

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA**  
**Engenharia Civil**

**Júlia Maria de Oliveira Khoury**  
**Lucas Matos Antunes Bahia**

**CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES PARA ESTABILIZAÇÃO DE  
TALUDE: Estudo de caso na Lajinha, distrito de Teófilo Otoni/MG.**

**Teófilo Otoni**

**2019**



**Júlia Maria de Oliveira Khoury**

**Lucas Matos Antunes Bahia**

**CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES PARA ESTABILIZAÇÃO DE  
TALUDE: Estudo de caso na Lajinha, distrito de Teófilo Otoni/MG.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. MSc. Alcino de Oliveira Costa Neto

**Teófilo Otoni**

**2019**



**Júlia Maria de Oliveira Khoury**

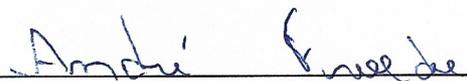
**Lucas Matos Antunes Bahia**

**CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES PARA ESTABILIZAÇÃO DE  
TALUDE: Estudo de caso na Lajinha, distrito de Teófilo Otoni/MG.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. MSc. Alcino de Oliveira Costa Neto

Data de aprovação 01 / 02 / 2019



Prof. Eng. André Froede Silva

Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia - UFVJM



Prof. DSc. Francisco César Dalmo

Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia - UFVJM



Prof. MSc. Alcino de Oliveira Costa Neto

Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia - UFVJM



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecemos à Deus pela saúde e pela oportunidade de concluir mais essa etapa em busca do conhecimento.

Agradecemos as nossas famílias e amigos que nos apoiaram e incentivaram ao longo desses últimos 5 anos de vida acadêmica, principalmente, aqueles que, nos momentos difíceis, nos ampararam.

Ao Professor Alcino por ser nosso orientador e por estar sempre disposto a nos auxiliar na execução desse trabalho.

Ao Professor André Froede por auxiliar no trabalho de campo e nos termos técnicos referente a matéria de geologia.

E aos amigos que nos auxiliaram diretamente na escrita desse trabalho: Maria Paula, Caio Rodrigues, Fernanda, Willian e Ana Cristina.



## RESUMO

Nas obras de engenharia é comum não tratar da estabilidade dos taludes como deveriam, pois, muitas vezes, os projetos se concentram em outras partes da obra e subestimam a importância de uma boa estrutura de contenção. Por isso, a instabilidade de taludes se tornou um problema das obras geotécnicas, pois fatores erosivos, como a água e a vegetação estão presentes, afetando a sua estabilidade o que, no futuro, possibilita movimentações de massa. Portanto, o estudo, a caracterização e as estruturas de contenção contra as quedas de blocos em maciços rochosos são de fundamental importância para as obras de engenharia civil, evitando danos econômicos e proporcionando segurança à população que transita na região. Um exemplo prático é um maciço rochoso presente no distrito de Lajinha, Teófilo Otoni-MG. O talude já apresenta algumas evidências de ação erosiva e é possível ver fragmentos rochosos, de pequena e de grandes dimensões, caídos no calçamento. Este trabalho irá estudá-lo, classificá-lo quanto à resistência geomecânica através dos sistemas RQD e RMR e através de algumas características observadas, propor uma solução para combater futuros movimentos de massa

**Palavras Chaves:** caracterização, talude, quedas de blocos.



## **ABSTRACT**

In engineering works it is common not to treat slopes stability as they should, since projects often focus on other parts of the work and underestimate the importance of a good structure containment. Therefore, the instability of slopes has become a problem of geotechnical works, because erosive factors, such as water and vegetation, are present affecting their stability, which in the future allows mass movements. Thus, the study, the characterization and the containment structures against block falls in rocky massifs are of fundamental importance for civil engineering works, avoiding economic damages and providing safety to the population that transits in the region. A practical example is a rocky massif present in the district of Lajinha, Teófilo Otoni, in Minas Gerais state. The slope already presents some evidence of erosive action and it is possible to see rocks fragments, small and large dimensions, fallen in the pavement. This work will study it, classify it as to the geomechanical resistance through the RQD and RMR systems and, through some observed characteristics, propose a solution to combat future mass movements.

**Key words:** Characterization, slope, block falls.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Trajetórias mais comuns de blocos em queda .....	24
Figura 2 - Características das descontinuidades .....	26
Figura 3 - Sistema de Revestimento Simples .....	30
Figura 4 - Sistema de Revestimento Simples .....	31
Figura 5 - Sistema de Revestimento Simples, ancorado no topo .....	31
Figura 6 - Sistema de Reforços Superficiais .....	32
Figura 7 - Esquema de uma ancoragem.....	32
Figura 8 - Talude com concreto projetado e furos de drenagem.....	33
Figura 9 - Localização em relação a Teófilo Otoni.....	37
Figura 10 - Extensão do Talude.....	38
Figura 11 - Registro do maciço em 1996 .....	38
Figura 12 - Representação do talude estudado .....	39
Figura 13 - Corte A-A .....	40
Figura 14 - Corte B-B.....	40
Figura 15 - Vista geral do talude .....	41
Figura 16 - Vista frontal do talude.....	41
Figura 17 - Afloramento de água e vegetação .....	42
Figura 18 - Afloramento de água e vegetação .....	42
Figura 19 - Presença de vegetação na face do talude .....	43
Figura 20 - Inclinação da árvore.....	43
Figura 21 - Obstrução do passeio .....	44
Figura 22 - Mapa Geológico da Região de Teófilo Otoni.....	45
Figura 23 - Vista do trecho em estudo para análise das descontinuidades.....	48
Figura 24 - Amostra coletada no trecho escolhido para análise da resistência .....	48
Figura 25 - Bloco de rocha na iminência de ruptura .....	53
Figura 26 - Representação da solução SteelGrid BO .....	55
Figura 27 - Representação do talude maciço com Reforço Superficial .....	56
Gráfico 1 - Precipitação Média em Teófilo Otoni 2011-2017.....	47
Quadro 1 - Classificações de movimentos de massa.....	23
Quadro 2 - Principais sistemas de classificação de maciços rochosos .....	26
Quadro 3 - Quadro da ISRM (1981) para compressão uniaxial.....	49



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Divisão de classes de Bieniawski.....	28
Tabela 2 - Valores estimados dos espaçamentos entre as famílias.....	50
Tabela 3 - Condições das descontinuidades .....	51
Tabela 4 - Cálculo do valor de RMR.....	52



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

ISRM – International Society for Rock Mechanics

RMR – Rock Mass Rating

RQD – Rock Quality Designation



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>19</b>
<b>3 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>21</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Modos de ruptura de talude .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 Características gerais dos maciços rochosos .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2.1 Rocha intacta, descontinuidade e maciço rochoso.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2.2 Parâmetros de caracterização de descontinuidades .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 Sistemas de classificação de maciço rochoso.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3.1 Rock Quality Designation (RQD) .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.2 Rock Mass Rating (Sistema RMR) .....</b>	<b>28</b>
<b>4.4 Soluções para a estabilidade de taludes rochosos.....</b>	<b>29</b>
<b>4.4.1 Sistema de revestimento simples .....</b>	<b>29</b>
<b>4.4.2 Reforços superficiais .....</b>	<b>31</b>
<b>4.4.3 Proteção Superficial .....</b>	<b>33</b>
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
<b>6 RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
<b>6.1 Localização .....</b>	<b>37</b>
<b>6.2 Informações da rodovia .....</b>	<b>38</b>
<b>6.3 Características do local .....</b>	<b>39</b>
<b>6.4 Geologia Regional .....</b>	<b>44</b>
<b>6.4.1 Tonalito São Vitor .....</b>	<b>46</b>
<b>6.5 Clima.....</b>	<b>47</b>
<b>6.6 Caracterização do maciço rochoso.....</b>	<b>48</b>
<b>6.6.1 Propriedades da rocha intacta.....</b>	<b>48</b>

