

CARACTERÍSTICAS DAS DESCONTINUIDADES DA FORMAÇÃO SERRA GERAL EM TALUDES ROCHOSOS NA REGIÃO NORTE DE CAMPINAS-SP

Paulo Alves De Melo Neto ¹; Ana Elisa Abreu²

Resumo – O presente trabalho analisa as características das descontinuidades encontradas em cortes de estrada feitos em diabásios da formação Serra Geral na região norte da cidade de Campinas-SP. Os taludes de corte em rocha são amplamente utilizados na construção civil, sendo a viabilidade, segurança e durabilidade frequentemente dependentes da estabilidade dos taludes executados. Utilizando a técnica de descrição de fraturas em linha de varredura para o levantamento de dados e executando análises cinemáticas dos taludes de estudo para a caracterização geotécnica foi possível identificar as orientações, espaçamentos e persistências diferenciais dos dois taludes estudados. Ao comparar os dois cortes de estrada estudados vemos uma grande variação nas famílias de descontinuidades encontradas e é notável a diferença nos espaçamentos e persistências, gerando grandes blocos no talude próximo a Jaguariúna, e pequenos blocos no talude próximo à Rodovia Dom Pedro. A investigação dos padrões de fraturamento e dimensionamento de blocos é intrínseca à estabilidade de taludes e crucial na proposição de métodos de engenharia adequados à estabilidade de cada talude analisado.

Abstract – The present work analyzes the characteristics of discontinuities found in road cuts made in diabases of the Serra Geral formation in the northern region of Campinas-SP. Rock cut slopes are widely used in civil construction, with the feasibility, safety, and durability often depending on the stability of the slopes constructed. Using the fracture description technique os scanlines survey for data collection and performing kinematic analyses of the studied slopes for geotechnical characterization, it was possible to identify the orientations, spacings, and differential persistence of the two slopes studied. Comparing the two road cuts, we observe a significant variation in the families of discontinuities found, with notable differences in spacings and persistence, resulting in large blocks on the slope near Jaguariúna and small blocks on the slope near Rodovia Dom Pedro. The investigation of fracture patterns and block sizing is intrinsic to slope stability and crucial in proposing engineering methods suitable for the stability of each analyzed slope.

Palavras-Chave – Estabilidade de taludes; Análise cinemática; Scan line; Formação Serra Geral.

¹ Geól., Universidade Estadual de Campinas, (12) 99774-6252, p223130@dac.unicamp.br

² Geól., PhD, Universidade Estadual de Campinas, (19)3521-4575, anaelisa@ige.unicamp.br

1. INTRODUÇÃO

Os taludes de corte em rocha desempenham um papel fundamental na viabilidade da malha rodoviária do país permitindo obras mais lineares com menores variações topográficas, sendo a estabilidade dos mesmos fundamental para a segurança e durabilidade das obras. Do ponto de vista geotécnico, a estabilidade de taludes em rochas é extremamente dependente das descontinuidades encontradas no maciço rochoso.

A descrição de descontinuidades em rochas na geologia é de extrema importância geológica-geotécnica, devido ao controle que estruturas como juntas, falhas, zonas de cisalhamento e fraturas têm sobre o comportamento hidráulico (permeabilidade), mecânico (resistência) e geotécnico (estabilidade). A análise cinemática e a descrição sistemática desses padrões permitem a compreensão dos condicionantes geológicos locais que impactam na resistência e estabilidade de obras de geologia de engenharia e a permeabilidade de aquíferos.

Neste trabalho realizou-se a caracterização das descontinuidades de dois taludes rochosos da Formação Serra Geral, que possuem uma distância de 10,5 km entre eles, na região de Campinas-SP. Apesar de serem taludes em uma mesma litologia, eles exibem características distintas do ponto de vista geotécnico, sendo que um deles tem blocos de volume pequenos e o outro tem blocos de volume moderados na classificação proposta por Palmstrom (1995). O estudo tem como objetivo a descrição detalhada dos padrões das descontinuidades da Formação Serra Geral, bem como as contribuições delas para a instabilidade geotécnica dos taludes, a partir da comparação de parâmetros das orientações das descontinuidades e dos modos de ruptura esperados em dois taludes de corte no norte de Campinas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Fatores controladores do volume dos blocos

