

AVALIAÇÃO DE ESTABILIDADE DO MACIÇO ROCHOSO DA PRAÇA ULISSES GUIMARÃES (PEDREIRA DO CHAPADÃO) - CAMPINAS, SP

Vinícius Secchieri Veloso ¹; Ana Elisa Silva de Abreu ²

Resumo – Controlar a estabilidade de taludes é essencial para garantir a segurança em diversos locais, como rodovias, lavras de mineração e espaços públicos. No Parque Ulisses Guimarães (Pedreira do Chapadão), em Campinas, problemas de instabilidade ocorreram após fortes chuvas em 2023. A alta precipitação intensificou os riscos, levando ao desprendimento de blocos e consequente queda de rochas no local, que caíram sobre as instalações do parque. Por meio de análises cinemáticas e aplicação do método *Slope Mass Rating* (SMR), foi constatado que os taludes do parque apresentam uma estabilidade da classe 2 e 3, logo, estáveis a parcialmente estáveis, com possibilidades de rupturas em cunha e quedas pontuais de blocos. As famílias de descontinuidades observadas no local, não configuram cenários de alta instabilidade, logo, indicando maior segurança do que se aparentava antes dos levantamentos. Com base nos dados obtidos em campo e analisados através das técnicas cinemáticas, recomenda-se a adoção de medidas preventivas, como a remoção de blocos soltos e limpeza da vegetação presente entre as fraturas, além de monitoramento contínuo dos taludes, sistematicamente, especialmente em dias chuvosos. Essas ações visam minimizar o risco de movimentações e quedas, garantindo a segurança dos visitantes e maior estabilidade desses locais. Os resultados confirmam que, apesar dos perigos visíveis, os taludes do parque não apresentam alto grau de instabilidade, que possa vir a indicar algum risco significativo aos usuários, mas, desde que sejam adotadas práticas regulares de manutenção e acompanhamento técnico dos taludes.

Abstract – Controlling slope stability is essential to ensure safety in various locations, such as highways, mining pits, and public spaces. In the Ulisses Guimarães Park (Pedreira do Chapadão), in Campinas, instability problems occurred after heavy rains in 2023. The high rainfall intensified the risks, leading to the detachment of blocks and consequent falling of rocks at the site, which fell on the park's facilities. Through kinematic analyses and application of the *Slope Mass Rating* (SMR) method, it was found that the park's slopes present a stability of classes 2 and 3, therefore, stable to partially stable, with possibilities of wedge ruptures and occasional block falls. The families of discontinuities observed at the site do not configure scenarios of high instability, therefore, indicating greater safety than it appeared before the surveys. Based on data obtained in the field and analyzed using kinematic techniques, preventive measures are recommended, such as removing loose blocks and cleaning vegetation between fractures, in addition to continuous, systematic monitoring of the slopes, especially on rainy days. These actions aim to minimize the risk of movement and falls, ensuring the safety of visitors and greater stability of these locations. The results confirm that, despite the visible dangers, the park's slopes do not present a high degree of instability that could indicate any significant risk to users, provided that regular maintenance practices and technical monitoring of the slopes are adopted.

Palavras-Chave – *Slope Mass Rating* (SMR); Pedreira do Chapadão; Talude.

¹ Geól., Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), v245442@dac.unicamp.br

² PhD., Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), aeabreu@unicamp.br

1. INTRODUÇÃO

No início de 2023, a cidade de Campinas atingiu índices pluviométricos elevados, ultrapassando 380 mm no mês de janeiro, o maior volume registrado desde 2011 (CEPAGRI, 2024). Esse cenário levou a desastres ambientais, incluindo alagamentos, quedas de árvores e deslizamentos de solos e rochas, resultando na interdição de áreas públicas para avaliação de novos riscos. Entre os locais afetados, destaca-se a Praça Ulisses Guimarães (Pedreira do Chapadão), um antigo sítio de remoção de basalto convertido em área de lazer e que sofreu com a queda de alguns blocos de rochas na época.

Historicamente, a pedreira foi explorada para a pavimentação do centro de Campinas e da Rodovia Anhanguera, encerrando suas atividades em 1975. Desde então, sua área passou por um processo de manipulação até ser revitalizada em 1990 (Tonso, 1994). Dessa exploração, remanesceram taludes rochosos com mais de 10 metros de altura, os quais, podem apresentar riscos de instabilidade, principalmente, em períodos com processos intempéricos mais ativos, como o período de chuvas. Esses taludes circundam grande parte do parque, apresentando um risco iminente aos usuários, ainda mais nos locais onde é possível se aproximar desses taludes.