<i>6.6.2 Propriedades da descontinuidade crítica.....</i>	<b>51</b>
<b>6.7 Proposta de soluções para estabilização do talude.....</b>	<b>52</b>
<i>6.7.1 Remoção dos blocos instáveis .....</i>	<b>53</b>
<i>6.7.2 Retaludamento.....</i>	<b>54</b>
<i>6.7.3 Revestimento do talude .....</i>	<b>54</b>
<i>6.7.4 Drenagem .....</i>	<b>57</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO A – MAPA GEOLÓGICO – FOLHA TEÓFILO OTONI .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO B – TABELA DOS PÂRAMETROS PARA A CLASSIFICAÇÃO DO RMR. 65</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

As rodovias exercem um papel de notável importância para a economia de um país, não sendo diferente no caso do Brasil em que a necessidade cada vez mais crescente de escoamento da produção e de pessoas, ocasionou a implantação de diversas rodovias. Entretanto, observa-se que devido a alguns fatores como a ausência de estudos geológicos e geotécnicos, falhas na metodologia construtiva e/ou manutenção, ocasionam alguns problemas ambientais. Um dos problemas que está relacionado diretamente a esses fatores é a movimentação de massa em taludes ou encostas, cujo substrato pode ser de natureza terrosa, rochosa ou mista (solo e rocha).

De acordo com Queiroz & Gaioto (1993), os problemas com estabilidade de taludes são principalmente decorrentes do fato de que os mesmos não constituem a obra principal, para o qual se concentram as atenções do projeto. Esses cortes, na maioria das vezes, são feitos apenas com conhecimentos empíricos, adotando-se inclinações padronizadas, não levando em consideração diversos fatores específicos da região, como, por exemplo, tipo de solo, qualidade geotécnica do maciço rochoso, índice pluviométrico, vegetação, entre outros.

Além dos fatores iniciais acima citados, o processo erosivo é também uma das principais causas de queda de blocos. Segundo Finotti *et al.* (2013) a erosão é um termo associado com o processo de desgaste da superfície terrestre em solo ou rocha, pela ação do vento, da água, do gelo, de organismos vivos e pela ação antrópica.

Silveira (2017) define que, alguns fatores como a presença de descontinuidades estruturais, o relevo acidentado e o clima, tendem a facilitar o processo erosivo, e conseqüentemente, contribuem para a alteração dos maciços rochosos. Essas características quando combinadas levam a problemas geotécnicos como a queda de blocos.

No entanto, quando estes problemas são identificados em fase inicial, podem ser resolvidos mediante obras simples e economicamente viáveis, contribuindo para maior segurança do tráfego nas estradas. Por isso, faz-se necessária a classificação do maciço rochoso, onde é possível determinar, além da composição, a tendência de comportamento do mesmo em relação a implantação de um projeto. A classificação é, portanto, um instrumento importante para auxiliar na solução dos problemas (MATOS, 2009).

O presente trabalho descreve de forma investigativa, os parâmetros que devem ser levados em consideração em casos de instabilidade de taludes e encostas e apresenta um estudo de caso de um talude rochoso presente na rodovia Santos Dumont (BR-116), km 288,

no distrito de Lajinha, município de Teófilo Otoni, desde a caracterização geotécnica à proposta de soluções.

## **2 OBJETIVOS**

Para o presente trabalho optou-se por dividir os objetivos em objetivo geral e específicos.

### **2.1 Objetivo Geral**

Caracterizar o talude na Lajinha, distrito de Teófilo Otoni e, com os resultados, propor soluções em termos de estabilidade.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar o talude rochoso observando os parâmetros geomecânicos da rocha intacta e as famílias de descontinuidades;
- Analisar as características geomecânicas e propor soluções para o talude rochoso e o talude de solo estudado.



### 3 JUSTIFICATIVA

A Engenharia Civil é uma área do conhecimento que abrange diversas esferas de uma sociedade, no entanto, alguns setores ainda não são tão difundidos, apesar de serem fundamentais para a manutenção da harmonia e segurança da população. A geotecnia é um desses setores que utiliza-se dos conhecimentos técnicos a respeito do comportamento dos solos e/ou rochas em aplicações construtivas, como por exemplo, barragens, túneis, pavimentação, estruturas de contenções, entre outras.

Dos exemplos acima citados e, devido à importância que as rodovias exercem em todo o território brasileiro, a instabilidade de encostas e taludes às margens de rodovias é um tema recorrente em termos de problemas gerados por deslizamentos e movimentos de massa. Tais problemas que, além dos danos materiais, podem ocasionar também o risco de perda de vidas.

Diversas são as motivações para os estudos da instabilidade de taludes que auxiliam, mesmo que indiretamente, na solução de impasses que comprometam de alguma forma a segurança da população.

A área de estudo foi definida a partir da observação de um talude às margens da rodovia Santos Dumont (BR-116), no distrito de Lajinha em Teófilo Otoni/ MG que, visualmente, já apresenta ocorrência de queda de blocos no passeio, gerando riscos ao fluxo de pedestres e automóveis no local. Dessa forma, o presente trabalho justifica-se pela importância da análise geomecânica do maciço rochoso e caracterização do mesmo para que, assim, possa-se propor, posteriormente, uma solução conceitual que atenda as características do local.



## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Modos de ruptura de talude

As rupturas em taludes rochosos ocorrem geralmente devido a presença de descontinuidades ou do grau de alteração do material. De forma geral, os movimentos de massa em taludes podem ter causas tanto externas ou internas.

Augusto Filho (1992) descreve os principais movimentos de massa no Quadro 1, sendo que cada movimento possui características distintas como velocidade, tipo de material, geometria do talude, etc.

**Quadro 1 - Classificações de movimentos de massa**

<b>Processos</b>	<b>Características do Movimento, Material e Geometria.</b>
<b>Rastejo ("creep")</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vários planos de deslocamento (internos)</li> <li>• Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com profundidade</li> <li>• Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes</li> <li>• Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada</li> <li>• Geometria indefinida</li> </ul>
<b>Escorregamentos ("slides")</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucos planos de deslocamento (externos)</li> <li>• Velocidades médias (m/h) e altas (m/s)</li> <li>• Pequenos a grandes volumes de material</li> <li>• Geometria e materiais variáveis</li> </ul> <p>Planares → solos pouco espessos, homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha → solos e rochas com dois planos de fraqueza</p>
<b>Quedas ("falls")</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem planos de deslocamento</li> <li>• Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado</li> <li>• Velocidades muito altas (vários m/s)</li> <li>• Material rochoso</li> <li>• Pequenos e médios volumes</li> <li>• Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc</li> <li>• Rolamento de matacão</li> <li>• Tombamento</li> </ul>
<b>Corridas ("flows")</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação)</li> <li>• Movimento semelhante a de um líquido viscoso</li> <li>• Desenvolvimento ao longo das drenagens</li> <li>• Velocidades médias e altas</li> <li>• Mobilização de solo, rocha, detritos e água</li> <li>• Grandes volumes de material</li> <li>• Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas</li> </ul>

