

AVALIAÇÃO DO PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS EM MACIÇOS ROCHOSOS

Thayna Valeriano Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
thaynasantosengminas@gmail.com

Denise de Fátima Santos da Silva
Universidade Federal de Minas Gerais

Laura Adrielle Moura da Silva
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Allan Erlikhman Medeiros Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Guilherme Alzamora Mendonça
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

RESUMO

Na mineração, a avaliação de risco é de extrema importância no que tange a segurança durante a operação da lavra. Este trabalho teve como objetivo avaliar o 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. A partir dos dados coletados em campo, determinou-se e comparou-se os níveis de perigo dos taludes utilizando duas metodologias distintas. Os níveis de perigo obtidos variaram de baixo a alto, sendo que nos taludes analisados não existiram divergências quanto ao nível de perigo na aplicação das duas metodologias. O talude com maior grau de perigo foi o Talude P4 - A para ambas metodologias. A comparação das metodologias permite o investigador decidir qual método aplicar, levando-se em conta a segurança e/ou adequação às características do local a ser estudado.

Palavras-chave: avaliação de perigo; queda de blocos; BR-262; taludes rodoviários.

ABSTRACT

In mining, risk assessment is extremely important regard to safety during mining operations. This study aimed to evaluate the rockfall hazard from slopes located along BR-262 highway, between the cities of Betim and Nova Serrana, in Minas Gerais. Based on data collected in the field, hazard levels were determined and collected using two different methodologies. Hazard levels varied from low to high and in the slopes analyzed there was no difference in the hazard level in the application of the two methodologies. The slope with the highest hazard level was P4 - A for both methodologies. The comparison of the methodologies allows the researcher to decide which method to apply, taking into account the safety and / or suitability to the characteristics of the place to be studied.

Keywords: hazard evaluation; rockfall; BR-262; road slopes.

INTRODUÇÃO

É possível, na engenharia geotécnica, a realização de projetos voltados para a área de estabilidade de taludes visando analisar, avaliar e prevenir a movimentação por quedas de blocos. Diversos fatores, que podem provocar esse tipo de fenômeno, são utilizados e pontuados de acordo com sua importância sobre o local de estudo e, por fim, ajudarem na definição de níveis de risco sobre a área. Alguns exemplos de fatores utilizados seriam: fatores geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos, geométricos, entre outros.

Um dos desafios encontrados para esse tipo de estudo seria a heterogeneidade das encostas rochosas. A partir disso, surgem diversas metodologias e adaptações de avaliação de perigo de acordo com a região em estudo, com o objetivo de definir medidas corretivas ou preventivas, reparando ou impedindo a ruptura e queda de um bloco. Como exemplo dessas metodologias e adaptações temos: Pierson *et al.* (1990) [1], Corteletti (2014) [2], Alves (2014) [3], Cunha (2016) [4], Silveira (2017) [5], Gomes (2009) [6].

A avaliação de perigo auxilia nas tomadas de decisões e de priorização de obras que possam estar mais suscetíveis a esse tipo de movimentação de massa (quedas de blocos), enquanto seus resultados também proporcionam a segurança física e financeira dos afetados, além de conforto. Para este trabalho, a rodovia foi escolhida por ser uma alternativa de conexão entre Belo Horizonte, Centro-Oeste Mineiro e Triângulo Mineiro (Santos *et al.* 2018 [7]) e a área de estudo possuir uma relação entre as obras civis, a segurança da sociedade e propriedades em torno do maciço.

O presente trabalho irá apresentar uma avaliação de perigo relacionada a quedas de blocos em taludes localizados na rodovia BR-262, entre Betim e Nova Serrana (Figura 1). A avaliação foi realizada a partir de duas metodologias existentes, de [5] e [6]. Assim, pode-se identificar os taludes com necessidade ou não de intervenção e comparar a aplicação das duas metodologias.

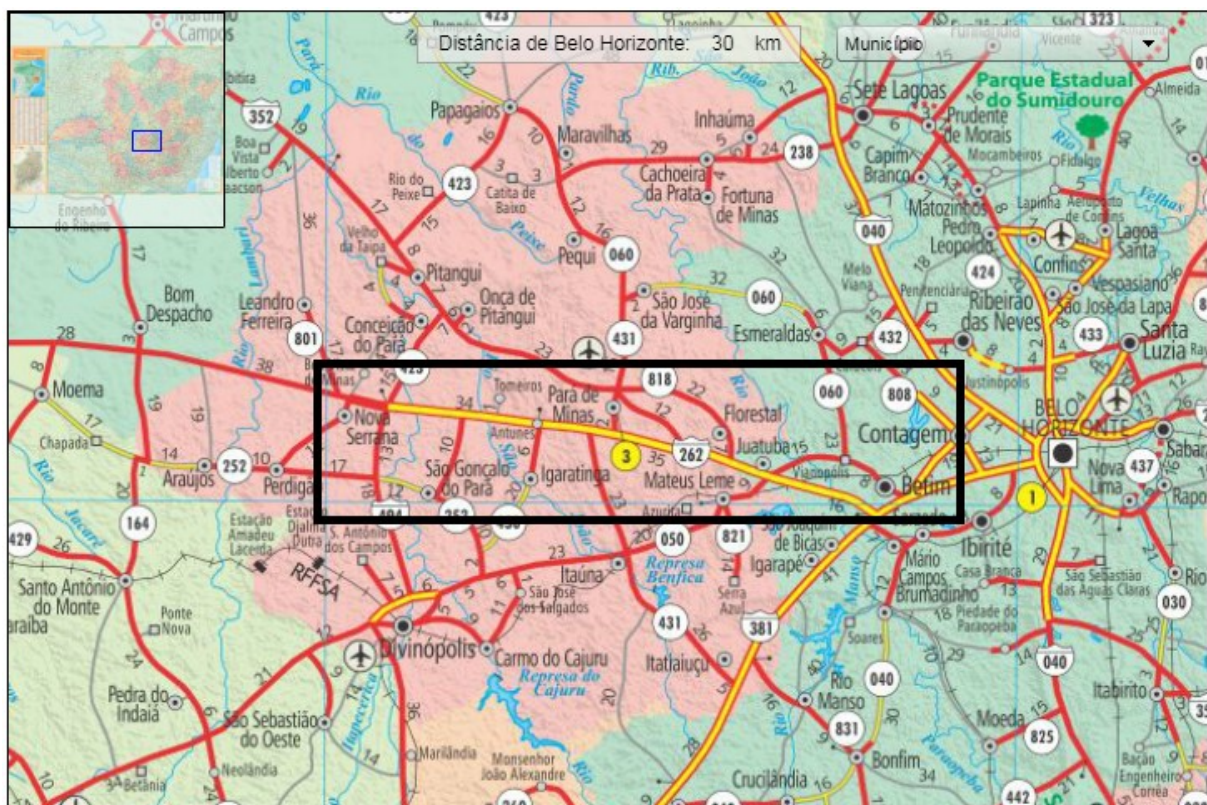


Figura 1: Localização da área de estudo (entre Betim e Nova Serrana).

