

## ANÁLISE CINEMÁTICA E DINÂMICA DE TALUDES ROCHOSOS DA RODOVIA LÍVIO TAGLIASSACHI, SÃO ROQUE-ARAÇARIGUAMA (SP)

Danilo Lomonaco Vettorello <sup>1</sup>; Rômulo Damião Nascimento Behmer <sup>2</sup>; Natalia Sodré Veiga Behmer <sup>3</sup>

**Resumo** – O desmoronamento de taludes rochosos em estradas e rodovias é um problema recorrente no Brasil, diversas vezes às interditando ou causando acidentes a veículos e transeuntes. Uma forma de abordar as questões de estabilidade de taludes rochosos é por meio de conhecimentos em Geologia de Engenharia e Mecânica das Rochas que, no entanto, ainda são aplicados de forma pouco significativa nas estradas brasileiras. O presente trabalho apresenta um estudo de caso de aplicação prática destas ciências em taludes rochosos encontrados na Rodovia Lívio Tagliassachi (São Roque/Araçariguama - SP). Dois taludes rochosos da rodovia foram analisados em campo por meio do levantamento das atitudes das descontinuidades encontradas, incluindo estimativas das características de rugosidade e resistências destas superfícies. Estes dados foram utilizados para a realização de análises cinemáticas, para avaliar a natureza dos rompimentos possíveis de ocorrerem, além de análises dinâmicas determinísticas (equilíbrio limite), para se definir um fator de segurança (FS) para algumas cunhas delimitadas pelas famílias de descontinuidades identificadas. No total, 4 famílias de descontinuidades foram identificadas (F1, F2, F3 e F4), sendo o rompimento tipo cunha o mais relevante nos dois taludes. As análises dinâmicas sugerem que as combinações entre as famílias de descontinuidades podem gerar cunhas potencialmente estáveis e outras em estado iminente de ruptura, além de cunhas cuja estabilidade é dada como impossível. É destacado o impacto negativo no fator de segurança causado pelo preenchimento das fraturas por material argiloso e/ou por água.

**Abstract** – The failure of rock slopes on roads and highways is a recurrent problem in Brazil, often interdicting or causing accidents to vehicles or passersby. One way to approach this topic is through knowledge in Engineering Geology and Rock Mechanics, which, however, are still applied to a lesser extent on Brazilian roads. This work presents a case study of the practical application of these sciences in rock slopes from the Lívio Tagliassachi highway (São Roque/Araçariguama - SP). Two rock slopes were analyzed during a fieldwork, where the attitudes (dip and dip direction) of the discontinuities that compound the rock massif were surveyed, as well as some of their roughness and strength characteristics. These data were used to perform kinematic analyses, to assess the nature of possible failures, and deterministic dynamic analyses (limit equilibrium), to define a safety factor for some surface wedges delimited by the identified families of discontinuities. In total, 4 families of discontinuities were identified (F1, F2, F3, and F4), with the surface wedge failure being the most relevant failure type for both slopes. The dynamic analyzes suggest that the combinations between the families of discontinuities can generate potentially stable wedges and others in an imminent state of rupture, in addition to wedges whose stability is considered impossible. The negative impact on the safety factor caused by fractures filled with clay and/or water is highlighted.

**Palavras-Chave** - Taludes rochosos; Ruptura de taludes; Análise cinemática; Análise dinâmica.

---

<sup>1</sup> Geól., MSc, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), (11) 98061-6476, danilo.vettorello@gmail.com

<sup>2</sup> Eng.Civ., MSc, (11) 94903-6810, romulo\_behmer@hotmail.com

<sup>3</sup> Eng.Civ., (11) 99261-2168, manzana.eng@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

O desmoronamento de taludes rochosos em estradas e rodovias é um problema recorrente no Brasil, especialmente em períodos chuvosos. Eventos de maior magnitude e que, eventualmente, causam impactos diretos na utilização das vias ou a veículos e transeuntes, são continuamente registrados e divulgados na mídia nacional (e.g.: G1, 2017; G1, 2018; BOUERI, 2018; FOLHA VITÓRIA, 2018; NOTISUL, 2018; FIEDLER, 2019; LAURINO, 2020; MARIA, 2021). A frequência de ocorrência de tais fenômenos pode sugerir não só uma falta de investimento do poder público e das empresas de engenharia em estudos de avaliação de estabilidade de taludes rochosos, mas também, como exposto por Kanji (2006), numa real insuficiência de conhecimentos técnicos em Geologia de Engenharia e Mecânica das Rochas dos profissionais que atuam na área da Engenharia Geotécnica acerca dos fatores que agem de forma ativa na estabilidade dos maciços rochosos. Esta insuficiência, segundo o autor, poderia estar associada, inclusive, aos cursos de graduação que priorizam, quando não apenas se restringem, à Mecânica dos Solos e aos estudos de Fundação e Obras de Terra que, apesar de serem de necessidade indiscutível, não abordam a Engenharia Geotécnica em sua plenitude.

