

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA- GEOTÉCNICA DE MACIÇOS ROCHOSOS MARGINAIS À BR-262

Allan Erlikhman Medeiros Santos (UFOP)

Milene Sabino Lana (UFOP)

Denise de Fátima Santos da Silva (UFOP)

Larissa Regina Costa Silveira (UFOP)

Otávio Pataro Generoso Sales (UFOP)

Tatiana Barreto dos Santos (UFOP)

Resumo: O transporte rodoviário é responsável no Brasil por grande parte dos fluxos de bens e pessoas, fomentando a economia e mobilidade no Brasil que apresenta extensões continentais. Neste contexto estudos relacionados à caracterização geológica-geotécnica de maciços em margens de rodovias podem contribuir para a segurança social e econômica em escalas locais e regionais. O trabalho apresenta a caracterização geológica-geotécnica do trecho compreendido entre os quilômetros 356 e 406 da rodovia BR-262, localizada no estado de Minas Gerais, passando pelos municípios de Betim, Juatuba, Florestal e Pará de Minas. Dentre as justificativas para a escolha do trecho em estudo destaca-se a importância deste trecho para a região, devido ao tráfego de pessoas e bens, sendo uma alternativa de conexão da região metropolitana de Belo Horizonte com o restante do Estado. A partir dos resultados da caracterização geológico-geotécnica foi possível avaliar as condições dos maciços rochosos que estão nas margens do trecho estudado e construir uma proposta de priorização em casos de intervenção para obras de estabilização.

Palavras-chave: Caracterização geotécnica, caracterização geológica, classificações geomecânicas, taludes de rodovia, rodovia BR262.

1. INTRODUÇÃO

Responsável por cerca de 60% dos fluxos de bens e pessoas, o transporte rodoviário, teve o seu crescimento da frota de motocicletas, utilitários e automóveis, impulsionado por políticas de incentivo à indústria automobilística, com a concessão de crédito e isenções tributárias (Alves, 2014; MTPAC & EPL, 2016). As rodovias, por se tratarem de obras lineares de grande extensão, cortam diferentes sítios geológicos com maciços rochosos em diferentes condições, sendo necessário por muitas vezes a construção de taludes de corte, escavados em maciços rochosos e/ou solo. Neste contexto estudos relacionados à caracterização geológica-geotécnica de maciços em margens de rodovias podem contribuir para a segurança social e econômica em escalas locais e regionais.

Inserida nos estados do Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul, a rodovia BR-262 pode ser considerada uma rodovia estratégica para escoamento de bens e passageiros, fomentando a economia e mobilidade no Brasil. Por se tratar de alternativa de conexão entre a região metropolitana de Belo Horizonte e as grandes regiões do Centro-Oeste Mineiro e Triângulo Mineiro, dois taludes rochosos da rodovia BR-262 foram escolhidos para caracterização geológica-geotécnica. Os taludes selecionados estão localizados nos quilômetros 356 e 406, de coordenadas UTM 0580906/7790545 e 0536200/7800220 e nas cidades de Betim e Pará de Minas, respectivamente (Figura 1). O Talude de Pará de Minas está apresentado na Figura 2.



Figura 1. Localização dos taludes nos trechos Km 356 e Km 406 da BR-262.



Figura 2. Talude de Pará de Minas.

Os taludes analisados são compostos por gnaisses inseridos dentro do Complexo Divinópolis e do Complexo Belo Horizonte. Para a caracterização geológica-geotécnica foram levantados dados relativos à geologia do local e os parâmetros geotécnicos para a classificação geomecânica dos maciços estudados.

Os objetivos da presente pesquisa foi de caracterizar geotécnicamente os taludes apresentados, a partir da realização de trabalhos de campo, vistorias nos taludes, levantamento de dados, realização de classificações geomecânicas e análises de probabilidades de ruptura. Assim, foram levantados os parâmetros necessários para a definição das famílias de descontinuidades presentes no maciço rochoso e parâmetros relacionados ao *Rock Mass Rating* (RMR) proposto por Bieniawski (1976, 1989), tais como resistência da rocha intacta, *Rock Quality Designation* (RQD), espaçamento, condições das descontinuidades e condição de fluxo de água. Importante salientar que os levantamentos de campo foram realizados na mesma época, com intuito de evitar interpretações equivocadas em relação a problemas de fluxo.