Este estudo busca avaliar a estabilidade dos taludes de diabásio Serra Geral, presentes da Pedreira do Chapadão, aplicando métodos de classificação geomecânica, como o *Slope Mass Rating* (SMR) de Romana (1985), para caracterizar as descontinuidades e identificar possíveis movimentações de massa. A análise pretende subsidiar estratégias de mitigação de riscos e medidas preventivas para garantir a segurança dos usuários da praça.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. Localização

Os taludes que serviram de estudo estão localizados na Praça Ulisses Guimarães, popularmente conhecida como Pedreira do Chapadão, no município de Campinas, São Paulo. As coordenadas médias da área são: 285,550.92E e 7,467,073.38S UTM. A Figura 1 mostra a visão lateral da área.

2.2. Caracterização geológica

A área de estudo está localizada, de acordo com Amaral et al. (2019), na região oeste de Campinas, onde predomina o contexto geológico da Bacia do Paraná (Figura 1). Em questão, temos os afloramentos da Supersequência Gondwana III, Jurássico-Eocretáceo, com a Formação Serra Geral, a única unidade da bacia composta por rochas vulcânicas (Milani et al., 2007), cuja disposição estratigráfica é sobreposta às formações Botucatu e Pirambóia, com contatos discordantes e abruptos, e coberta pelo Grupo Bauru. Decorrente dos processos magmáticos, diversos afloramentos em forma de diques e soleiras podem ser encontrados nas áreas de ocorrência (Schneider et al., 1974, Ernesto et al., 1999, Machado et al., 2005 e Milani et al., 2007).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o desenvolvimento da geologia de engenharia, foram necessários criar sistemas de classificação geomecânica para maciços rochosos. Dos diversos modelos que surgiram, os mais aplicados na classificação de maciços são: *Rock Mass Rating* (RMR), de Bieniawski (1989), e o *Rock Tunneling Quality Index* (Q), de Barton et al. (1974). Esses sistemas avaliam, principalmente, a estabilidade de maciços rochosos em obras de escavação de túneis, mas também permite avaliar este critério para taludes. Além disso, foram aperfeiçoados para outras finalidades, regiões e litologias diferentes ao redor do mundo (Bieniawski, 1993).

O *Slope Mass Rating* (SMR), proposto por Romana (1985), é uma dessas variações do sistema de Bieniawski (1989), e se tornou um dos métodos mais relevantes para avaliação da estabilidade de taludes. Esse sistema incorpora parâmetros adicionais ao RMR, considerando fatores como orientação das descontinuidades e suas condições geotécnicas. Estudos recentes de Tomás et al (2007 e 2012) apontam que o SMR é eficaz na identificação de possíveis instabilidades, sendo sua precisão e confiabilidade diretamente relacionadas com a precisão na coleta dos dados e da correta interpretação dos parâmetros analisados.