METODOLOGIA

Foram selecionados 3 taludes em maciço rochoso longo da rodovia BR-262, além disso, dois taludes analisados por [7] foram selecionados para aplicação das análises de perigo de quedas blocos. Os taludes se localizam entre as cidades de Betim e Nova Serrana na rodovia BR-262. Sendo o Talude P4 com coordenadas $19^{\circ}53'33''\text{S}$ em latitude e $44^{\circ}52'46''\text{W}$ em longitude; Talude P2 de coordenadas $19^{\circ}53'24''\text{S}$, para latitude, e $44^{\circ}48'15''\text{W}$, para longitude e o Talude P1 de coordenadas $19^{\circ}53'35''\text{S}$ e $44^{\circ}39'09''\text{W}$, para latitude e longitude, respectivamente.

Os taludes foram setorizados de acordo com as características semelhantes de cada talude. A Figura 2 mostra essa setorização. Além disso, em campo foram coletados diversos parâmetros que eram necessários para realizar a análise de perigo utilizando as duas metodologias ([5] e [6]).

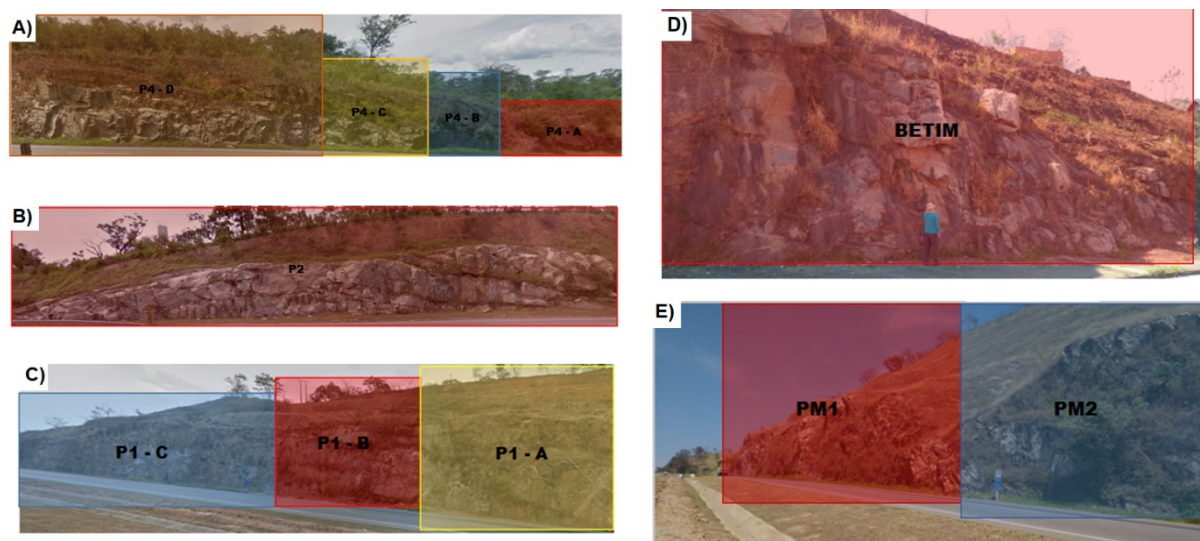


Figura 2: As Figuras A, B e C apresentam as setorizações realizadas nos Taludes P4, P2 e P1 respectivamente. As Figuras D e E apresentam as setorizações dos Taludes de Betim e Pará de Minas (PM) (fotos cedidas pelos trabalhos de [7]).

A primeira metodologia utilizada neste trabalho é a metodologia de [5], que é uma adaptação da metodologia de Bauer e Neumann (2011) [[8]. [5] adaptou a metodologia para as condições geoambientais brasileiras. Segundo [5], é necessário definir os termos de suscetibilidade, probabilidade e intensidade. Suscetibilidade (disposição + atividade) seria um parâmetro que avalia as características dos movimentos de massa ([2]), a probabilidade indica o grau de certeza de um evento ocorrer (Fell *et al.*, 2008 [9]), enquanto a intensidade seria a energia associada a esse evento ([5]).

A Figura 3 mostram as matrizes utilizadas por [5] para realizar a avaliação de perigo, onde a primeira indica a classe de *Probabilidade* de ocorrência do evento (“Disposição + Atividade” X “Influências externas”) e a segunda, a *Classe de Perigo* referente a cada área estudada (“Probabilidade” X “Intensidade”). Esta metodologia é realizada a partir de cálculos de pesos dispostos a cada parâmetro. A soma dos pesos, seguido pela aplicação nas matrizes de probabilidade e perigo resultam na classe de perigo para cada talude rochoso analisado.