2. METODOLOGIA

A metodologia da presente pesquisa foi baseada em três etapas: seleção das áreas a serem estudadas, levantamento de campo e processamento dos dados com intuito de caracterizar, sob o ponto de vista geológico-geotécnico, os taludes rochosos dos trechos 356 Km e 406 Km da rodovia BR-262.

Os taludes estudados foram selecionados devido à importância nacional deste trecho, que apresenta tráfego intenso de pessoas e bens. Além disso, esta rodovia é alternativa de conexão não só da região metropolitana de Belo Horizonte ao Triângulo Mineiro, mas também é uma rodovia que interliga o estado do Espírito Santo ao Mato Grosso do Sul.

Nas etapas de levantamento de campo e processamento dos dados, primeiramente foram identificados e caracterizados os litotipos de rochas presentes no talude. Para a caracterização geológico-geotécnica dos maciços rochosos estudados, determinou-se o RQD dos maciços rochosos por meio da relação proposta por Palmström (1974), Equação 1. Para determinação do contador volumétrico de juntas (J_v), idealizado por Palmström em 1974, foram utilizados os espaçamentos médios das famílias de descontinuidades (S_i) por meio da Equação 2, como proposto por Palmström (1982).

$$RQD = 115 - 3,3J_v \quad (1)$$

$$J_v = \sum 1/S_i \quad (2)$$

A resistência da rocha intacta foi determinada a partir do teste do martelo de geólogo, conforme as recomendações propostas pela ISRM (*International Society for Rock Mechanics*). As determinações do RMR foram realizadas de acordo com Bieniawski (1976, 1989), utilizando os parâmetros de resistência da rocha intacta, RQD, espaçamento, condições das descontinuidades e condição de fluxo de água.

Para determinação das probabilidades de ruptura foram realizadas as análises cinemáticas no *software* da *Rocscience*, *Dips*, versão 6.0. Foram realizadas a análise de probabilidades de ruptura planar, ruptura em cunha e tombamento de blocos, rupturas verificadas em campo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a caracterização geológico-geotécnica do trecho compreendido entre os quilômetros 356 e 406 da rodovia BR-262, foram selecionados dois taludes em maciços rochosos marginais a rodovia, localizados nas cidades de Pará de Minas e Betim. Dentre os taludes estudados, destaca-se a setorização do talude localizado em Pará de Minas devido à heterogeneidade de suas características, tais como grau de alteração, fraturamento do maciço, dimensões e condições de fluxo de água no maciço. Assim, o talude de Pará de Minas foi dividido em dois setores, Setores 1 e 2.

O talude de Betim (Km 356), possui 10 metros de altura, 100 metros de extensão. e está inserido no Complexo Belo Horizonte. Este maciço é constituído de gnaisse de coloração acinzentada, com bandamento gnáissico milimétrico a centimétrico. Este maciço é cortado por diques leucocráticos e possui porções migmatizadas.

Já o talude localizado na cidade de Pará de Minas (Km 406), apresenta 12 metros de altura, 405 metros de extensão e está inserido no Complexo Divinópolis. Este talude é constituído de gnaisses

milonitizados, com presença de diques de coloração rosa, compostos de feldspato potássico de espessura métrica.

Foram levantadas as atitudes das discontinuidades presentes nos maciços rochosos em estudo. Em ambos maciços rochosos foram identificadas 2 famílias de discontinuidades, denominadas Família 1 e Família 2. As Figuras 3 e 4 mostram as atitudes médias das famílias de discontinuidades presentes nos taludes Pará de Minas e Betim, respectivamente. A Tabela 1 apresenta os valores das atitudes médias das famílias de discontinuidades presentes nos taludes estudados.