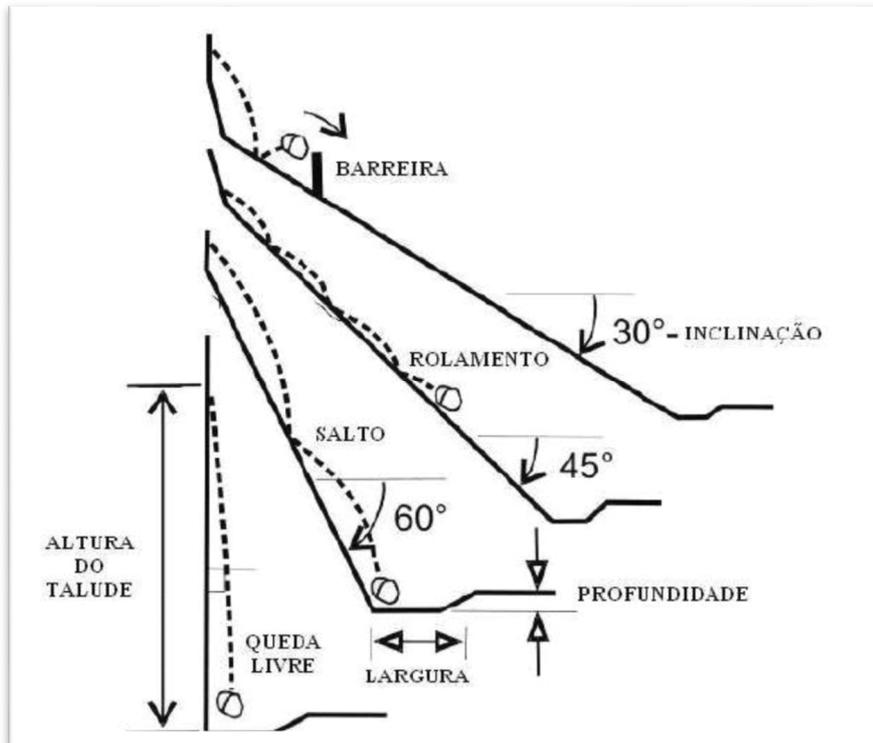
Fonte: AUGUSTO FILHO, 1992.

A queda de blocos são movimentos rápidos e dificilmente previsíveis, segundo Oliveira (2010), geralmente tendem a ocorrer devido às influências climáticas ou à vegetação, que provocam forças atuantes no bloco. Essas influências podem ser causadas por precipitação intensa, crescimento de raízes ao longo das juntas ou até mesmo sismos provocados por detonações.

A ausência de dispositivos de drenagem e a infiltração de água de chuvas ocasionam um aumento da poropressão nas discontinuidades, conseqüentemente, pode gerar pequenas deformações e desencadear o movimento de queda de blocos (SILVEIRA, 2017).

Um fator importante a ser avaliado nesse tipo de movimento é a trajetória de alcance do bloco de rocha e a intensidade devido às dimensões do mesmo. Segundo Silveira (2017), a trajetória desses blocos pode ter variáveis como geometria do talude, a forma e tamanho dos blocos. A Figura 1 demonstra os tipos de queda em relação à inclinação, podendo ser por rolamento, salto e em taludes verticais a tendência de movimentação do bloco é em queda livre.

**Figura 1- Trajetórias mais comuns de blocos em queda**



Fonte: SILVEIRA, 2017.

## **4.2 Características gerais dos maciços rochosos**

### ***4.2.1 Rocha intacta, descontinuidade e maciço rochoso***

Silva (2015) define que rocha intacta é a parte do material livre de descontinuidades. De acordo com a International Society for Rock Mechanics, ISRM (1981), descontinuidades são zonas de fraqueza (falhas, foliação, bandamento, fraturas, dentre outros) em maciços rochosos, são estruturas que podem definir o comportamento do maciço rochoso.

Segundo Pinotti (2011), um maciço rochoso natural é caracterizado como um agregado de blocos descontínuos, de formas geométricas irregulares, muitas vezes, alternados com zonas de rochas intemperizadas e portadoras de distintas propriedades físicas. Portanto, a estabilidade e deformação dos maciços rochosos estão geralmente ligadas à presença de descontinuidades.

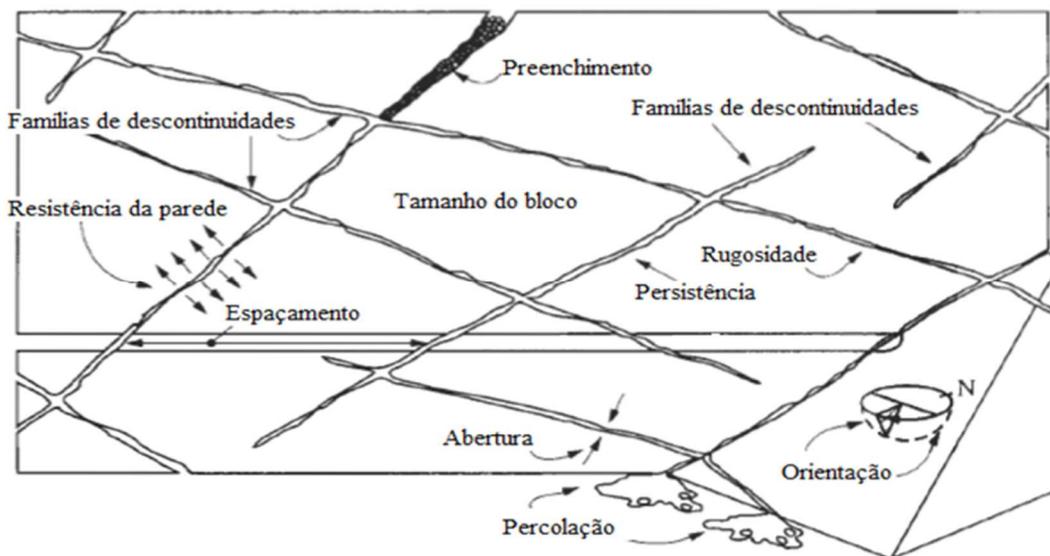
O mesmo autor define que, tanto a presença das descontinuidades quanto a alteração das rochas por processos intempéricos, são os principais fatores no controle da resistência mecânica do maciço. Sendo que a avaliação das propriedades geotécnicas do maciço rochoso inclui o conhecimento da composição litológica, o grau de alteração, a coerência e a determinação em campo da ocorrência e características das descontinuidades.

### ***4.2.2 Parâmetros de caracterização de descontinuidades***

As descontinuidades são estruturas importantes em termos de estabilidade de taludes. Por serem zonas de fraqueza, alguns tipos de ruptura estão diretamente relacionados à presença dessas estruturas nos maciços rochosos.

Para caracterização das descontinuidades, Silveira (2017) propôs os seguintes parâmetros que devem ser levados em consideração: orientação, espaçamento, abertura, preenchimento, resistência da parede, persistência, tamanho do bloco, percolação e rugosidade. A Figura 2 representa visualmente esses parâmetros.

**Figura 2 - Características das discontinuidades**



Fonte: SILVEIRA, 2017.