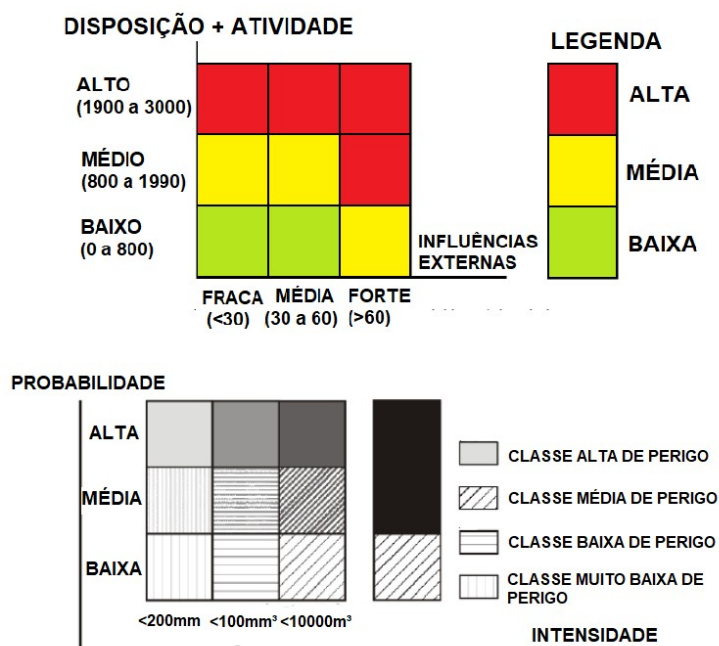


Figura 3: Matriz de probabilidade à ocorrência de queda de blocos e matriz de perigo de queda de blocos (adaptado de [8]) [5].

Vários parâmetros foram coletados em campo tais como: dimensão dos blocos caídos, presença de água, coordenadas geográficas e características visíveis referentes à composição do maciço rochoso. Além desses dados, algumas informações foram retiradas de estudos devido a impossibilidade da coleta em campo. A Tabela 1 apresenta de forma sintetizada as variáveis analisadas para a avaliação de perigo nos taludes da BR-262.

Tabela 1 – Variáveis utilizadas para avaliação de perigo de queda de blocos segundo a metodologia proposta por [5].

CLASSE DE PERIGO		
Probabilidade		Intensidade
Suscetibilidade	Influências externas	
- Orientação das descontinuidades - Grau de alteração - Configuração estrutural das descontinuidades ou Grau de afrouxamento - Tipo de embasamento - Deformações em larga escala - Movimento de massa no pé do talude - Atividade inicial - Probabilidade atribuída	- Sismos (tectônicos, ou minerações, regiões cársticas, veículos pesados ou regiões isentas de sismos). - Precipitação acumulada no período de 6 dias.	- Volume total de blocos caídos.

Já a metodologia proposta por [6] adotou um total de oito parâmetros (Tabela 2), tendo como base Ritchie (1963) [10], [1] e Budetta (2004) [11]. A Tabela 1 apresenta as equações e o parâmetros utilizados para avaliar o perigo em cada talude estudado. Com todos os valores de índices encontrados, têm-se a Equação 1, proposta por [6], resultando no índice de quedas de blocos, onde quanto maior o esse valor, maior será o perigo.

Tabela 2 – Variáveis utilizadas para avaliação de perigo de queda de blocos segundo a metodologia proposta por [6].

PARÂMETROS	SÍMBOLO	EQUAÇÃO
------------	---------	---------

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

$$IQB = I_{AT} + I_{AC} + I_{RV} + I_{DV} + I_{LP} + I_{DB} + I_{CC} + 2I_{CG} \quad \text{Equação 1}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os taludes estudados estão inseridos no Complexo Divinópolis com exceção do Talude de Betim descrito por [7] que está inserido no Complexo Belo Horizonte. Todos os maciços rochosos são constituídos de gnaisses acinzentados podendo apresentar a ocorrência ou não de diques localizados. Os gnaisses são constituídos majoritariamente por minerais como feldspato, quartzo, biotita e anfibólio. O maciço rochoso é composto de um gnaisse competente, sendo que as porções de alteração se encontram geralmente nas porções superiores dos taludes e/ou próximos às descontinuidades.

Os dados referentes a orientação e grau de alteração das descontinuidades variaram da seguinte forma: para os taludes P1, P2 e P4 – A/B as orientações foram razoáveis e favoráveis. Para os taludes P4 – C/D as três situações foram vistas (desfavoráveis, razoáveis e favoráveis) e por fim, os taludes de BETIM, PM 1 e 2 foram encontradas orientações desfavoráveis. Para o segundo parâmetro foram encontrados os seguintes dados: forte/baixo (P1), forte (P4 – A) e baixo (P2, P4 – B/C/D, BETIM, PM1 e PM2).

A estrutura das descontinuidades encontradas no local foram: persistência – baixa (P4 – C/D e PM2), média (P2, P4 – A/B e PM1) e alta (BETIM); grau de transecção – nenhum mineral; abertura das descontinuidades – abertas (P1 – B/C e P4 – A), suavemente aberta (P1 – A, P2, P4 – C/D, BETIM e PM2) e fechadas (P4 – B e PM1); condição das paredes – rugosas para todos os taludes; grau de afrouxamento, pois para o talude P1 não obteve-se a persistência, poucas indicações (P1 – A) e indicações claras (P1 – B/C). Os parâmetros utilizados foram os mesmos de [5].

Os dados dos parâmetros da classe referente a geometria do talude e a área de captação foram: altura média para os taludes P1, PM1 e PM2 e baixa para os taludes P4, P2 e BETIM; inclinação vertical com feições de lançamento para todos os taludes; e por fim, a área de captação para todos os taludes foram de uma distância moderada e pouca vegetação, com exceção dos taludes P1 – C, P4 – D, PM1 e PM2 que possuíam pequena distância, inclinação elevada e pouca vegetação.

Para as influências externas, atividade e intensidade os dados obtidos foram: sismo referentes a veículos pesados para todos os taludes; precipitação do período de estiagem e chuvas < 48,2 mm/6 dias e > 129 mm/6 dias, respectivamente; todos os taludes estão ativos; e o volume de blocos foram de bloco único para todos os taludes, com exceção dos taludes P4 – A, PM1 e PM2. Alguns parâmetros analisados permaneceram constantes, com isso foram utilizadas as piores situações para aquelas com mais de uma característica na mesma categoria. Sendo assim, foi possível encontrar o pior cenário para cada setor analisado. Para a pontuação de suscetibilidade, têm-se uma base a partir dos seguintes

valores: 0 – 103 (Classe Baixa), 104 – 245 (Classe Média) e 246 – 388 (Classe Alta). Assim é possível realizar a somatória dos parâmetros que resultou na Tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo da suscetibilidade (disposição + atividades) segundo a metodologia proposta por [5].