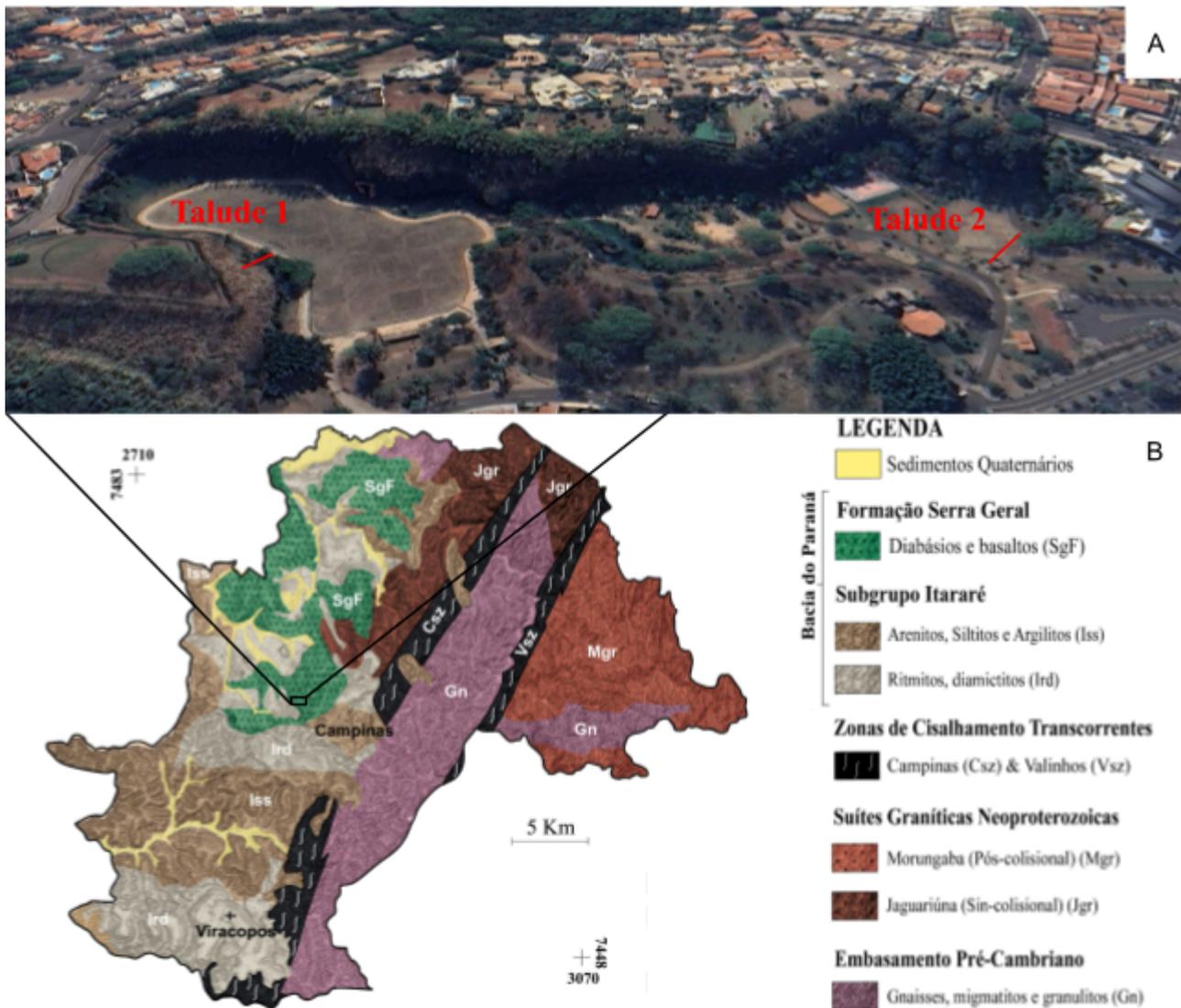


Figura 1. Visão lateral da Praça Ulisses Guimarães (A) e Mapa Geológico de Campinas (Amaral et al., 2019) (B).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Scanline

O método de scanline, conforme normatizado pelo ISRM (1978), foi desenvolvido para a caracterização geomecânica das descontinuidades em maciços rochosos. Essa técnica consiste na demarcação de uma linha graduada sobre a superfície rochosa, permitindo a coleta sistemática e padronizada de intervalos relevantes para a análise da estabilidade da frente de estudo. Ao longo do levantamento devem ser mensurados atributos como posição relativa ao ponto inicial, tipologia estrutural, grau de alteração da rocha e das paredes das descontinuidades, atitude,

espaçamento e abertura das descontinuidades, tipo de preenchimento, continuidade, presença de umidade e rugosidade.

4.2. Slope Mass Rating (SMR)

O método *Slope Mass Rating* (SMR), desenvolvido por Romana (1985), é uma ferramenta amplamente utilizada para avaliação da estabilidade de taludes rochosos. O cálculo do SMR baseia-se no sistema *Rock Mass Rating* (RMR) de Bieniawski (1989), cujas bases da classificação são: resistência da rocha intacta, índice de qualidade de rocha (RQD), espaços das descontinuidades, condição das descontinuidades e presença de água. Dessa forma, Romana incorporou demais fatores que consideram a orientação das descontinuidades, a influência da escavação e as condições geotécnicas do maciço (Figura 2) e são expressos pela seguinte equação:

$$SMR = RMR_b + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4 \quad \text{Equação 1}$$

