

**Índice de queda de blocos e caracterização geológica-geotécnica em taludes rodoviários:
um estudo de caso na BR-262**

**Rockfall index and geological-geotechnical characterization on road slopes: a case study
on BR-262**

**Índice de caída de bloques y caracterización geológico-geotécnica en terraplenes de
carreteras: un estudio de caso sobre la BR-262**

Recebido: 07/12/2020 | Revisado: 12/12/2020 | Aceito: 14/12/2020 | Publicado: 15/12/2020

Allan Erlikhman Medeiros Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4302-3897>

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil

E-mail: allanerlikhman@cefetmg.br

Denise de Fátima Santos da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9695-2449>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: denisefss@yahoo.com.br

Guilherme Alzamora Mendonça

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4516-9403>

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

E-mail: guilherme.alzamora@gmail.com

Thayná Valeriano Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0993-4937>

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil

E-mail: thaynasantosengminas@gmail.com

Rafaella Resende Amaral

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8797-6756>

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil

E-mail: rafaellaresende.rra@gmail.com

Laura Adriele Moura Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3986-2743>

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil

E-mail: adrielelaura57@gmail.com

Resumo

A avaliação geológico-geotécnica de taludes rodoviários são de extrema importância para a segurança da via, pois a partir destes estudos é possível elaborar programas de prevenção e de alerta e a implantação de obras para redução dos danos nestes empreendimentos. Assim, este trabalho teve como objetivo a caracterização geológico-geotécnica e avaliação do perigo à queda de blocos dos taludes localizados às margens da rodovia BR-262, entre as cidades de Betim e Nova Serrana, em Minas Gerais. Em relação a classificação dos maciços foram aplicados os sistemas RMR, Sistema-Q e GSI. Posteriormente, foram realizadas, análise cinemática, análise de estabilidade e por fim taludes foram hierarquizados conforme o perigo à queda de blocos. Em nenhum dos taludes o RMR foi inferior à regular. Os resultados das demais classificações foram concordantes com o RMR. Os fatores de segurança indicaram que os taludes estão estáveis. O talude com maior grau de perigo foi o Talude P4 - A e o de menor perigo foi o Talude PM1.

Palavras-chave: Queda de blocos; Análise de perigo; Caracterização geológico-geotécnica; BR-262.

Abstract

The geological-geotechnical characterization of slopes on highways is important for the safety of the road, as these studies make it possible to develop prevention and warning programs and the implementation of works to reduce hazard in these undertakings. Thus, this paper aimed at the geological-geotechnical characterization and assessment of the hazard of rockfall from the slopes located on the BR-262 highway, between Betim and Nova Serrana, in Minas Gerais. Regarding the classification of rock mass, the RMR, Q-System and GSI systems were applied. Subsequently, kinematic analysis, stability analysis were carried out and finally slopes were ranked according to the danger of falling blocks. In none of the slopes the RMR was lower than the regular one. The results of the other classifications were in agreement with the RMR. Safety factors indicated that the slopes are stable. The slope with the highest degree of danger was the P4 - A slope and the one with the least danger was the PM1 slope.

Keywords: Rockfall; Hazard analysis; Geological-geotechnical characterization; BR-262.

Resumen

La valoración geológico-geotécnica de los taludes viales es de suma importancia para la seguridad de la carretera, ya que a partir de estos estudios es posible desarrollar programas de prevención y alerta y la ejecución de obras para la reducción de daños en estos

emprendimientos. Así, este trabajo tuvo como objetivo la caracterización geológico-geotécnica y la evaluación de la peligrosidad de caída de bloques de los taludes ubicados en la carretera BR-262, entre las ciudades de Betim y Nova Serrana, en Minas Gerais. La clasificación de macizos se aplicaron los sistemas RMR, Q-System y GSI. Posteriormente, se realizaron análisis cinemáticos, análisis de estabilidad y finalmente se clasificaron los taludes según el peligro de caída de bloques. En ninguna de las setores lo RMR fue menor que la regular. Los resultados de las otras clasificaciones coincidieron con el RMR. Los factores de seguridad indicaron que las pendientes son estables. La pendiente con mayor grado de peligro fue la pendiente P4 - A y la de menor peligro fue la pendiente PM1.

Palabras clave: Caída de bloques; Análisis de peligros; Caracterización geológico-geotécnica; BR-262.

1. Introdução

A caracterização geológica-geotécnica de maciços rochosos contempla os estudos relacionados à descrição geológica do maciço, além do levantamento de parâmetros referentes ao maciço rochoso, abrangendo rocha intacta e famílias de descontinuidades. O objetivo de um estudo de caracterização geológica-geotécnica está relacionado com a determinação dos parâmetros de resistência do maciço, seguido do estudo dos mecanismos de ruptura presentes, e, posteriormente, a realização de análises de estabilidade para os mecanismos de ruptura obtidos. Assim, a caracterização geológica-geotécnica contribui em projetos de engenharia na garantia de níveis de segurança adequados aos ambientes onde os taludes em maciços rochosos se encontram.

Os blocos rochosos de uma encosta ao atingir o domínio da plataforma rodoviária, podem afetar a via causando sua interdição e comprometendo o fluxo de cargas e/ou passageiros, além de perda de vidas. Como são fenômenos muito rápidos e difíceis de prever, a caracterização do maciço e análise do perigo é fundamental importância para a adoção de planos de ação preventiva e mitigação de impactos potenciais.

Neste contexto, a avaliação do perigo de queda de blocos possibilita a setorização da rodovia com relação ao índice de perigo, além de propostas de sinalização adequada e obras de intervenção, caso sejam viáveis e necessárias.

O presente trabalho tem como principal objetivo o estudo de taludes rochosos localizados às margens da BR-262, em Minas Gerais, especificamente entre os municípios de Betim e Nova Serrana. Este estudo foi focado na caracterização geológica-geotécnica dos

maciços e na avaliação do perigo à queda de blocos para a rodovia neste trecho.

A BR- 262 está localizada percorre quatro estados brasileiros, sendo eles Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Mato Grosso. Ela interliga a fronteira da Bolívia até a capital do Espírito Santo. Além disso, a rodovia também é conhecida como uma das mais movimentadas do Brasil.

Diante deste contexto, este trabalho tem o intuito de auxiliar na tomada de decisão com relação ao gerenciamento e priorização de obras, não somente na malha rodoviária, mas também, em ferrovias, conjuntos habitacionais e em áreas de mineração. Posto isto, é possível verificar a crescente necessidade de uma avaliação de perigo nos projetos de engenharia, especialmente em locais onde existam esses tipos de empreendimentos, proporcionando a segurança física e financeira dos afetados.

2. Metodologia

A metodologia aplicada na presente pesquisa é classificada como quali-quantitativa (Pereira et al. 2018), uma vez que são aplicados métodos qualitativos em escalas, com posterior análises quantitativas.

Ao longo da BR-262 existem outros taludes já caracterizados geológico-geotecnicamente, tal como pode ser visto no trabalho de Santos et al. (2018). Assim, este trabalho complementa o trabalho de Santos et al. (2018) acrescentando estudos de outros taludes, além da realização de uma análise de perigo nos trechos da BR-262. A Figura 1 apresenta a localização dos taludes que foram estudados.

Figura 1. Mapa de localização dos taludes analisados na rodovia BR-262.



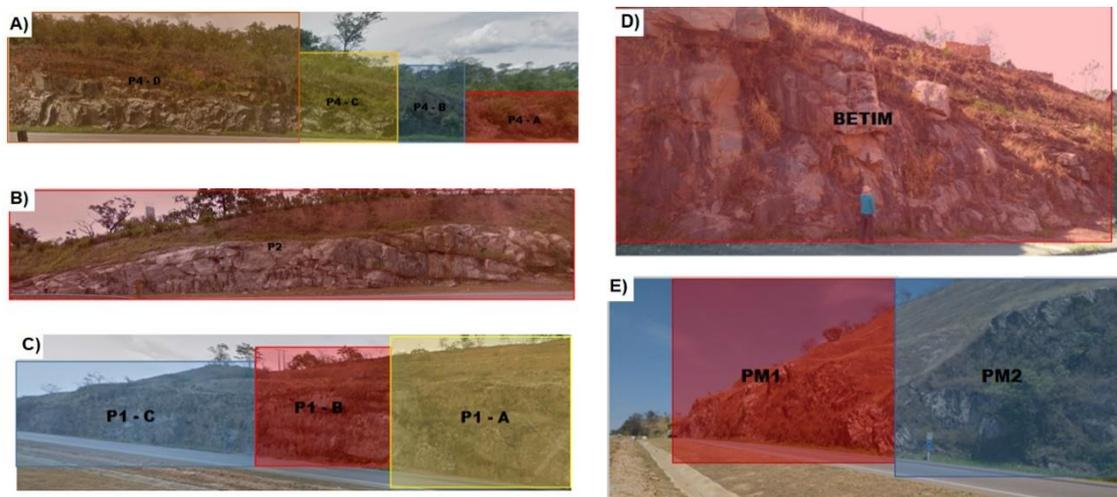
Fonte: Autores.