Pelos motivos apresentados, além do potencial dano a vidas humanas relacionados ao desmoronamento em estradas e rodovias, estudos que buscam avaliar as condições de estabilidade de taludes rochosos em vias já existentes, são de interesse público para além do interesse acadêmico. No presente estudo, taludes rochosos encontrados na Rodovia Lívio Tagliassachi, que conecta o distrito de São Roque (SP) à Rodovia Castelo Branco, são avaliados por meio de análises cinemáticas, visando determinar a natureza dos rompimentos possíveis, e análises dinâmicas determinísticas, visando atribuir a estes um fator de segurança (FS). Recentemente, um projeto de duplicação da Rodovia Lívio Tagliassachi está em andamento (MUNDON, 2021), de forma que novos cortes de estrada em rocha e retaludamentos poderão ser executados tornando o melhor conhecimento das feições estruturais de taludes rochosos já existentes de interesse à sociedade.

## 2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Rodovia Lívio Tagliassachi pode ser acessada pela cidade de São Roque (SP) e se estende por cerca de 9 km, passando por Araçariguama (SP), até se conectar com a Rodovia Castelo Branco. A pista da rodovia é simples, portanto, havendo um único pavimento asfáltico que é compartilhado por veículos em ambos sentidos de circulação. O acostamento é simples, na maior parte do trecho, e duplo em outros. Alguns trechos da rodovia cortam taludes em solo ou em rocha, sendo que os dois taludes mais críticos em rocha são encontrados já nas proximidades da Rodovia Castelo Branco no distrito de Araçariguama. Estes taludes foram escolhidos para serem analisados, sendo denominados T1 (Figura 1; UTM 23K E 284023,00 / S 7405205,00) e T2 (Figura 2; UTM 23K E 284288,00 / S 7405503,00). O talude rochoso T1, possui cerca 8 m de altura máxima se estendendo pela via por cerca de 155 m, enquanto o T2, cerca de 4 m de altura e 200 m de extensão.



Figura 1 – Vista do talude rochoso 1 (T1).



Figura 2 – Vista do talude rochoso 2 (T2).

### 3. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

Os taludes rochosos analisados se encontram inseridos na unidade denominada Granitoide São Roque que, junto com diversos outros corpos ígneos Neoproterozoicos, intrudem o embasamento antes (i.e., são pré-orogênicos) ou durante (i.e., são sinorogênicos) os eventos tectônicos que caracterizam o Domínio Varginha-Guaxupé. Estes corpos ígneos compartilham características químicas semelhantes entre si, tendendo a serem calcialcalinos potássicos e possuem caráter metaluminoso a fracamente peraluminoso, sendo as composições predominantes as monzograníticas, granodioríticas, monzodioríticas e dioríticas e, de forma localizada, composições monzoníticas, sieníticas e tonalíticas (CPRM, 2006).

O Granitoide São Roque em si, tal como descrito em Andrade e Wernick (1992), possui cerca de 191 km<sup>2</sup> de área aflorante, dispondendo-se de forma aproximadamente triangular, sendo seus limites delimitados por zonas de cisalhamento transcorrentes, tal como a Taxaquara a sudeste (N70E), Pirapora a sudoeste (N80E), Mairinque a noroestes (N30-50E) e, na borda leste, por zonas de cisalhamento de expressão local (Figura 3). A distribuição faciológica do Granitoide São Roque é complexa, havendo a predominância de hornblenda-biotita monzogranitos de textura porfirítica com coloração cinza, mas também biotita-hornblenda monzogranitos inequigranulares de colorações diversas, além de, localmente, turmalina monzogranitos equigranulares de coloração esbranquiçada. Redes de pegmatitos e aplitos também são descritas junto à borda noroeste do maciço. Quanto à geologia estrutural, é relatado que nas zonas de cisalhamento nas bordas do corpo ígneo, as rochas podem se encontrar milonitizadas. Falhas com direção NW-SE, predominantemente, de rejeito normal, comumente cortam as zonas de cisalhamento.