PARÂMETROS	TALUDES										
	P1-A	P1-B	P1-C	P2	P4-A	P4-B	P4-C	P4-D	BETIM	PM1	PM2
Orientação	34	34	34	34	34	34	85	85	85	85	85
Alteração	14	14	14	0	14	0	0	0	0	0	0
Persistência	-	-	-	7	7	7	0	0	14	7	0
Transecção	-	-	-	14	14	14	14	14	14	14	14
Abertura	-	-	-	7	14	0	7	7	7	0	7
Rugosidade	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Afrouxamento	112	224	224	-	-	-	-	-	-	-	-
Altura	20	20	20	0	0	0	0	0	0	20	20
Inclinação	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Captação	7	7	14	7	7	7	7	14	7	14	14
Atividade	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
SUSCETIBILIDADE	264	376	383	153	167	139	190	197	204	217	217
CLASSIFICAÇÃO	A	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M

Onde: A= Alta, M= Média.

A maior suscetibilidade (disposição + atividade) encontrada foi no valor de 383 para o setor C do Talude 1 e a menor foi de 139 para o setor B do Talude 4, apresentados na Figura 29 e 30, respectivamente. Antes de realizar as tomadas de decisões referentes as intervenções necessárias, é preciso realizar a avaliação de cada parâmetro característico do talude e não apenas as pontuações gerais colocadas a cada área. As diferenças entre os setores de maior e menor suscetibilidade são: o grau de alteração, que mesmo possuindo os dois tipos de alteração (forte e baixo) foi escolhido o pior entre eles (forte) para o talude P1 – C, o grau de afrouxamento, que é pontuado apenas no talude P1 – C, a altura do talude e a área de captação.

O grau de afrouxamento é utilizado como uma alternativa quando não há informações das configurações estruturais das famílias de descontinuidades (persistência, abertura etc.). O Talude 1 é constituído de um maciço muito fraturado, não apresentando famílias de descontinuidades muito claras. A partir disso, a maior influência sobre a pontuação final, observada na Tabela 3, foi a do grau de afrouxamento que acarretou uma pontuação maior para o P1 – C que a configuração estrutural das descontinuidades para o P4 - B.

As classes obtidas de suscetibilidade variaram de alta para o talude P1 e média para os demais taludes, enquanto o impacto externo, para o período de estiagem e chuvas, respectivamente, obteve-se a pontuação constante de 20 e 70. A partir desses dados foi possível encontrar a probabilidade de queda de blocos (Tabela 4), que permaneceu constante para os taludes, nas classes de média no período de estiagem e alta para o período de chuva. Sendo assim, a suscetibilidade não teve grande impacto sobre essa mudança de classe, pois até mesmo os taludes com maiores pontuações permaneceram na mesma classe que os demais. O fator de maior influência seria a precipitação, confirmando o que era esperado, onde a presença de água afeta a análise.

Tabela 4 - Probabilidade de ocorrência de quedas de blocos pela metodologia de [5].

TALUDES	DISPOSIÇÃO + ATIVIDADE (PESOS)	DISPOSIÇÃO + ATIVIDADE (CLASSE)	IMPACTO EXTERNO		PROBABILIDADE	
			MINÍMO	MÁXIMO	MINÍMO	MÁXIMO

1 - A	264	Alta	20	70	Média	Alta
1 - B	376	Alta	20	70	Média	Alta
1 - C	383	Alta	20	70	Média	Alta
2 - A	146	Média	20	70	Média	Alta
4 - A	167	Média	20	70	Média	Alta
4 - B	139	Média	20	70	Média	Alta
4 - C	190	Média	20	70	Média	Alta
4 - D	197	Média	20	70	Média	Alta
BETIM	204	Média	20	70	Média	Alta
PM1	217	Média	20	70	Média	Alta
PM2	217	Média	20	70	Média	Alta

A partir dos valores de suscetibilidade e intensidade do evento foi possível encontrar as classes de perigo para todos os taludes. Os volumes de blocos encontrados em campo foram aproximadamente $100 \text{ m}^3 / > 200 \text{ mm}$ para os taludes P4 – A, PM1 e PM2I, alterando a classe de perigo no tempo de estiagem de muito baixo para baixo e $< 200 \text{ mm}$ para os demais taludes, onde na estiagem permaneceram na classe de perigo muito baixo. Para o período de chuvas, a classe de perigo alterou bruscamente para alta em todos os taludes. A Tabela 5 apresenta as classes de perigo encontradas tanto para o período chuvoso quanto para o período de estiagem.

Tabela 5 - Classe de perigo para os taludes da BR-262 a partir da metodologia de [5].

TALUDES	PROBABILIDADE		VOLUME DE BLOCOS	CLASSE DE PERIGO	
	MINÍMO	MÁXIMO		MINÍMO	MÁXIMO
1 - A	Média	Alta	$< 200 \text{ mm}$	Muito baixa	Alta
1 - B	Média	Alta	$< 200 \text{ mm}$	Muito baixa	Alta
1 - C	Média	Alta	$< 200 \text{ mm}$	Muito baixa	Alta
2 - A	Média	Alta	$< 200 \text{ mm}$	Muito baixa	Alta
4 - A	Média	Alta	$\approx 100 \text{ m}^3 / > 200 \text{ mm}$	Baixa	Alta
4 - B	Média	Alta	$< 200 \text{ mm}$	Muito baixa	Alta
4 - C	Média	Alta	$< 200 \text{ mm}$	Muito baixa	Alta
4 - D	Média	Alta	$< 200 \text{ mm}$	Muito baixa	Alta
BETIM	Média	Alta	$< 200 \text{ mm}$	Muito baixa	Alta
PM1	Média	Alta	$\approx 100 \text{ m}^3 / > 200 \text{ mm}$	Baixa	Alta
PM2	Média	Alta	$\approx 100 \text{ m}^3 / > 200 \text{ mm}$	Baixa	Alta

Com isso, as classes de perigo encontradas permaneceram na faixa de muito baixa, baixa e alta, onde as maiores influências de mudança de classe foram a precipitação e o fator de volume de blocos. Percebe-se que a mudança do volume de blocos provoca o aumento de classe (P4-A e PM) para um mesmo período de análise. Os taludes com maiores classes, para a precipitação mínima foram P4-A, PM1 e PM2, como pode ser visualizado no gráfico abaixo (Figura 4).