Na Figura 1 é apresentada a localização geográfica dos taludes estudados, entre as cidades de Betim e Nova Serrana, sendo possível perceber a localização de outras cidades tais como Contagem e Belo Horizonte.

Foram selecionados 3 taludes em maciço rochoso longo da rodovia BR-262. Os taludes se localizam entre as cidades de Betim e Nova Serrana na rodovia BR-262. Sendo o Talude P4 ($19^{\circ}53'33''\text{S}$ e $44^{\circ}52'46''\text{W}$); o Talude P2 ($19^{\circ}53'24''\text{S}$ e $44^{\circ}48'15''\text{W}$) e o Talude P1 ($19^{\circ}53'35''\text{S}$ e $44^{\circ}39'09''\text{W}$). O talude de Betim (no quilômetro 356), teve suas informações levantadas a partir do trabalho de Santos et al. (2018). A localização deste talude é $19^{\circ}58'47.762''\text{S}$ e $44^{\circ}13'36.039''\text{W}$. O segundo talude estudado por Santos et al. (2018), foi o talude de Pará de Minas (no quilometro 406), localizado nas seguintes coordenadas: $19^{\circ}53'37.873''\text{S}$ e $44^{\circ}39'15.016''\text{W}$.

A Figura 2 apresenta a setorização realizada nos taludes para o estudo. Além disso, em campo foram coletados diversos parâmetros que eram necessários para realizar a análise de perigo utilizando a metodologia proposta por Gomes e Sobreira (2012).

Figura 2. As Figuras A, B e C apresentam as setorizações realizadas nos Taludes P4, P2 e P1 respectivamente. As Figuras D e E apresentam as setorizações dos Taludes de Betim e Pará de Minas (PM) (fotos cedidas pelos autores do trabalho de SANTOS *et al.* (2018).



Fonte: Autores.

Na Figura 2 estão apresentados os taludes estudados, com destaque para as cores que representam os setores de estudo. A setorização foi importante devido a mudança de características estruturais dos taludes ao longo de sua seção.

2.1 Caracterização geológica geotécnica

A primeira parte do trabalho foi a realização dos trabalhos de campo nos taludes em estudo. Para elaboração deste trabalho, inicialmente foi realizado levantamento de campo, no qual analisou-se as características geológicas e geotécnicas dos maciços rochosos. Os Taludes P4 e P1 foram setorizados devido aos diferentes graus de fraturamento e de alteração. Para cada talude ou setor do talude, foi realizada uma classificação do maciço rochoso segundo os métodos RMR de Bieniawski (1989), Q de Barton et al. (1974) e GSI de Hoek et al. (1997). Efetuou-se ainda a determinação dos parâmetros de resistência do maciço rochoso, segundo o critério de Barton e Bandis (1982).

Posteriormente, foi realizada uma análise cinemática a fim de se observar quais eram os possíveis mecanismos de ruptura apresentados nos taludes em estudo. Com o resultado da análise cinemática, realizou-se uma análise de estabilidade, na qual se obteve o fator de segurança para cada talude ou setor do talude.

Não foi realizado levantamento das propriedades geomecânicas do maciço rochoso presente no Talude P1. Desta maneira, as etapas de trabalho para este talude finalizaram com a fase de classificação do maciço rochoso, não tendo sido realizadas as análises cinemática e nem de estabilidade.

Para a classificação geomecânica dos taludes obteve-se cada parâmetro requerido pela classificação geomecânica RMR, de acordo com Bieniaswky (1989) sendo eles, espaçamento entre descontinuidades, a persistência das descontinuidades, o grau de alteração do maciço rochoso e o grau de resistência do maciço rochoso. Para fins de cálculos sobre a percolação de água, foram obtidos dois valores de RMR, considerando o talude totalmente seco e totalmente saturado.

As resistências foram estimadas por meio de testes de martelo de geólogo, de acordo com a ISRM (1981). O espaçamento e persistência foram estimados utilizando-se trenas. Assim, de acordo com observações realizadas em campo, pôde-se obter os índices de GSI, os parâmetros de Q de Barton e do RMR e, portanto, calculá-los.

A próxima etapa da pesquisa foi a análise cinemática, com objetivo de identificar os mecanismos de ruptura predominantes nos taludes. Baseando-se nos resultados obtidos na análise cinemática, a próxima etapa foi a análise de estabilidade dos taludes. Para isto, foi utilizado os softwares utilizados foram Dips (v. 7.016), RocPlane (v. 4.001), Swedge, (v. 7.001) e RocTopple (v. 2.001), de domínio da Rocscience.

O fator de perturbação considerado foi de 0.7, e o critério de resistência utilizado em todos os casos foi de Barton – Bandis. Este critério foi escolhido porque, primeiramente, os programas da *Rocscience* utilizados não conseguiam fornecer resultados precisos com outros critérios de resistência sendo considerados na análise de estabilidade de taludes. Em segundo lugar, porque este critério de resistência precisava como dados de entrada as informações que já eram conhecidas no momento da análise.

A análise de estabilidade realizada foi a determinística, considerando o conservadorismo em parâmetros seguida da aplicação de análise de sensibilidade para as variáveis grau de saturação de água, altura do talude e ângulo da face do talude.

2.2 Análise de perigo de queda de bloco

Gomes e Sobreira (2012) realizaram a avaliação de perigo a partir dos métodos utilizados frequentemente nos Estados Unidos da América e em órgãos de países desenvolvidos relacionados com a gestão do transporte. Ritchie (1963), Pierson et al. (1990) e Budetta (2004) foram utilizados como base para a metodologia utilizada no trabalho de Gomes e Sobreira (2012).

O desenvolvimento do trabalho de Gomes e Sobreira (2012) baseou-se essencialmente no emprego de levantamentos geológico-geotécnicos de taludes rochosos rodoviários do Estado do Espírito Santo, visando a classificação e hierarquização de trechos com problemas de quedas de blocos.

Neste método, os autores coletaram dados de largura do pavimento, altura e extensão do talude, velocidade diretriz, distância de visibilidade, rampa longitudinal e área de captação de blocos para determinar a caracterização das condições de tráfego ao longo das seções rodoviárias e a geometria de cada área estudada. Além disso, segundo estes autores a caracterização dos maciços rochosos das seções foi obtida através do estudo das estruturas, representadas genericamente pelas descontinuidades do maciço.

Assim, neste trabalho, para a avaliação de perigo, adotou-se a metodologia proposta por Gomes e Sobreira (2012). O método utilizado por Gomes e Sobreira (2012) adota um total de oito fatores importantes para a análise de perigo de quedas de blocos nos taludes localizados em rodovias. Esses parâmetros receberam pontuações, de acordo com o grau de influência sobre o maciço. Na Tabela 1 é possível observar os parâmetros analisados nessa metodologia, juntamente com seus símbolos e equações. A determinação dos parâmetros adotados neste estudo pode ser verificada no trabalho de Gomes e Sobreira (2012).

Tabela 1. Parâmetros adotados e suas simbologias e equações Gomes e Sobreira (2012).

PARÂMETROS	SÍMBOLO	EQUAÇÃO
Altura do talude (<i>H</i>)	I_{AT}	$I_{AT} = e^{0,183 H}$
Efetividade da Área de Captação	I_{AC}	-
Risco ao veículo (<i>RV</i>)	I_{RV}	$I_{RV} = e^{0,0439 RV}$
Porcentagem da Distância de Visibilidade (<i>DV</i>)	I_{DV}	$I_{DV} = 243 e^{-0,0439 DV}$
Largura do Pavimento (<i>LP</i>)	I_{LP}	$I_{LP} = 1262,7 e^{-0,4578 LP}$
Dimensão do Bloco (<i>DB</i>)	I_{DB}	$I_{DB} = e^{3,662 DB}$
Condição Climática (<i>P</i>)	I_{CC}	$I_{CC} = 0,0048 e^{0,0054 P}$
Característica Geológico-geotécnica (<i>SMR</i>)	I_{CG}	$I_{CG} = 19683 e^{-0,11 SMR}$

Fonte: Autores.