### 4.3 Sistemas de classificação de maciço rochoso

Desde o final do século XIX, a engenharia começou a desenvolver classificação dos maciços rochosos a fim de organizar os procedimentos para as construções de obras civis. O primeiro sistema de classificação de maciço rochoso foi desenvolvido por Ritter, no ano de 1879, e tinha como objeto estabelecer um critério na construção de túneis (ÁVILA, 2012).

O mesmo autor, também descreve os principais trabalhos publicados sobre a classificação dos maciços rochosos e suas áreas de aplicação. O Quadro 2 traz uma síntese sobre os trabalhos desenvolvidos e suas aplicações.

**Quadro 2 - Principais sistemas de classificação de maciços rochosos**

Sistema de classificação de maciços rochosos	Autor	Ano	País de origem	Áreas de aplicação
Rock load	Terzaghi	1946	EUA	Túneis com suporte de aço
Stand-up time	Lauffer	1958	Austrália	Túneis
New Austrian Tunneling Method (NATM)	Pacher <i>et al</i>	1964	Áustria	Túneis
Rock Quality Designation (RQD)	Deere e MILLER	1967	EUA	Furos de sondagem, túneis

Continua.

Continuação.

<b>Sistema de classificação de maciços rochosos</b>	<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>País de origem</b>	<b>Áreas de aplicação</b>
Rock Structure Rating (RSR)	Wickham <i>et al</i> ,	1972	EUA	Túneis
Rock Mass Rating (RMR)	Bieniawski	1973	África do Sul	Túneis, minas, taludes e fundações
Rock Mass Quality (Q)	Barton <i>et al</i>	1974	Noruega	Túneis, minas, fundações
Strength-Block size	Franklin	1975	Canadá	Túneis
Basic Geotechnical Classification	ISRM	1981	Internacional	Geral
Rock Mass Strength	Stille <i>et al</i>	1982	Suécia	Mineração de metais
Unified Rock Mass Classification System (URCS)	Williamson	1984	EUA	Geral
Weakening Coefficient System (WCS)	Singh	1986	Índia	Mineração de carvão
Modified Rock Mass Rating (M-RMR)	Ünal e Özkan	1990	Turquia	Mineração
Rock Mass Index (RMi)	Palmström	1996	Suécia	Túneis
Geological Strength Index (GSI)	Hoek e Brown	1997	Canadá	Todos os tipos de escavações subterrâneas

Fonte: ÁVILA, 2012. Adaptado.

Este trabalho irá apresentar dois desses sistemas, o RQD, desenvolvido por Deere & MILLER (1967) e o RMR, desenvolvido por Bieniawski (1973, atualizado em 1989).

#### **4.3.1 Rock Quality Designation (RQD)**

O RQD (Índice de Qualidade da Rocha) é uma classificação introduzida por Deere & MILLER (1967) que tem como objetivo quantificar a qualidade da rocha intacta através de furos de sondagem. Porém, em alguns casos, com ausência de testemunhos de sondagem, outros autores como, por exemplo, Palmström, desenvolveram uma forma de estimar o índice de qualidade da rocha utilizando a frequência de descontinuidades com o estabelecimento de equações de correlação (SANTOS, 2015).

A Equação 1, mostra a correlação desenvolvida por Palmström (1982),

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

Onde o  $J_v$  é o contador volumétrico de juntas, definido pela Equação 2:

$$J = \sum \frac{1}{S_i} \quad (2)$$

Em que o  $S_i$  é o espaçamento entre as descontinuidades em metros para as referidas famílias de descontinuidades.

Embora o RQD seja um índice simples e barato, quando considerado sozinho, não é suficiente para produzir uma descrição adequada do maciço rochoso, devido à desconsideração da orientação das descontinuidades, endurecimento do material, tipo do preenchimento das descontinuidades e condição de tensão (REDONDO, 2003).

#### 4.3.2 Rock Mass Rating (RMR)

O RMR (Classificação de Massa de Rocha) é um método de classificação geomecânica desenvolvido por Bieniawski, que foi inicialmente criado para determinar a relação entre o vão livre de túneis e seu tempo de sustentação. É o método mais utilizado e difundido em termos de classificação e leva em consideração os parâmetros: RQD, resistência a compressão uniaxial da rocha intacta, espaçamento entre as descontinuidades, condições das descontinuidades, condições de percolação da água subterrânea e orientação das descontinuidades (SANTOS, 2015).

Para a classificação em termos de resistência da rocha, é utilizado o RMR básico que leva em consideração apenas os pesos relacionados aos cinco primeiros parâmetros, sendo estes, obtidos por análises em campo. O sexto parâmetro leva em consideração a orientação das descontinuidades, indicado para obras civis, túneis, fundações ou taludes. A Tabela 1 apresenta a classificação do maciço em relação a sua qualidade geomecânica segundo o RMR.

**Tabela 1 - Divisão de classes de Bieniawski**

Classes de maciço	RMR	Qualidade geomecânica
I	81 – 100	Muito boa
II	61 – 80	Boa
III	41 – 60	Regular
IV	21 - 40	Pobre
V	0 – 20	Muito pobre

Fonte: BIENIAWSKI, 1989. Adaptado.

#### **4.4 Soluções para a estabilidade de taludes rochosos**

Ao longo dos anos, um talude rochoso está sujeito a sofrer ações naturais, tais como intemperismo e erosão. Essas ações provocam uma degradação na parede exposta podendo ocasionar a uma instabilidade do talude. Com o passar do tempo, essa degradação é capaz de causar desprendimento de fragmentos de pequenas ou grandes dimensões, resultando em problemas para as áreas atingidas, tendo a possibilidade de danificar as obras de infraestruturas e outras obras civis e, em determinados casos, risco de vida.

As soluções utilizadas pela engenharia para proteger as infraestruturas de transporte e outras obras civis são os sistemas de proteção contra a queda de rochas utilizando alguns materiais como: redes, cabos de aço, painéis, ancoragem e solo grampeado. Para a implantação de um sistema de proteção de queda de rochas é necessário um mapeamento geológico preliminar do maciço. Esse mapeamento tem como finalidade identificar os locais críticos, fazer um levantamento topográfico e fornecer dados do talude, possibilitando a implantação do melhor sistema de contenção (MACCAFERRI, 2017; CORSINI, 2013).

O sistema de proteção contra a queda de rochas pode atuar de forma Passiva ou Ativa. Os sistemas de proteção Passiva interceptam as rochas que se soltam do talude, não impedindo o seu desprendimento, protegendo assim as estruturas abaixo do talude. Alguns exemplos de proteção passiva são: redes de malha hexagonal de dupla torção, barreiras de proteção e aterros de proteção (MACCAFERRI, 2017).