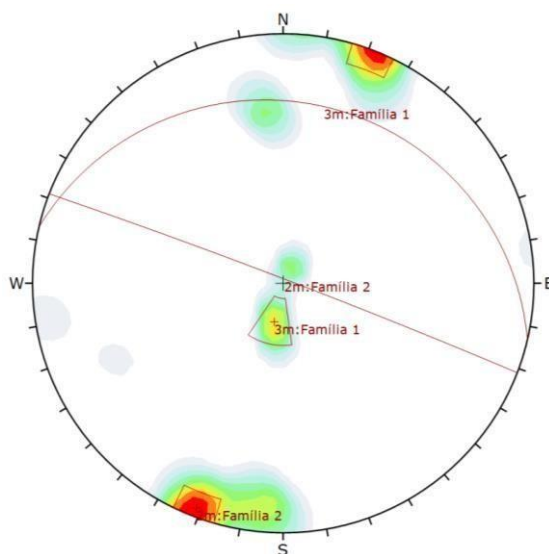


Figura 3 –Famílias de descontinuidades presentes no Talude de Pará de Minas.

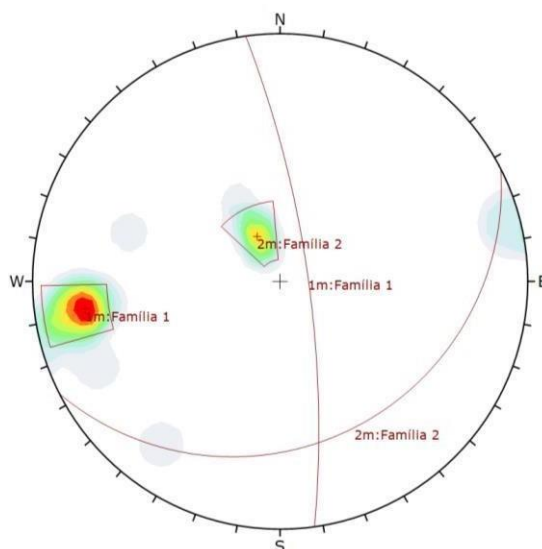


Figura 4 –Famílias de descontinuidades presentes no talude de Betim.

Tabela 3.1– Atitude média das famílias de descontinuidades.

Taludes	Famílias	Atitude média
Talude de Pará de Minas	Família 1	18/013
	Família 2	88/021
Talude de Betim	Família 1	77/082
	Família 2	23/153

A determinação do RQD nos maciços rochosos estudados foi realizada por meio da relação proposta por Palmström (1982). Os espaçamentos médios estão apresentados na Tabela 3.2. A Tabela 3.3 apresenta os resultados do Contador Volumétrico de juntas (J_v) e do RQD.

Tabela 3.2 – Espaçamento médio das descontinuidades.

Talude	Espaçamento Médio (metros)	
	Família 1	Família 2
Pará de Minas	Setor 1	0,76
	Setor 2	0,12
Betim	0,20	0,20

Tabela 3.3 – J_v e RQD medidos nos taludes.

Talude	Contador Volumétrico		RQD
	Setor	Valor	
Pará de Minas	Setor 1	3,11	100
	Setor 2	14,21	68
Betim		10	82

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3.3 é possível aplicar as classificações propostas por Deere *et al.* (1967) e Palmström (1996), baseadas nos valores de RQD e J_v , respectivamente. A classificação de Deere *et al.* (1967) descreve a qualidade do maciço rochoso por meio do RQD. A classificação de Palmström (1996) descreve o grau de fraturamento do maciço rochoso com base nos valores de J_v .

A Tabela 3.4 apresenta o resultado da classificação do grau de fraturamento do maciço rochoso segundo Palmström (1996). A Tabela 3.5 apresenta o resultado da classificação da qualidade do maciço rochoso segundo Deere *et al.* (1967).

Tabela 3.4 – Determinação do grau de fraturamento de acordo com Palmström (1996).