A partir dos valores de índices encontrados, é possível calcular o Índice de Queda de Blocos (I_{QB}) proposto por Gomes e Sobreira (2012), o qual indica a suscetibilidade de queda de blocos, ou seja, quanto maior o valor de I_{QB} , maior o perigo à queda de blocos apresenta o talude analisado (Equação 1).

$$I_{QB} = I_{At} + I_{AC} + I_{RV} + I_{DV} + I_{LP} + I_{Db} + I_{CC} + 2I_{CG} \quad \text{Equação 1}$$

3. Resultados e Discussões

3.1 Contextualização da área de estudo

A área de estudo do presente trabalho está localizada no Cráton do São Francisco (Almeida, 1977). Os terrenos presentes nessas regiões são gnáissicos migmatíticos e uma sequência greenstone belt (Supergrupo Rio das Velhas), da época mesoarqueano e neoarqueano.

Em relação a geologia da região é possível classificar três grandes domínios litológicos: intrusões de granitoides (20 - 25%), sequência *greenstone belt* (30 - 35%) e embasamento cratônico (35 - 40%). Outras litologias também aparecem no território, como diques básicos

(mesmos que expressivos na região, ocupam, apenas, cerca de 2% da área mapeada) e cobertura de plataforma carbonatítica, neógenas quartenárias e neógenas terciárias (correspondente a 15% da área mapeada) (Romano, 2007).

A seguir são descritos os litotipos dos taludes analisado:

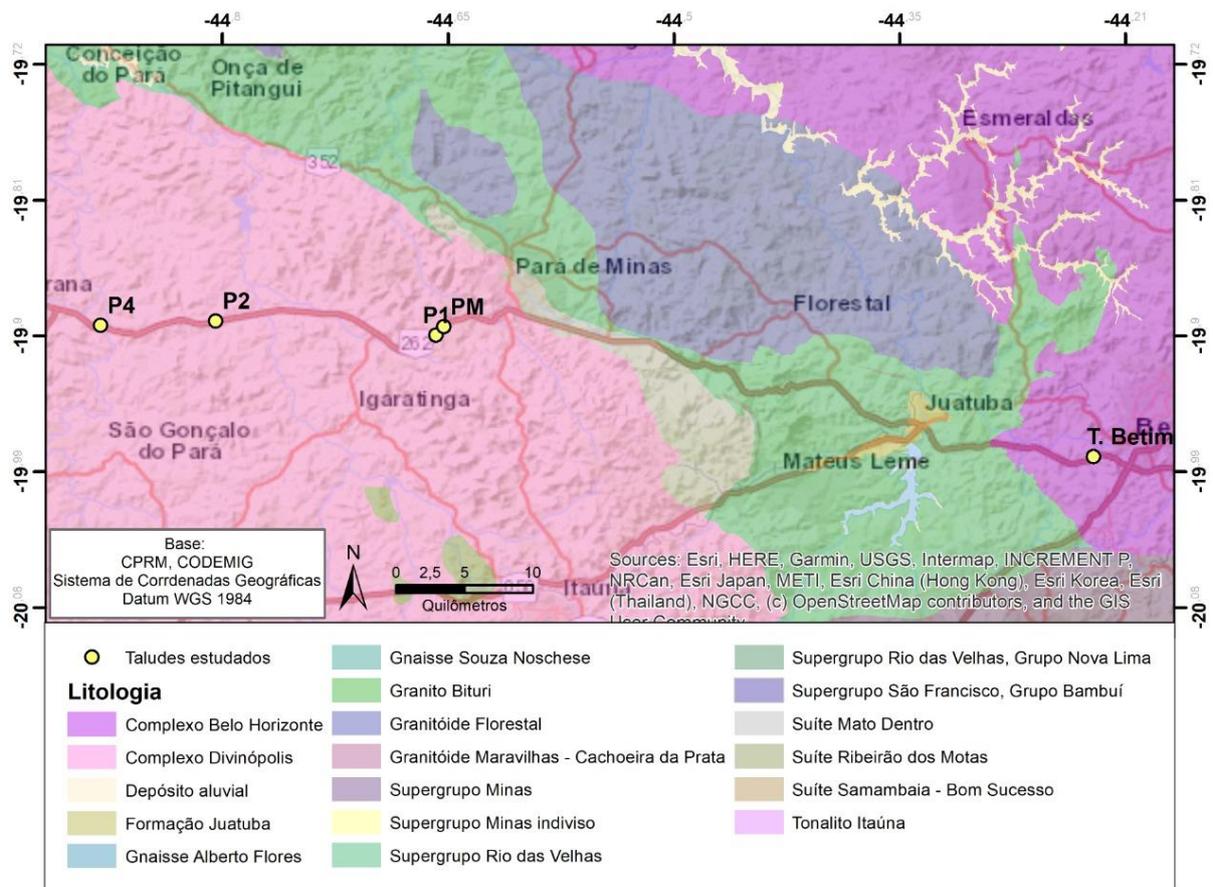
- Talude P1: talude gnáissico de grande extensão com presença de bandamento centimétrico a métrico, com ocorrências de porções máficas. O maciço apresenta diques félsicos compostos de quartzo e feldspato potássico rosa. Apresenta também estruturas migmatíticas. A rocha é composta por feldspato, quartzo, biotita e anfibólio, possui granulação fina.

- Talude P2: composto de gnaiss (bandamento centimétrico a métrico) com porções milonitizadas. Apresenta alguns restitos máficos e muitas porções migmatíticas. A rocha é composta por feldspato rosa, biotita, quartzo e anfibólio de granulação centimétrica nos felspatos.

- Talude P4: constituído de gnaiss (bandamento milimétrico a métrico), porções milonitizados. Possui maior alteração na parte superior do talude, possuindo alguns poucos cristais de feldspato rosa. A rocha é composta de feldspato, biotita e anfibólios e granulometria fina a grossa.

A partir destas descrições é possível observar a relação entre os pontos em relação a sua geologia, isso ocorre por estarem inseridos dentro da mesma unidade litológica (Complexo de Divinópolis). Já o talude Betim descrito por Santos *et al.* (2018) encontra-se inseridos no Complexo Belo Horizonte, enquanto o talude de Pará de Minas também está inserido no Complexo Divinópolis. O mapa geológico da região pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3. Mapa geológico da região e localização dos taludes analisados.



Fonte: Autores.

Na Figura 3 é possível observar o mapa geológico no qual os taludes em estudo estão inseridos. Pela Figura 3 é possível observar que todos os taludes pertencem unidade litológica Complexo de Divinópolis, com exceção do talude Betim que pertence ao Complexo Belo Horizonte.

3.2 Caracterização geológica-geotécnica

3.2.1 Classificação geomecânica

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para as classificações geomecânicas dos taludes da rodovia. Além dos taludes estudados nesta pesquisa, a Tabela 2 também apresenta os resultados das classificações dos taludes BETIM (BT), PM1 e PM2 de Santos et al. (2018). Como é possível perceber, o RMR foi avaliado em duas condições, sendo um na qual o talude se apresenta completamente seco, e outra onde se mostra completamente saturado.

Tabela 2. Resultados dos tipos de classificação utilizados para os taludes da rodovia.

Sistema	P1-A	P1-B	P1-C	P2	P4-A	P4-B	P4-C	P4-D	BT	PM1	PM2
RMR (sem saturação)	72	70	80	84	60	67	67	71	63	89	71
RMR (condição saturada)	57	55	65	69	45	52	52	56	63	89	71
Classe de RMR	II a III	II a III	II	I a II	II a III	II a III	II a III	II a III	II	I	II
GSI	55	60	70	65	45	65	60	62	-	-	-
Q de Barton	13,3	13,3	13,3	49,8	12	26	11	11	-	-	-
Classe do Sistema Q	IV	IV	IV	III	IV	IV	IV	IV	-	-	-

Fonte: Autores.

De acordo com a Tabela 2 os taludes P1-C, PM2 e Betim (BT) se enquadram na classe II de RMR, ou seja, são maciços com padrão geomecânico bom. Já os taludes P1-A, P1-B, P4-A, P4-B, P4-C e P4-D foram classificados segundo o RMR em Classes que variam de II, quando se encontram sem saturação à classe III, quando estão na condição saturada. Os taludes P2 e PM1 foram os taludes classificados com a mais alta classe de RMR, variando entre a classe I (sem saturação) e classe II (condição saturada).

É possível observar que nos taludes de Betim e Pará de Minas foram considerados o mesmo RMR tanto para o período chuvoso, quanto para o período de estiagem. Isto aconteceu porque Santos *et al.* (2018) só apresentam um único valor de RMR para análise realizada.