O valor exato de Volume de Bloco (V_b) pode ser expresso com base nas relações propostas por Palmstrom (2005), utilizando o fator de forma do bloco (β) e a contagem volumétrica de juntas (J_v). A relação entre o volume do bloco e a contagem volumétrica de juntas pode ser expressa pela equação 1. A contagem volumétrica de juntas pode ser definida como o número de juntas que interceptam o volume de um metro quadrado, podendo ser mensurada pela equação 2, onde S é o espaçamento médio de uma família.

$$V_b = \beta \times J_v^{-3} \quad (\text{Equação 1})$$

$$J_v = 1/S_1 + 1/S_2 + 1/S_3 + \dots 1/S_n \quad (\text{Equação 2})$$

O fator de forma do bloco é um número adimensional, que corresponde a um coeficiente da forma do bloco, com isso a relação entre o espaçamento médio das famílias de fraturas e o tamanho do bloco gerado é diretamente proporcional.

2.2. Os taludes de corte estudados

A Área de estudo está localizada a Nordeste no município de Campinas (Figura 5), estado de São Paulo, podendo ser dividida nos taludes de Jaguariúna (Talude 1) e talude do shopping Dom Pedro (Talude 2), que possuem 10,5 km de distância entre si. O talude de Jaguariúna é localizado entre os km 124 e 125 da SP-340, próximo a divisa de Campinas e o Município de Jaguariúna (23K 292493.47 m E, 7481634.26 m S UTM). O talude do shopping Dom Pedro está localizado na Avenida Guilherme Campos, no bairro Jardim Santa Genebra (23K 288672.00 m E, 7471735.00 m S UTM).

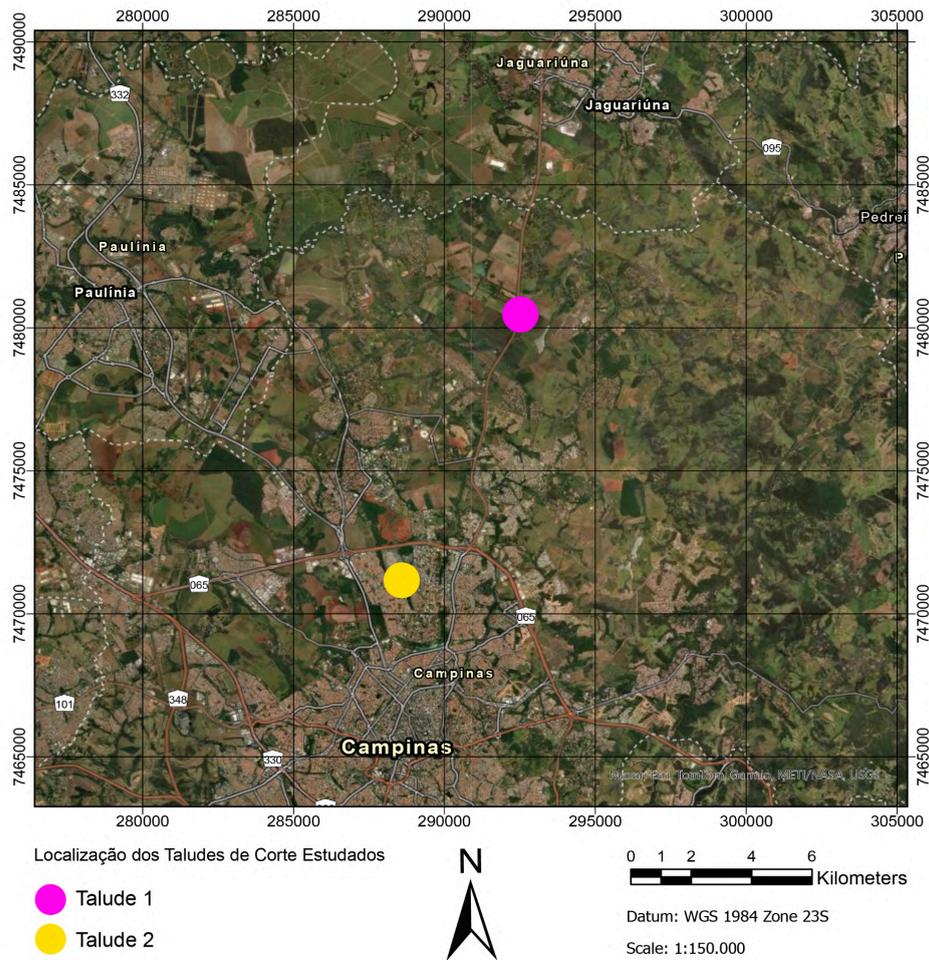


Figura 1. Localização da área de estudo.(Acervo pessoal)