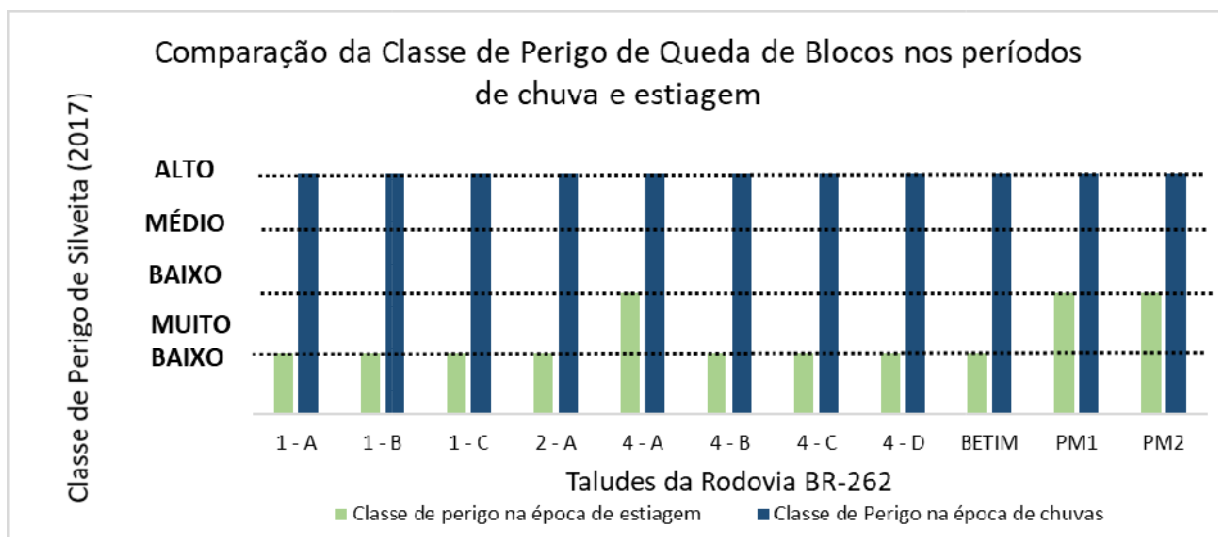


Figura 4 - Comparação das classes de perigo de queda de blocos nos períodos chuvosos e de estiagem.

A seguir será discutido a metodologia de [6]. Os dados obtidos a partir do estudo de campo utilizaram fórmulas, citadas anteriormente, e pesquisas necessárias para realizar a metodologia descrita por [6].

Alguns dos parâmetros analisados não foram medidos em campo, utilizou-se de sites especializados e artigos que fornecessem as informações necessárias. Como é o caso do parâmetro tráfego diário (DNIT (2014) [12]). A Figuras 5 apresenta os valores diários de carros que circulam a área de estudo. Os valores desse parâmetro para os taludes P1, P2, P4 e PM foram os de pico (Figura 5), já para o talude de Betim os valores mínimos foram utilizados pelo talude ser de acesso e não rodoviário, o que consequentemente diminui o fluxo de carros no local. Os dados de tráfego diário foram constantes no valor de 5458,83 carros/hora para todos os taludes, com exceção do talude BETIM no valor de 4052,29 carros/dia.

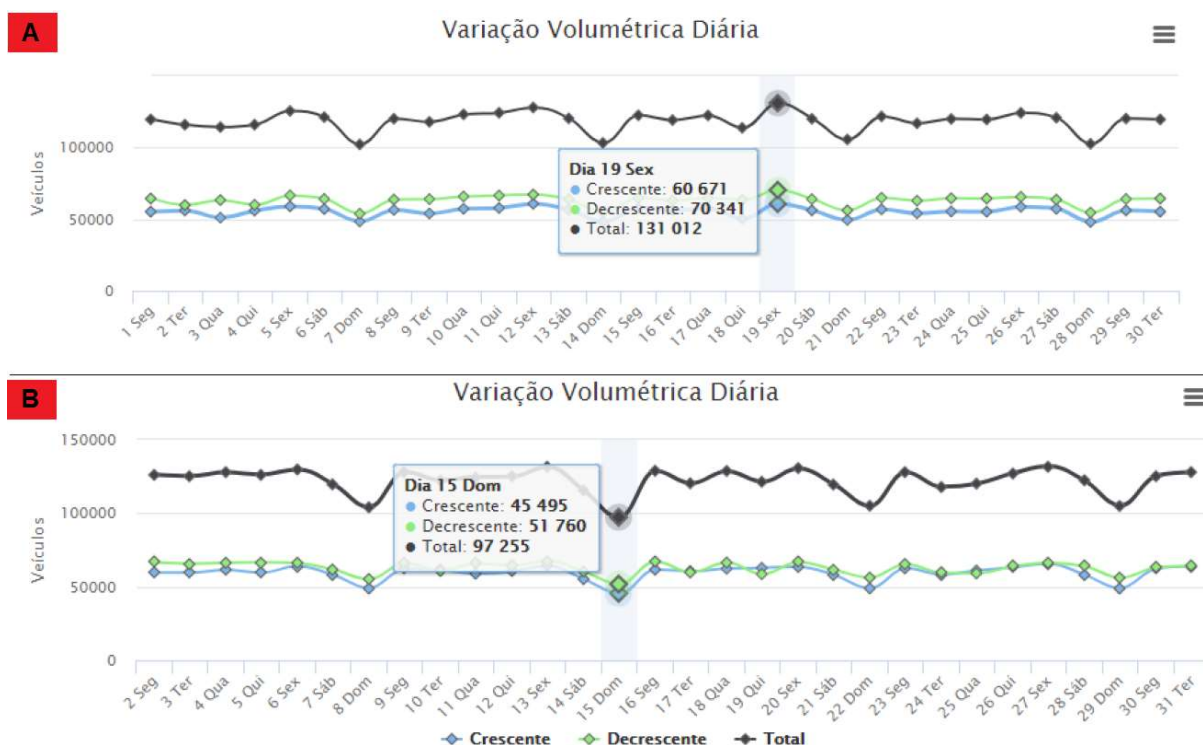


Figura 5 – A) Tráfego diário - Km 475 e B) Tráfego diário - Km 331 Fonte: [27].