Em relação ao sistema de classificação Q de Barton, todos os setores do Talude P4 podem ser considerados como bons ou muito bons, afinal, se enquadram na classe IV ou III. Pode-se perceber como os três sistemas de classificação concordam entre si no que diz respeito ao Talude P4 (setores A-D).

Para o Talude P2, o padrão geomecânico do maciço, de acordo com a classificação Q de Barton, é muito bom, pertencendo à classe III. Já o Talude P1 as classes do RMR variaram

entre II (qualidade do maciço boa) e III (qualidade do maciço razoável). A classe IV do Q de Barton indica bom padrão geomecânico do maciço rochoso (Classe IV).

Além disso, percebe-se também como a água é capaz de influenciar na classificação de um maciço rochoso, afinal, o peso variou 15 unidades entre algumas situações de talude completamente seco para completamente saturado. Quanto menor o peso do parâmetro, pior a qualidade do maciço rochoso. Com isto, observa-se que quanto mais água está percolando no maciço, mais instável ele fica.

Levando-se em consideração que o GSI pode variar de 5 a 100. Os valores obtidos de 45 para o Talude P4-A, 65 para o Talude P4-B, 60 para o Talude P4-C e 62 para o Talude P4-D, concordam com a análise realizada com o RMR e com o Q de Barton. O valor de GSI de 45 indica que no Talude P4-A o maciço rochoso tem uma qualidade inferior aos demais, isso está de acordo com o que foi obtido com o RMR, afinal foi para este setor que o RMR não conseguiu atingir a classe I. Apesar de no Talude P4-B e P4-C, analisando-se com RMR, os valores serem idênticos e para o sistema Q de Barton a classe ser a mesma, os valores de GSI podem variar entre esses setores porque o sistema de classificação de maciços rochosos denominado GSI é muito subjetivo.

3.2.2 Estimativa de parâmetros de resistência

A Tabela 3 apresenta as propriedades de coesão e ângulo de atrito obtidas por meio do RMR dos setores dos taludes estudados na BR-262, tanto para condições de talude seco quanto saturado. É importante conhecer a coesão do maciço rochoso porque existem critérios de resistência, como o de Mohr-Coulomb, por exemplo, que a utiliza para se obter um fator de segurança do talude. Da mesma forma, o ângulo de atrito é útil para a análise de estabilidade de taludes, mas também é para a cinemática. Vale ressaltar que os setores P4- e P4-D foram analisados juntamente, devido às características das discontinuidades serem as mesmas.

Tabela 3. Ângulo de atrito e coesão para os taludes em condições de saturação e seca.

Propriedades	P4-A	P4-B	P4-CD	P2	P1-A	P1-B	P1-C
Ângulo de Atrito (talude seco)	25°	35°	35°	45°	35°	35°	35°
Ângulo de Atrito (talude com água)	25°	25°	25°	35°	25°	25°	35°
Coesão da massa rochosa (talude seco)	200 kPa	300 kPa	300 kPa	400 kPa	300 kPa	300 kPa	300 kPa
Coesão da massa rochosa (talude com água)	200 kPa	200 kPa	200 kPa	300 kPa	200 kPa	200 kPa	300 kPa
Módulo de deformabilidade in situ (talude seco)	18 GPa	30 GPa	30 GPa	64 GPa	28 GPa	29 GPa	55 GPa
Módulo de deformabilidade in situ (talude com água)	10 GPa	15 GPa	15 GPa	28 GPa	14 GPa	14 GPa	21 GPa

Fonte: Autores.

A partir dos dados apresentados na Tabela 3 percebe-se que a presença de água diminuiu o módulo de deformabilidade in situ significativamente de todos os taludes. Este resultado é esperado, afinal, quanto maior a quantidade de água, maiores são as chances do talude se romper mais depressa e facilmente.

Além disso, a Tabela 3 indica as propriedades de ângulo de atrito, coesão da massa rochosa. Verifica-se que é tendência a coesão, o ângulo de atrito e o módulo de deformabilidade in situ reduzirem os seus valores quando o talude se encontra saturado. Isto é esperado, afinal, quanto maiores são a coesão, o ângulo de atrito e o módulo de deformabilidade mais dificilmente haverá rupturas no maciço rochoso. A água é um agente que contribui para a ruptura em maciços rochosos. Logo, quanto mais água houver no maciço, menor serão os valores de coesão, ângulo de atrito e módulo de deformabilidade.

3.2.3 Análise cinemática

Para a realização da análise cinemática, a escolha do ângulo de atrito foi importante, afinal, eles variam de acordo com a condição de saturação do maciço rochoso. A escolha feita consiste em uma visão mais conservadora, ou seja, escolheu-se o ângulo de atrito cuja condição de saturação do maciço rochoso foi máxima. A partir disto, sabe-se que esta escolha envolve a situação mais crítica para o talude em se tratando de probabilidade de ruptura. Se não houver probabilidades de rupturas no talude com este nível de saturação, com certeza para os outros níveis também não haverá.

Os resultados das análises cinemáticas estão expostos na Tabela 4. Considerou-se a parte superior e inferior dos taludes para se realizar esta análise porque essas porções têm características diferentes. A partir de análise cinemática efetuada no software Dips. Em relação ao Talude P4, pode-se perceber que o setor A apresenta probabilidade apenas de ruptura em cunha (9,67% na porção superior e 1,67% na porção inferior). O setor B deste mesmo talude apresenta chances de ocorrência de ruptura planar (11,11%), ruptura em cunha (50%), além de chances de tombamento de blocos (19,44%). Para o setor C, há probabilidade de ocorrência de ruptura planar (8%), assim como ruptura em cunha (31%) e chances de tombamento de blocos (11,33%). No que diz respeito ao Talude P2, os resultados apontam probabilidade de ocorrência de rupturas em cunha (12,86%) e por tombamento de blocos (36,67%).

Tabela 4. Probabilidade de ocorrência de uma ruptura mediante realização de análise cinemática.

Taludes	Setores	Ruptura Planar		Ruptura em Cunha		Tombamento de Blocos Direto		Tombamento de Blocos Oblíquo	
		Seco	Saturado	Seco	Saturado	Seco	Saturado	Seco	Saturado
Talude P4	A superior	0.00%	0.00%	9.17%	9.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	A inferior	0.00%	0.00%	1.67%	1.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	B superior	11.11%	11.11%	47.22%	50.00%	2.78%	2.78%	13.89%	2.78%
	B inferior	11.11%	11.11%	44.44%	47.22%	2.78%	2.78%	19.44%	13.89%
	C superior	8.00%	8.00%	30.00%	31.00%	2.00%	2.00%	10.67%	8.33%
	C inferior	8.00%	8.00%	27.33%	30.00%	2.00%	2.00%	11.33%	10.67%
Talude P2	-	0.00%	0.00%	11.90%	12.86%	36.67%	36.67%	2.38%	2.38%

Fonte: Autores.

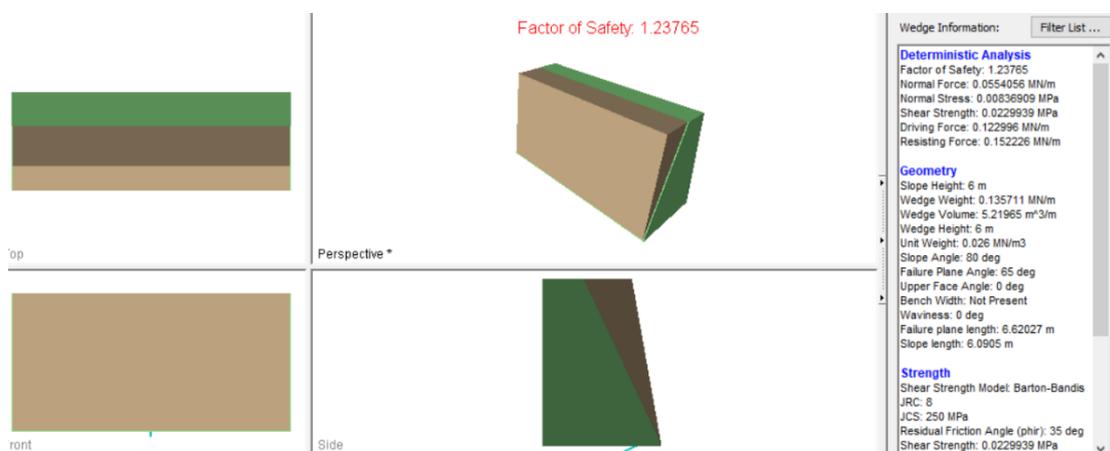
3.2.4 Análise de estabilidade dos taludes

A análise de ruptura planar foi realizada para o setor B do Talude P4 unicamente, afinal, o Talude P2 e o setor A do Talude P4 apresentaram resultado de 0% de probabilidade de ruptura planar ao se realizar a análise cinemática. No setor C do Talude P4 apenas 2 polos num total de 25 caíram na região de ruptura planar utilizando-se o software Dips, sendo assim, considerados em número insuficiente para análise de estabilidade.