Talude		(Jv)	Grau de fraturamento
Pará de Minas	Setor 1	3,11	Moderadamente Descontínuo
	Setor 2	14,21	Muito descontínuo alto a
Betim		10,00	Moderadamente descontínuo

Tabela 3.5 – Determinação da qualidade da rocha de acordo com Deere *et al.* (1967).

Talude		RQD	Qualidade da rocha
Pará de Minas	Setor 1	100	Excelente
	Setor 2	68	Razoável
Betim		82	Boa

Observando as classificações apresentadas nas tabelas 3,4 e Tabela 3,5 verifica-se que a setorização do Talude de Pará de Minas é justificada para a presente pesquisa, uma vez que o maciço apresenta diferente grau de fraturamento e variabilidade considerável no valor de *RQD*. Esta variabilidade pode influenciar na determinação e aplicação das classificações geomecânicas do maciço.

As classificações geomecânicas dos maciços rochosos foram realizadas com base na determinação do RMR. Para o Talude de Betim o resultado do RMR foi de 63, assim o maciço rochoso é classificado como Classe II, rocha razoável. A Tabela 3.6 apresenta o valor de cada parâmetro na classificação geomecânica do maciço para o RMR.

Tabela 3.6 – Classificação RMR do Talude de Betim

Talude de Betim		
Parâmetros	Características observadas	Peso
Resistencia da rocha intacta	100+250 MPa	12
RQD	82	17
Espaçamento	200 milímetros	10
	Persistência de 10-20 metros	1
Condição das descontinuidades	Abertura de 5 milímetros	1
	Rugosidade Moderada	3
	Alteração Moderada	3
	Preenchimento Inexistente	6
Condição da Água	Molha	10
	do	
RMR		63
Classificação no RMR		Classe II

As Tabelas 3.7 e 3.8 apresentam as determinações do RMR para os setores do Talude de Pará de Minas. O Setor 1 apresentou valor de RMR de 89, Classe I e o Setor 2 apresentou valor de RMR de 71, Classe II.

Tabela 3.7 – Classificação RMR do Setor 1, Talude Pará de Minas

Talude Pará de Minas	Setor 1	
Parâmetro	Características observadas	Peso
Resistencia da rocha intacta	Maior que 250 MPa	15
RQD	100	20
Espaçamento	Entre 0,6 a 2 metros	15
	Persistência entre 1 a 3 metros	4
Condição das descontinuidades	Abertura menor que 1 mm	5
	Rugosidade moderada	3
	Alteração inexistente	6
Condição de água	Preenchimento inexistente	6
	Seco	15
RMR		89
Classificação no RMR		Classe I

Tabela 3.8 – Classificação RMR do Setor 2, Talude Pará de Minas

Talude Pará de Minas	Setor 2	
Parâmetro	Características observadas	Peso
Resistencia da rocha intacta	Maior que 250 MPa	15
RQD	68	13
Espaçamento	Entre 60 a 200 metros	8
	Persistência menor que 1 metro	6
	Abertura entre 1 a 5 metro	1
Condição das descontinuidades	Rugosidade moderada	3
	Alteração alta	6
	Preenchimento inexistente	6
Condição de água	Úmido	6
RMR		71
Classificação no RMR		Classe II

Observando as Tabelas 3.7 e 3.8 é possível interpretar que os parâmetros que influenciam significativamente na diferença do RMR entre os Setores 1 e 2 de Talude de Pará de Minas foram os valores dos parâmetros RQD, espaçamento e presença de água no maciço rochoso. A Figura 5 apresenta os valores atribuídos a cada parâmetro do RMR dos dois setores, com intuito de evidenciar a diferença nos valores dos parâmetros considerados influentes na classificação geomecânica dos setores.

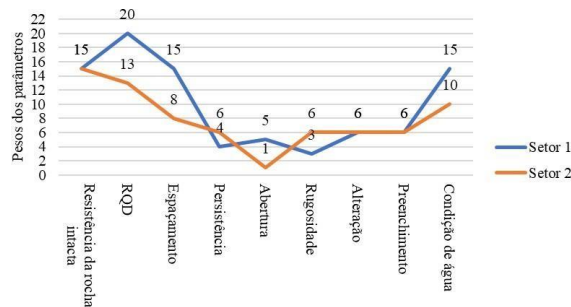


Figura 5 – Comparação dos valores dos pesos na classificação RMR do Talude de Pará de Minas.