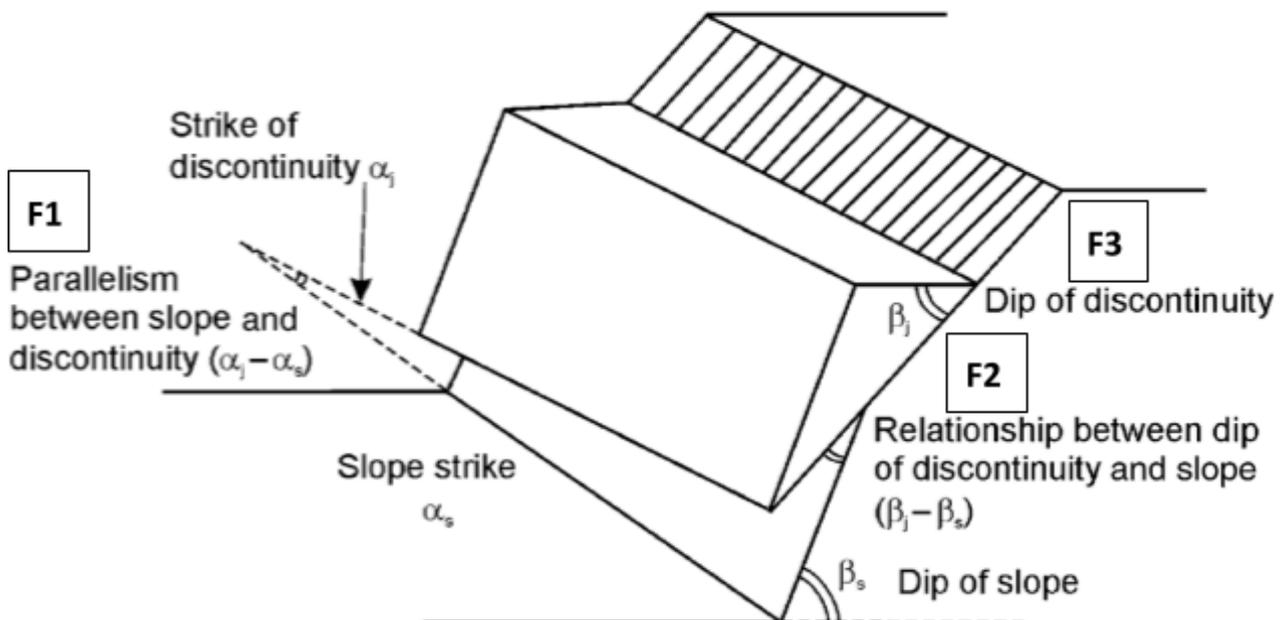


Figura 2. Modelo esquemático dos fatores específicos para classificação no sistema *Slope Mass Rating* (SMR) (Modificado de Sigh e Goel, 2011).

5. RESULTADOS

No presente estudo, a aplicação do SMR foi direcionada aos taludes da Pedreira do Chapadão que apresentavam algum risco, a partir de análise visual primária e os quais o público do parque consegue se aproximar com facilidade. Dessa forma foram identificados 2 taludes principais (Figuras 3 e 4) e neles coletados dados através do método de *scanline*.

Os quais identificaram que o talude 1 apresentava uma qualidade do maciço muito boa, resistência à compressão uniaxial > 250 MPa, RQD igual a 80% e a não ocorrência de água. Em relação às famílias de descontinuidades, foi observada a existência de 4 famílias, que não se articulavam, de modo, a gerar qualquer possibilidade de movimento de blocos a partir da análise cinemática, devido a orientação das mesmas.

No caso do talude 2 tem seu maciço classificado como bom, de resistência à compressão uniaxial > 250 , RQD igual a 95% e, novamente, a não ocorrência de água. Por sua vez, foram identificadas 5 famílias de descontinuidades, que seus modos de ocorrência, indicam a possibilidade de uma fratura em cunha, a partir da relação entre as famílias de 1 e 2 (Figura 5). Além disso, próximo ao limite do ângulo de atrito, porém, externo ao limiar, temos outra fratura em cunha, desta vez, entre as descontinuidades 1 e 5 (Figura 5).