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 6 e 7 apresentam os demais dados necessários para realização da metodologia.

Tabela 6 - Dados 1 - Metodologia Gomes (2009) [6].

TALUDE	VOLUME DE BLOCOS	COMPRIMENTO 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

Tabela 7 - Dados 2 - Metodologia Gomes (2009) [6].

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

Outro parâmetro analisado foi o SMR, sendo considerado como desfavorável devido a direção das descontinuidades ser quase que paralela a direção dos taludes. Observa-se na Tabela 8 que a presença de água também muda significativamente os valores de SMR, ou seja, menores valores de SMR resultam em menores estabilidades.

Tabela 8 – 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	BETIM	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	BETIM	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

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 falhas planares ou cunhas grandes, enquanto o restante possuía falhas 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 falhas planares ou cunhas grandes (P1 – A/B e P4), planares, juntas ou cunhas (P1 – C, P2 – A, BETIM e PM2) e alguns blocos (PM1).

Os taludes P1 – A, P1 – B, P2 – A, P4 – B, P4 – C e P4 – D apenas sofrem essas alterações, as melhores condições são para o período de estiagem. Na Figura 6 apresenta a comparação dos índices de queda de blocos de [6] nos períodos chuvosos e de estiagem.

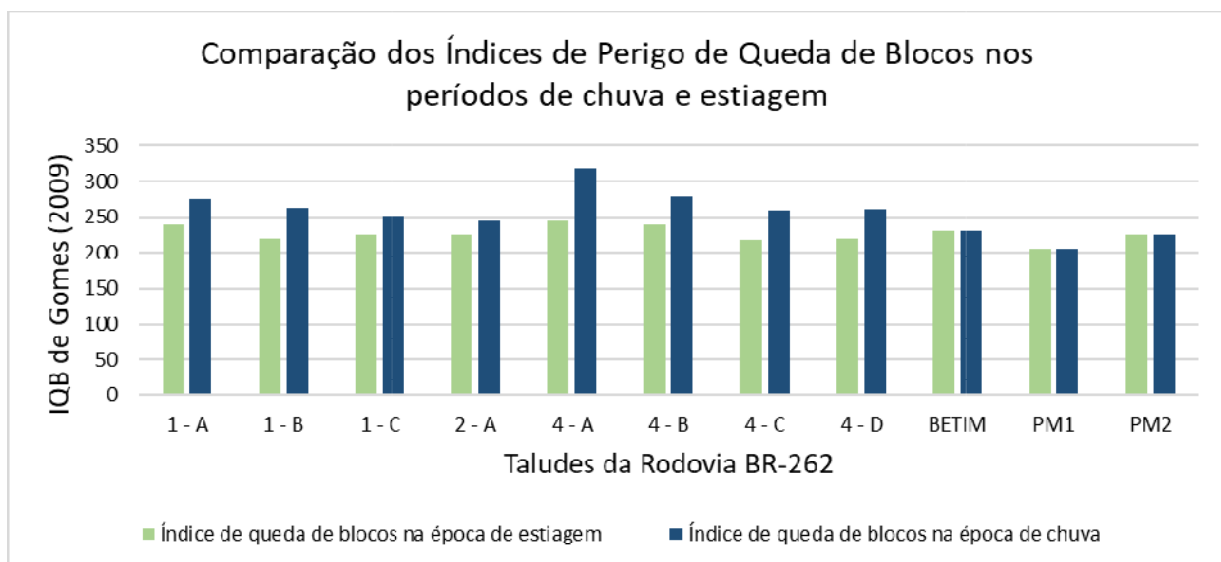


Figura 6 - Comparação das classes de perigo de queda de blocos nos períodos chuvosos e de estiagem.

O talude com maior altura foi o de Pará de Minas e como consequência esse mesmo talude possui o maior índice I_{AT} , indicando a efetividade em diagnosticar o risco referente a ruptura de blocos possível de acordo com a geometria do talude. 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 [6], como todos os taludes estão com a largura do pavimento abaixo de 6, a pontuação utilizada é 81.

O índice I_{DV} permaneceu constante (3,013) e como máximo, pois todos os taludes estavam localizados em retas na rodovia. 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 mesmos 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 índice I_{DB} , onde os menores valores indicam os menores volumes de blocos, com baixa magnitude, diminuindo o grau de risco do talude. Os maiores blocos encontrados foram nos setores P1 – A, P1 – C, P2 – A e P4 – B, e conseqüentemente os maiores I_{DB} . As características relacionadas a dimensão dos blocos foram parecidas entre os taludes, acarretando apenas três valores de I_{DB} que agrupa os taludes estudados. A Tabela 9 apresenta os resultados de IQD para os taludes da rodovia BR-262 analisados.

Tabela 9: Índices - Metodologia [6].

TALUDE	I_{AT}	I_{RV}	I_{DB}	I_{CG} SECA	I_{CG} ÚMIDA	I_{QB} SECA	I_{QB} ÚMIDA
1 - A	3.803	1.349	38.939	14.907	34.015	238.92	277.14
1 - B	2.998	1.271	18.293	16.640	37.971	220.86	263.52
1 - C	2.278	1.197	38.939	9.600	21.907	226.63	251.24
2 - A	4.737	1.249	38.939	7.705	17.581	225.35	245.10
4 - A	1.732	1.107	18.293	28.841	65.813	243.83	317.77
4 - B	2.278	1.038	38.939	15.750	35.939	238.77	279.15
4 - C	2.736	1.089	18.293	15.750	35.939	218.63	259.01
4 - D	4.055	1.161	18.293	15.750	35.939	220.02	260.40
BETIM	6.234	1.249	10.043	24.454	24.454	231.45	231.45
PM1	8.989	1.834	18.293	5.852	5.852	205.83	205.83
PM2	8.989	1.834	18.293	15.750	15.750	225.63	225.63

Existe uma relação inversa de proporcionalidade entre o SMR e I_{CG} , ou seja, maiores valores de I_{CG} são conseqüências de menores valores de SMR contribuindo para o aumento dos riscos. Por fim, os valores de I_{QB} foram encontrados para as duas situações descritas anteriormente. A Tabela 10 mostra a comparação dos dois métodos, o de [5] e [6].

