: falhas, fraturas, planos de acamamento, foliação, diques, veios, entre outros.

3.5 CARACTERÍSTICAS DAS DESCONTINUIDADES

Os vários tipos de descontinuidades em maciços rochosos têm grande influência na estabilidade de taludes, e sua importância relativa depende das suas orientações com respeito ao talude ou outras descontinuidades dentro do maciço, da resistência ao movimento ao longo das superfícies, da persistência e espaçamento das descontinuidades e da facilidade com que a água pode penetrar, acumular-se ou fluir ao longo delas. (FIORI e CARMIGNANI, 2009)

Para melhor analisar os riscos de queda, foram analisadas oito características das descontinuidades, são elas: espaçamento, persistência, abertura, rugosidade, preenchimento, alteração, presença de água e resistência à compressão simples.

3.5.1 Espaçamento (S)

Segundo Fiori e Carmignani (2009), o espaçamento das descontinuidades é a média das distâncias das descontinuidades de uma família. Esse parâmetro afeta na qualidade ou resistência do maciço rochoso como um todo. Mesmo uma rocha resistente fica afetada quando o espaçamento das descontinuidades é pequeno.

Quando possível, a linha de varredura deve ser colocada na perpendicular da família de junta.

3.5.2 Persistência (P)

De acordo com Fiori e Carmignani (2009), a persistência é a área que ocupa uma descontinuidade, é o tamanho do traço que ela possui. O grau de persistência de uma junta determinará a probabilidade de envolvimento do maciço rochoso em uma ruptura.

3.5.3 Abertura (A)

Segundo Fiori e Carmignani (2009), a abertura de uma descontinuidade é a distância média dos blocos da uma junta, o espaço entre as paredes da junta. Esse aspecto é importante para definir se existe alteração,

preenchimento ou fluxo de água na descontinuidade, fatores que influenciam na resistência ao cisalhamento da descontinuidade.

3.5.4 Rugosidade (R)

A rugosidade é a textura da parede da descontinuidade. Característica que define o grau de irregularidades na junta, como: ondulação e rugosidade. A ondulação resulta na variação na orientação ou atitude ao longo de uma descontinuidade, e a rugosidade da superfície é responsável pelo atrito entre os blocos adjacentes.

De acordo com Fiori e Carmignani (2009), esse aspecto é importante para definir o comportamento da resistência ao cisalhamento da junta, principalmente nas juntas sem preenchimento ou alteração.

3.5.5 Preenchimento (PR)

O preenchimento é o parâmetro que determina a existência e a qualidade de um material que preenche uma descontinuidade. Esse fator, de acordo com Fiori e Carmignani (2009), influencia na resistência ao cisalhamento da junta, pois normalmente, o material que preenche as juntas tem resistência ao cisalhamento menor que a rocha, rompendo mais facilmente.

3.5.6 Alteração (ALT)

Alteração é o parâmetro que mede o estado de alteração da rocha. Segundo Fiori e Carmignani (2009), existem dois tipos de intemperismo, o físico e o químico. O intemperismo físico dá origem a modificações no tamanho e no número de descontinuidades presentes, enquanto o químico altera a rocha a partir das descontinuidades pela interação com água meteórica ou subterrânea, diminuindo a resistência ao cisalhamento.

3.5.7 Presença de água (W)

A presença de água determina a existência e o fluxo de água que passa pela descontinuidade. Segundo Fiori e Carmignani (2009), esse parâmetro é

importante, pois a presença de água diminui a resistência ao cisalhamento, servindo como uma espécie de lubrificante para a junta.

3.5.8 Resistência a Compressão Simples da Rocha

Parâmetro que segundo Fiori e Carmignani (2009) estipulam, através de métodos simples, o valor aproximado da resistência à compressão uniaxial. Esse parâmetro é importante para ver a resistência da rocha não alterada.

3.6 ANÁLISE CINEMÁTICA DE TALUDES EM ROCHA

Movimentos de massa segundo Coy (2015), é o movimento de um volume de material litológico na vertical, horizontal ou inclinado ao longo da vertente sob ação direta da gravidade.

A mobilização de materiais rochosos deve-se às suas condições de estabilidade, como a atuação da gravidade, que pode ser acelerada por outros agentes, por exemplo, a água.

A identificação dos modelos potenciais de escorregamentos é muito importante para a análise da estabilidade de taludes. Nesse trabalho será estudado o tipo de movimento de massa e determinado o estilo do escorregamento em quatro tipos principais de queda de taludes, sendo eles: Ruptura circular, ruptura planar, ruptura em cunha e tombamento de blocos.

3.6.1 Ruptura Circular

Este tipo de ruptura ocorre comumente em taludes em solo. De acordo com Fiori e Carmignani (2009), em taludes rochosos, ele ocorre em rochas pouco competentes, muito alteradas ou altamente fraturadas. Nesses casos o maciço tem comportamento de solo.

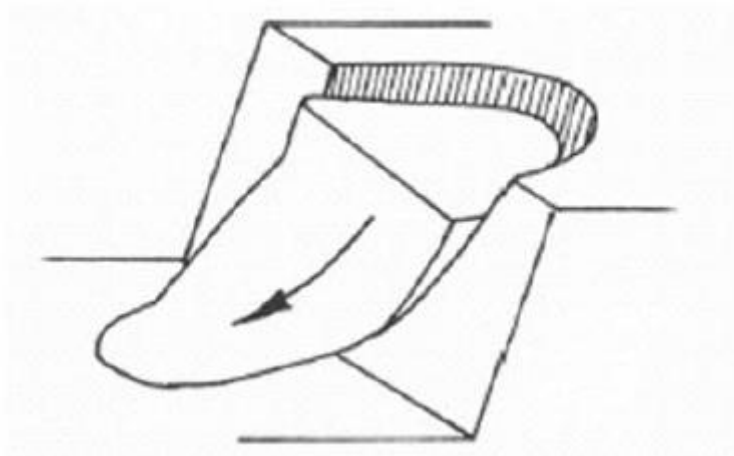


FIGURA 6: MODELO DE RUPTURA CIRCULAR.
FONTE: MODIFICADO DE HOEK E BRAY, 1981.

3.6.2 Ruptura Planar

As rupturas planares compreendem os deslocamentos de massas rochosas ao longo de uma ou mais superfícies pré-existentes. Segundo Fiori e Carmignani (2009) esse escorregamento ocorre apenas quando essas superfícies estão aflorantes e inclinadas na direção da face livre do talude a um ângulo superior que o ângulo de fricção e a um ângulo menor que o da superfície livre do talude. Caso atenda esses fatores, o deslizamento ocorrerá ao longo da direção de mergulho, admitindo-se uma variação de 20 graus para mais ou para menos dessa direção. Essas estruturas planares podem controlar deslizamentos de blocos de dezenas ou centenas de metros cúbicos a partir de uma pequena junta, até mobilizar dezenas de milhares de metros cúbicos de rochas em grandes deslizamentos translacionais.

A água subterrânea é um elemento que pode reduzir a resistência ao cisalhamento nos planos de fraquezas, entretanto, para esse trabalho será observado apenas se as descontinuidades poderão provocar deslizamentos na direção da face livre, e não será estudado a coesão nos planos de fraquezas.

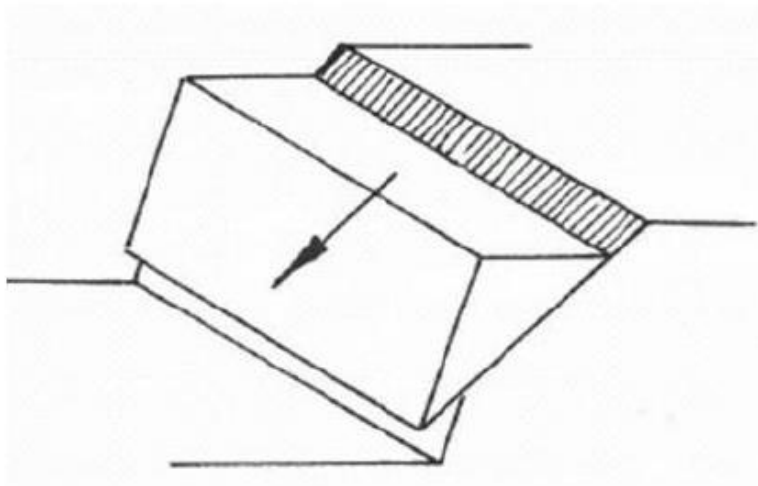


FIGURA 7: MODELO DE RUPTURA PLANAR.
FONTE: MODIFICADO DE HOEK E BRAY, 1981.