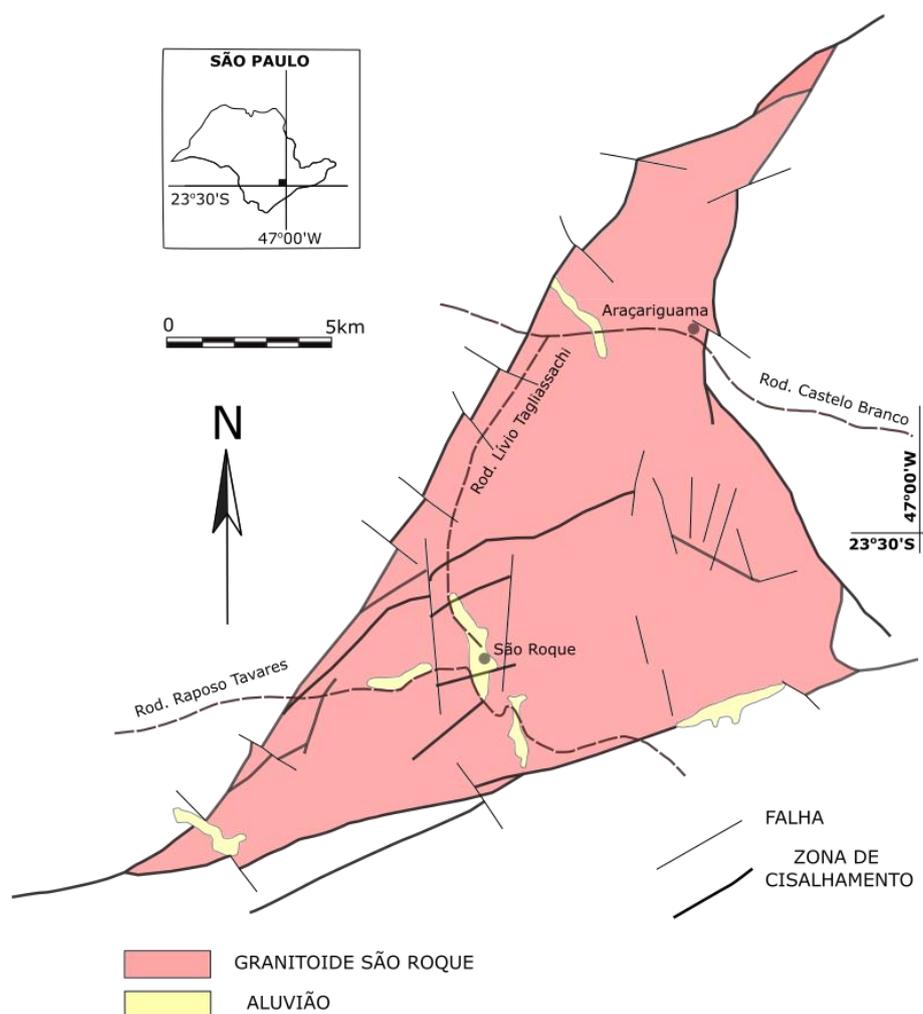


Figura 3 – Mapa geológico do Granitoide São Roque (Simplificado de Andrade e Wernick, 1992).

Os granitoides encontrados durante a atividade de campo podem ser caracterizados como sendo os hornblenda-biotita monzogranitos de textura porfirítica e de coloração cinza descritos por Andrade e Wernick (1992; Figura 4). A matriz destas rochas é composta por minerais granulares (1,0 a 4,0 mm), predominando feldspatos, quartzo e hornblenda, e lamelares, como a biotita. Os fenocristais se caracterizam como sendo feldspatos centimétricos (1,0 a 3,5 cm; Figura 5).



Figura 4 – Hornblenda-biotita monzogranito porfirítico cinza do Granitoide São Roque.



Figura 5 – Detalhe da textura porfirítica do hornblenda-biotita monzogranito.

## 4. METODOLOGIA DE ESTUDO E MATERIAIS

### 4.1. Análise estrutural e de qualidade do maciço

Considerando que não havia variação significativa de litologias nos maciços rochosos analisados, predominando o hornblenda-biotita monzogranito cinza, a análise estrutural dos taludes se deu pelo levantamento do rumo e ângulo de mergulho das discontinuidades utilizando uma bússola tipo Brunton. As discontinuidades foram, então, agrupadas em famílias com características semelhantes. Visando a estimativa do ângulo de atrito interno das discontinuidades ( $\phi$ ) por meio da Equação 1 (Barton, 2002), os parâmetros  $J_r$ , índice de rugosidade, e  $J_a$ , índice de alteração, do método de classificação de maciços Q-System (Barton et al, 1974), foram levantados.

Equação 1 
$$\tan\phi = \frac{J_r}{J_a}$$

Onde:  $\phi$  - Ângulo de atrito interno da discontinuidade;  $J_r$  - Índice de rugosidade;  $J_a$  - Índice de alteração.

Da mesma forma, para a utilização do modelo Barton-Bandis (Barton e Choubey, 1977; Equação 2) no cálculo da resistência à tesões de cisalhamentos entre as discontinuidades nas análises dinâmicas, os parâmetros JRC, coeficiente de rugosidade das juntas, e JCS, resistência à compressão das juntas, foram levantados. No caso do JCS, utilizou-se métodos indiretos, tal como golpe de martelo de geólogo e risco de canivete (ISRM, 1981). Complementarmente, também se atribuiu aos maciços o índice de qualidade GSI (Geological Strength Index; Marinos e Hoek, 2000).

Equação 2 
$$\tau = \sigma_n \tan [JRC \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_{res}]$$

Onde: JCS - Resistência à compressão das juntas; JRC - Coeficiente de rugosidade das juntas;  $\phi_{res}$  - Ângulo de atrito residual;  $\sigma_n$  - Tensão efetiva normal;  $\tau$  - Resistência às tensões de cisalhamento de pico.