Figura 2. Talude de corte 1, próximo a cidade de Jaguariúna.(Acervo pessoal)



Figura 3. Talude de corte 2, próximo ao shopping Dom Pedro.(Acervo pessoal)

2.3. Caracterização geológica

A área de estudo está localizada no Contexto Geológico da Bacia do Paraná, tendo como rocha alvo os diabásios da Formação Serra Geral (Figura 4), encaixados nas rochas sedimentares do Subgrupo Itararé (Milani et al. 2007), e por vezes em contatos com as suítes graníticas Jaguariúna e Morungaba e com as rochas metamórficas do Complexo Itapira.

Os derrames da Formação Serra Geral possuem descontinuidades primárias atreladas ao padrão de contração durante o resfriamento, segundo o padrão clássico de juntas em basaltos sendo frequentemente descritos como juntas subverticais desenvolvidas em um sistema hexagonal, formando prismas denominados colunatas (Figura 5) (Curti, 2011).

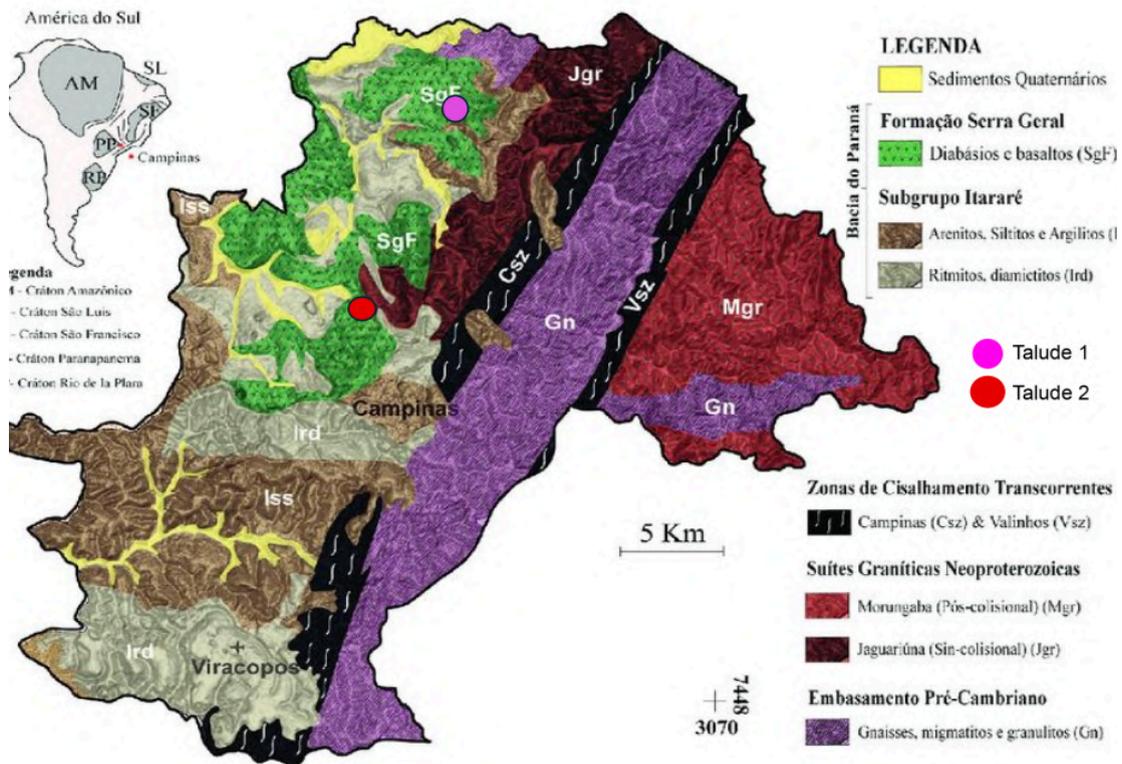


Figura 4. Localização da área de estudo no mapa geológico da cidade de Campinas (Adaptado de Amaral e Oliveira, 2025).