O critério para determinação de parâmetros de resistência foi o de Barton & Bandis (1982). O JRC utilizado foi de 8 devido às características das rugosidades analisadas nas descontinuidades. O ângulo de atrito foi de 35° , afinal, a análise adotada é conservadora (logo, escolheu-se o ângulo de atrito do talude em condição de máxima saturação). O JCS utilizado teve o valor de 250 MPa. Também como dados de entrada no software Rocplane, da Rocscience, o ângulo do talude é de 80° ; a altura do talude é de 6 metros; o peso específico da rocha (gnaisse) é de $0,026 \text{ MN/m}^3$ e o ângulo do plano da falha é de 65° . O peso específico da água foi considerado como $0,00981 \text{ MN/m}^3$ e foi determinado que a porção do talude preenchida com água seria de 10%. Com isto, obteve-se como resultado um fator de segurança de 1,24 aproximadamente, indicando nível de estabilidade incerta.

A Figura 4 apresenta o processo de análise de estabilidade do setor B do Talude P4. É importante notar que, para este software e com o propósito desejado de obter o fator de segurança, a opção de análise escolhida foi a determinística. Caso fosse a probabilística, os resultados seriam dados em forma de probabilidades.

Figura 4. Análise de estabilidade do setor B do Talude P4.



Fonte: Autores.

A análise de ruptura em cunha foi feita apenas com o setor C do Talude P4, afinal poucas interseções caíram na região que daria cunha no Talude P2, além de que nos setores A e B do Talude P4 foi definida apenas 1 família em cada. Para ter cunha, precisa haver interseção entre famílias de descontinuidades. Apenas uma família de descontinuidade não provoca cunha. O que ocorreu para que na fase de análise cinemática para que resultasse em possibilidade de ter cunha nos setores A e B do Talude P2 foi que o *software* estava considerando as interseções entre as descontinuidades, e não entre as famílias de descontinuidades.

O *software* utilizado foi o *Swegde*, da *Rocscience*, e a análise foi determinística, pois, o interesse era obter o fator de segurança do talude. O *dip* inserido no “Input Data” foi de 80° , o *dip Direction* foi de 170° e a altura do talude era de 4,5 metros. Além disso, como a rocha era gnaisse, o peso específico inserido foi de $2,55 \text{ t/m}^3$.

Também é importante inserir os dados das famílias das descontinuidades que se interceptam. Uma delas possui o *dip* de 85° e o *dip direction* de 225° , enquanto que a outra possui o *dip* de 83° e o *dip direction* de 92° . O critério utilizado para determinação dos parâmetros de resistência, assim como na análise de estabilidade para ruptura planar, foi o de Barton e Bandis. O JRC escolhido para ambas as famílias de descontinuidades foi de 8, pois, este valor é o mais adequado mediante as condições de rugosidade das descontinuidades observadas no campo. O ângulo de atrito escolhido para ambas as famílias de descontinuidades foi de 35° e o valor de JCS foi de 250000 t/m^2 .

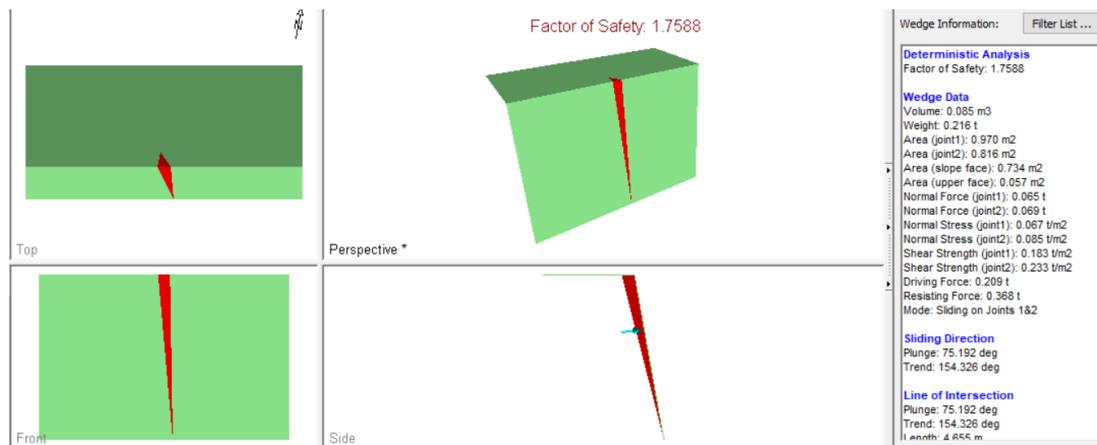
O peso específico da água utilizado foi de $0,981 \text{ t/m}^3$. E, assim como na análise de estabilidade para ruptura planar, considerou-se o talude com 10% de saturação. Desta forma, obteve-se um fator de segurança de 1,76 aproximadamente, classificando o setor do talude em questão como estável.

A análise de tombamento de blocos foi realizada para quase todos os setores objetos de estudo. Um dos setores estudados neste tipo de análise foi o setor B do Talude P4. Em relação a sua seção superior, o fator de segurança foi de aproximadamente 1.19, levando-se em consideração um *overall base inclination* de 45° .

A altura do talude é de 6 metros, o espaçamento considerado foi de 0,6 metros, o mergulho da junta foi de 64° e o peso específico da rocha foi de $0,026 \text{ MN/m}^3$ (pois era um gnaisse). O modelo de resistência ao cisalhamento foi o Barton-Bandis para ambas as juntas, além do JRC foi de 8, JCS foi de 250 MPa e o ângulo de atrito foi de 25° . Considerou-se o talude com 30% de saturação.

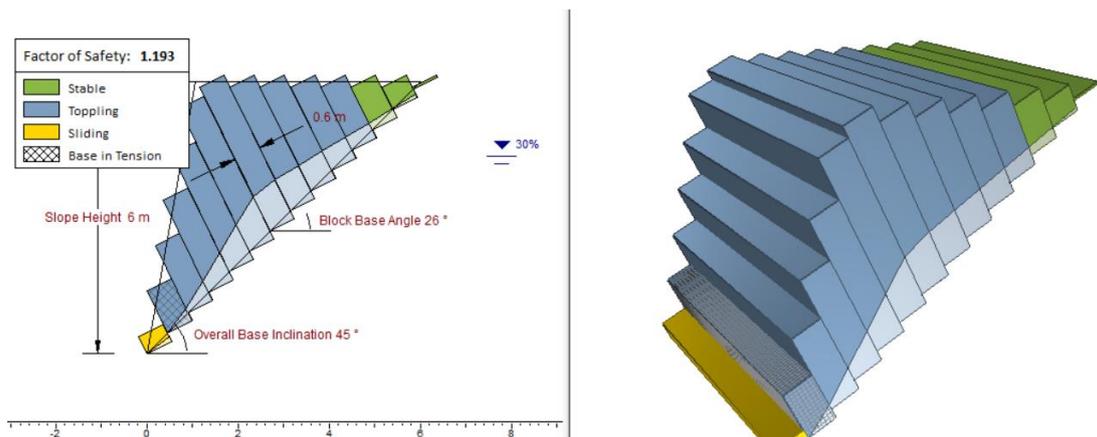
A Figura 5 apresenta a ilustração do bloco formado no Talude P4. A Figura 6 apresenta o esquema da análise de estabilidade referente ao tombamento de blocos.

Figura 5. Análise de estabilidade de ruptura em cunha para o setor C do Talude P4.



Fonte: Autores.

Figura 6. Análise do fator de segurança para tombamento de blocos do setor B Talude P4.