## 4.2. Análises cinemáticas e dinâmicas

As análises cinemáticas foram realizadas por meio do software *Dips* (Rocscience, 2021a) e objetivaram avaliar quais naturezas de rompimento possíveis seriam esperados para os taludes analisado (e.g., planar, cunha e tombamento). Este tipo de análise, baseia-se nas relações entre a atitude dos taludes e das descontinuidades (i.e., direção e mergulho), além de uma propriedade de resistência ao cisalhamento, no caso, o ângulo de atrito entre as descontinuidades ( $\phi$ ). As análises cinemáticas são realizadas por meio de projeções estereográficas e as interpretações se dão a partir da delimitação de áreas no estereograma que caracterizam instabilidade potencial para uma determinada natureza de rompimento e a ocorrência de elementos dentro delas (i.e., polos ou lineações de interseções, a depender do método; e.g., Markland, 1972). A partir da quantidade de elementos nas áreas de instabilidade, ainda é possível atribuir uma característica probabilística à análise cinemática, os relacionando com a totalidade de elementos na projeção estereográfica.

As análises dinâmicas de caráter determinístico, utilizando equilíbrio limite, foram realizadas no software *SWedge* (Rocscience, 2021b). Nas análises, o modelo de resistência às tensões de cisalhamento das descontinuidades adotado foi o Barton-Bandis (Barton e Choubey, 1977), que incorpora em sua formulação características de resistência e rugosidade das descontinuidades analisadas.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Análise estrutural e de qualidade do maciço

O levantamento estrutural dos taludes analisados permitiu a identificação em campo de quatro famílias de descontinuidades principais denominadas: F1, F2, F3 e F4. A disposição das famílias de descontinuidades pode ser verificada nas projeções estereográficas (hemisfério inferior e igual ângulo) para o T1 (Figura 6) e T2 (Figura 7). No T1, as famílias dominantes eram a F1 e a F3, enquanto no T2 eram as F1, F2 e F4. Todas as famílias, no entanto, foram identificadas em ambos os taludes. A Figura 8, mostra os planos formados pelo contato entre as famílias F3 e F2 no T1 e a Figura 9 entre as F1, F2 e F4 no T2. A Figura 10 mostra uma cunha se alojando no contato entre F2 e F4 no T2.

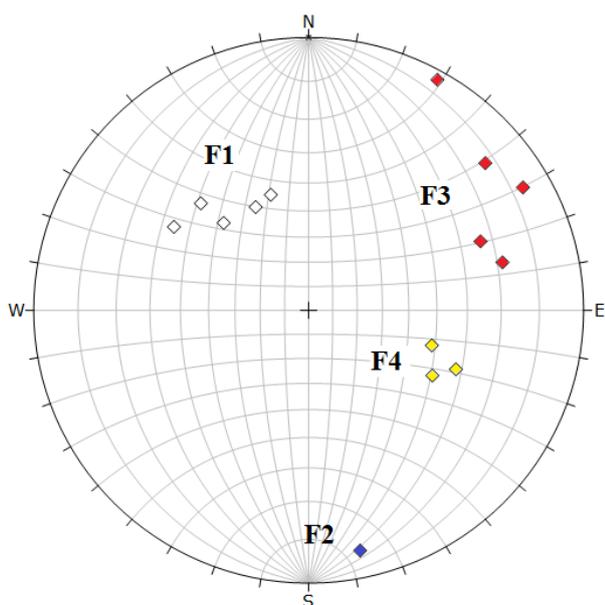


Figura 6 – Projeção estereográfica das famílias de descontinuidades (F1 a F4) identificadas no T1.

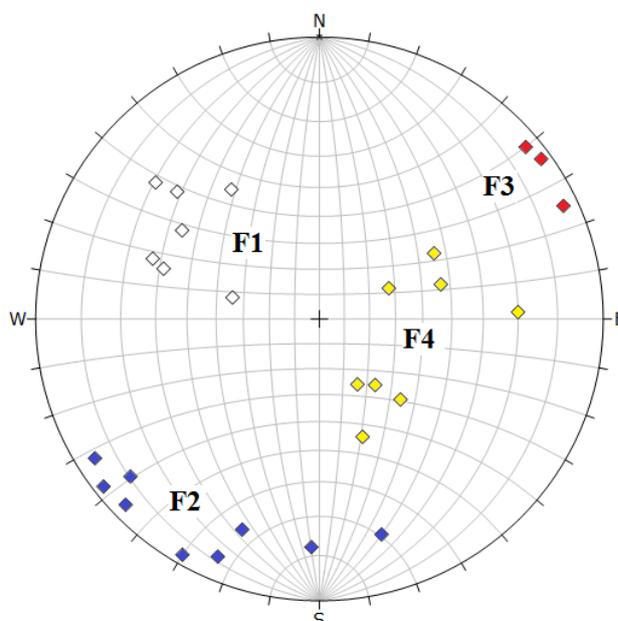


Figura 7 – Projeção estereográfica das famílias de descontinuidades (F1 a F4) identificadas no T2.