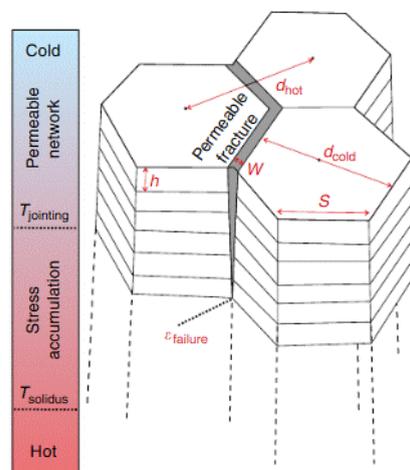


Figura 5. Esquema de colunatas. (Lamur, 2018)

2.4. Caracterização geotécnica

As discontinuidades foram descritas e classificadas em campo de acordo com o proposto pela ISRM (1978), utilizando o método de scanlines que implica na materialização de uma linha graduada no talude e a descrição sistemática de todas as discontinuidades que interceptam esta linha, descrevendo parâmetros como: Distância do ponto inicial, tipo de estrutura, estado de alteração da discontinuidade, atitude, espaçamento, abertura, preenchimento, persistência, presença de água e rugosidade. Utilizando as classificações para cada parâmetro propostas pela ISRM, 1978 e as atitudes submetidas ao Software de análise estereográfica Stereonet separadamente para os dois taludes como pólos, utilizando o ângulo máximo do atrito interno do diabásio de 35° definido por Zang et al.(2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No talude 1 próximo a cidade de Jaguariúna o levantamento se deu em uma scanline de 9m horizontal, foram descritas ao todo 37 discontinuidades, das quais as paralelas a scanline foram tomadas múltiplas medidas para constituir uma densidade de pontos a ser identificada nos estereogramas que não seria possível devido ao paralelismo com a scanline. Foi observada a tendência a formação de blocos de formato cúbico de dimensões métricas e em porções mais restritas blocos prismáticos decimétricos. Os dados de atitude coletados foram inseridos na rede de Schmidt, resultando na delimitação de cinco famílias de fraturas principais (Figura 6).

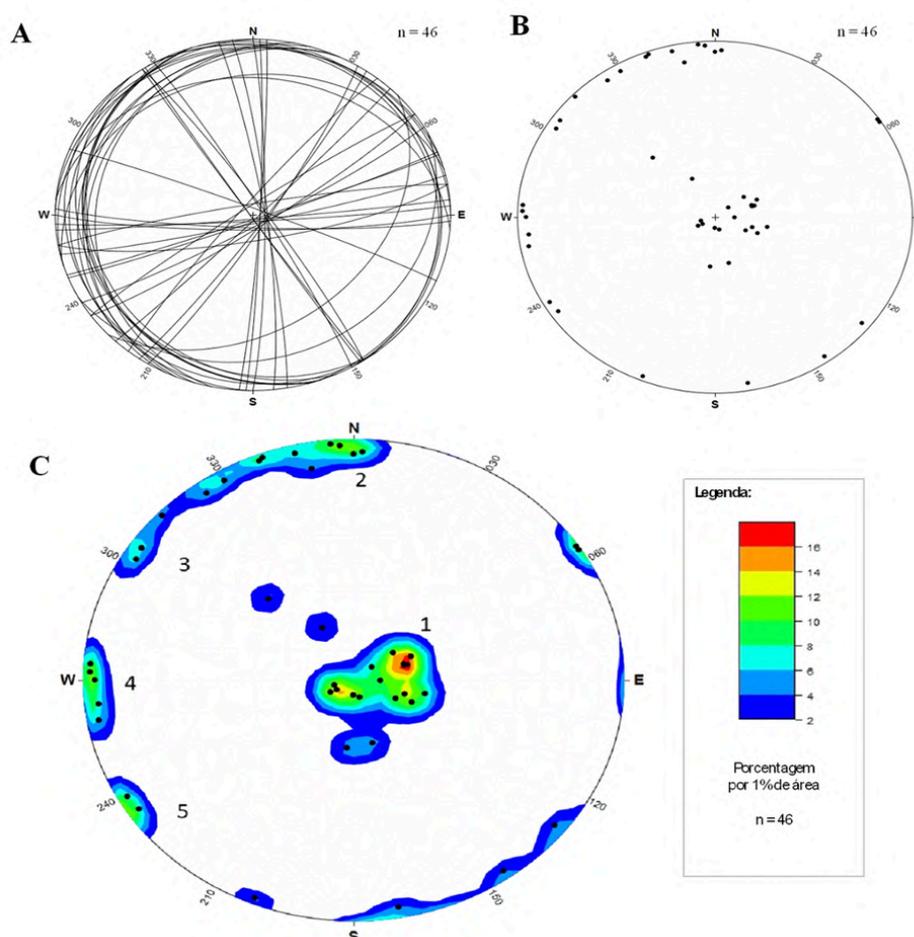


Figura 6. Estereograma com os planos levantados no talude 1 (A). Polos obtidos a partir dos planos do talude 1 (B). Contorno das concentrações de polos que delimitam as famílias 1, 2, 3, 4 e 5 (C). (Arquivo pessoal)