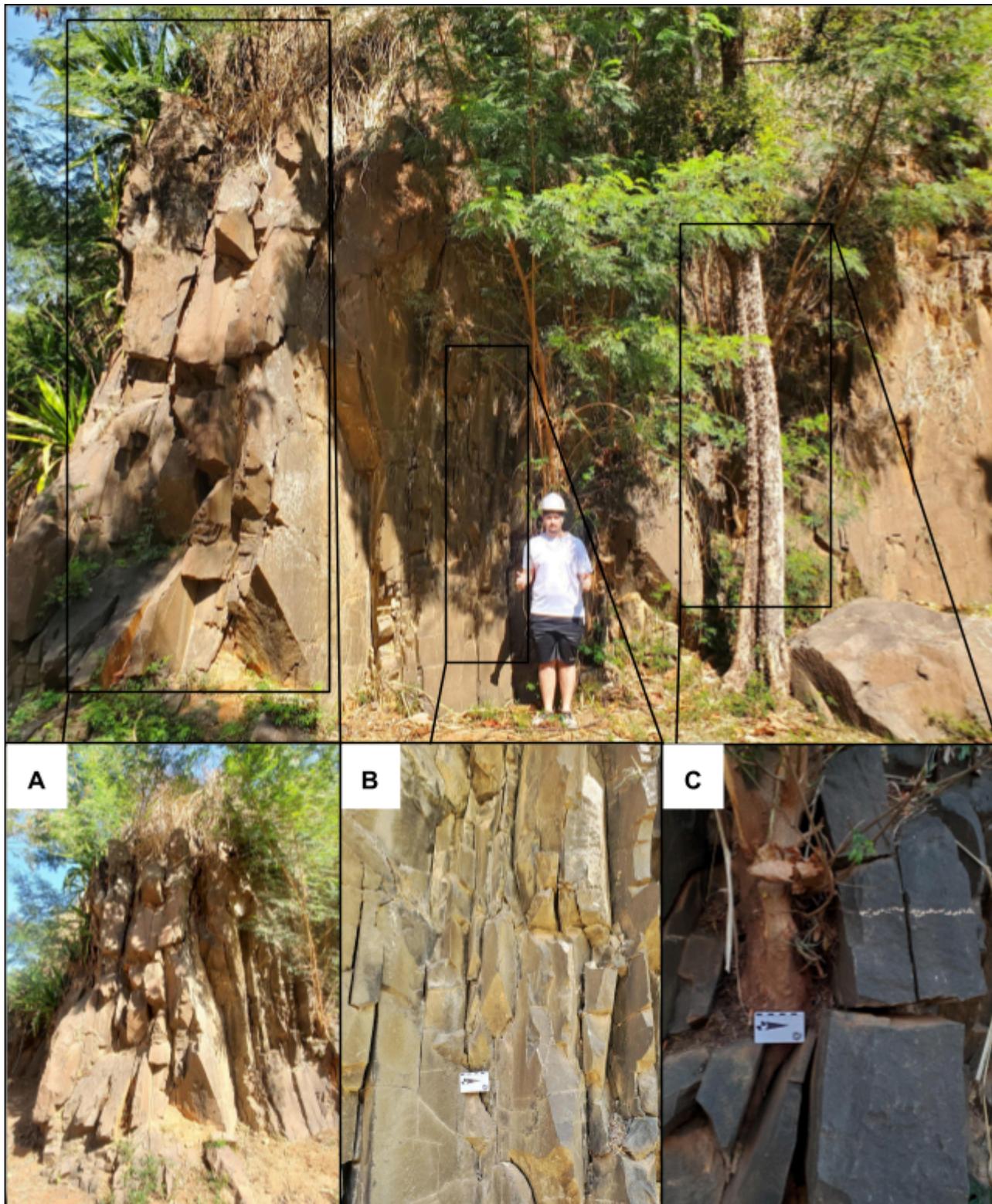


Figura 3. Talude 1, de 13,10 metros de comprimento e aproximadamente 5,50 de altura, com fatores considerados de risco evidenciados para escolha como objeto de estudo. Zona extremamente fraturada com blocos soltos no alto do talude e grande quantidade de vegetação entre as descontinuidades (A). Zona com

fraturamento intenso em um intervalo curto de espaço (B). Vegetação de porte se desenvolvendo entre as descontinuidades (C).

As descontinuidades mais críticas foram comprovadas por meio de estereogramas, permitindo determinar as interseções que favorecem instabilidades. Os resultados indicaram que alguns setores apresentam potencial de ruptura, especialmente em períodos de alta pluviosidade, reforçando a necessidade de medidas preventivas, como remoção de blocos soltos e instalação de barreiras de contenção. Desse modo, é possível fazer a aplicação do SMR nas famílias de descontinuidades do talude 2, que apresentaram a ruptura em cunha, sendo que ambas foram classificadas como boas e estáveis (Tabela 1, 2 e 3).