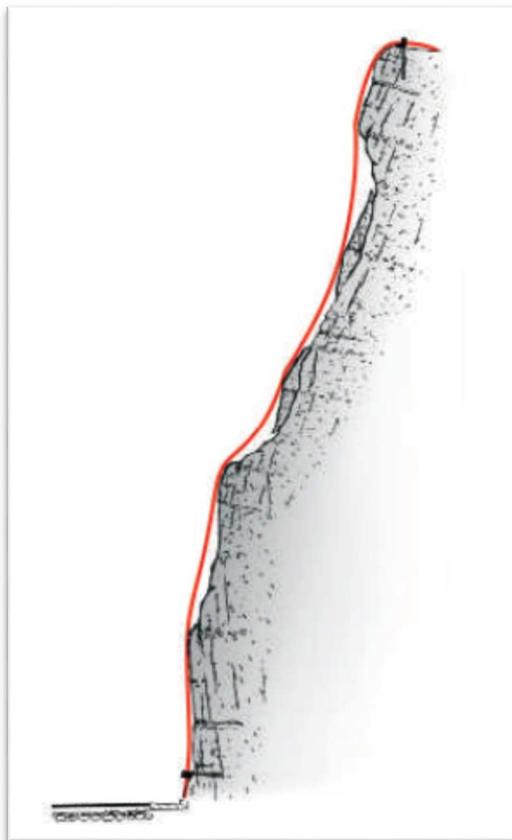
Os sistemas de proteção Ativa são aqueles que impedem a movimentação de massa, impossibilitando assim, o desprendimento das rochas de maiores dimensões. Esse sistema atua também de maneira passiva, pois através das redes de aço intercepta as rochas de pequena dimensão que se desprendem. Alguns exemplos para o sistema de proteção ativa são: reforço superficial, implementação de elementos estruturais e proteção superficial. Nos tópicos a seguir, constam alguns processos de proteção contra a queda de rochas que podem ser aplicados no talude estudado (MACCAFERRI, 2017).

##### ***4.4.1 Sistema de revestimento simples***

O sistema de revestimento simples é o modelo mais usual a ser empregado. Tem como objetivo proteger obras de infraestrutura e construções próximas aos taludes. Pode ser aplicado tanto em taludes em solo quanto em rocha. Nos taludes em solo, a inclinação

máxima é de 65°, já em taludes rochosos pode ser aplicado com sua inclinação vertical (COLTRI, 2016). A Figura 3 é uma representação de um sistema de revestimento simples.

**Figura 3 - Sistema de Revestimento Simples**



Fonte: MACCAFERRI, 2017.

São utilizados em obras que tem fragmentos de rochas que são facilmente desprendidos, sendo que suas menores dimensões devem ser superiores a dimensão mínima da rede. Por sua vez, as redes são ancoradas no topo e na base, principalmente em taludes muito verticais, e livre na face. Os fragmentos que, por ventura, venham se desprender ficarão acumulados ao pé do talude, não atravessando a rede, dessa forma, protegendo a infraestrutura próxima. (MACCAFERRI, 2017).

As figuras a seguir são dois exemplos de sistema de revestimento simples, a primeira, Figura 4, mostra o sistema de proteção contra a queda simples protegendo uma estrada que passa próximo ao talude. A segunda, Figura 5, mostra as redes sendo ancoradas no topo do talude.

**Figura 4 - Sistema de Revestimento Simples**



Fonte: MACCAFERRI, 2017.

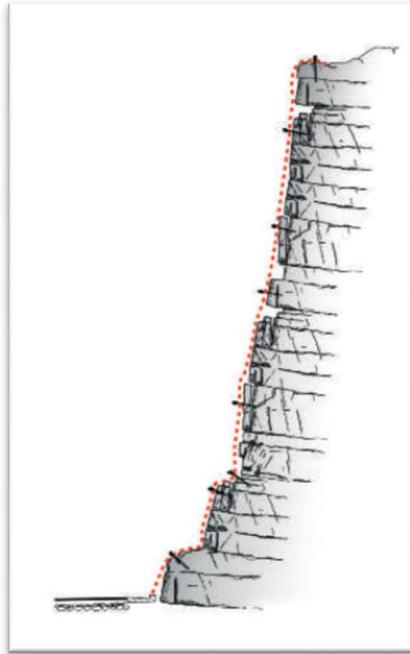
**Figura 5 - Sistema de Revestimento Simples, ancorado no topo**



Fonte: MACCAFERRI, 2017.

#### ***4.4.2 Reforços superficiais***

Esse sistema trabalha com o mesmo princípio que o sistema de revestimento simples, porém também funciona com o objetivo de impedir o desprendimento de massas através de elementos estruturais ancorados ao longo do talude. A Figura 6 ilustra uma aplicação dos elementos estruturais no talude.

**Figura 6 - Sistema de Reforços Superficiais**

Fonte: MACCAFERRI, 2017.

Os elementos estruturais que são instalados ao longo do maciço rochoso são ancorados em regiões mais estáveis do maciço, contribuindo para aumentar as forças tangenciais e, além disso, trabalham em tração (OLIVEIRA, 2010). A Figura 7 mostra um esquema de ancoragem e um detalhe. O sistema de reforço superficial pode ser classificado como ativo, misto e passivo, dependendo da maneira como foram instalados:

- Ativo: sistema está tensionado com o valor da carga admissível;
- Misto: sistema está inicialmente tensionado, porém a carga é inferior a admissível;
- Passivos: sistema só começa a funcionar após haver uma movimentação de bloco ou massa.

**Figura 7 - Esquema de uma ancoragem**

Fonte: OLIVEIRA, 2010.

#### ***4.4.3 Proteção Superficial***

Esse sistema consiste em uma injeção de revestimento na parede frontal do talude, sendo, geralmente, utilizado o concreto. Tem como objetivo aumentar a resistência do talude, tentando solucionar os problemas de desprendimento de rochas e, ainda, evitar a erosão no pé do talude e a infiltração de água devido a precipitação ao longo do mesmo (OLIVEIRA, 2010). A Figura 8 apresenta um talude com concreto projetado e furos de drenagem.

**Figura 8 - Talude com concreto projetado e furos de drenagem**



Fonte: OLIVEIRA, 2010.



## 5 METODOLOGIA

Para este trabalho, primeiramente, foi realizado um referencial teórico abordando alguns temas relacionados a maciços rochosos e suas classificações. Foram descritos os tipos de rupturas que podem ocorrer nos maciços e, em seguida, uma explicação sobre as características gerais dos maciços e seus parâmetros. Dando prosseguimento, realizou-se uma abordagem dos tipos de classificação, descrevendo principalmente os métodos RQD e RMR que serão utilizados no exemplo prático. E por fim, uma explanação de alguns tipos de contenção existentes no mercado, selecionando o melhor método para ser aplicado ao problema proposto.

Paralelamente ao referencial teórico, foi realizado um estudo de um maciço rochoso localizado na rodovia Santos Dumont (BR-116), km 288 sentido Governador Valadares, no distrito de Lajinha, Teófilo Otoni-MG. Foram coletadas informações durante visitas técnicas ao local e ao órgão responsável pela manutenção da rodovia em que está inserido o maciço, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, DNIT.

A partir de dados coletados, realizou-se uma análise do maciço, sendo ele posteriormente caracterizado de acordo com suas características geológicas e geomecânicas. Após a determinação da sua qualidade geomecânica, foram propostas algumas intervenções com o objetivo de assegurar a estabilidade do maciço rochoso, impedindo assim o desprendimento de rochas.



## 6 RESULTADOS

### 6.1 Localização

O talude estudado estende-se por cerca de 150 metros e localiza-se no distrito de Lajinha no município de Teófilo Otoni-MG na BR-116, km 288 a 15 km de Teófilo Otoni no sentido ao município de Governador Valadares. A Figura 9 mostra a localização do talude em relação à cidade de Teófilo Otoni.