A Figura 6 apresenta os valores para os todos os taludes estudados para a comparação do comportamento dos parâmetros.

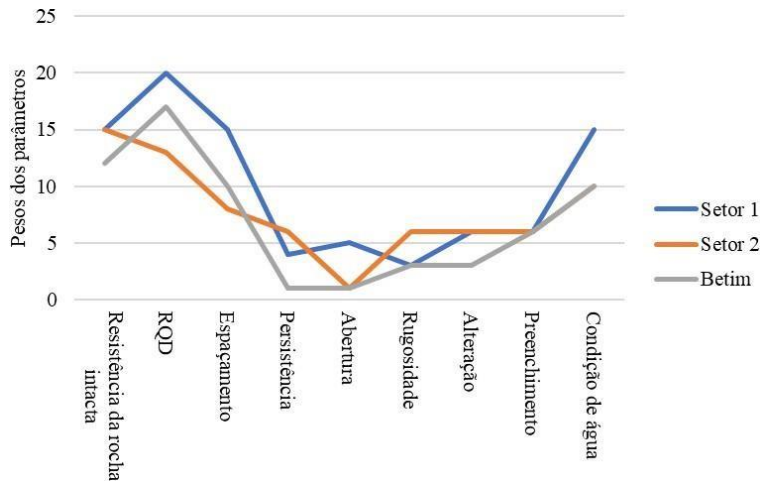


Figura 6 – Comparação dos valores dos pesos na classificação RMR dos taludes estudados.

A partir da Figura 6 é possível observar que embora o maciço do Talude de Betim apresente maiores valores de RQD e Espaçamento que o maciço do Setor 2, o maciço do Talude de Betim apresenta baixos valores em parâmetros como Resistência da rocha, Persistência, Abertura, Rugosidade e Alteração nas descontinuidades, o que direcionou um valor de RMR mais baixo do que o RMR encontrado no Setor 2.

Assim, os valores de RMR encontrados para os Taludes de Betim, e Pará de Minas, Setor 1 e 2, foram de 63, 89 e 71, respectivamente. A Figura 7 apresenta os resultados do RMR.

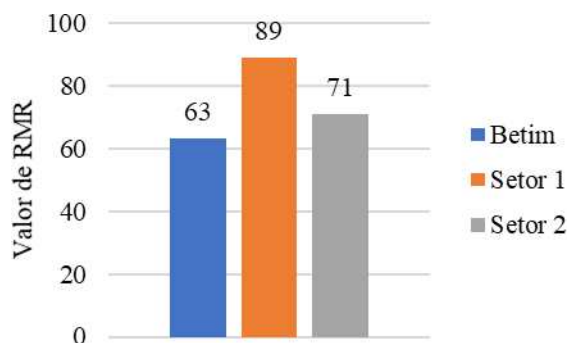


Figura 7 – Resultado final dos valores de RMR para os maciços estudados.

As análises cinemáticas para os tipos de rupturas visualizados em campo nos taludes de Pará de Minas e Betim, foram realizadas, ruptura planar, em cunha e tombamento de blocos. As Figuras 8 a 10, apresentam as análises cinemáticas para o talude de Pará de Minas.