A família de descontinuidades 1 se apresenta espacialmente como uma família sub-horizontal com direções de mergulho variadas que interceptam a face livre do talude, tendo espaçamento moderado, persistência média, Aberturas variando de bem fechadas a moderadamente largas, com superfície de rugosidade 4, de ondulações métricas e presença de água. A família de descontinuidades 2 possui direção de mergulho para 176° e mergulho médio de 88° variando de NNW a SSE. Esta família possui grande variabilidade em espaçamentos e abertura, variando de extremamente pequeno a grande e bem fechada a aberta, apresentando por vezes presença de óxido de manganês nas paredes das descontinuidades e rugosidades variando do tipo 3 ao 7. A terceira família identificada possui direção de mergulho para 125° e mergulho médio de 88° variando de SE a NW. As descontinuidades apresentam espaçamentos muito pequenos a grande, persistência muito pequena a média, sendo abertas e de rugosidade tipo 4, por vezes com preenchimento de solo e presença de água. O grupo de descontinuidades 4 é definido por descontinuidades de direção de camada N-S e caimento para E com intensidade de 86°, esta família possui espaçamento grande, feições abertas e persistências pequenas com rugosidade do tipo 5. A família 5 de direção de mergulho 058° com mergulhos próximos de 88° e direção variável NE-SW, apresentando espaçamento grande, com persistência pequena, rugosidade tipo 4 e feição aberta por vezes apresentando preenchimento de calcita e argila.

No talude 2 próximo ao shopping Dom Pedro o levantamento se deu em uma scanline de 8m horizontal, foram descritas ao todo 58 descontinuidades, das quais as paralelas a scanline foram tomadas múltiplas medidas com o objetivo de constituir uma densidade de pontos a ser identificada nos estereogramas que não seria possível devido ao paralelismo com a scanline. Foi observada a tendência à formação de pequenos blocos de formato cúbico, diferenciando-se dos formados no talude 1 visualmente. Durante o levantamento de campo e após a submissão dos dados a uma rede estereográfica foram delimitadas quatro famílias de fraturas principais (Figura 7).

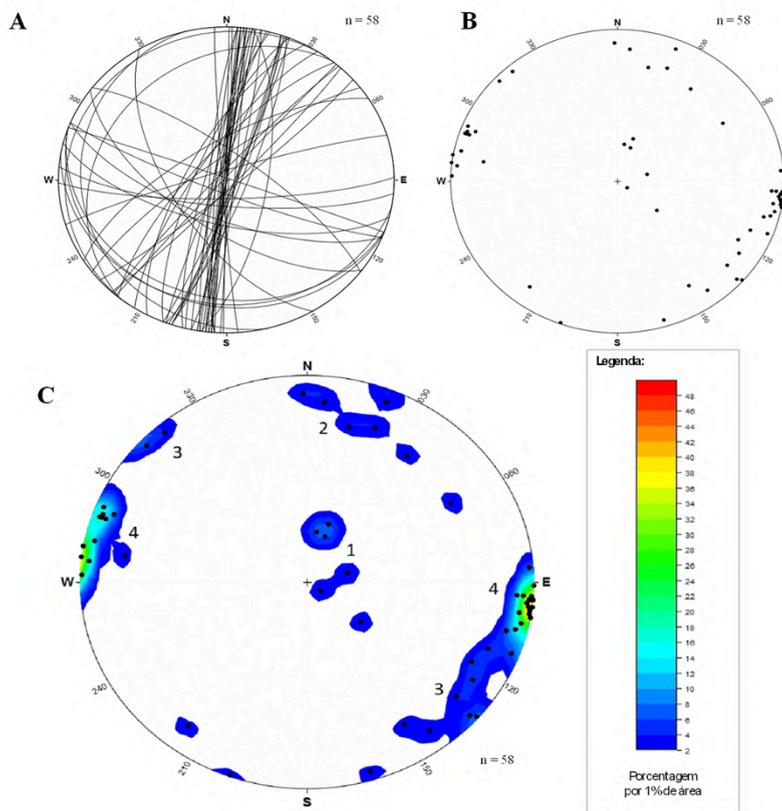


Figura 7. Estereograma com os planos levantados no talude 2(A). Polos obtidos a partir dos planos do talude 2(B). Contorno das concentrações de polos que delimitam as famílias 1, 2, 3 e 4 (C). (Arquivo pessoal)