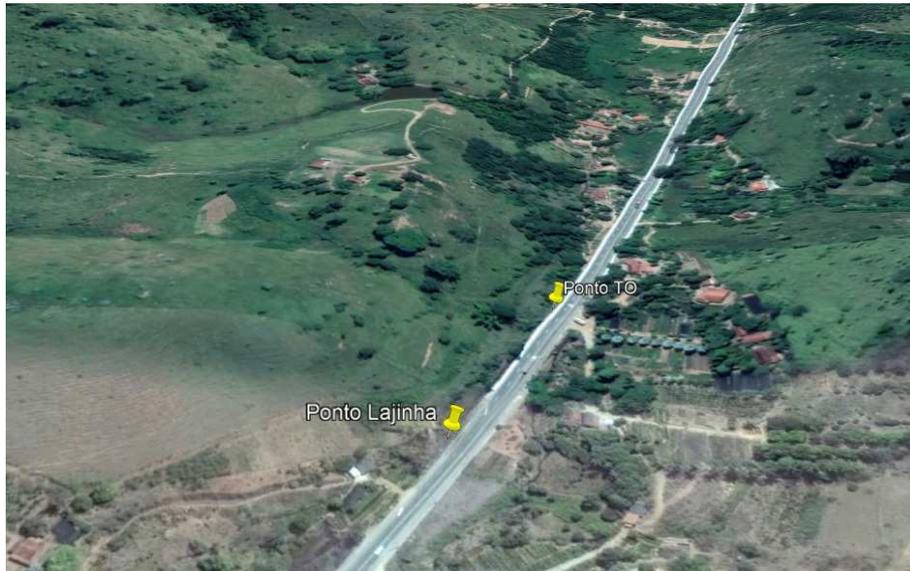
**Figura 9 - Localização em relação a Teófilo Otoni**



Fonte: GOOGLE EARTH, 2018

As marcações que estão na Figura 10 compreendem as coordenadas geográficas de início e fim do talude, sendo o Ponto T.O, 17°57' 19,11'' S; 41°32' 05,24'' O, mais próximo à cidade, e o Ponto LAJINHA, 17°57'23,56'' S; 41°32'07,43'' O, próximo ao referido distrito.

**Figura 10 - Extensão do Talude**



Fonte: GOOGLE EARTH, 2018

## 6.2 Informações da rodovia

A BR-116 é uma das vias longitudinais mais importantes do país, construída na primeira metade do século XX. Segundo informações do DNIT, órgão federal responsável pela rodovia, inicialmente o ponto estudado era de pista simples. O corte no talude foi realizado, provavelmente, em 1986, quando uma empresa terceirizada foi contratada para construir a terceira faixa no local. No entanto, não foram encontrados documentos e projetos dessa obra, o que provoca algumas imprecisões nas informações.

A Figura 11 foi retirada de um vídeo registro datado de 1996 no DNIT, e indica a situação e consequente configuração do talude dez anos após o corte, onde é possível observá-lo ainda sem tanta influência de intempéries.

**Figura 11 - Registro do maciço em 1996**

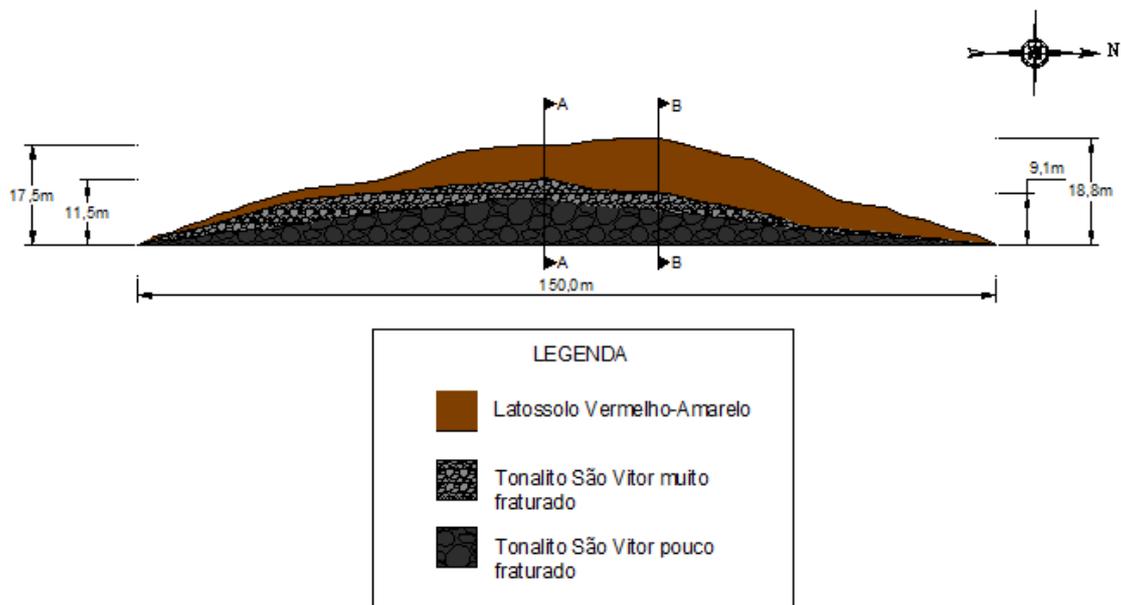


Fonte: DNIT, 2018

### 6.3 Características do local

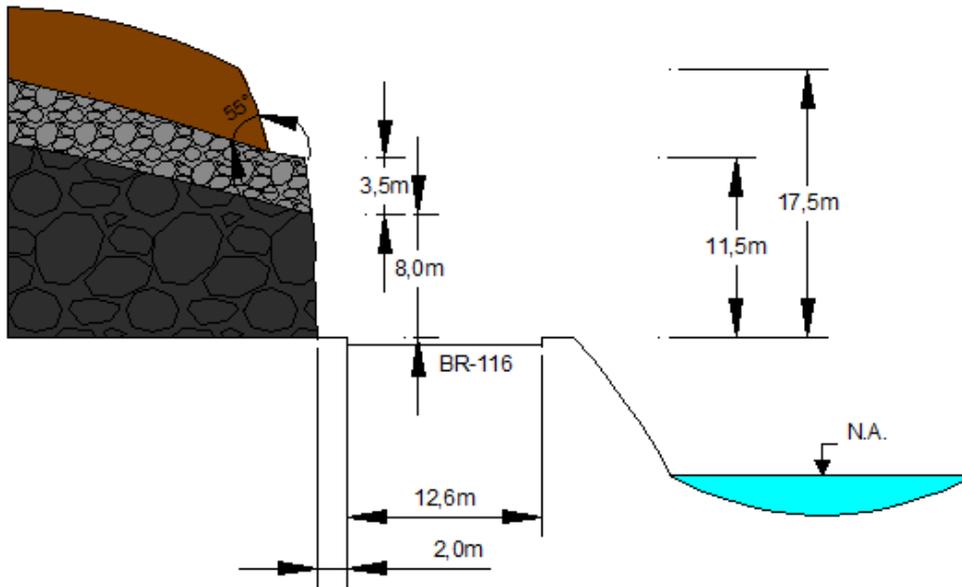
Como mencionado anteriormente, o talude tem um comprimento de 150 metros e uma altura máxima de 19 metros, considerando tanto o maciço rochoso quanto o solo presente superior ao mesmo. A Figura 12 é uma representação do talude estudado.