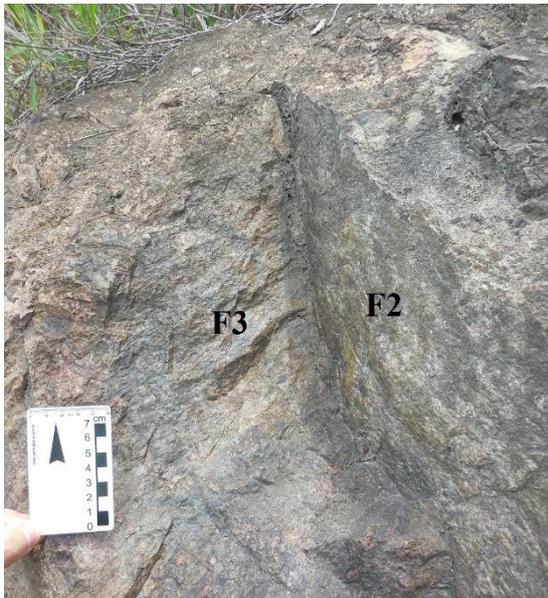


Figura 8 – Interseção F3 e F2 no T1.

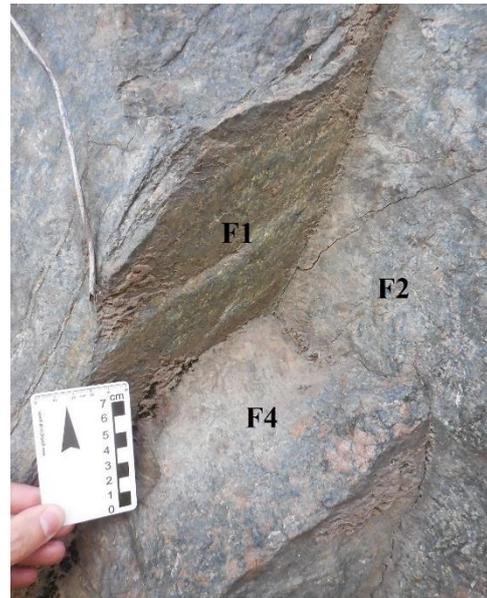


Figura 9 – Interseção F1, F2 e F4 no T2.



Figura 10 – Cunha entre os planos formados pela interseção de F2 e F4 no T2.

A avaliação do índice de rugosidade ( $J_r$ ) mostrou que ele varia em torno de 1,5 (i.e., fraturas polidas, onduladas) até 2,0 (i.e., fraturas lisas, onduladas) para todas as famílias, de forma geral. Porções do maciço mais afetadas pelas zonas de cisalhamento descritas em Andrade e Wernick (1992), podem ser o principal mecanismo que favoreceu as texturas mais finas (i.e., lisas ou polidas) para a superfície das discontinuidades. Já no caso do índice de alteração ( $J_a$ ) prevaleceu o valor de 2, designando paredes levemente alteradas podendo conter partículas arenosas. No entanto, em uma porção específica do T1, foi identificada surgência de água e acúmulo de material argiloso entre as discontinuidades, tornando o índice de alteração adequado o número 4.

O coeficiente de rugosidade das discontinuidades, JRC, foi avaliado diretamente e variou entre 2 (i.e., 2-4) e 3 (i.e., 4-6), enquanto a resistência à compressão, JCS, foi avaliada por método indireto (i.e., golpe de martelo) e variou entre *resistente* (50-100 Mpa) e *muito resistente* (100-250 Mpa). Quanto à qualidade do maciço, tanto T1 quanto T2, possuem GSI variando, predominantemente, entre 65-75.

## 5.2. Análise cinemática

Nas análises cinemáticas, considerou-se a direção e mergulho de T1 e T2 como sendo 314/88 e 316/85, respectivamente. O ângulo de atrito entre as descontinuidades ( $\phi$ ) foi calculado com base na Equação 1 para os valores mais conservadores de  $J_r$  (i.e., 1,5) e  $J_a$  (i.e., 2,0), obtendo-se 37°, e 21° quando considerado acúmulo de material argiloso tal como detectado localmente no T1 (i.e.,  $J_a = 4,0$ ). As naturezas de rompimento analisadas foram: cunha, tombamento flexural e direto, e planar, sendo que todas as atitudes apresentadas nas Figuras 6 e 7 foram consideradas. Para as análises planares e de tombamento, considerou-se o limite lateral que restringe a área de instabilidade no estereograma como sendo de 20°.

A Tabela 1 sumariza a percentagem de elementos (i.e., polos ou interseções, a depender do método de análise) que ocorrem em zonas do estereograma que caracterizam a possibilidade de ocorrência de um rompimento para uma dada natureza (i.e., planar, cunha e tombamento).

Tabela 1 – Análises cinemáticas para os Taludes 1 e 2 para quatro tipos de rompimentos.