A família de descontinuidades 1 representa as fraturas sub-horizontais, de atitude geral $225^{\circ}/15^{\circ}$, com persistência pequena, parcialmente aberta, espaçamento pequeno e rugosidade tipo 4. A Família de descontinuidades 2 representa os pólos dos planos de atitude geral $193/72^{\circ}$, com variações da direção de mergulho para SE ou NW e espaçamento muito pequeno a pequeno, persistência muito pequena, parcialmente aberta, rugosidade tipo 4 e sem preenchimentos e nenhuma presença de água. A terceira família de fraturas, tem direção média de mergulho para 312° e intensidade média 89° , variando o caimento para SE e NW. As descontinuidades apresentam espaçamento muito pequeno a pequeno, com persistência média, sendo parcialmente abertas e rugosidade tipo 4. A quarta família de fraturas tem orientação $276^{\circ}/89^{\circ}$, sendo a ocorrência principal do talude, com caimento variando de W a E. As descontinuidades possuem espaçamentos muito pequeno e persistência média, sendo parcialmente aberta com rugosidade tipo 3 a 4 e por vezes apresentando preenchimento de solo.

Localmente foi encontrada uma fratura pertencente a família 4 de orientação $085^{\circ}/86^{\circ}$ com preenchimento de calcita, com slickenfibers (micro pull-apart), com linha de orientação média $185^{\circ}/13^{\circ}$, com degraus indicando uma componente dextral de movimento em um período posterior ao resfriamento das rochas hospedeiras (Figura 8).



Figura 8. Slickenfibers encontrados no preenchimento de calcita. (Arquivo pessoal)

4. Discussão

Verificou-se que o padrão fraturamento dos maciços nas duas localidades é diferente, sendo evidente a direção preferencial das descontinuidades do talude 2, e de difícil identificação no talude 1. As descontinuidades da família 4 do talude 2 apresentam grande preferência N-S, e o preenchimento calcítico com slickenfibers indica a influência tectônica sobre a sua gênese, regendo as direções preferenciais de grande parte das estruturas encontradas neste talude. O talude 1 não apresentou indícios conclusivos da influência da propagação de esforços, mas sim das descontinuidades primárias, apresentando famílias de descontinuidades com intervalo angular próximo a 60° , como esperado do padrão de resfriamento de colunatas.

Apesar de o talude 1 ter cinco famílias de fraturas e o talude 2 quatro, os blocos formados em 1 são maiores, devido às características das descontinuidades. As persistências muito pequena a pequena obtida no talude 1 resulta em um menor número de interligações entre as descontinuidades, restringindo a formação completa de blocos, enquanto para o talude 2 a alta frequência de persistências médias propicia maior interligação entre as descontinuidades, assim gerando blocos com mais frequência.

Os espaçamentos encontrados nos taludes são os grandes diferenciadores nas dimensões dos blocos gerados, como evidenciado por Palmstrom, 2005 a relação entre o tamanho dos espaçamentos e volume do bloco gerado é diretamente proporcional. Para o talude 1 tivemos o predomínio de espaçamentos moderados e grande (Figura 9), enquanto para o talude 2 o predomínio foi de muito pequeno e pequeno (Figura 10), evidenciando a diferença dos blocos encontrados para as duas localidades.

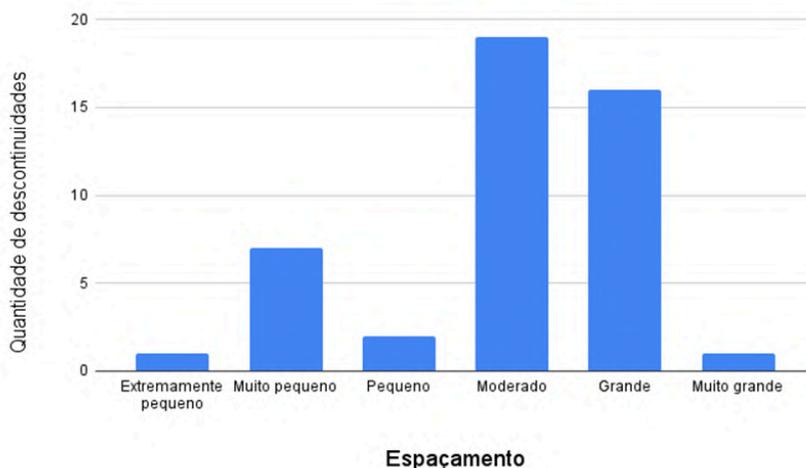


Figura 9. Frequência dos Espaçamentos das descontinuidades identificadas no talude 1.(Arquivo pessoal)