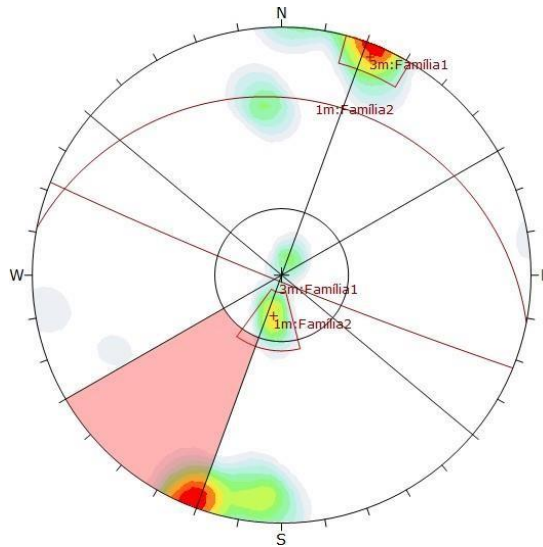


Figura 8 – Análise cinemática para ruptura planar, talude Pará de Minas.

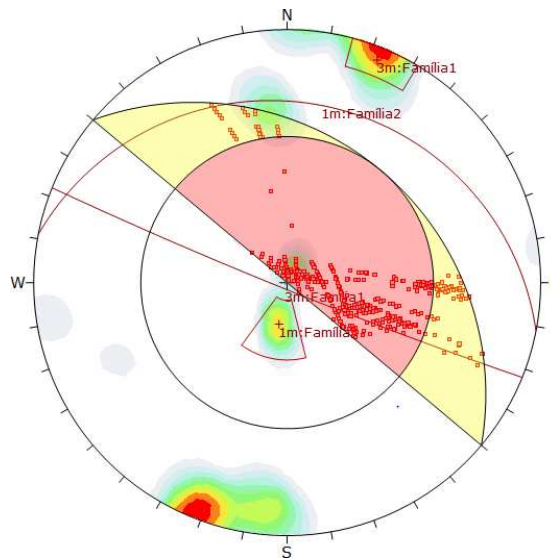


Figura 9 – Análise cinemática para ruptura em cunha, talude Pará de Minas.

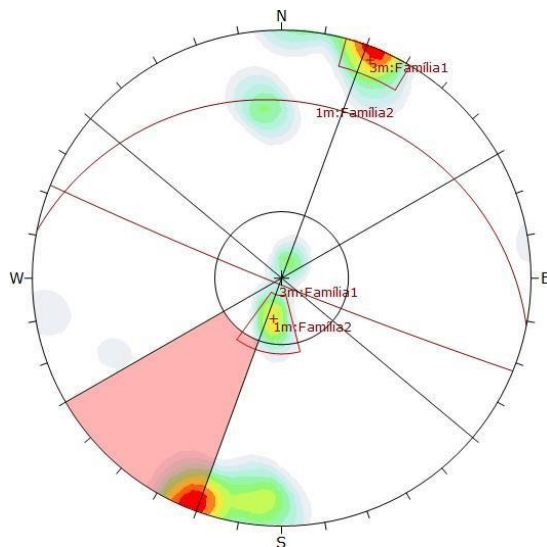


Figura 10 – Análise cinemática para tombamento de blocos, talude Pará de Minas.

A análise cinemática do Talude de Pará de Minas apresentou probabilidade total de ruptura planar em cerca 10%, ruptura em cunha com cerca de 21%, e tombamento de blocos com cerca de 35%. Em campo foi possível visualizar a formação dos três tipos de ruptura analisados.

As Figuras 11 a 13 apresentam as análises cinemática do talude de Betim, para os tipos de ruptura planar, ruptura em cunha e tombamento de blocos, respectivamente. Os três tipos de ruptura foram observados em campo.

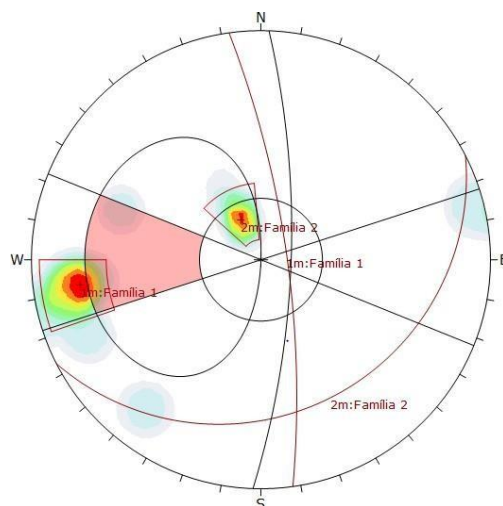


Figura 11 – Análise cinemática para ruptura planar, talude de Betim.