	$\phi$ (°)	Cunha	Tombamento		Planar
			Flexural	Direto	
T1	37	36,3%	28,6%	12,1%	7,1%
	21	37,4%	28,6%	12,1%	7,1%
T2	37	30,2%	14,8%	16,0%	3,7%

A partir da análise da Tabela 1, verifica-se que o rompimento tipo cunha (ver Figuras 11 e 12) é o com maior probabilidade de ocorrência considerando os elementos analisados. De fato, tal natureza de rompimento foi observada durante atividade de campo (ver Figuras 8, 9 e 10) havendo relação com a interseção entre as famílias de descontinuidades como um todo. Seguidamente, há o tombamento flexural, associado aos planos gerados pela F1. Em campo, observou-se porções dos taludes com face em F1, o que sugere que tal tipo de rompimento possa já ter ocorrido. De forma menos significativa, ainda há a possibilidade de ocorrência de tombamentos diretos e rompimentos planares, este último associados à F4. A diminuição de  $\phi$  em T1 (caso do preenchimento com material argiloso), não impactou de forma significativa os resultados.

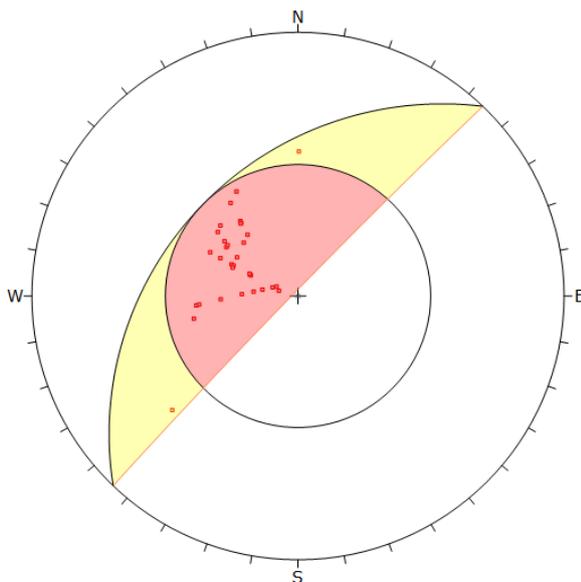


Figura 11 – Análise cinemática para T1 ( $\phi = 37^\circ$ ). Rompimento tipo cunha. Análise por lineamento de interseções. Probabilidade = 36,3%.

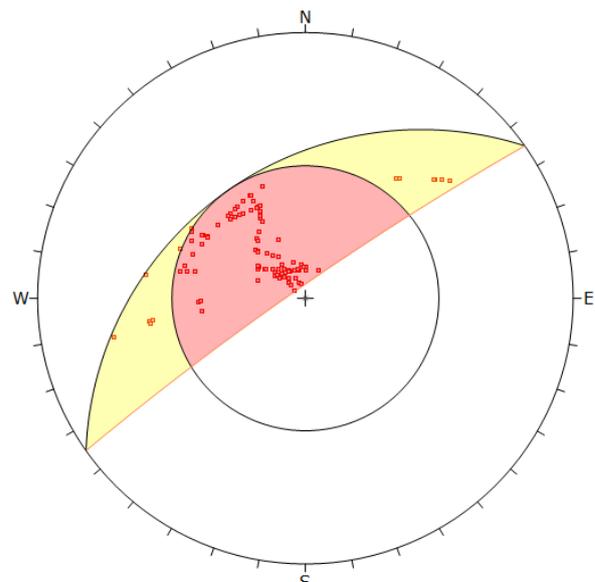


Figura 12 – Análise cinemática para T2 ( $\phi = 37^\circ$ ). Rompimento tipo cunha. Análise por lineamento de interseções. Probabilidade = 30,2%.

### 5.3. Análise dinâmica

As análises dinâmicas determinísticas (equilíbrio limite), concentraram-se nos rompimentos tipo cunha devido a estes serem os mais significativos vistos em campo (ver figuras 8 a 10) e, posteriormente, confirmado pelas análises cinemáticas (ver figuras 11 e 12). Para a realização das análises dinâmicas, as famílias de descontinuidades foram simplificadas à valores de atitudes médios, sendo estes sumarizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Direção e mergulho médio das descontinuidades agrupadas em famílias do T1 e T2.

	F1		F2		F3		F4	
	Direção	Mergulho	Direção	Mergulho	Direção	Mergulho	Direção	Mergulho
T1	142°	52°	348°	84°	237°	78°	292°	55°
T2	122°	60°	69°	83°	236°	87°	289°	44°

Uma vez que os valores de JRC e JCS registrados durante a atividade de campo eram variáveis (i.e. 2-6 e 50-250 MPa, respectivamente), optou-se por analisar os FS para uma combinação de valores de JRC de 2 a 6 e de JCS de 50, 150 e 250 MPa, gerando, portanto, 15 cenários possíveis. O resultado adotado foi o valor médio e seu desvio padrão associado, atribuindo às análises um caráter também probabilístico. Adicionalmente, considerou-se o efeito da redução do ângulo de atrito de 37° para 21°, devido ao preenchimento das descontinuidades por materiais argilosos, tal como identificado localmente no T1, e a influência do aumento da porcentagem de água nas fraturas. Considerou-se o peso específico da rocha como sendo 2,6 ton/m<sup>3</sup>.