Figura 4. Talude 2, de 37,20 metros de comprimento e aproximadamente 10 metros de altura, com fatores considerados de risco evidenciados para escolha como objeto de estudo. Zona extremamente fraturada com blocos suspensos no alto do talude (A). Fraturas seguindo a inclusão de fluido magmático diferencial (B). Bloco solto com dimensão métrica em altura e local acessível ao público (C). Cicatriz de movimentos recentes de massa (D).

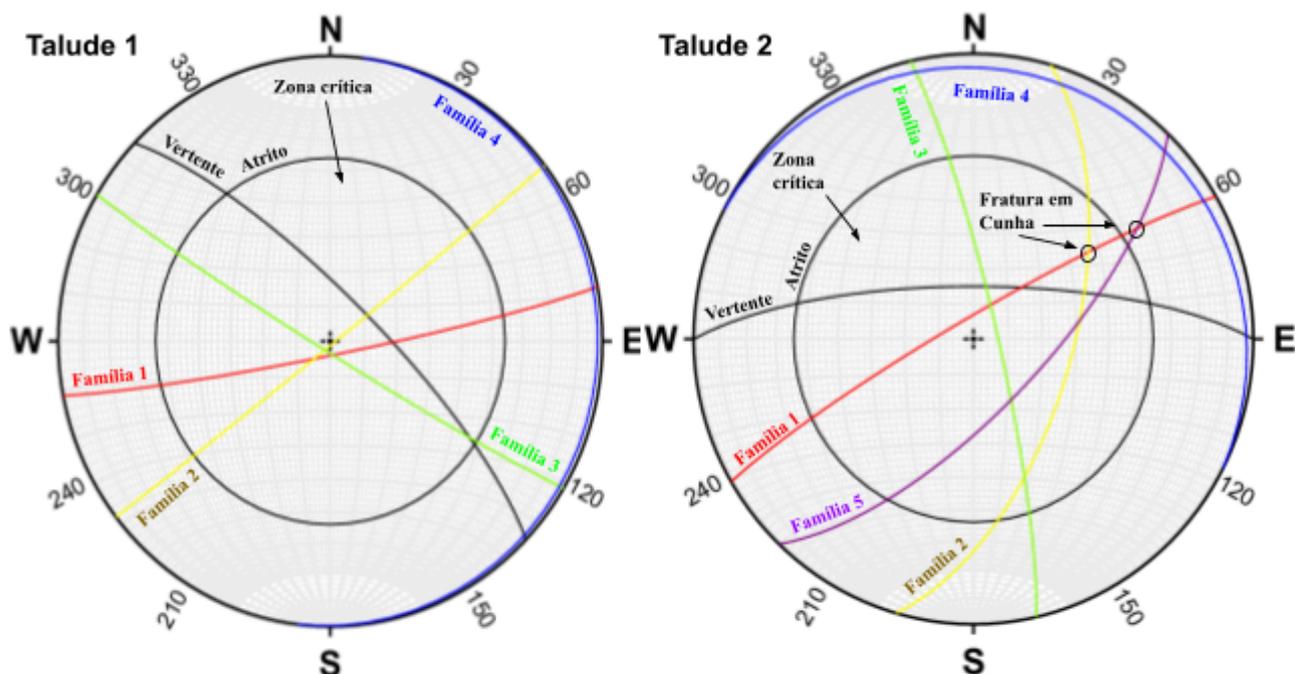


Figura 5. Estereograma com os planos médios das famílias de descontinuidades dos taludes 1 e 2, evidenciando as possíveis fraturas em cunha no segundo talude. Ângulo de atrito atribuído de 36°, conforme Zhang et al (2019).

Tabela 1. Classificação da família 1 do talude 2 no sistema SMR.