3.6.3 Ruptura em Cunha

De acordo com Fiori e Carmignani (2009), corresponde ao deslizamento de um bloco em forma de cunha, formado ao menos por dois planos de descontinuidades que se intersectam. É necessário que a linha de intersecção, que representa a direção do deslizamento, aflore na superfície aflorante do talude com um ângulo de inclinação superior ao ângulo de fricção.

Esse tipo de ruptura geralmente ocorre em rochas com várias famílias de descontinuidades, e a orientação e espaçamento delas que vão determinar a forma e volume da cunha.

As forças que estão presentes no escorregamento em cunha necessitam de uma análise mais detalhada que no escorregamento planar, pois o plano de cada descontinuidade pode apresentar uma força mobilizante e resistente diferentes, necessitando calcular a força normal às duas. A água também influencia na desestabilização da cunha, pela ação de pressões dirigidas ao longo dos planos envolvidos ou pela alteração das paredes da rocha, e conseqüentemente diminuição do ângulo de fricção. Entretanto, como no caso anterior, esse trabalho não levará em conta as forças atuantes no maciço, considerando apenas a direção que poderá ocorrer o escorregamento e se ele atingirá ou não a rodovia.

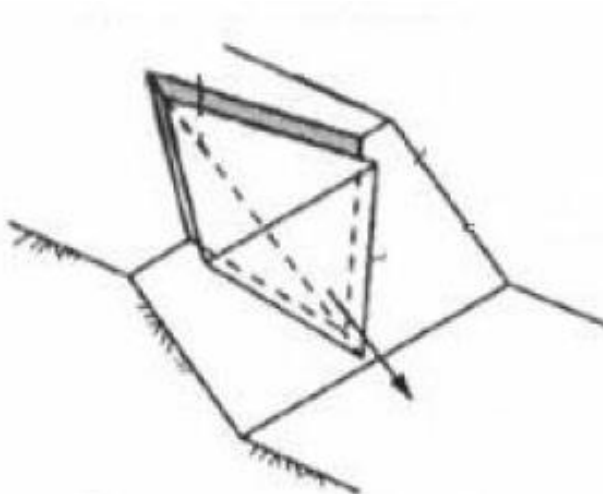


FIGURA 8: MODELO DE RUPTURA EM CUNHA.
FONTE: MODIFICADO DE HOEK E BRAY, 1981.

3.6.4 Ruptura por Tombamento

De acordo com Fiori e Carmignani (2009), o tombamento de blocos, também chamado de *toppling*, depende da presença de planos estruturais bem definidos, e ocorre quando um ou mais blocos tombam sobre a face livre dos taludes. Para que isso ocorra, normalmente é necessário que duas famílias de juntas se entrecruzem, uma delas mergulhando a altos ângulos contra a face livre do talude, e outra com mergulho de baixo ângulo no mesmo sentido do talude.

Quando ocorre esse tipo de ruptura em um talude, ocorre o movimento de rotação dos blocos, não estando condicionada à resistência ao deslizamento.

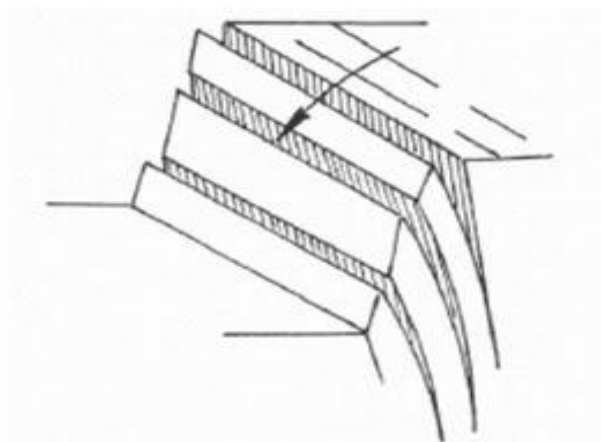


FIGURA 9: MODELO DE RUPTURA POR TOMBAMENTO.
FONTE: MODIFICADO DE HOEK E BRAY, 1981.

4 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

Primeiramente foi discutido com os orientadores o tema a ser abordado durante o trabalho de conclusão de curso, e se definiu a estabilidade de talude. Com o tema escolhido, se escolheu uma área a ser trabalhada, onde foi escolhida a Serra do Azeite na Rodovia Régis Bittencourt.

Estabelecido à linha que o projeto iria seguir, começou a parte de revisão bibliográfica e compilação de dados geológicos e geotécnicos da área de estudo, seguido dos métodos a serem utilizados. Isso tudo definido, foram realizadas etapas de campo para coleta de dados, posterior processamento dos dados coletados e por último a produção da redação deste projeto.

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Na compilação de materiais da área, realizou-se um levantamento bibliográfico de diversas áreas, e foi utilizado como material de apoio: teses de Mestrado e Doutorado de diversos autores; Mapa Geológico 1:100.000 – Folha Eldorado Paulista, fornecido pela CPRM; Base estratigráfica Rio Guarau, fornecido pelo IBGE; Relatório de monitoramento geológico-geotécnico fornecido pela Arteris, empresa administra a Rodovia Régis Bittencourt; Livros técnicos de geologia, geotecnia, geomorfologia entre outros para determinação do método a ser utilizado.

Foram necessárias a realização de duas etapas de campo que duraram um dia cada. A primeira foi realizada no mês de junho para definição do ponto a ser estudado e uma segunda etapa para a coleta de dados geológicos e geotécnicos da região.

Nas etapas de campo foram utilizados: martelo petrográfico para coleta de amostras e testes da propriedade geotécnica do maciço; lupa com aumento 10x para descrição da rocha; máquina fotográfica para tirar fotos do afloramento; bússola tipo *clar* para tirar medidas da atitude das discontinuidades da rocha; caderneta de campo para anotação dos dados coletados; equipamentos de EPI para proteção individual.

Com os dados coletados em campo, foi realizado o trabalho em laboratório para tratamento dos dados, e para isso foram utilizados os

seguintes *softwares*: ArcGis 9.2 para utilização do mapa geológico; Microsoft Office 2010 para escrever o relatório; Acrobat PDF para leitura de artigos no formato digital; EstereoNet para tratamento dos dados obtidos em campo.

Os *softwares* foram utilizados no Núcleo de Geoprocessamento – NUGEO, sediado pela Universidade Federal do Paraná.

4.2 MÉTODOS UTILIZADOS

O método utilizado para realização do trabalho consistiu em determinar através de projeções estereográficas a análise cinemática de taludes em rocha, e posteriormente, determinou-se as condições das descontinuidades do maciço. Método descrito por Fiori e Carmignani (2009).

4.2.1 Características das Descontinuidades

Em relação às famílias de descontinuidades, essas foram caracterizadas em função da atitude, do espaçamento, da persistência, da abertura, da rugosidade, do preenchimento, do grau de alteração, da presença de água e da resistência à compressão simples, conforme a Tabela X e a Tabela X.

Foram utilizadas técnicas simples realizadas no próprio afloramento classificadas em 5 graus diferentes, sendo o 1 o nível do parâmetro que não favorece a ruptura, até chegar em 5, que descreve a condição precária de resistência ao movimento dos blocos.

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO UTILIZADA PARA A DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DAS DESCONTINUIDADES.

	Espaçamento (S)	Persistência (P)	Abertura (A)	Rugosidade (R)	Preenchimento (Pr)	Alteração (Alt)	Água (W)
1	> 2m	< 1m	Fechada	Muito rugosa	Nenhum	Nula	Nulo
2	60cm - 2m	1 - 3m	< 0,1mm	Rugosa	Duro < 5mm	Leve	< 10 L/min
3	20cm - 60cm	3 - 10m	0, 1 - 1mm	Levemente rugosa	Duro > 5mm	Média	10 – 25 L/min
4	6cm - 20cm	10 - 20m	1 - 5mm	Suave	Mole < 5mm	Forte	25 – 125 L/min
5	< 6cm	> 20m	> 5mm	Lisa	Mole > 5mm	Completa	>25L/min

FONTE: MODIFICADA DE ALBERTO PIO FIORI, 2016

TABELA 2: PARÂMETROS UTILIZADOS PARA A ESTIMATIVA DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ROCHAS.

Grau	Descrição da rocha	Identificação de campo	RC - Resistência à compressão uniaxial (MPa)
R0	Extremamente fraca	Amostra da rocha pode ser marcada com a unha.	0,25 - 1,0
R1	Muito fraca	Amostra pode ser descascada usando canivete. Fragmenta totalmente quando golpeada com a ponta do martelo geológico.	1,0 - 5,0
R2	Fraca	Amostra pode ser descascada com dificuldade usando um canivete. Marca rasa na rocha é produzida por golpe firme com a ponta de martelo geológico.	5 - 25
R3	Medianamente forte	Rocha não pode ser raspada ou descascada com uso de canivete. Amostra da rocha pode ser fraturada com um único golpe firme com martelo geológico.	25 - 50
R4	Forte	Para romper uma amostra da rocha é requerido mais de um golpe com martelo geológico.	50 - 100
R5	Muito forte	Para romper uma amostra da rocha são requeridos diversos golpes de martelo geológico.	100 - 250
R6	Extremamente forte	Golpes de martelo geológico removem apenas lascas da rocha, sem quebrá-la.	> 250

FONTE: MODIFICADA DE ALBERTO PIO FIORI, 2016.