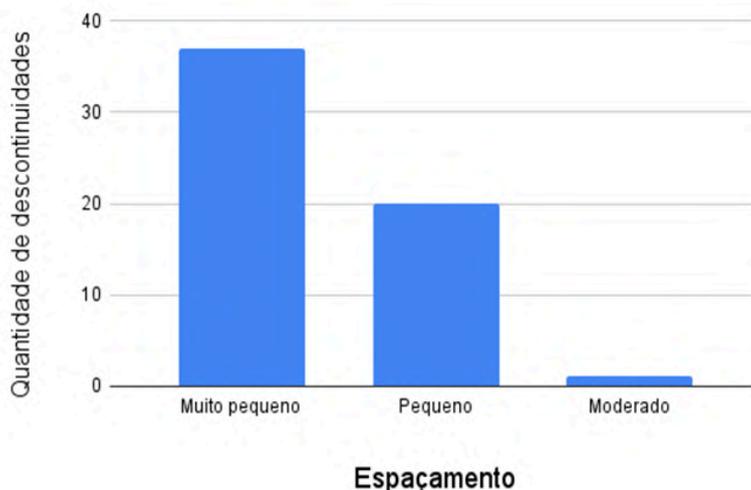


Figura 10. Frequência dos Espaçamentos das descontinuidades identificadas no talude 2.(Arquivo pessoal)

4.1. Análise Cinemática dos Taludes

A configuração das famílias de fraturas do talude 1 (Figura 11) não indica nenhum provável modo de ruptura, pois nenhuma das famílias satisfaz as condições estabelecidas pela ISRM (1978), porém a relação geométrica entre a direção das famílias 2, 3 e 5 sugere que se trata de estruturas primárias de resfriamento em basaltos, formando uma geometria regular de prismas de base hexagonal, evidenciadas pelas diferenças de direção em intervalos de 60° .

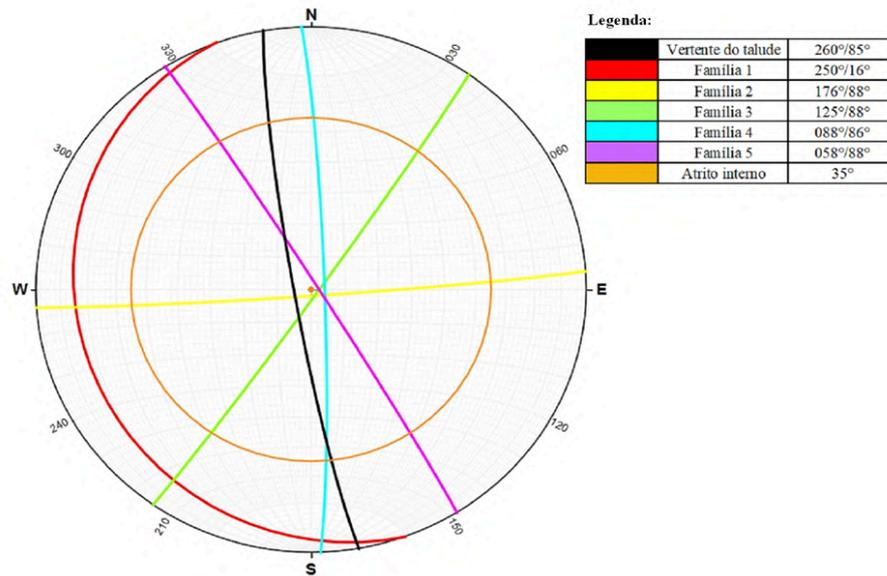


Figura 11. Estereograma produzido para a análise cinemática das descontinuidades do talude 1. (Arquivo pessoal)

O talude 2 (Figura 12) apresentou condições favoráveis a rupturas em cunha, condicionado pela intersecção das famílias 2 e 3, formando uma linha de orientação $226^\circ/71^\circ$, que aflora na face livre do talude com inclinação que supera o ângulo de atrito interno, gerando rupturas do tipo cunha na direção da linha de intersecção.