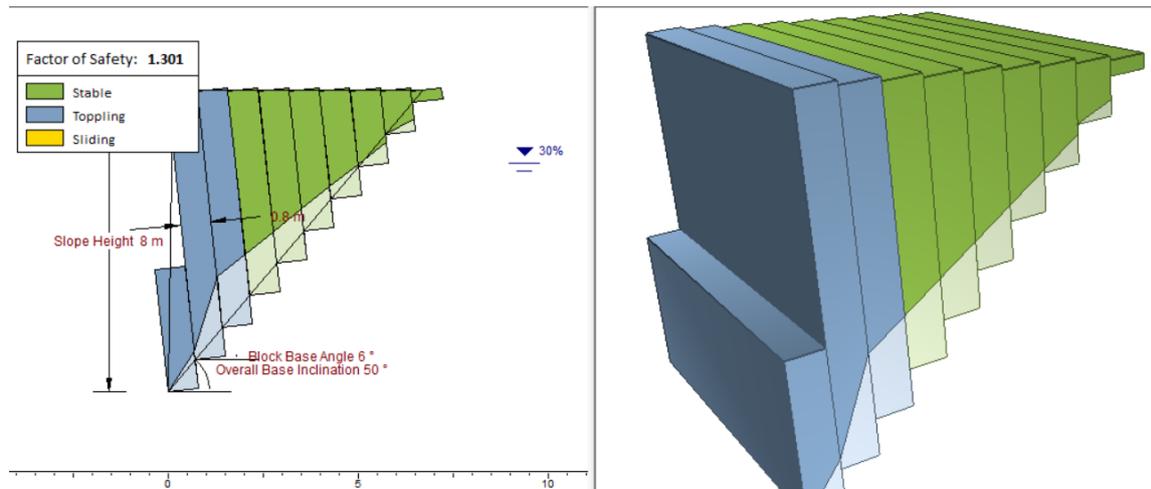


Fonte: Autores.

Nas Figuras 5 e 6 estão apresentados os blocos formados nos setores C e B do talude P4. Para o setor C do Talude P4 utilizou-se o *overall base inclination* de 50° e o fator de segurança obtido foi de aproximadamente 1,26.

Já para o Talude P2, os dados de entrada para encontrar o fator de segurança na análise de tombamento de blocos consistem em um ângulo do talude de 89°, altura de 8 metros, espaçamento entre juntas de 0,8 metros, mergulho das juntas de 84° e peso específico da rocha de 0,026 MN/m³. Em relação às tensões, o critério adotado foi o de Barton-Bandis, com JRC de 8 para ambas as juntas, JCS de 250 Mpa e ângulo de atrito de 35°. Então, para um *overall base inclination* de 50°, o fator de segurança se aproxima de 1,30, como indica a Figura 7.

Figura 7. Fator de segurança para o Talude P2.



Fonte: Autores.

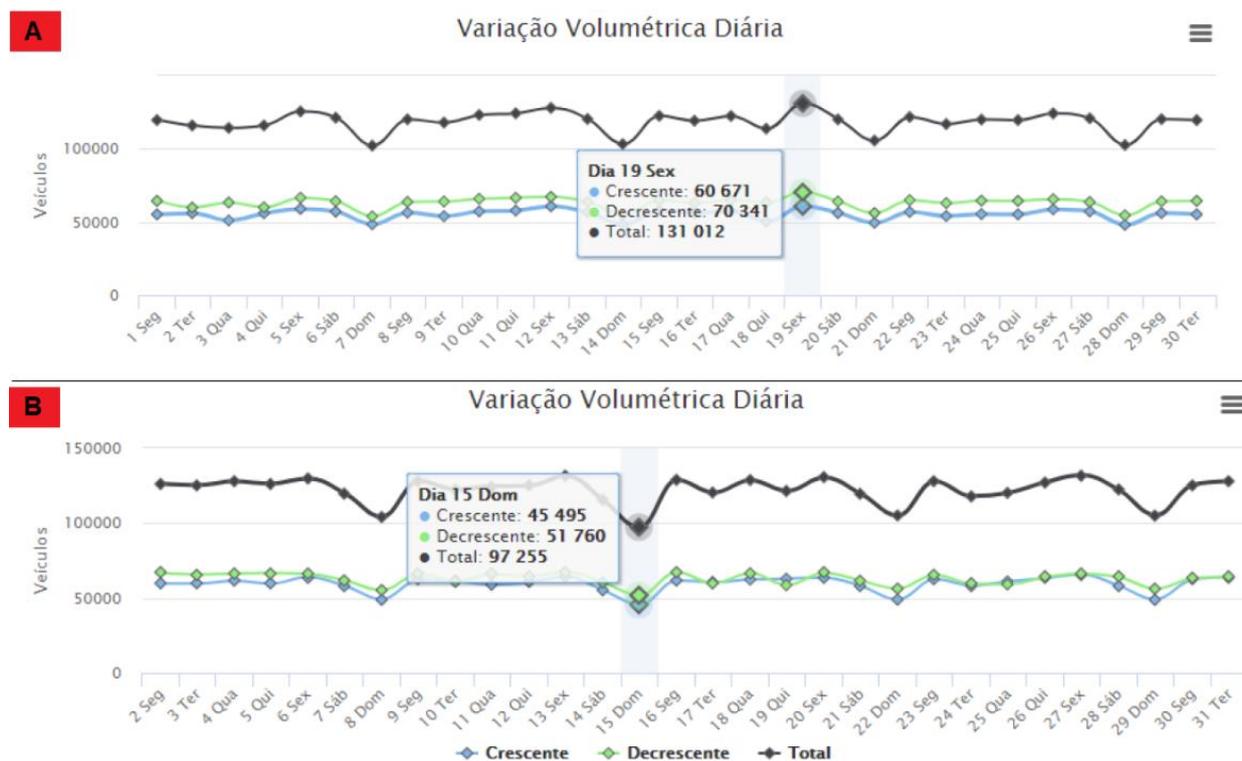
Na Figura 7 está apresentado a formação dos blocos no Talude P2, sendo possível observar o fluxo ajustado ao longo da formação de blocos. Na Figura 7 ainda têm-se o destaque para o fator de segurança calculado, que foi de 1,30.

3.3 Avaliação do perigo a queda de blocos

Para a realização da avaliação do perigo a queda de blocos na BR-262 foram utilizados dados obtidos a partir do estudo de campo e alguns dos parâmetros analisados utilizou-se de sites especializados e artigos que fornecessem as informações necessárias. Como é o caso do parâmetro tráfego diário (DNIT, 2014).

A Figuras 8 apresenta os valores diários de carros que circulam na área de estudo. Os valores desse parâmetro para os taludes P1, P2, P4 e PM foram os de pico (Figura 8), no valor de 5458,83 carros/hora. Já para o talude de Betim os valores mínimos foram utilizados, 4052,29 carros/dia, devido ao fato do talude ser de acesso e não rodoviário, o que consequentemente diminui o fluxo de carros no local.

Figura 8. A) Tráfego diário - Km 475 e B) Tráfego diário - Km 331.



Fonte: DNIT 2014.

Outros dados que permaneceram constantes foram a velocidade diretriz (80 Km/hora), a visibilidade real (1), visibilidade de projeto (1), distância de visibilidade (100 metros), precipitação na estiagem e chuva (0 e 1313 mm/ano) e a efetividade de captação (sem captação). As Tabelas 5 e 6 apresentam os demais dados necessários para realização da avaliação de perigo.

Tabela 5. Dados coletados em campo para análise de perigo na rodovia.

Talude	Volume de Blocos (m ³)	Comprimento do Talude (Km)	RMR Seca	RMR Úmida	F1	F2	F3	F4
1 - A	1	0.1	72	57	0.85	1	-25	0
1 - B	0.5	0.08	70	55	0.85	1	-25	0
1 - C	1	0.06	80	65	0.85	1	-25	0
2 - A	1	0.0743	84	69	0.85	1	-25	0
4 - A	0.5	0.034	60	45	0.85	1	-25	0
4 - B	1	0.0124	71	56	0.85	1	-25	0
4 - C	0.5	0.0286	71	56	0.85	1	-25	0
4 - D	0.5	0.0498	71	56	0.85	1	-25	0
BETIM	0.25	0.1	63	63	0.85	1	-25	0
PM1	0.5	0.2025	89	89	0.85	1	-25	0
PM2	0.5	0.2025	71	71	0.85	1	-25	0

Fonte: Autores

Tabela 6. Dados coletados em campo para a análise de perigo.