Como os dois afloramentos analisados fazem parte de um mesmo maciço, pois os taludes foram abertos para encaixar a rodovia no meio, as características das descontinuidades dos dois afloramentos foram colocadas em apenas uma classificação, sendo utilizadas medidas dos dois afloramentos.

4.2.1.1 ESPAÇAMENTO

O espaçamento foi determinado pela distância média entre as descontinuidades. Para medir essa média, foi estipulada uma linha de varredura no talude e medido as distâncias de cada descontinuidade da mesma família, e classificada em uma das 5 gradações descritas na Tabela 1.

4.2.1.2 PERSISTÊNCIA

O cálculo da persistência foi feito através da média das medidas que cada família de fratura apresenta ao longo do afloramento, e depois foi classificada em 5 gradações estipuladas na Tabela 1.

Muitas vezes a descontinuidade ultrapassava os limites do afloramento, nesses casos, foi estipulado através dos limites visíveis no afloramento.

4.2.1.3 ABERTURA

A abertura foi calculada fazendo a média do afastamento dos blocos adjacentes de uma família de fratura. Foram medidas as aberturas de diversas descontinuidades de cada família pelo afloramento separadamente e realizada a média. O resultado final foi classificado de acordo com os parâmetros mostrados na Tabela 1.

4.2.1.4 RUGOSIDADE

A rugosidade foi medida em afloramento através de suas magnitudes relativas em relação ao plano da descontinuidade. Foi considerado uma fratura com grau 1 de rugosidade sendo irregularidades com mais de 5mm, e uma com grau 5 sendo completamente lisa como mostrado na Tabela 1.

4.2.1.5 PREENCHIMENTO

O preenchimento das descontinuidades foi analisado de acordo com a resistência aproximada e a espessura do material que o preenchia. Sendo considerado como duro o material que era cortado apenas com a unha e material mole como aquele que era penetrável com o dedo. E para determinar a espessura do material foram utilizados os parâmetros da Tabela 1.

4.2.1.6 ALTERAÇÃO

Foi classificado através de parâmetros relativos, sendo considerada nula a rocha sã, e completa quando a rocha estava em estado de solo residual.

4.2.1.7 PRESENÇA DE ÁGUA

A água é medida nas discontinuidades através da presença de umidade nas discontinuidades, caso exista a umidade e fluxo contínuo de água nas fraturas, seria estipulado a quantidade através de métodos simples. Sendo estipulado para gotejamento lento a classificação 2 (<10L/min) e para fluxo contínuo ao longo de toda a fratura, a classificação 5 (>25L/min).

4.2.1.8 RESISTÊNCIA SIMPLES A COMPRESSÃO DE ROCHA

Para medir a resistência a compressão da rocha, foi utilizado métodos manuais em campo. Foram utilizados os parâmetros descritos por Fiori e Carmignani (2009), nos quais foram utilizados a comparação com a unha, canivete com lâmina de aço e martelo petrográfico geológico, determinando a resistência a compressão entre 0,25 a >250Mpa. Parâmetros descritos na Tabela 2.

4.2.2 Análise Cinemática de Taludes em Rocha

A análise cinemática refere-se à movimentação de corpos, sem fazer referência às forças que causam o movimento. Foi realizada a análise da estabilidade de blocos tomando por base a atitude das discontinuidades em relação à atitude do talude, levando em consideração o ângulo de atrito, o qual foi considerado o valor de 30 graus.

Foram utilizadas as atitudes medidas em campo das famílias de discontinuidades do maciço rochoso na análise, discontinuidades que são representadas por fraturas na rocha.

Na análise da estabilidade, os planos, juntamente com os seus respectivos polos, foram projetados em um Diagrama de Rede de Schmidt-Lambert, juntamente com o plano que representa a face livre do talude.

Levando em consideração que a direção do deslizamento deverá afastar-se, no máximo, 20 graus em relação ao rumo de mergulho do talude, no diagrama foram utilizados esse limite, para mais e para menos, nas análises de instabilidade.

Com os valores do ângulo de atrito interno e da direção de deslizamento máximo em relação ao talude, foi criado um *overlay* modelo com todas essas informações. E para determinar o tipo de ruptura que pode ocorrer no maciço, foi sobreposto o overlay, mostrado na Figura 10, aos estereograma com as informações das descontinuidades e determinado o tipo de escorregamento.

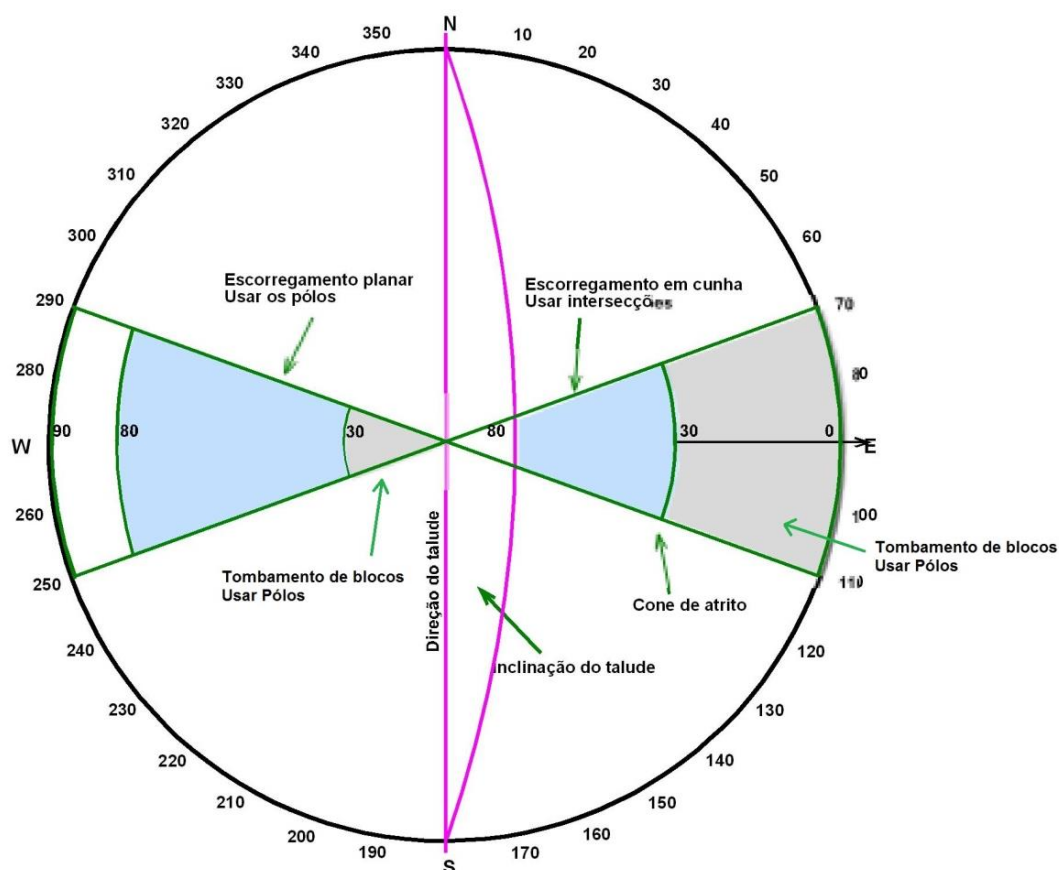


FIGURA 10: OVERLAY COM AS MEDIDAS DEFENIDAS PARA DETERMINAR O TIPO DE RUPTURA NO MACIÇO.
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

De modo geral, os movimentos de blocos de rocha em maciços rochosos podem ser classificados em quatro tipos principais de escorregamentos, de acordo com a Figura 11.