De forma a reduzir o tempo de processamento e análise, quando a cunha estudada não era estável para a condição mais favorável possível, não foram analisadas outras possibilidades com parâmetro inferiores, assumindo, portanto, que não haveria estabilidade possível também. Da mesma forma, caso a cunha fosse estável, tanto para os parâmetros mais desfavoráveis, quanto para os mais favoráveis, as análises intermediárias também não foram realizadas, assumindo-se provável estabilidade para as condições intermediárias. O volume da cunha adotado foi de 2 m<sup>3</sup>, valor considerado aceitável para as dimensões de cunhas observadas em campo.

As análises foram realizadas no software *SWedge* (Rocscience, 2021b) considerando as interseções entre famílias de fraturas identificadas em campo. A descontinuidade F1 foi inserida no modelo como trinca de tração, sendo seu comprimento o que resultasse no menor FS possível (definido automaticamente pelo software). Os resultados das análises seguem sumarizados na Tabela 3. Nesta tabela, os fatores de segurança (FS) são apresentados em um padrão de cores semafórico, sendo: Vermelho - Instabilidade; Amarelo: Iminência de ruptura, e; Verde: Provável estabilidade.

Tabela 3 – Fatores de segurança (FS) para a interseção das famílias de descontinuidades encontradas em T1 e T2 considerando a variação de JRC, JCS,  $\phi$  e porcentagem de água nas fraturas.

Talude	$\phi$ (°)	Cunha	Trinca de tração	Porcentagem de água preenchendo a fratura					
				0%	25%	50%	75%	100%	
1	37	F2/F3	-	0,71 ± 0,20	Instável				
	21			Instável					
	37	F3/F4	F1	1,50 ± 0,37	1,37 ± 0,34	1,13 ± 0,29	0,79 ± 0,20	Instável	
	21			0,85 ± 0,20	0,78 ± 0,18	Instável			
2	37	F2/F4	F1	4,06 ± 0,88			Estável		3,12 ± 0,72
	21			2,31 ± 0,50			Estável		1,77 ± 0,39
	37	F3/F4	F1	2,48 ± 0,61			Estável		2,06 ± 0,45
	21			1,51 ± 0,34	1,46 ± 0,36	1,37 ± 0,31	1,26 ± 0,28	1,13 ± 0,26	

## 5.4. Interpretação das análises

A partir dos resultados das análises cinemáticas e dinâmicas, alguns pontos merecem ser destacados e discutidos, sendo estes:

- As análises cinemáticas foram eficientes em identificar os padrões de ruptura possíveis para os taludes analisados, sendo a do tipo cunha a mais provável para ambos os taludes analisados em concordância com o que foi visto em campo;
- No caso da interseção entre as famílias F2 e F3 (Figura 8) identificadas em T1, não há estabilidade possível para a cunha formada, mesmo para os parâmetros mais favoráveis possíveis (i.e., JRC = 6, JCS = 250 MPa,  $\phi = 37^\circ$  e sem água nas fraturas);
- No caso da interseção entre as famílias F3 e F4 identificadas em T1, com uma trinca de tração delimitada por F1, a cunha formada tende a estar em estado de ruptura iminente ou ser instável para preenchimento de água nas descontinuidades em torno de 50% quando  $\phi = 37^\circ$ . Para  $\phi = 21^\circ$ , teores de água em torno de 25% já podem instabilizar a cunha;
- No caso da interseção entre as famílias F2 e F4 identificadas em T2, considerando uma trinca de tração delimitada por F1, a cunha formada tende a ser estável mesmo para os parâmetros mais desfavoráveis analisados (i.e., JRC = 2, JCS = 50 MPa,  $\phi = 21^\circ$  e 100% das descontinuidades preenchidas por água);
- No caso da interseção entre as famílias F3 e F4 identificadas em T2 (Figuras 9 e 10), considerando uma trinca de tração delimitada por F1, a cunha formada tende a ser estável quando  $\phi = 37^\circ$  mesmo para os parâmetros mais desfavoráveis analisados (i.e., JRC = 2, JCS = 50 MPa e 100% das descontinuidades preenchidas por água), no entanto, quando considerado  $\phi = 21^\circ$ , a cunha formada tende a estar em estado de ruptura iminente com o aumento da água nas fraturas para valores em torno de 75%.