SISTEMA SMR - Talude 2 Família de Descontinuidade 1						
Classificação geomecânica de Romana (1985) - "Slope Mass Rating - SMR"						
Tipo de descontinuidades no talude		Muito favorável	Favorável	Normal	Desfavorável	Muito desfavorável
Planar (P)	aj-as	>30°	30-20°	20-10°	10-5°	<5°
Cunha (C)						
Tombamento (T)	aj-as-180					
P/C/T	Peso F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
Planar (P)	Bj	<20°	20-30°	30-35°	35-45°	>45°
Cunha (C)						
P/C	Peso F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
Tombamento (T)	Peso F2	1	1	1	1	1
Planar (P)	Bj-Bs	>10	10-0	0	0-(-10)	<-10°
Cunha (C)						
Tombamento (T)	Bj+Bs	<110	110-120	>120	-	-
P/C/T	F3	0	-6	-25	-50	-60
Método		Talude natural	Pré-corte	Detonação	Escavação	Detonação
F4		15	10	8	0	-8
Classe	SMR	Descrição	Estabilidade	Rupturas	Probabilidade	
I	81 - 100	Muito bom	Completamente estável	Nenhuma	0	
II	61 - 80	Bom	Estável	Alguns blocos	0,2	
III	41 - 60	Normal	Parcialmente	Pequenas	0,4	
IV	21 - 40	Ruim	Instável	Planar ou	0,6	
V	0 - 20	Muito ruim	Completamente	Grandes	0,9	

Tabela 2. Classificação da família 2 do talude 2 no sistema SMR.

SISTEMA SMR - Talude 2 Família de Descontinuidade 2						
Classificação geomecânica de Romana (1985) - "Slope Mass Rating - SMR"						
Tipo de descontinuidades no talude		Muito favorável	Favorável	Normal	Desfavorável	Muito desfavorável
Planar (P)	α_j - α_s	>30°	30-20°	20-10°	10-5°	<5°
Cunha (C)						
Tombamento (T)	α_j - α_s -180					
P/C/T	Peso F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
Planar (P)	B _j	<20°	20-30°	30-35°	35-45°	>45°
Cunha (C)	B _j					
P/C	Peso F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
Tombamento (T)	Peso F2	1	1	1	1	1
Planar (P)	B _j -B _s	>10	10-0	0	0-(-10)	<-10°
Cunha (C)						
Tombamento (T)	B _j +B _s	<110	110-120	>120	-	-
P/C/T	F3	0	-6	-25	-50	-60
Método		Talude	Pré-corte	Detonaç	Escavação	Detonação
F4		15	10	8	0	-8
Classe	SMR	Descrição	Estabilidade	Rupturas	Probabilidade	
I	81 - 100	Muito bom	Completamente estável	Nenhuma	0	
II	61 - 80	Bom	Estável	Alguns blocos	0,2	
III	41 - 60	Normal	Parcialmente	Pequenas	0,4	
IV	21 - 40	Ruim	Instável	Planar ou	0,6	
V	0 - 20	Muito ruim	Completamente	Grandes	0,9	

Tabela 3. Classificação da família 5 do talude 2 no sistema SMR.

SISTEMA SMR - Talude 2 Família de Descontinuidade 5						
Classificação geomecânica de Romana (1985) - "Slope Mass Rating - SMR"						
Tipo de descontinuidades no talude		Muito favorável	Favorável	Normal	Desfavorável	Muito desfavorável
Planar (P)	α_j - α_s	>30°	30-20°	20-10°	10-5°	<5°
Cunha (C)						
Tombamento (T)	α_j - α_s -180					
P/C/T	Peso F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
Planar (P)	B _j	<20°	20-30°	30-35°	35-45°	>45°
Cunha (C)	B _j					
P/C	Peso F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
Tombamento (T)	Peso F2	1	1	1	1	1
Planar (P)	B _j -B _s	>10	10-0	0	0-(-10)	<-10°
Cunha (C)						
Tombamento (T)	B _j +B _s	<110	110-120	>120	-	-
P/C/T	F3	0	-6	-25	-50	-60
Método		Talude natural	Pré-corte	Detonação	Escavação	Detonação
F4		15	10	8	0	-8
Classe	SMR	Descrição	Estabilidade	Rupturas	Probabilidade	
I	81 - 100	Muito bom	Completamente	Nenhuma	0	
II	61 - 80	Bom	Estável	Alguns blocos	0,2	
III	41 - 60	Normal	Parcialmente	Pequenas	0,4	
IV	21 - 40	Ruim	Instável	Planar ou	0,6	
V	0 - 20	Muito ruim	Completamente	Grandes	0,9	

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os levantamentos realizados nos taludes da Praça Ulisses Guimarães, em Campinas, utilizando os métodos de scanline, análise cinemática, *Slope Mass Rating* (SMR), permitiram avaliar a estabilidade dos maciços rochosos e identificar possíveis movimentações de blocos rochosos.