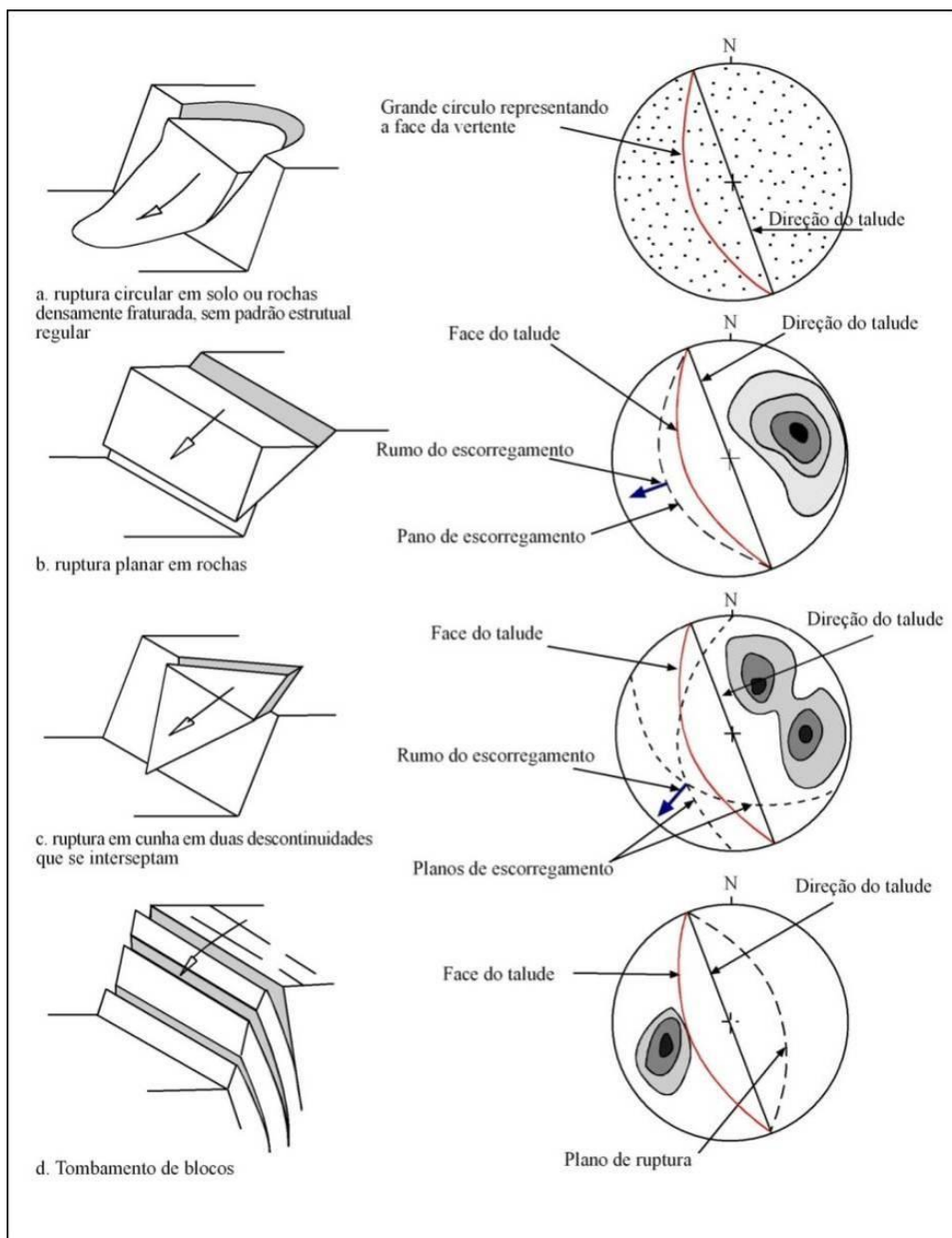


FIGURA 11: PRINCIPAIS TIPOS DE DESLIZAMENTOS EM VERTENTES E ESTEREOGRAMAS DE ESTRUTURAS QUE PODEM DAR ORIGEM A ESSES MOVIMENTOS.

FONTE: FIORI E CARMIGNANI, 2009.

4.2.2.1 Ruptura Circular

De acordo com Fiori e Carmignani (2009), ruptura circular ocorre apenas em solos ou rochas altamente fraturadas. Como os afloramentos analisados são compostos por rocha com baixo grau de alteração, foi determinado que esse tipo de ruptura não poderá possível de ocorrer.

4.2.3 Visitas de Campo

Para a coleta de materiais e dados geológicos-geotécnicos do local estudado, foram realizadas duas visitas de campo à região. A primeira visita ocorreu no mês de Julho e se definiu os taludes a serem trabalhados e se recolheu dados como coordenadas, litologia e se conversou com vizinhos ao afloramento para perguntar da existência de ocorrências de desmoronamento nos taludes.

Uma segunda visita foi realizada no mês de outubro, visita que foi reconhecida as famílias de descontinuidades e posterior medida de atitudes de cada uma delas.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Nos dois taludes escolhidos para realizar o estudo desse trabalho, foram distinguidas e definidas 3 famílias de descontinuidades, sendo as três compostas por fraturas. Elas foram classificadas de acordo com a sua penetrabilidade no maciço rochoso e classificadas em Fratura 1 (F1), Fratura 2 (F2) e Fratura 3 (F3), sendo a primeira a mais penetrativa e a última a menos como demonstrado na Figura 12.

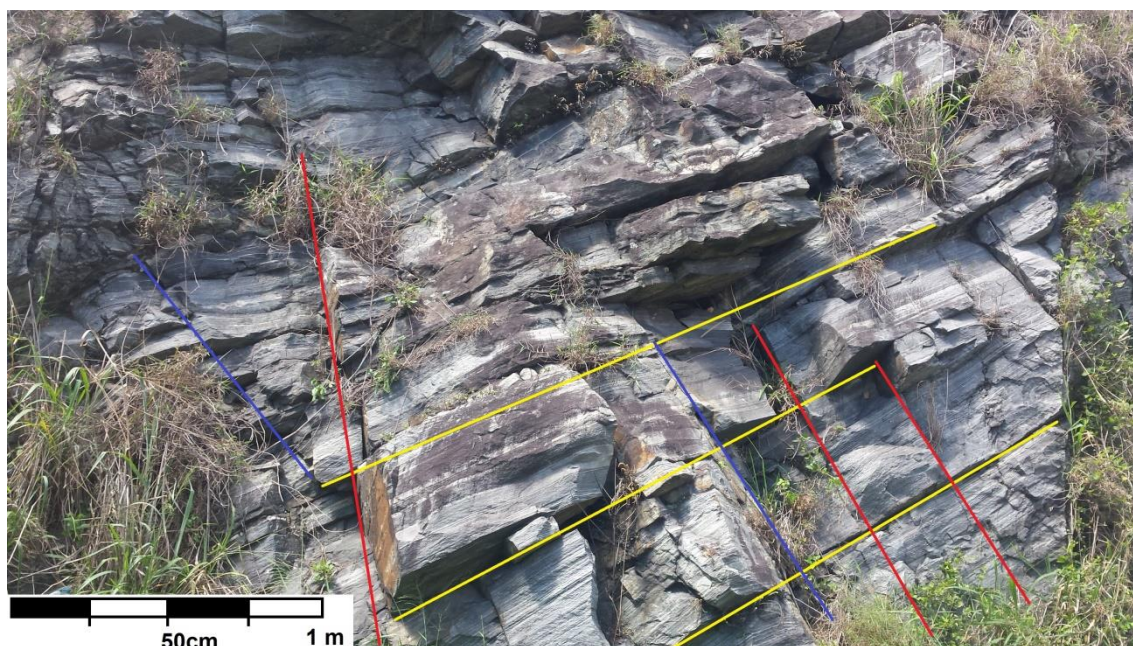


FIGURA 12: FAMÍLIAS DE FRATURAS REPRESENTADAS: F1 – AMARELO, F2 - VERMELHO E F3 – AZUL.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2016).

5.1 FRATURAS

Primeiramente as famílias de fraturas foram determinadas em campo sendo caracterizadas nos parâmetros apresentados na Tabela 1 e na Tabela 2 ainda no local. Posteriormente, já em laboratório, foram plotadas as medidas em estereogramas individuais para analisar a qualidade dos dados obtidos em cada família, seguido da análise cinemática dos taludes de acordo com as suas descontinuidades, e por último, chegou-se aos resultados apresentados no capítulo seguinte.