**Figura 12 - Representação do talude estudado**

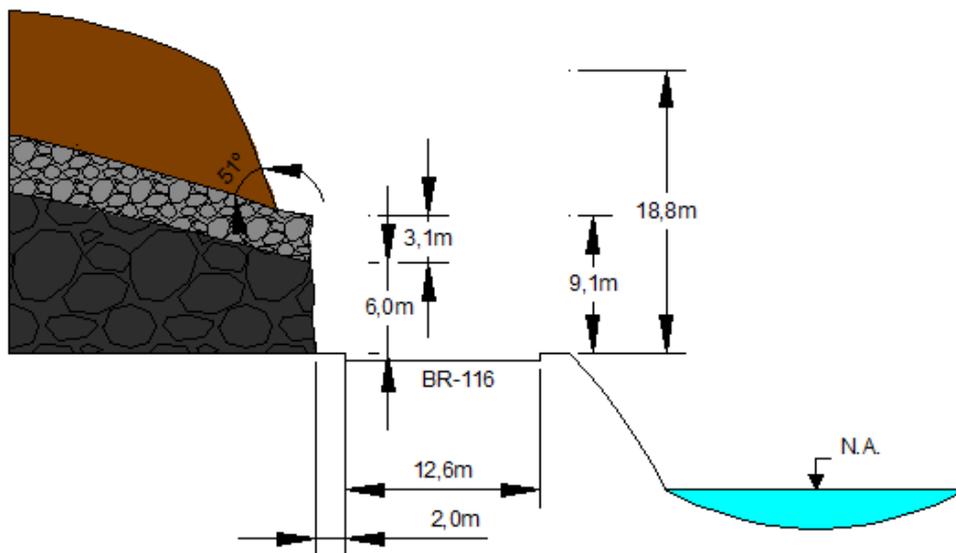


Como apresentado na Figura 12, foram feitos dois cortes transversais ao longo do talude, neles são demonstradas as diferentes alturas em sua extensão. A Figura 13 representa o corte A-A, nesse ponto verifica-se a altura máxima do talude rochoso, aproximadamente 11,5 metros, e com altura total de 17,5 metros. A Figura 14 representa o corte B-B, o ponto onde verifica-se a altura máxima, somando camada de rocha e a camada de solo. Sua altura total é de 18,8 metros, sendo que a camada rochosa corresponde a 9,1 metros.

**Figura 13 - Corte A-A**



**Figura 14 - Corte B-B**



Na Figura 15 é possível ver o comprimento do talude no lado oposto da rodovia. Observa-se que anterior ao corte, o talude se estendia por toda a faixa do greide, algo que também pode ser observado nos cortes (Figura 13 e Figura 14). E na Figura 16, é possível visualizar a dimensão que compreende a camada de solo e a camada de rocha, ponto do corte A-A.

**Figura 15 - Vista geral do talude**

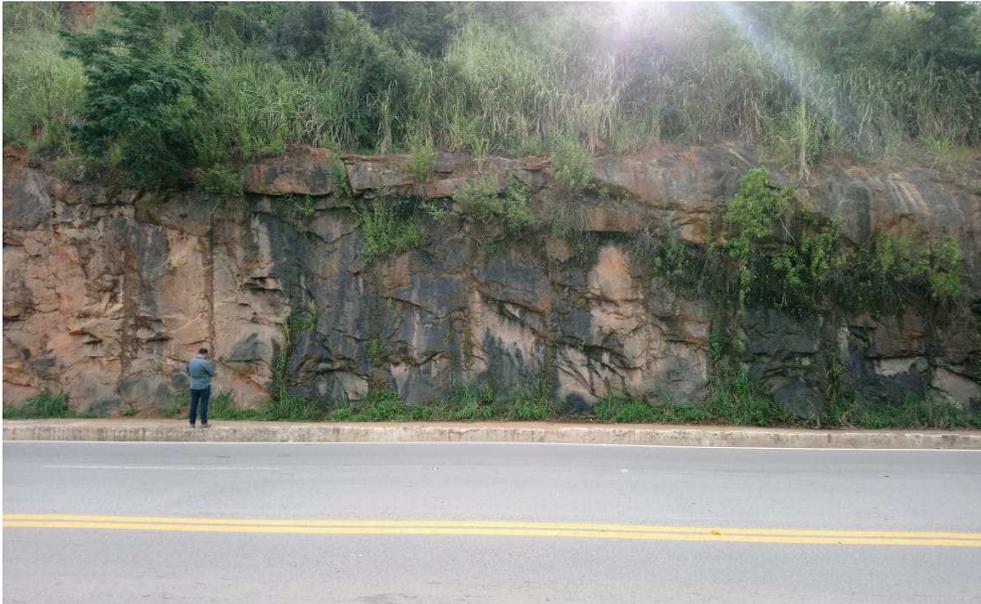


**Figura 16 - Vista frontal do talude**



O talude também apresenta ações de vários agentes erosivos, sendo um deles a presença de água. Na Figura 17, é possível verificar a existência de uma percolação de água entre algumas das discontinuidades. É possível também a observação de um outro fator de desagregação do maciço, a presença de raízes e vegetação. A Figura 18 é outro exemplo mais próximo para constatar a presença de água e vegetação no talude.

**Figura 17 - Afloramento de água e vegetação**



**Figura 18 - Afloramento de água e vegetação**



A Figura 19 e a Figura 20 mostram a presença de vegetação de grande porte na face e na crista do talude. Na Figura 19 observa-se a dimensão da vegetação em que as raízes adentram nas descontinuidades, ocasionando uma maior abertura e desagregação de blocos. Na Figura 20 é possível verificar deslocamento de massa, fato esse que pode ser considerado devido a inclinação da árvore em relação ao eixo vertical.

**Figura 19 - Presença de vegetação na face do talude**



**Figura 20 - Inclinação da árvore**



Na Figura 21 apresenta a queda de blocos no passeio, que possui cerca de 2 metros de largura. O bloco de maior dimensão apresentado na imagem possui um 1,5 metro de comprimento, tem volume e massa aproximadamente de  $0,375 \text{ m}^3$  e 1 tonelada respectivamente. Essas quedas são resultados de processos erosivos, maximizado, principalmente, pela presença de vegetação, assim, constituindo um risco para os moradores locais que transitam no trecho.