Tabela 10 - Comparação dos resultados obtidos a partir das duas metodologias.

TALUDE	GOMES (2009) [6]		SILVEIRA (2017) [5]	
	SECA	ÚMIDA	SECA	ÚMIDA
1 - A	238.92	277.14	Muito baixa	Alta
1 - B	220.86	263.52	Muito baixa	Alta
1 - C	226.63	251.24	Muito baixa	Alta
2 - A	225.35	245.10	Muito baixa	Alta
4 - A	243.83	317.77	Baixa	Alta
4 - B	238.77	279.15	Muito baixa	Alta

4 - C	218.63	259.01	Muito baixa	Alta
4 - D	220.02	260.40	Muito baixa	Alta
BETIM	231.45	231.45	Muito baixa	Alta
PM1	205.83	205.83	Baixa	Alta
PM2	225.63	225.63	Baixa	Alta

Para a metodologia de [5], analisada a partir da Tabela 10, obteve-se alguns taludes com resultados com algumas discrepâncias dos resultados obtidos por meio da metodologia de [6]. O talude selecionado de maior perigo em ambas metodologias entre os que foram estudados, foi o Talude 4-A. Porém, ao se analisar o Talude de Pará de Minas (PM1), nota-se que pela metodologia de [5], ele se encontra com probabilidade Baixa na época de estiagem (probabilidade mais alta se comparada aos resultados dos outros taludes), enquanto este mesmo setor é o de menor I_{QB} a partir da metodologia de [6]. A Figura 7 apresenta os níveis de perigo de queda de blocos em toda a região avaliada.

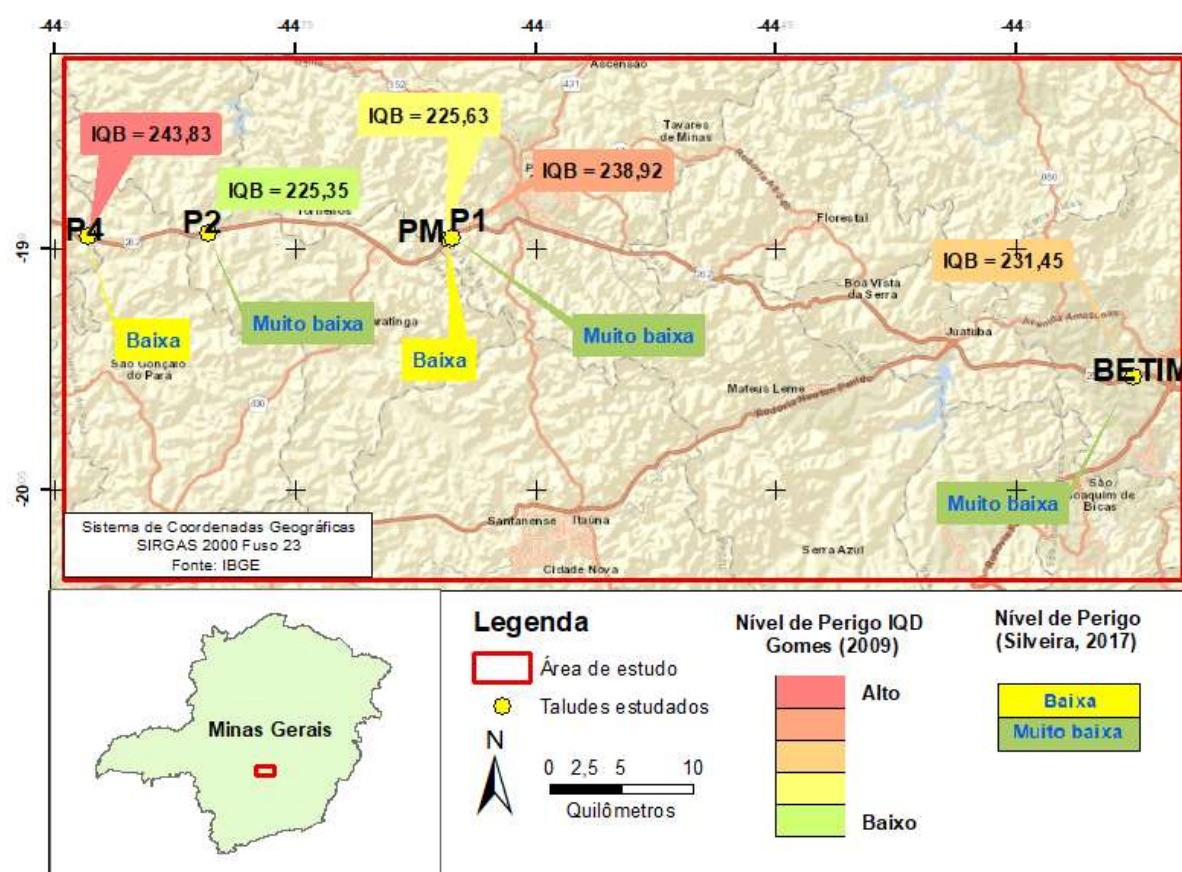


Figura 7 – Níveis de perigo na região avaliada na época de estiagem. Em destaque com letra em azul, metodologia de [5] e em letra preta metodologia de [6].

No método de [6] existe a possibilidade de criar uma hierarquização dos taludes em estudos, onde é realizado apenas uma comparação entre eles, ou seja, taludes de maiores índices de quedas de blocos devem ser priorizados. Sendo assim, existe a necessidade que a área de estudo possua mais de um talude para que ocorra uma classificação do nível de

perigo. Outro ponto que a metodologia leva consigo, é a dificuldade em obter alguns parâmetros necessários na classificação.

A metodologia de [5], diferentemente da de [6], existe a possibilidade de a classificação dos taludes ocorrer de acordo com o potencial de perigo oferecido. É uma metodologia conservadora em relação aos fatores influenciadores da queda de blocos, onde é possível observar o salto de uma classe de perigo para outra com a mudança de um parâmetro, no caso da precipitação.