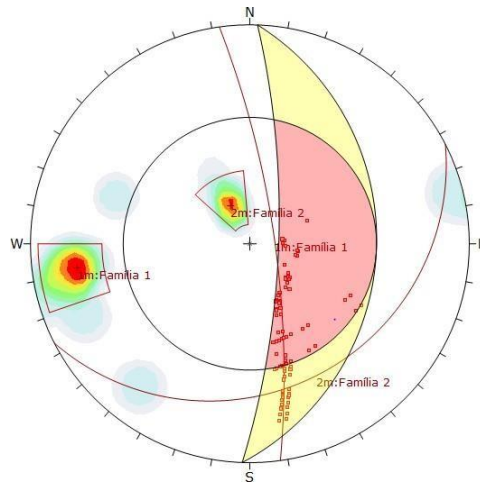


Figura 12 – Análise cinemática para ruptura em cunha, talude de Betim.

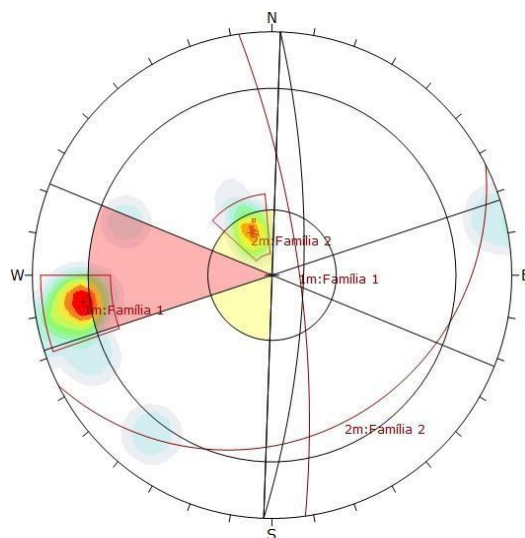


Figura 13 – Análise cinemática para tombamento de bloco, talude de Betim.

A análise cinemática do Talude de Betim apresentou probabilidade total de ruptura planar em cerca de 14%, ruptura em cunha com cerca de 27%, e tombamento de blocos com cerca de 48%.

Os resultados das análises cinemáticas para ambos os taludes foram semelhantes, o que indica um controle da geologia estrutural na região. As maiores probabilidades de ruptura verificada foram para o tombamento de blocos, seguido das rupturas em cunha e planar. As maiores probabilidades foram registradas para o talude de Betim.

Em relação as probabilidades de ruptura são importantes ressaltar os valores para a ruptura por tombamentos de blocos em ambos os taludes estudados. Nota-se ainda a visualização em campo de blocos de rocha soltos no talude e nas proximidades do talude. A Figura 14 mostra a formação de blocos nas bases do talude de Pará de Minas.



Figura 14 – Formação de blocos, talude de Pará de Minas.

Com intuito de verificar a hierarquização dos taludes para futuras intervenções foram avaliados os dois resultados da presente pesquisa, a classificação geomecânica e as probabilidades de ruptura. Assim, o talude de Betim é o talude mais indicado para priorização de obras de contenção e monitoramento, uma vez que apresentou RMR de 63 com as maiores probabilidades de ruptura. Em relação aos setores do talude de Pará de Minas, o Setor 2 apresentou menor RMR que o Setor 1, para uma mesma probabilidade de ruptura, logo o Setor 1 apresenta maior necessidade de intervenção.

A Tabela 3.9 sumariza a discussão em relação à proposta de priorização dos taludes estudados.