Talude	Altura do Talude (M)	Risco ao Veículo	Largura Do Pavimento (M)	Dimensão do Bloco	Carac. Geológica-Geotécnica (Seca)	Carac. Geológica-Geotécnica (Úmida)
1 - A	7.3	6.82	1	1.00	50.75	35.75
1 - B	6	5.46	3.6	0.79	48.75	33.75
1 - C	4.5	4.09	3	1.00	58.75	43.75
2 - A	8.5	5.07	3.4	1.00	62.75	47.75
4 - A	3	2.32	2	0.79	38.75	23.75
4 - B	4.5	0.85	2	1.00	49.75	34.75
4 - C	5.5	1.95	2	0.79	49.75	34.75
4 - D	7.65	3.40	2	0.79	49.75	34.75
BETIM	10	5.07	1.5	0.63	41.75	41.75
PM1	12	13.82	0	0.79	67.75	67.75
PM2	12	13.82	0	0.79	49.75	49.75

Fonte: Autores.

O talude com maior altura foi o de Pará de Minas e como consequência esse mesmo talude possui o maior índice I_{AT} . Em relação ao I_{AC} , o mesmo permanece constante (81) devido à falta de área de captação em torno de todos os taludes estudados nesse trabalho. Já o I_{LP} foi baseado na faixa de pontuação proposta por Gomes e Sobreira (2012) como todos os taludes estão com a largura do pavimento abaixo de 6, a pontuação utilizada é 81. Esse parâmetro possibilita um espaço de manobras e desvios, ou seja, quanto menor a largura, menor segurança ele traz, o que o torna um aspecto importante para análise.

Para I_{RV} , utilizou-se os valores de Risco ao Veículo para os cálculos, onde quanto maior o índice, maior será a probabilidade de tráfego em áreas de riscos. Este parâmetro tende a aumentar com o tempo, pois, devido ao aumento da população consequentemente ocorre o aumento do tráfego de veículos presentes na via.

O índice I_{DV} permaneceu constante (3,013) e como máximo, pois todos os taludes estavam localizados em retas na rodovia. O índice I_{DV} está relacionado a possibilidade de ocorrer um acidente entre o automóvel e o bloco solto. Quanto menor for essa probabilidade, maior será o perigo para o motorista. Neste caso para todos os taludes, a distância de visibilidade foi considerada máxima (100) devido as localizações dos taludes serem em retas dentro da rodovia.

Para o índice I_{DB} , onde os menores valores indicam os menores volumes de blocos, com baixa magnitude, diminuindo o grau de perigo do talude. Os maiores blocos encontrados foram nos setores P1 – A, P1 – C, P2 – A e P4 – B, e consequentemente os maiores I_{DB} . As características relacionadas a dimensão dos blocos foram similares entre os taludes, acarretando apenas três valores de I_{DB} que agrupa os taludes estudados.

Da mesma forma que alguns índices mencionados anteriormente, o índice I_{CC} permaneceu constante (0,005 – estiagem e 5,761 – chuvas) para todos os taludes analisados, pois todos os taludes se localizam na mesma região, e assim, apresentam os mesmo valores de precipitação pluviométrica média anual. Neste estudo utilizou-se como referência a precipitação pluviométrica média anual do município de Divinópolis, que varia entre 1200 e 1400 mm segundo o site da Câmara de Municipal de Divinópolis.

Para o cálculo do índice I_{CG} foi necessário conhecer a característica geológica-geotécnica dos taludes, ou seja, o ajuste do RMR, o SMR. Para esse índice também foram considerados as duas épocas extremas do ano, tempo de estiagem e o tempo de chuva.

Para a análise do SMR sem a presença de água, as seguintes informações foram coletadas em campo: descrição do maciço rochoso normal para maioria dos taludes, exceto para os taludes P2 – A (Bom), PM1 (Bom) e P4 – A (Ruim). Em relação à estabilidade, todos os

taludes se encontravam parcialmente instáveis, com exceção dos taludes P2 – A (Estável), PM1 (Estável) e P4 – A (Instável). O mesmo ocorreu com as falhas, os taludes P2 – A e PM1 possuíam alguns blocos, P4 – A rupturas planares ou cunhas grandes, enquanto o restante possuía rupturas planares, juntas ou cunhas.

Já para o SMR com a presença de água, onde as informações obtidas são: classe ruim para os taludes P1 – A/B e P4, classe normal para P1 – C, P2 – A, BETIM e PM2 e por fim, classe bom apenas para o talude PM1, no que se refere a descrição do maciço. Já para a estabilidade os taludes P1 – A/B e P4 são considerados instáveis, P1 – C, P2 – A, BETIM e PM2 parcialmente instáveis e PM1 estável; foram encontradas rupturas planares ou cunhas grandes (P1 – A/B e P4), planares, juntas ou cunhas (P1 – C, P2 – A, BETIM-BT e PM2) e alguns blocos (PM1). Na Tabela 7 estão dispostos os resultados para melhor visualização.

Tabela 7. Valores de SMR - Sem presença de água / Com presença de água.

SMR - sem presença de água											
Taludes	1 - A	1 - B	1 - C	2 - A	4 - A	4 - B	4 - C	4 - D	BT	PM1	PM2
Probabilidade de falha	0.4	1.4	2.4	0.2	0.6	0.4	1.4	2.4	3.4	0.2	3.4
Classe	III	III	III	II	IV	III	III	III	III	II	III
SMR - com presença de água											
Taludes	1 - A	1 - B	1 - C	2 - A	4 - A	4 - B	4 - C	4 - D	BT	PM1	PM2
Probabilidade de falha	0.6	0.6	0.4	0.4	0.6	1.6	2.6	3.6	0.4	0.2	0.4
Classe	IV	IV	III	III	IV	IV	IV	IV	III	II	III

Fonte: Autores.

Verifica-se na tabela acima, que apenas os setores P1 – A, P1 – B, P2-A, P4 – B, P4 – C e P4 – D sofrem uma alteração significativa com a presença de água ao mudar a classe SMR, ou seja, menores valores de SMR acarretam menores estabilidades e condições do maciço aumentando o perigo de cada talude. O setor P4 – A possui os menores valores para as duas condições avaliadas, sendo que para qualquer situação esse setor apresenta maior perigo ao analisar apenas esse parâmetro.

A diferença padrão entre os valores de SMR ocorre da mesma forma que para os resultados de RMR, devido aos fatores de ajustamento das descontinuidades permanecerem

constantes para todos os taludes estudados. Da mesma forma que o RMR, as melhores condições são para o período de estiagem.

Após todos os índices calculados, finalmente, os valores de I_{QB} foram encontrados para as duas situações descritas anteriormente. A Tabela 8 apresenta o valor de cada índice calculado para os taludes da rodovia e o valor final de I_{QB} encontrado para eles.

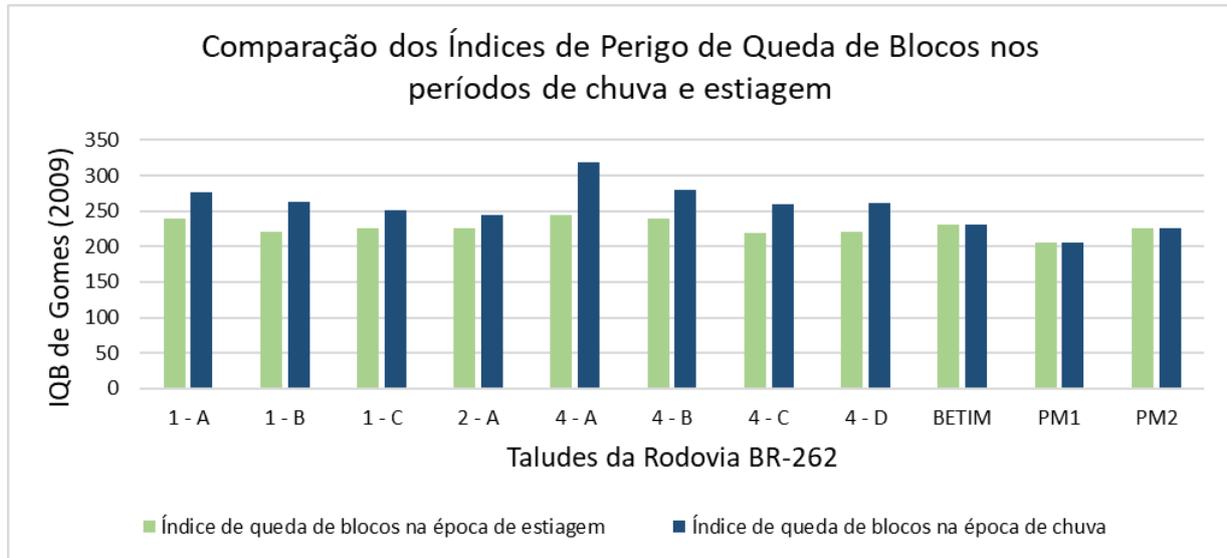
Tabela 8. Índice de Queda de Blocos calculado para os taludes da BR-262.