A análise geológica-geotécnica revelou predominância de descontinuidades verticalizadas, variações no espaçamento e abertura das descontinuidades. Características estruturais do maciço relativamente preservadas, pouco ou nada alteradas pelo intemperismo. Foi observado um preenchimento variado das fraturas, mas com ocorrências significativas de vegetação nesses vãos, desde gramíneas e árvores de pequeno porte, fator relevante na avaliação da estabilidade dos taludes. Com todas essas análises e levantamentos o Talude 1 se enquadra na classe 3, considerado um maciço rochoso razoável, enquanto o Talude 2 pertence à classe 2, caracterizado como bom. No entanto, a análise cinemática evidenciou fraturas no Talude 2, revelando maior potencialidade de deslizamentos. Contudo, a aplicação do SMR declarou-se eficaz na identificação de áreas vulneráveis, sendo uma ferramenta essencial para o monitoramento e gestão da estabilidade dos taludes em ambientes urbanos

Assim, recomenda-se a adoção de medidas preventivas, como remoção de blocos soltos e controle de vegetação, além do monitoramento contínuo dos taludes, principalmente em períodos de alta pluviosidade, a fim de minimizar os riscos de movimentação de massa e garantir a segurança dos frequentadores da área. Além disso, para maior amostragem e dados mais representativos de todo o talude é necessário realizar essas coletas de dados em outras alturas.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, W. S. et al (2019) “*U-Pb zircon ages and metamorphic conditions of mafic granulites from the basement of the southern Brasília Orogen, Campinas-SP region*” in *Journal of South American Earth Science*, n. 92, p. 184-196.
- BARTON, N. (1974) “*Engineering classification of rock masses for design of tunnel support*” in *Rock Mechanics*, vol. 6, n. 4, p. 189-236.
- BIENIAWSKI, Z. T. (1989) “*Engineering Rock Mass Classifications*” in *John Wiley & Sons*, p. 251.
- BIENIAWSKI, Z. T. (1993) “*Classification of Rock Masses for Engineering: The RMR system and future trends*” in *Comprehensive Rock Engineering: Principles, practice & projects*. Imperial College of Science, vol. 3, n. 22, p. 553-573.
- CEPAGRI, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. *Climatologia Campinas*. Disponível em: <<https://www.cpa.unicamp.br/graficos>>. Acesso em: 04 nov 2024.
- ERNESTO, M. et al (1999) “*Paleomagnetism, geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the north-eastern paraná magmatic province: tectonic implications*” in *Journal of geodynamics*, vol. 28, p. 321-340.
- ISRM, *International Society for Rock Mechanics*. (1978) “*Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*” in *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 15, p. 319-368.
- MACHADO, F. B. et al (2005) “*As rochas intrusivas da Formação Serra Geral na porção leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo: aspectos petrográficos e geoquímicos - resultados preliminares*” in *Geociências*, vol. 24, n. 1, p. 5-17.
- MILANI, E. J. (2007) “*Bacia do Paraná*” in *Boletim de Geociências*, vol. 15, n. 2, p. 265-287.
- ROMANA, M. R. (1985) “*New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slope*” in *Symposium on the role of rock mechanics ISRM*, p. 49-53.

- SCHNEIDER, L. R. et al (1974) "*Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná*" in Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, p. 41-64.
- SINGH, B. e GOEL, R. K. (2011) "*Slope Mass Rating*" in *Engineering rock mass classification*. Elsevier Inc. Oxford, vol 18, p. 231-243. 2011.
- TONSO, S. (1994) "*As pedreiras no espaço urbano: perspectivas construtivas*". Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Área de Administração e Política de Recursos Minerais, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), p. 6-121.
- TOMÁS, R. et al (2007) "*Modification of Slope Mass Rating (SMR) by continuous functions*" in *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 44, p. 1062-1069.
- TOMÁS, R. et al (2012) "*A graphical approach for Slope Mass Rating (SMR)*" in *Engineering Geology*, vol. 124, p. 67-76.
- ZHANG, N. et al (2019) "*Experimental studies on the basic friction angle of planar rock surfaces by tilt test*" in *Journal of testing and evaluation*, vol. 47, n. 1, p. 256-283.