5.1.1 Fratura 1 (F1)

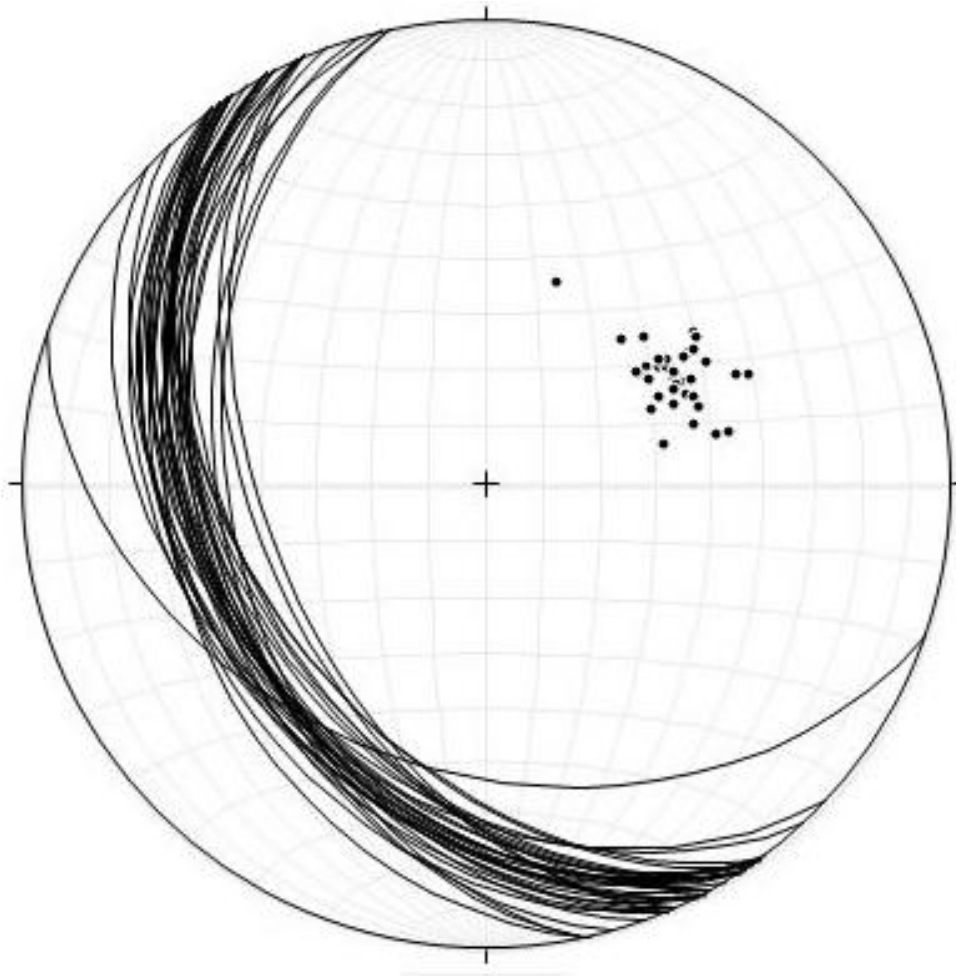
Esta família de descontinuidades compreende as fraturas paralelas ao bandamento gnáissico. Ela se apresenta como o conjunto de descontinuidades mais horizontalizada do maciço, o seu plano médio possui atitude N150/39. Em afloramento é o sistema de fratura mais evidente, sendo assim, foram medidas a atitude de um total de 36 planos conforme mostrados na Tabela 3.

TABELA 3: ATITUDES DOS PLANOS MEDIDOS DA FAMÍLIA DE FRATURA 1.

143/44	144/46	157/51	156/49	152/39	157/36	133/35	144/35	146/37
153/41	147/38	151/38	168/44	156/39	157/40	164/38	160/40	109/38
160/40	109/38	146/34	153/34	145/46	147/43	151/45	147/44	147/42
152/38	145/39	147/34	168/42	143/33	153/37	144/38	167/32	156/32

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

Nota-se no estereograma da Figura 13 a consistência das medidas dessa descontinuidade, com uma pequena dispersão em torno de um valor médio.



N = 36

FIGURA 13: ESTEREOGRAMA COM ATITUDES DA FRATURA 1 PLOTADAS.
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

5.1.1.1 CARACTERÍSTICAS DA FAMÍLIA DA FRATURA 1

A família da fratura 1 foi classificada no campo pelos critérios apresentados na Tabela 1, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** sendo determinados valores entre um e cinco, apresentados na Tabela 4.

TABELA 4: CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DA FAMÍLIA DE DESCONTINUIDADES F1 MEDIDA EM CAMPO.

Espaçamento (S)	Persistência (P)	Abertura (A)	Rugosidade (R)	Preenchimento (Pr)	Alteração (Alt)	Água (W)
3	5	1	3	1	1	2

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

A descontinuidades apresentam um espaçamento médio de 25 centímetros, se encaixando no índice 3 da tabela que compreende o espaçamento entre 20cm – 60cm.

Para a persistência foi estipulado o parâmetro 5 da classificação, uma vez que apresentam continuidade no afloramento maiores que 20 metros. Em campo, observou-se que a persistência das descontinuidades dessa família ultrapassavam os limites do afloramento na grande maioria das vezes, sendo que na parte visível do afloramento, o seu tamanho já ultrapassava os 20 metros.

A abertura das fraturas foi considerada nula, pois as juntas se apresentavam bem coesas sem espaçamento entre os blocos, conforme mostrado na Figura 14.



FIGURA 14: DETALHE NAS DESCONTINUIDADES DA FAMÍLIA DE FRATURA 1.
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

Em termos de rugosidade, as descontinuidades foram classificadas com o parâmetro 3, sendo consideradas como levemente rugosa. Observou-se, de modo geral, os planos apresentavam a rugosidade natural da rocha caracterizada pelos minerais.

O preenchimento das fraturas foi considerado nulo uma vez que não se observou nenhuma evidência de material preenchendo as descontinuidades como observado na Figura 14, sendo assim, determinado o parâmetro 1.

A alteração da família F1 foi determinada no parâmetro 1, nula, pois de modo geral não foi encontrado evidências de alteração nas descontinuidades.

Na quantidade de água, determinou-se o valor de menos de 10 litros/minuto, pois na grande maioria das juntas, observou-se indícios de umidade. Provavelmente essa umidade é proveniente das águas meteóricas que se infiltram no maciço e chegam às descontinuidades do talude em uma vazão pequena que mantem as fraturas úmidas.

5.1.2 Fratura 2 (F2)

A família de descontinuidade F2 é determinada em campo pelas fraturas verticalizadas com direção EW e mergulhando para norte. Ela apresenta um plano médio com atitude N280/70, e em afloramento é facilmente identificada por apresentar um material de preenchimento ferruginoso em seus planos.

Foram medidas um total de 31 atitudes dessa família de descontinuidade conforme apresentado na Tabela 5.

TABELA 5: ATITUDES DA FAMÍLIA DE DESCONTINUIDADE FRATURA 2 MEDIDA EM CAMPO.

255/78	291/62	281/75	286/66	284/68	294/76	300/71	278/74
277/67	285/66	282/80	255/88	281/66	286/68	284/71	277/72
285/68	280/81	252/76	277/69	283/77	276/64	278/76	279/69
269/67	286/62	295/59	293/76	287/67	275/73	249/56	

FORNE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

Nota-se uma boa concentração das atitudes medidas das descontinuidades da F2, agregando confiabilidade nas medições.

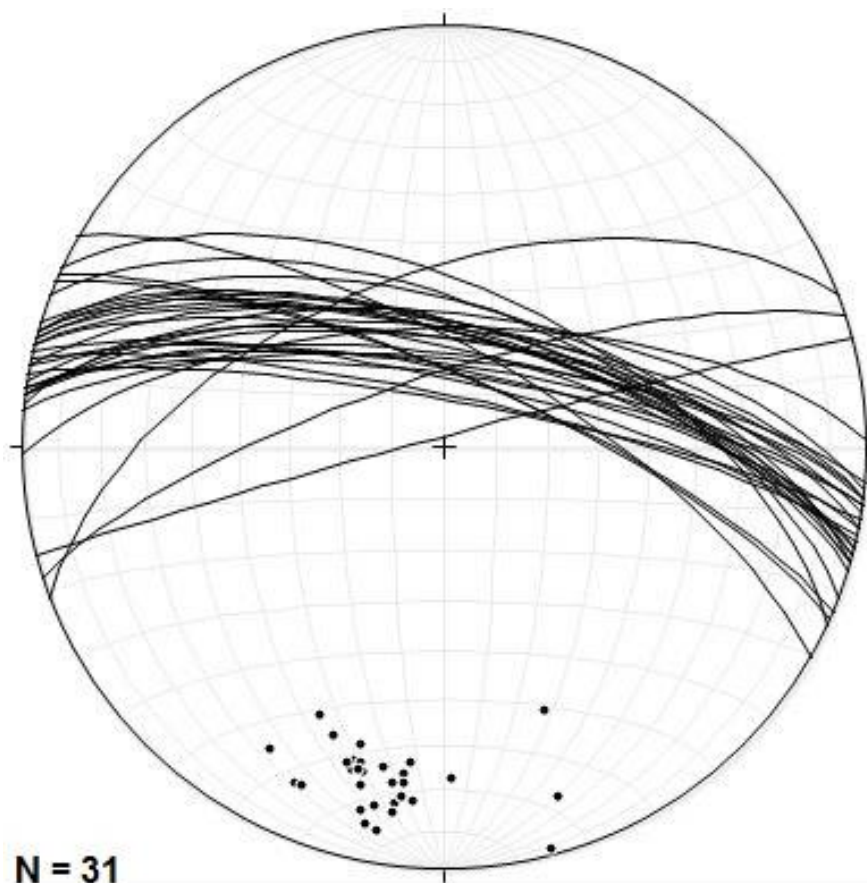


FIGURA 15: ESTEREOGRAMA COM AS MEDIDAS DA FRATURA 2 PLOTADAS.
 FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

5.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DA FAMÍLIA DA FRATURA 2

A família da fratura 2 foi classificada no campo pelos critérios apresentados na Tabela 1 sendo determinados valores entre um e cinco, apresentados na Tabela 6.