Tabela 3.9 – Proposta de priorização dos taludes estudados

Talude	Prioridade
Talude de Betim	1 ^o
Setor 1, Talude de Pará de Minas	2 ^a
Setor 2, Talude de Pará de Minas	3 ^a

CONCLUSÕES

A caracterização geológico-geotécnica de maciços rochosos não é tarefa simples. A complexidade e subjetividade dos métodos vigentes motivam pesquisas desde a década de

70. Neste ponto, estudos geológico-geotécnicos constituem um conjunto de ferramentas básicas para a determinação da qualidade de um maciço rochoso.

A presente pesquisa apresenta um estudo preliminar para caracterização de taludes marginais a Rodovia BR262, especificamente entre os quilômetros 356 e 406. Assim, foram estudados dois taludes, sendo eles o Talude de Betim e o Talude de Pará de Minas. Devido à heterogeneidade das características presentes no Talude de Pará de Minas foi necessário realizar a setorização deste em dois setores, sendo eles os Setores 1 e 2.

Dos taludes estudados, o Setor 1 do Talude de Pará de Minas apresentou melhor classificação, com valor de RMR de 89 (Classe I), o setor apresentou grau de fraturamento moderado com RQD atingindo valor de 100. Ainda no mesmo talude o Setor 2, apresentou comportamento diferente, com RMR de 71, o setor foi classificado como Classe II. A observação do comportamento dos parâmetros permitiu considerar que esta variabilidade foi devido a variáveis como o RQD, Espaçamento e Condição de Fluxo de Água no maciço.

O Talude de Betim foi classificado como Classe II, com RMR de 63, apresentando menor RMR dentre os taludes estudados. A verificação dos valores dos parâmetros em comparação aos demais taludes permitiu considerar que este valor foi devido aos baixos valores em parâmetros como Resistência, Persistência, Abertura, Rugosidade e Alteração.

A proposta de priorização foi construída com base nos resultados das classificações geomecânicas e as probabilidades de ruptura obtidas. Assim, a proposta de priorização dos taludes, o talude de Betim foi o talude mais indicado para priorização de obras de contenção e monitoramento, seguido do Setor 2 e o Setor 1 do Talude de Pará de Minas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da UFOP, CAPES, FAPEMIG e CNPq no desenvolvimento deste trabalho, pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

Alves, S. M. (2014). Metodologia para análise de riscos geotécnicos em taludes de ferrovias - estudo de caso: Estrada de Ferro Vitória-Minas. 2014. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

Bieniawski, Z.T. (1976) Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.

Bieniawski, Z.T. 1989. Engineering rock mass classifications. New York: Wiley.

Deere, D.U. & Miller, R.P. (1966): Engineering classification and index properties for intact rocks. Tech. Rep. Nº AFWL-TR-65-116, Uni. of Illinois, Urbana, 299p.

Deere, D.U. and Deere, D.W. (1988). The rock quality designation (RQD) index in practice. In Rock classification systems for engineering purposes, (ed.L. Kirkaldie), ASTM Special.

Deere, D.U., Hendron, A.J., Patton, F.D. and Cording, E.J. (1967) Design of surface and near surface construction in rock. In Failure and breakage of rock, proc. 8th U.S. symp. rock mech., (ed. C. Fairhurst), 237-302. New York: Soc. Min. Engrs, Am. Inst. Min. Metall. Petrolm Engrs.

Palmstrom A., (1974) Characterization of jointing density and the quality of rock masses (in Norwegian). Internal report, A.B. Berdal, Norway, 26 p.

Palmstrom A., (1982) The volumetric joint count - A useful and simple measure of the degree of rock mass jointing. IAEG Congress, New Delhi, 1982.

Palmstrom A., (1996) The weighted joint density method leads to improved characterization of jointing. Int. Conf. on Recent Advances in Tunnelling Technology, New Delhi, India, 6 p.

Palmström A., (2005) Measurements of and correlations between block size and rock quality designation. Tunnelling & Underground Space Tech; 20(4): pp362–377

Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil e Empresas de Planejamento e Logística S.A. (2016) Anuário Estatístico de Transportes 2010 – 2016.

Disponível em: http://www.transportes.gov.br/images/2017/Sum%C3%A1rio_Executivo_AET_-_2010_-_2016.pdf.