SETOR	I_{AT}	I_{AC}	I_{RV}	I_{DV}	I_{LP}	I_{DB}	I_{CC} Seca	I_{CC} Úmida	I_{CG} Seca	I_{CG} Úmida	I_{QB} Seca	I_{QB} Úmida
1 - A	3.80	81	1.34	3.01	81.0	38.9	0.005	5.76	14.9	34.0	238.9	277.1
1 - B	2.99	81	1.27	3.01	81.0	18.3	0.005	5.76	16.6	37.9	220.9	263.5
1 - C	2.27	81	1.19	3.01	81.0	38.9	0.005	5.76	9.6	21.9	226.6	251.2
2 - A	4.73	81	1.25	3.01	81.0	38.9	0.005	5.76	7.7	17.6	225.4	245.1
4 - A	1.73	81	1.11	3.01	81.0	18.3	0.005	5.76	28.8	65.8	243.8	317.8
4 - B	2.28	81	1.04	3.01	81.0	38.9	0.005	5.76	15.8	35.9	238.8	279.1
4 - C	2.73	81	1.09	3.01	81.0	18.3	0.005	5.76	15.8	35.9	218.6	259.0
4 - D	4.06	81	1.16	3.01	81.0	18.3	0.005	5.76	15.8	35.9	220.0	260.4
BETIM	6.23	81	1.25	3.01	81.0	10.0	0.005	5.76	24.5	24.5	231.5	231.5
PM1	8.99	81	1.83	3.01	81.0	18.3	0.005	5.76	5.8	5.9	205.8	205.8
PM2	8.99	81	1.83	3.01	81.0	18.3	0.005	5.76	15.8	15.8	225.6	225.6

Fonte: Autores.

É possível analisar que os maiores valores de I_{CG} estão relacionados aos taludes com piores cenários geotécnicos/geológicos. Nessa categoria, o maior índice pertence ao setor P4 – A, indicando a instabilidade do setor nesse talude. Para uma melhor visualização a Figura 9 apresenta a comparação dos índices de perigo para os taludes da BR-262.

Figura 9. Comparação dos índices de perigo de queda de blocos nos períodos chuvosos e de estiagem.



Fonte: Autores.

Pela Figura 9 é possível observar que dentre os taludes estudados o de maior perigo foi o Talude P4-A, seguido do setor P4 – B, para época de chuvas, e o Talude 1 no setor P1 – A, para época de estiagem. Porém, ao se analisar o Talude de Pará de Minas (PM1), nota-se que ele é o setor de menor I_{QB} . No método de Gomes e Sobreira (2012) existe a possibilidade de criar uma hierarquização dos taludes em estudos, onde é realizado uma comparação entre eles, ou seja, taludes de maiores índices de quedas de blocos devem ser priorizados.

4. Conclusões

Estudos sobre as condições de maciços rochosos e análises de perigo assumem grande importância no que tange o gerenciamento e priorização de obras em rodovias, especialmente aquelas de grande fluxo, como é o caso da BR-262. A partir do estudo realizado foi possível verificar que os taludes rochosos analisados na BR-262 são compostos de gnaisses, inseridos nos Complexos Belo Horizonte e Divinópolis.

As classes de RMR no Talude P4, para os setores P2 e P4, variam de I a III. Já para o setor A do Talude P4, o RMR varia entre as classes II e III. Para o talude P2, o RMR variou entre as classes I a II. Para o Talude P1, no setor A, o RMR variou entre as classes II e III. No setor B do Talude P1, as classes de RMR variaram entre II e III. No setor C do Talude P1, o RMR se encontrou apenas na classe II. Os valores de Q de Barton foram de classe IV para

Talude P4 e P1 e classe III para Talude P2. Os valores de GSI do Talude P4 foram 45 para o setor A, 65 para o setor B e 60 para o setor C. Para o Talude P2 foi de 65. Já para o Talude P1, os GSI obtidos foram de 55 para o setor A, 60 para o setor B e 70 para o setor C.

O setor A do Talude P4 foi o que mais apresentou chances de ruptura planar, enquanto o setor B deste mesmo talude foi o que mais apresentou chances de ruptura em cunha. O Talude P2 apresentou maiores chances de tombamento de blocos direto. Entretanto, considerando-se na análise de estabilidade um nível de saturação de 30%, pode-se perceber que todos os taludes se apresentam estáveis. O fator de segurança para ruptura planar do setor B do Talude P4 foi de 1,24; enquanto para ruptura em cunha do setor C do Talude P4 foi de 1,76.

Dentre os taludes analisados o Talude o de maior perigo foi o Talude P4-A, seguido do setor P4 – B, para época de chuvas, e o Talude 1 no setor P1 – A, para época de estiagem. Porém, ao se analisar o Talude de Pará de Minas (PM1), nota-se que ele é o setor de menor I_{QB} .

O método utilizado nesta pesquisa representou satisfatoriamente as características dos taludes quanto ao problema de queda de blocos. Posto isso, sugere-se que as principais obras de intervenções nos pontos analisados fossem a utilização de drenagens para o Talude P4, visto que este é o talude com mais alto perigo nas épocas de chuvas. Para o Talude P1, devido às suas características geológico-geotécnica, sugere-se o uso de telas de proteção para que os blocos que por ventura se desprenderem do talude não alcancem a rodovia, ocasionando acidentes.

Trabalhos futuros podem ser indicados para a presente pesquisa, tais como a utilização de metodologias diferentes para avaliação do perigo de queda de blocos, com intuito de observar se existem diferenças nos resultados. Alguns trechos da rodovia apresentam taludes em solo, logo, pode-se avaliar uma metodologia para análise de risco destes taludes em solo. Além disso, a metodologia foi aplicada em um trecho específico da rodovia, logo a principal sugestão é a continuação do estudo em trechos distintos.

Referências

Almeida, F. F. M. (1977). O cráton de São Francisco. Revista Brás. Geoci. São Paulo, 7(1), 349-364.

Barton, N. & Bandis, S. (1982). Effect of block size on the shear behavior of jointed rocks. Proceedings - Symposium on Rock Mechanics. 739-760.

Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Wiley & Sons, New York, 251. pp.

Budetta, P. (2004). Assessment of rockfall risk along roads. Natural Hazard and Earth System Sciences 4: 71-81.

Divinópolis. (2018). Câmara Municipal de Divinópolis. Sobre Divinópolis. Geografia. Recuperado de: <<https://www.divinopolis.mg.leg.br/sobre-divinopolis/geografia>>

DNIT - Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. (2014). Recuperado de: <<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/ContagemContinua>>.

Gomes, G. J. C. & Sobreira, F. G. (2013). Avaliação do Perigo de Queda de Blocos em Rodovias - Rockfall Evaluation in Highways. Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ. Impresso), 35(2), 14-27.

Hoek, E. & Brown, E. (1997). Practical estimates of rock mass strength. International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences, 34(8), 1165-1186.

ISRM - International Society for Rock Mechanics. (1981). Rock Characterization, Testing and Monitoring – ISRM Suggested methods, Pergamon Press, Oxford, E.T. Brown (ed), p. 211.

Pereira A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM.

Pierson, L. A., Davis, S. A. & Van Vickle, R. (1990). Rockfall Hazard Rating System – Implementation Manual, Federal Highway Administration (FHWA), Report FHWA-OR-EG-90-01, FHWA, U.S. Dep. of Transp.

Ritchie, A. M. (1963). Evaluation of rockfall and its control. U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, and the Washington State Highway Commission.

Rocscience. (2019). Dips versão 7.016. Rocscience, Toronto, Ontario, Canada.

Rocscience. (2019). Rocplane versão 4.001. Rocscience, Toronto, Ontario, Canada.

Rocscience. (2019). RocTopple versão 2.001. Rocscience, Toronto, Ontario, Canada.

Rocscience. (2019). Swedge versão 7.001. Rocscience, Toronto, Ontario, Canada.

Romano, A. W. (2007). Nota Explicativa da Folha Pará de Minas (SE. 23-Z-C-IV). Programa Geologia do Brasil: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, v. 5. Edição 1.

Santos, A. E. M. et al. (2018). Caracterização geológica-geotécnica de maciços rochosos marginais à BR-262. In: VIII Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas - SBMR 2018.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Allan Erlichman Medeiros Santos – 16,67%

Denise de Fátima Santos da Silva – 16,67%

Guilherme Alzamora Mendonça – 16,67%

Thayná Valeriano Santos – 16,67%

Rafaella Resende Amaral – 16,67%

Laura Adriele Moura Silva – 16,67%