TABELA 6: CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DA FAMÍLIA DE DESCONTINUIDADES F2 MEDIDA EM CAMPO.

Espaçamento (S)	Persistência (P)	Abertura (A)	Rugosidade (R)	Preenchimento (Pr)	Alteração (Alt)	Água (W)
2	5	4	2	4	1	1

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

Foi medido e determinado que as descontinuidades de F2 possuem um espaçamento médio de 1,25m, classificando a família no parâmetro 2, que engloba os espaçamentos entre 0,6m – 2m.

A persistência assumiu o parâmetro 5 da classificação, onde possui valores maiores que vinte metros, uma vez que as fraturas ultrapassam os limites do talude de 30 metros de altura.

A abertura média das juntas ficou entre um e dois milímetros, sendo determinado o parâmetro 4 da classificação mostrada na Tabela 1. Já em termos de rugosidade, os planos se apresentam rugosos, sendo a rugosidade enquadrada no nível 2 da mesma tabela.

Foi encontrado preenchimento de um material ferruginoso, que facilmente era riscado com o canivete, na maioria das fraturas do sistema F2, sendo classificada no parâmetro 4 da Tabela 1.

Não foram encontradas evidências de alteração nem presença de água nas descontinuidades da fratura 2, sendo assim, os dois parâmetros classificados como nulo.

5.1.3 Fratura 3 (F3)

Esta família de descontinuidade compreende as fraturas verticalizadas NW-SE com mergulho preferencial para nordeste. É o sistema de fratura menos evidente no maciço por apresentar menor penetratividade. Foram medidas um total de 24 planos de descontinuidade e calculado o plano médio com atitude de N330/77. A mostra essas medidas.

TABELA 7: ATITUDES DAS DESCONTINUIDADES DA FRATURA 3 MEDIDAS EM CAMPO.

320/76	331/79	324/85	320/81	326/66	344/35	345/43	332/75
340/57	338/62	322/83	342/38	324/81	320/72	320/77	332/80
320/82	341/43	347/47	333/78	319/79	336/68	337/69	334/73

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

Foram plotadas essas medidas, apresentadas na Tabela 7, em um estereograma e se verificou uma maior dispersão dos dados, em relação às famílias anteriormente descritas, apresentado na Figura 16.

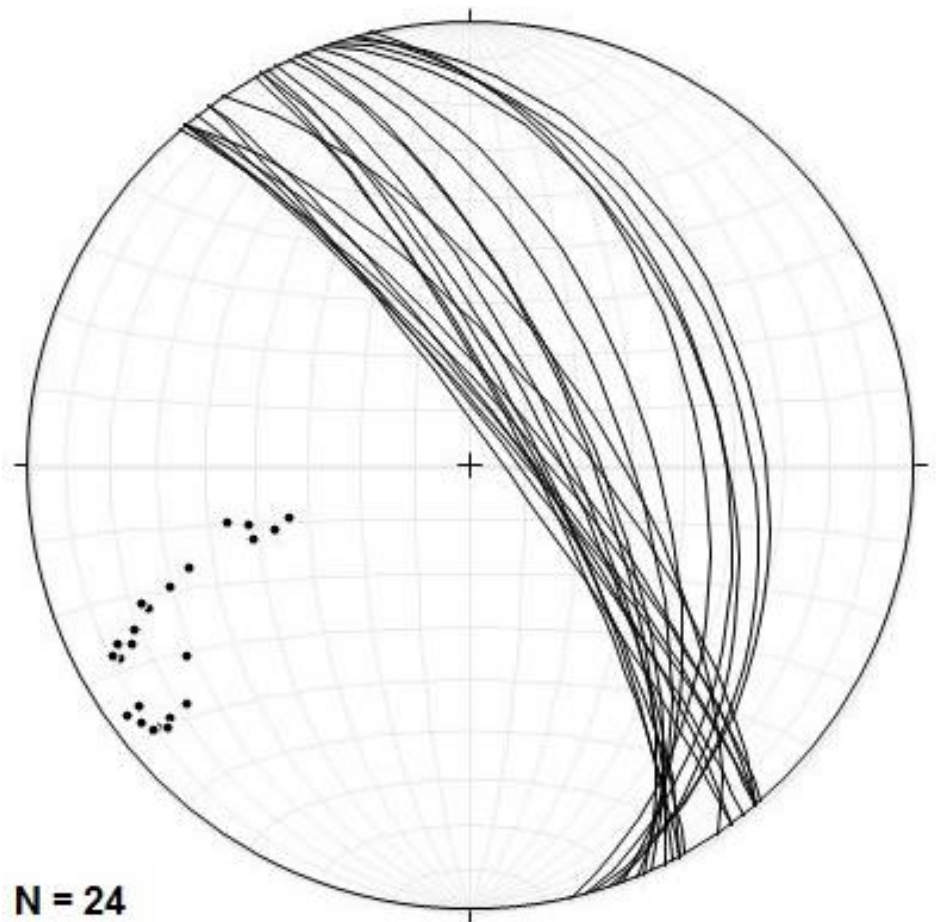


FIGURA 16: ESTEREOGRAMA COM AS ATITUDES DA FAMÍLIA DE DESCONTINUIDADE FRATURA 3.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

5.1.3.1 Características da Família da Fratura 3

A família de fratura 3 foi classificada em campo de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 1, sendo determinado valores entre um e cinco conforme apresentados na

TABELA 8: CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DA FAMÍLIA DE DESCONTINUIDADES F3 MEDIDA EM CAMPO.

Espaçamento (S)	Persistência (P)	Abertura (A)	Rugosidade (R)	Preenchimento (Pr)	Alteração (Alt)	Água (W)
1	3	3	1	1	1	2

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

O espaçamento médio entre as juntas de F3 é de aproximadamente 2,25 metros, sendo determinado o parâmetro 1, qual compreende as medias acima de dois metros de distância.

Para a persistência média das fraturas, calculou-se o valor de aproximadamente 8 metros, sendo que na maioria das vezes as descontinuidades de F3 se interrompem no meio do afloramento, assim estipulando o valor 3 da Tabela 1, que compreende os valores entre 3 – 10 metros.

A abertura média nos planos de F3 está em aproximadamente um milímetro, sendo determinado o parâmetro 3, o qual fixa valores entre 0,1 até 1 milímetro.

A rugosidade dos planos da fratura apresentam uma distância entre o plano superficial e o plano da descontinuidade maior que cinco milímetros, sendo determinada o parâmetro 1 da classificação apresentada na Tabela 1.



FIGURA 17: PLANO DA DESCONTINUIDADE F3 COM DETALHE NA RUGOSIDADE.
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

O preenchimento juntamente com a alteração foram classificados como nulo, uma vez que não foram encontradas evidências desses parâmetros, sendo os dois considerados o valor 1 da Tabela 1.

Foi encontrada umidade na grande maioria das descontinuidades F3. A água origina-se provavelmente nas chuvas, sendo considerado o parâmetro 2, o qual compreende fraturas com fluxo de água menor que dez litros por minuto.

5.1.4 Resistência a Compressão da Rocha

A resistência simples a compressão da rocha foi medida em campo em 4 pontos distintos dos afloramentos, sendo duas medidas em casa talude. E como as duas vertentes estão no mesmo maciço rochoso e as quatro medições deram o mesmo resultado, foi estipulado um valor único para ambos os afloramentos.

Seguiu-se a Tabela 2 e seus parâmetros para determinar a compressão, sendo iniciados os testes através dos ensaios apresentados pelo grau R0 e seguiram-se pelos demais, em ordem crescente da resistência, sendo assim, determinado o grau que melhor se encaixava à rocha.

De acordo com os testes realizados no campo, o maciço rochoso apenas rompeu pedaços de rocha após serem aplicados diversos golpes com o martelo petrográfico geológico, sendo determinado grau R5 à rocha, conforme apresentado na Tabela 9.

TABELA 9: CLASSIFICAÇÃO A RESISTÊNCIA SIMPLES A COMPRESSÃO DO MACIÇO ROCHOSO ESTUDADO.