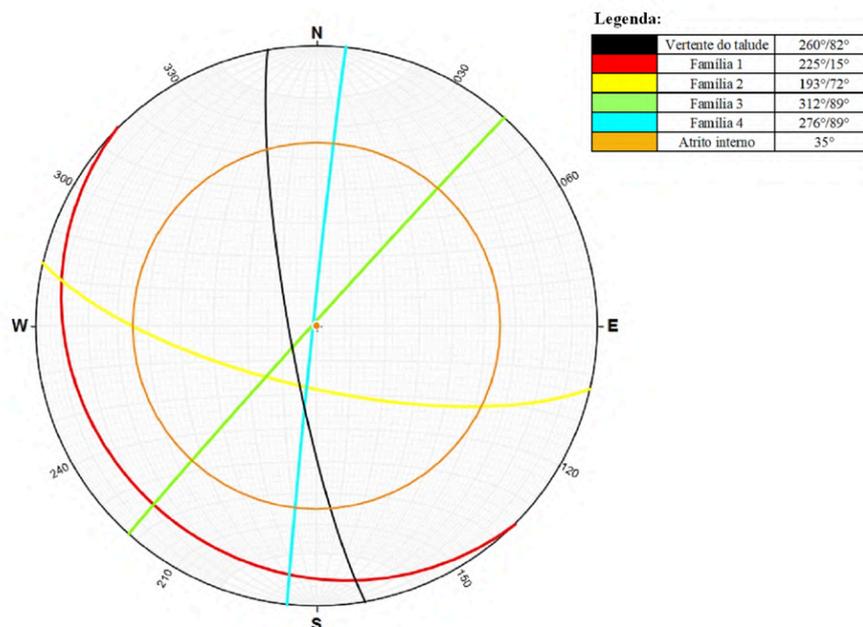


Figura 12: Estereograma produzido para a análise cinemática das descontinuidades do talude 2. (Arquivo pessoal)

5. CONCLUSÕES

As descontinuidades da formação Serra Geral são tópico importante na geologia de Campinas, influenciando obras de engenharia civil, regendo a recarga e transmissividade de aquíferos e guardando registros neotectônicos da região.

Do ponto de vista geotécnico a influência tectônica é decisiva para a configuração atual das descontinuidades no talude 1, localizado em frente ao shopping Dom Pedro, principalmente para as persistências e espaçamentos gerados nas descontinuidades observadas, resultando em blocos de dimensões decimétricas, muito numerosos. A configuração espacial das descontinuidades permite a formação de cunhas de ruptura.

No talude 2, situado entre Jaguariúna e Campinas, as persistências são menores e os espaçamentos são maiores, constituindo blocos de dimensões métricas. O fraturamento neste talude parece ser de origem primária e não de origem tectônica. A análise cinemática não indicou possibilidade de rupturas em cunha, por tombamento ou planares. A baixa persistência e os resultados da análise cinemática explicam o aspecto geral de maior estabilidade neste talude.

REFERÊNCIAS

AMARAL, W.; OLIVEIRA, L. Registro de metamorfismo de alto grau no embasamento paleoproterozoico do Município de Campinas (SP). *Terrae Didactica*, v. 21, 2025.

BARTON, N., CHOUBEY, V. (1977) "The shear strength of rock joints in theory and practice", *Rock Mechanics*, v. 10, n. 1-2, p. 1-54.

CURTI, D. K. Tipologia e origem das fraturas sub-horizontais em basaltos da Formação Serra Geral. 2011. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

ISMR (International Society for Rock Mechanics) (1978) "Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock mechanics", *International Journal of Rock Mechanics, Science and Geomechanics*, v. 15, p. 319-368.

MILANI, E. J., MELO, J. H. G., SOUZA, P. A., FERNANDES, L. A., FRANÇA, A. B. (2007) "Bacia do Paraná", *Boletim de Geociências*, v. 15, n. 2, p. 265-287, Petrobras, Rio de Janeiro.

PALMSTRÖM, A. (1995) "Rmi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes", Dissertação de Doutorado, University of Oslo, Department of Geology, 400 p.

ZANG, N., LI, C. C., LU, A., CHEN, X., LIU, D., ZHU, E. (2019) "Experimental studies on the basic friction angle of planar rock surfaces by tilt test", *Journal of Testing and Evaluation*, v. 47, n. 1, p. 256-283.