## 6. CONCLUSÕES

É notório que há uma influência direta na redução dos fatores de segurança quando o efeito de preenchimentos argilosos e/ou a presença de água são considerados nas análises. Como exemplo, há cunhas que evoluem de um estado de estabilidade provável para um de instabilidade provável, com é o caso da cunha formada por F3/F4/F1 no T1. As cunhas que permanecem em estado iminente de ruptura, no entanto, merecem especial atenção. Estas podem ocorrer em ambos os taludes e se apresentarem estáveis em um primeiro momento, porém, devido a serem muito sensíveis à variação dos parâmetros condicionantes, também podem romper a qualquer momento e causar danos à via, aos veículos e aos transeuntes.

Como sugestão para prevenção de acidentes, a identificação de cunhas em estado de ruptura iminente deve ser realizada e, como consequência, boas práticas de engenharia devem ser adotadas, sejam estas no caminho de conter os rompimentos (e.g., utilização de telas metálicas ou estruturas de contenção mais robustas) ou evitar que, caso ocorra o rompimento, que ele não afete a via (e.g., deixando uma faixa de segurança, corretamente dimensionada, entre o talude e a via).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG) por disponibilizar o Laboratório de Informática para a utilização dos softwares necessários à esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F.R.D., WERNICK, A.E. (1992) "Geologia do complexo granotóide São Roque, SP" in Anais do 37º Congresso Brasileiro de Geologia – SBG/SP, São Paulo, SP, p. 350-351.
- BARTON, N. (2002) "Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design" in Int. Jour. Of Rock Mechanics and Mining Science, v. 39, 185-216p.
- BARTON, N., CHOUBEY, V. (1977) "The shear strength of rock joints in theory and practice" in Rock Mechanics, v. 6, 1-54p.
- BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J. (1974) "Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support" in Rock Mechanics, v. 6(4), 189-236p.
- BOUERI, C. (2018) "DNIT estuda forma de tirar rochas que interditam BR 259 no Noroeste" in: ES Hoje, 8 fev. 2018. Disponível em: <https://bityli.com/OhxzJO>. Acesso em 23 nov. 2021.
- CPRM. (2006) "Breve descrição das unidades litoestratigráficas aflorantes no Estado de São Paulo - escala 1:750.000", 173p.
- FIEDLER, A. (2019) "Três meses após queda de encosta, pedras seguem na pista na Rota do Sol, em Itati" in GZH, 30 ago. 2019. Disponível em: <https://bityli.com/dTJR13>. Acesso em 23 nov. 2021.
- FOLHA VITÓRIA. (2018) "Após uma semana, BR 256 continua totalmente interditada em Colatina" in Folha Vitória, 13 fev. 2018. Disponível em: <https://bityli.com/xaovp4>. Acesso em 23 nov. 2021.
- G1. (2017) "Trecho da BR-040 onde deslizamento de rocha atingiu carro passa por avaliação; Km 50 permanece em meia pista" in G1, 22 mai. 2017. Disponível em: <https://bityli.com/UX4U1M>. Acesso em 23 nov. 2021.
- G1. (2018) "Queda de pedras 'gigantes' interdita rodovia em Marília" in G1, 6 fev. 2018. Disponível em: <https://bityli.com/o1n3on>. Acesso em 23 nov. 2021.
- ISRM. (1981) "Rock characterization testing and monitoring", BROWN, E. (Ed), Pergamon Press, Oxford, UK, 211p.
- KANJI, M. A. (2006) "Estabilidade de taludes rochosos em obras civis" in Anais do 13º COBRAMSEG, Curitiba, PR, 16p.
- LAURINO, J. (2020) "Pedra cai sobre a pista na serra do Rio do rastro" in DC: Cotidiano, 17 ago. 2020. Disponível em: <https://bityli.com/55pmNM>. Acesso em 23 nov. 2021.
- MARIA, L. (2021) "Queda de talude interdita pista na BR-381, na região do Vale do Aço" in O Tempo, Cidades, 11 nov. 2021. Disponível em: <https://bityli.com/THY0ck>. Acesso em 23 nov. 2021.
- MARINOS, P., HOEK, E. (2000) "GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation" in Proceedings of the GeoEng2020 Conference, Melbourne, Australia, 1422-1442p.
- MARKLAND, J.T. (1972) "A useful technique for estimating the stability of rocks slopes when the ridge wedge slide type of failure is exposed" in Imp. Coll. Rock Mech. Res. Rep. n.19, 10p.
- MUNDON. (2021) "Via Oeste deve assumir obras de duplicação da Rodovia Lívio Tagliassachi" in MundoN, 30 jul. 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3r2uvcM>. Acesso em 23 nov. 2021.
- NOTISUL. (2018) "Deslizamento de rochas deixou trânsito em meia pista na Serra do Rio do Rastro" in Notisul, 4 set. 2018. Disponível em: <https://bityli.com/0CxY5L>. Acesso em 23 nov. 2021.
- ROCSCIENCE. (2021a) Dips. Versão 8.016. Rocscience Inc, Toronto, Ontário, Canadá.
- ROCSCIENCE. (2021b) SWedge. Versão 7.014. Rocscience Inc, Toronto, Ontário, Canadá.