Grau	Descrição da rocha	Identificação de campo	RC -Resistência à compressão uniaxial (MPa)
R5	Muito forte	Para romper uma amostra da rocha são requeridos diversos golpes de martelo geológico.	100 - 250

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

5.2 ANÁLISE CINEMÁTICA DE TALUDES EM ROCHA

A análise cinemática dos taludes estudados foi realizada através do método descrito no parágrafo 4.2.2. Nele foi plotado, em um estereograma para cada talude, as três famílias de fraturas e analisado cada afloramento

em um *overlay* mostrado na Figura 10. Assim, foram identificados os tipos de movimentação de blocos de rocha em cada um dos taludes.

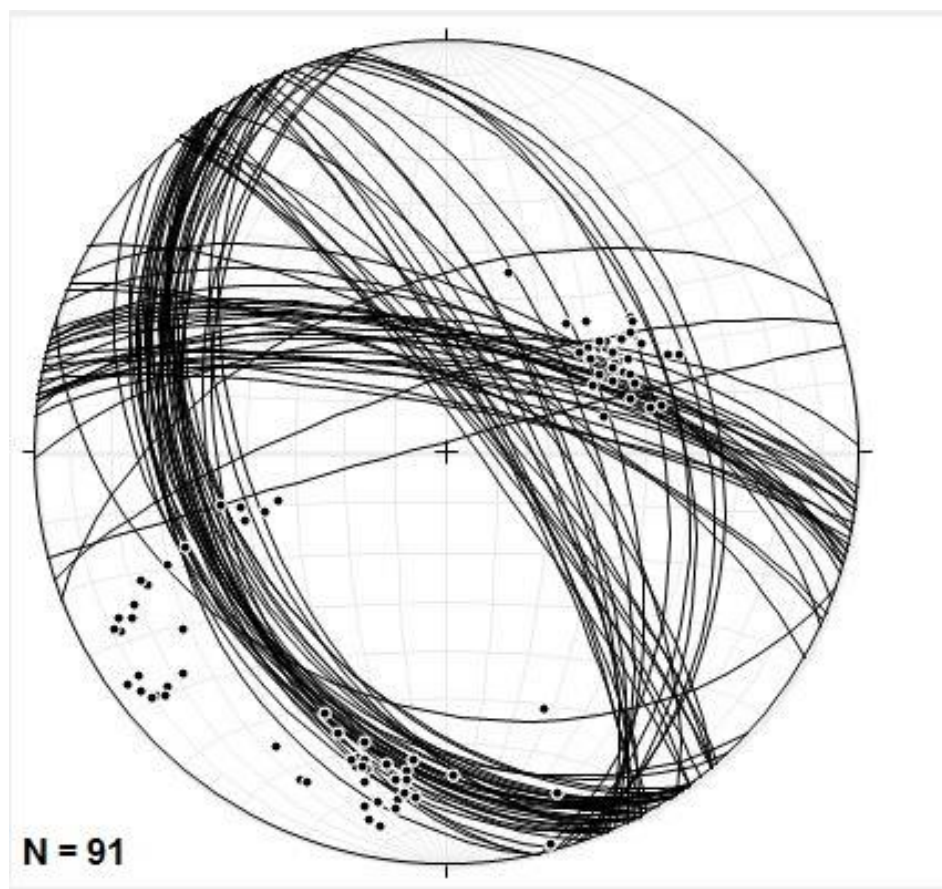


FIGURA 18: ESTEREOGRAMA COM AS ATITUDES DAS FAMÍLIAS DE DESCONTINUIDADES F1, F2 E F3 PLOTADAS, COM SEUS RESPECTIVOS POLOS. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

As medidas plotadas na Figura 18 foram usadas para analisar a cinemática dos dois taludes, por estarem no mesmo maciço e apresentarem as mesmas famílias de fratura.

5.2.1 Talude Norte (Direita da Pista)

O talude norte do quilómetro 513 na pista sul da Rodovia Régis Bittencourt tem orientação NW-SE e mergulho no azimute N205. Ele apresenta uma inclinação aproximada de 80 graus e com 30 metros de altura aproximadamente.

Foi aplicado o *overlay* da Figura 10, orientado na direção do afloramento, no estereograma da Figura 18, e assim definiram-se os possíveis tipos de escorregamentos que poderiam atingir o corte, como demonstrado na Figura 19.

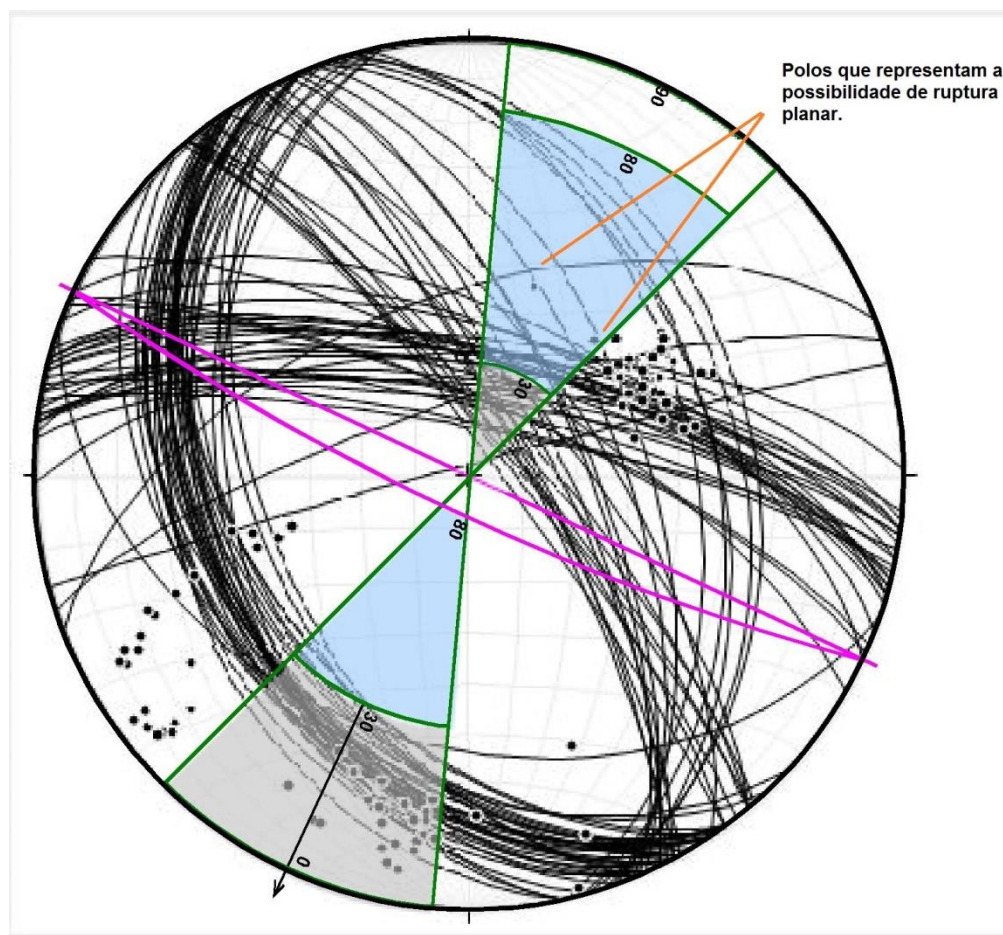


FIGURA 19: ESTEREOGRAMA PLOTADO COM *OVERLAY* SOBREPOSTO DO TALUDE NORTE. NOTA-SE QUE JÁ ESTÁ PLOTADO O ÂNGULO DE ATRITO INTERNO ESTIPULADO E O ÂNGULO DO TALUDE.
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

Ao analisar a Figura 19 de acordo com o método apresentado anteriormente, nota-se que nesse afloramento não existe a possibilidade de Ruptura circular por ser constituído de material rochoso com planos bem definidos de ruptura.

Quando analisada a possibilidade de ruptura planar, são encontrados dois planos da família F1 que apresentam essa característica. Isso significa que existe uma pequena possibilidade desse tipo de ruptura, uma vez que

aproximadamente 95% das discontinuidades não apresentam risco de ruptura planar.

Ao analisar a possibilidade de escorregamento em cunha, nota-se que as cunhas formadas entre os planos de discontinuidades das três famílias de fraturas, apresentam cruzamento fora da área de risco no diagrama. Sendo assim, não há o risco de ter ruptura em cunha no talude norte.

Na análise de tombamento de blocos no talude, observa-se que não há risco de tombamento de blocos.

Um problema observado no campo foi a quantidade de blocos soltos resultantes da abertura do talude, como mostrado na Figura 20. Fator que pode ser facilmente resolvido apenas limpando e derrubando esses blocos.