A decisão do método a ser empregado deve levar em conta os parâmetros que mais afetaram o talude ou se esses parâmetros são críticos para o talude em questão. Com isso, a metodologia deve, também, seguir o objetivo da pesquisa, ou seja, para uma pesquisa de hierarquização a metodologia indicada seria a de [6], agora para uma pesquisa que necessita de uma classificação, a metodologia de [5] se adequa melhor.

Mesmo com a variação dos resultados, todos os taludes permaneceram em uma zona de perigo Muito baixa a Alta e nenhum necessitou de intervenções imediatas. Porém, como o intemperismo continua afetando esses taludes, é necessário o monitoramento das mudanças que podem ser ocasionadas ao longo do tempo.

CONCLUSÕES

Os métodos utilizados neste trabalho podem ser utilizados para a avaliação de perigo, porém com atenção as características da área de estudo para que o método seja adequado ao local. A pior situação encontrada em campo deve ser levada em consideração para obter a noção dos piores danos que a queda dos blocos pode causar e consequentemente ajudar na melhor escolha de contenção do evento.

Para a metodologia de [5], a maior suscetibilidade encontrada foi para o ponto P1 – C, no valor de 383, entrado na classe alta de suscetibilidade, já o menor valor (139), foi encontrado para o P4 – B. As maiores diferenças entre esses valores foram devido aos fatores: altura do talude, área de captação, o grau de alteração e o grau de afrouxamento, sendo o último o fator determinante do aumento da pontuação.

As classes de suscetibilidade encontradas para os taludes analisados foram de alta, para os setores do P1, a média, para os demais taludes. As classes para a probabilidade de queda de blocos também se encontraram entre alta a média, para estiagem e período de chuvas respectivamente. Essa mudança de classe confirma o que era esperado, a presença de água nos taludes afeta diretamente a probabilidade de ocorrência do evento, ou seja, quanto maior a presença de água maior será o risco de quedas de blocos.

Na análise de perigo, os taludes se encontraram em grau de perigo muito baixo até alto, para os períodos de estiagem e chuvas, respectivamente. Assim, a avaliação dos fatores utilizados pela metodologia de [5] é influenciada pelo período em que os fatores são analisados. O fator agravante para a classe de perigo foi o volume de blocos encontrados na área de estudo, afetando os taludes em questão, os mais afetados e consequentemente com maior grau de risco foram os pontos P4 – A, PM1 e PM2.

Na metodologia de [6], os taludes/setores P1 – A, P1- B, P2 – A, P4 – B, P4 – C e P4 – D, a presença de água resultou em uma drástica mudança de classe do SMR (parcialmente instável para instável). O menor valor para o SMR, tanto no período de chuva quanto para o período de estiagem, foi o ponto P4 – A, acarretando maiores riscos e em razão disto um maior ICG devido aos péssimos cenários geotécnicos- geológicos.

Em relação à dimensão dos blocos na área de estudo, os maiores blocos foram encontrados nos taludes P1 – A, P1 – C, P2 – A e P4 – A, ou seja, foram os de maior magnitude. Para

IQB, o maior valor encontrado foi para o ponto P4 – A (período de estiagem e chuvas), concordando com a metodologia de [5] como sendo o de maior perigo de queda. Porém, ocorreram discrepâncias, mesmo o talude P4 – A sendo o de maior perigo, na metodologia de [5], indica baixo grau de perigo para o período de estiagem (mesmo sendo o de maior *IQB*) e para o talude PM1 para a metodologia de [6] possui o menor *IQB* enquanto para o método de [5] está classificado como de alto risco no período de chuva.

As metodologias utilizadas no presente trabalho, podem ser escolhidas de acordo com o objetivo do estudo, seja ele de classificação ([5]) ou de hierarquização ([6]). Uma desvantagem do método de [6] é a dificuldade em encontrar alguns dos parâmetros utilizados, enquanto para [5] a metodologia se mostra conservadora, onde a mudança da precipitação altera fortemente a mudança de classe de perigo.

Posto isso, nota-se a importância da escolha do método de análise perigo/risco para que as decisões sejam baseadas em dados confiáveis. Sendo assim, o diagnóstico das áreas de estudo depende de uma avaliação de perigo completa e adequada com os parâmetros mais críticos encontrados por ser o primeiro estágio no estudo de locais críticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] 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. 172p.
- [2] Corteletti, R. C. (2014). Proposta de metodologia para análise de riscos geológico - geotécnicos em ferrovias: estudo de caso: estrada de ferro Carajás (EFC). Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto 186f.
- [3] Alves, S. M. (2014). Metodologia para Análises de Riscos geotécnicos em Taludes de Ferrovias - Estudo de Caso: Estrada de Ferro Vitória - Minas. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Romero César Gomes, 109f.
- [4] Cunha, L. E. (2016). Avaliação do perigo de queda de blocos em talude urbano na cidade de Mariana – MG. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto – MG.
- [5] Silveira, L. R. C. (2017). Avaliação do Perigo de Queda de Blocos em Taludes Urbanos e Ferroviários e Simulação de sua Trajetória. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Milene Sabino Lana, 156f.
- [6] Gomes, G. J. C. (2009). Avaliação do Perigo Relacionado à Queda de Blocos em Rodovias. 2009. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 138f.
- [7] Santos, A. E. M.; Lana, M. S.; Silva, D. F. S.; Silveira, L. R.; Sales, O. P. G.; Santos, T. B. (2018). Caracterização geológica-geotécnica de maciços rochosos marginais à BR-262. In: VIII Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas - SBMR 2018.
- [8] Bauer, M. & Neumann, P. (2011). A guide to processing rock-fall hazard from field data.- In: Vogt, N., Schuppener, B., Straub, D. & Bräu, G., Geotechnical Safety and Risk, Proceedings of the 3rd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk, June 2011: 149-156.
- [9] Fell, R.; Corominas, J.; Bonnard, C.; Cascini, L.; Leroi, E.; Savage, W.Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Engineering Geology 102, p. 85-98.
- [10] 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.
- [11] Budetta, P. (2004). Assessment of rockfall risk along roads. Natural Hazard and Earth System Sciences 4: 71-81.

- [12] DNIT - Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (2014). Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/ContagemContinua>>. Acesso em: 19 Ago. 2019.