FIGURA 20: TALUDE NORTE À DIREITA DA RODOVIA. NOTA-SE BLOCOS DE ROCHA SOLTOS COM RISCO DE QUEDA.
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

5.2.2 Talude Sul (Esquerda da Pista)

O talude sul na pista sul da Rodovia Régis Bittencourt possui inclinação média de 80 graus com 250 metros de extensão e 8 metros de altura, aproximadamente. Ele apresenta direção NW-SE e mergulho para o azimuth N25.

Foi aplicado o *overlay* da Figura 10, orientado na direção do afloramento, no estereograma da Figura 18, e assim definiram-se os possíveis tipos de escorregamentos que poderiam atingir o corte, como demonstrado na Figura 21.

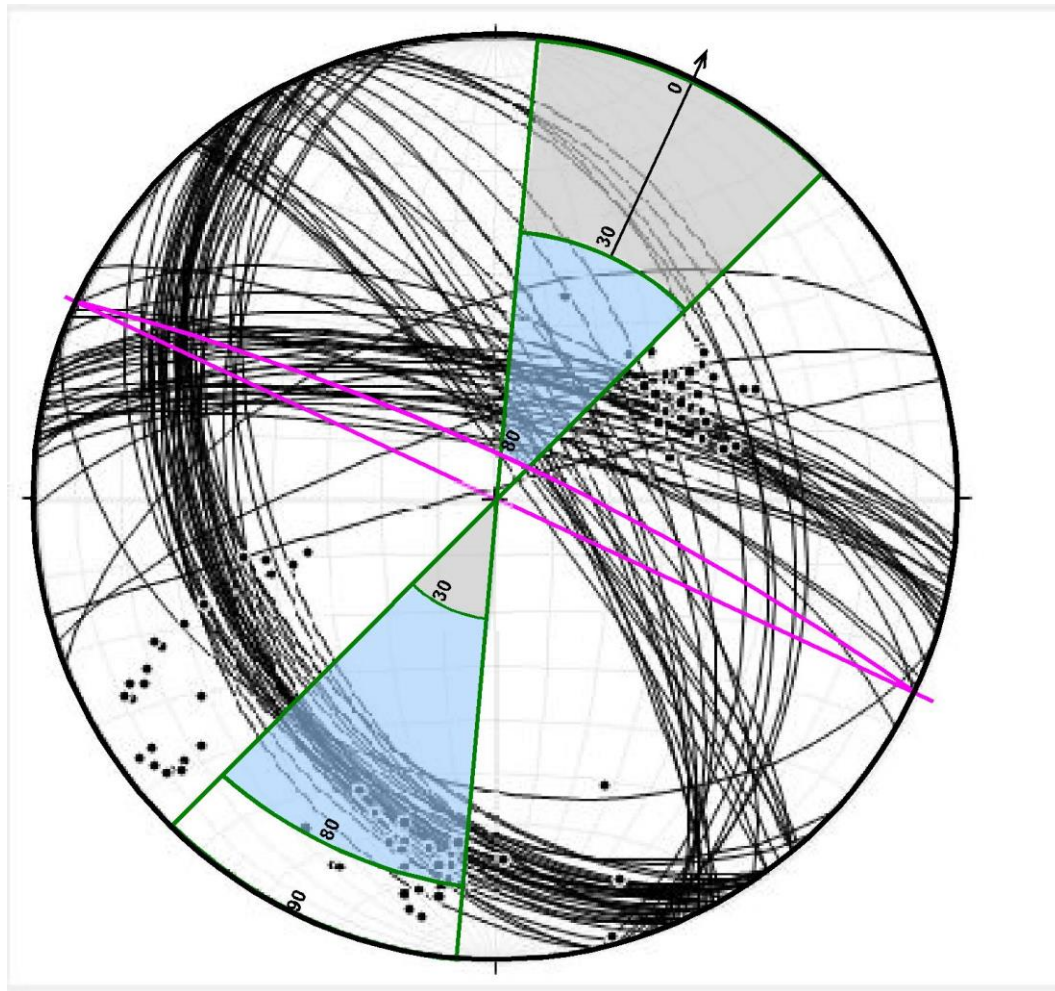


FIGURA 21: ESTEREOGRAMA PLOTADO COM *OVERLAY* SOBREPOSTO DO TALUDE SUL. NOTA-SE QUE JÁ ESTÁ PLOTADO O ÂNGULO DE ATRITO INTERNO ESTIPULADO E O ÂNGULO DO TALUDE.
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

Este talude também não apresenta a possibilidade de ruptura circular, uma vez que o talude é composto de rocha e com as mesmas descontinuidades do corte mostrado anteriormente.

Ao se analisar a possibilidade de ruptura planar, conclui-se que existe uma grande possibilidade desse tipo de movimentação, uma vez que 16 planos da família F2 estão factíveis de ruptura. Isso significa que mais da

metade das fraturas 2 tem a possibilidade de levar a escorregamentos de blocos.

A análise de ruptura em cunha também mostra que o talude sul tem alto risco de escorregamentos em cunha no corte, uma vez que grande parte das cunhas formadas entre as famílias de discontinuidades F2 e F3 tem direção de mergulho na face livre do talude, sendo assim, também estando factível a escorregamento. Foram encontrados no talude evidências da formação de cunha, como mostrado na Figura 22.



FIGURA 22: FORMAÇÃO DE CUNHA NO TALUDE SUL.
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2016.

Na análise de tombamento de blocos no talude, também observou-se que não pode ocorrer o tombamento pela falta de discontinuidades para romper os blocos.

Também foram encontrados blocos soltos no talude, podendo ocorrer o seu desprendimento e rolamento até a rodovia.

6 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa estudou-se a estabilidade de taludes de corte de beira de estrada em maciços rochosos, com a proposição de se classificar geotecnicamente a rocha e de analisar os possíveis tipos de escorregamentos nos taludes do quilômetro 513 da Rodovia Régis Bittencourt.

De acordo com os resultados alcançados no presente trabalho, pode-se concluir que o corte no maciço rochoso para abertura da estrada foi aberto corretamente, pois o lado direito da estrada que teria maiores riscos pela altura do talude, está cortado no ângulo que não apresenta risco a pista. E o lado esquerdo da pista que apresenta risco de ruptura planar e em cunha, tem um talude com altura menor e está mais distante da rodovia.

Conclui-se que é necessário apenas a limpeza dos taludes no intuito de derrubar os blocos soltos. E para eliminar os riscos de escorregamentos do talude esquerdo na rodovia, uma obra de fixação de telas de arame resolveriam os problemas.

Pode-se concluir que a equipe que trabalhou na abertura da pista fez um excelente trabalho calculando as direções das fraturas e determinando a direção da cinemática das descontinuidades, realizando o corte sem grandes riscos a rodovia.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Borchadt, N.; 2005. *Diagnóstico geológico-geotécnico na estabilidade das vertentes do alto e médio curso da bacia do Rio Sagrado, PR*. Dissertação (Mestrado em Geologia) Departamento de pós-Graduação em Geologia, UFPR, Curitiba.

Coy, Y. S. M. 2015. *Avaliação da suscetibilidade das vertentes da um trecho da BR-376, entre os Km 658+820m e 660+690m,PR*. Tese (Mestrado em Geologia) - Setor de Ciências da Terra, UFPR, 101 p.

CPRM. 2013. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Geologia e Recursos Minerais da Folha Eldorado Paulista*, escala 1:100.000. São Paulo.

EMBRAPA. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF.

Faleiros, F., M. 2008. *Evolução de Terrenos Tectono-Metamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR)*. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Fiori, A. P.; Carmignani, L. 2009. *Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes*. 2ª. ed. Curitiba: Editora UFPR, 604 p.

Infanti Jr, N.; Fornasari Filho, N. *Processo de dinâmica Superficial*. In: Oliveira, A. M. dos S.; Brito, S. N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE,1998.

Siga Júnior, O. 1995. *Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e Nordeste de Santa Catarina: Geocronologia e evolução crustal*. Tese (Doutorado) USP. In: FALEIROS, F., M. 2008. *Evolução de Terrenos Tectono-Metamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR)*. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Siga Júnior, O.; Basei, M. A. S.; Machiavelli, A. 1993. *Evolução Geotectônica da Porção Nordeste de Santa Catarina e Sudeste do Paraná com Base em Interpretações Geocronológicas*. Revista Brasileira de Geociências. In. FALEIROS, F., M. 2008. *Evolução de Terrenos Tectono-Metamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR)*. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Tabalipa, N. L. 2008. *Estudo da estabilidade de vertentes da bacia do Rio Ligeiro, Pato Branco, Paraná*. Tese (Doutorado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, UFPR, Curitiba, 243p.

Tonus, B. P. A. 2009. *Estabilidade de taludes: Avaliação dos métodos de equilíbrio limite aplicados a uma encosta coluvionar e residual da serra do mar paranaense*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, UFPR, Curitiba, 147p.