**Figura 21 - Obstrução do passeio**



#### **6.4 Geologia Regional**

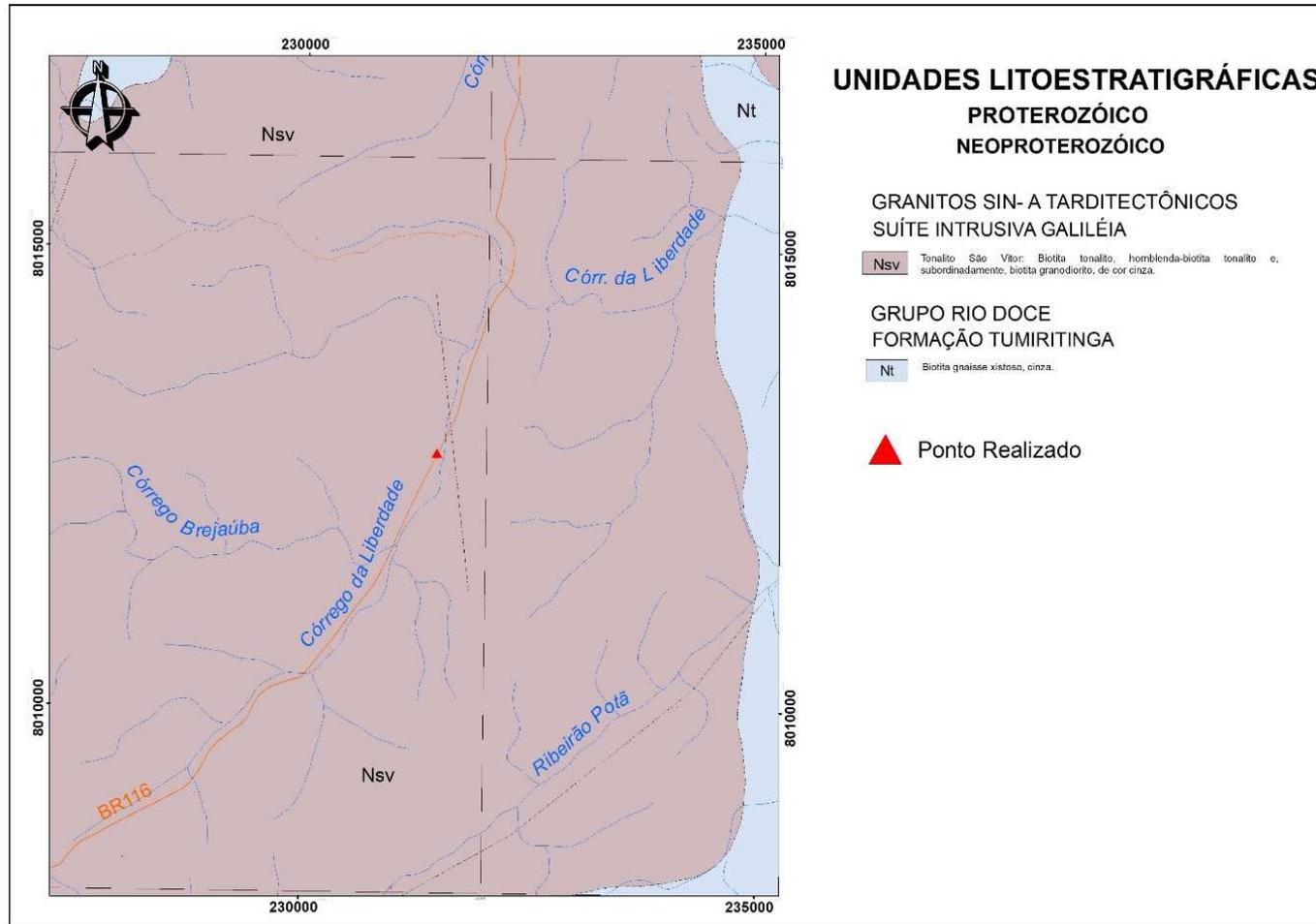
Essa região do estado de Minas Gerais situa-se no Orógeno Araçuaí, o qual é dividido em relação aos domínios tectônicos em três: Núcleo Antigo Retrabalhado de Guanhões, Faixa móvel Domínio Ocidental e Faixa móvel Domínio Oriental. A idade geológica da região remete a neoproterozóica (brasílica) (CPRM, 1997).

A cidade de Teófilo Otoni e o talude estudado estão totalmente inseridos no domínio Ocidental do Orógeno Araçuaí. Segundo a CPRM (1997), o domínio Ocidental da faixa móvel protezoico registra:

- Sedimentação de ambientes marinhos, representada por xisto e gnaisses peraluminosos, quartzito, rochas calcissilicática e mármore.
- Gnaisses metaluminosos tipo TTG com intercalações tectônicas de metassedimentos e anfíbolitos.
- Granito metaluminosos, em partes contaminados pelos metassedimentos encaixantes (Suíte Intrusiva Galileia).

O talude estudado tem uma formação de Suíte Intrusiva Galileia e é composto por rochas do tipo Tonalito São Vitor, segundo análise petrográfica e comprovado pelo estudo da CPRM (1997). A Figura 22 é um mapa da região de Teófilo Otoni com ênfase na localização do talude estudado, no qual apresenta dois tipos de rochas que podem ser encontradas na cidade e em seu entorno: Tonalito São Vitor e Formação Tumiritinga.

Figura 22 - Mapa Geológico da Região de Teófilo Otoni



Fonte: CPRM, 1997, adaptado.

No Anexo A, contém o mapa geológico completo da folha de Teófilo Otoni do Projeto Leste. Esse projeto foi desenvolvido pela Secretaria de Estado de Minas e Energia do Estado de Minas Gerais (SEME) e a Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG) em convênio com o Serviço Geológico do Brasil para executarem o mapeamento geológico do estado de Minas Gerais com o objetivo de cartografar geologicamente o estado. A região leste é dividida em treze folhas, que apresenta a escala de 1:100.000. Além da cartografia, esse projeto tem também como o objetivo o cadastramento mineral da região, que abrange uma área entre a serra do Espinhaço e a divisa entre os estados da Bahia e Espírito Santo.

#### ***6.4.1 Tonalito São Vitor***

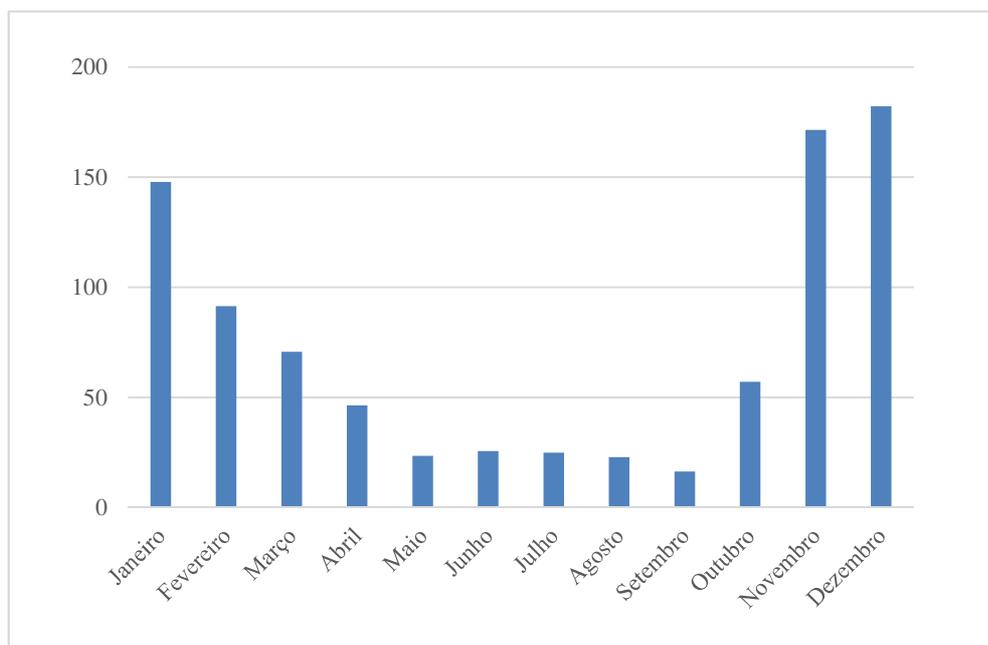
O tonalito São Vitor é constituído por rochas ígneas de coloração cinza de granulação média a grossa que são associados ao afloramento intrusivo nos metassedimentos Grupo Rio Doce. Tem como minerais essenciais: quartzo, plagioclásio, biotita e hornblenda e os minerais acessórios: zircão, apatita, berilo, opaca, entre outros (CPRM, 1997).

## 6.5 Clima

O município de Teófilo Otoni tem como característica climática tropical quente semiúmido (IBGE, 2018), com 4 a 5 meses secos ao longo do ano. Pode-se praticamente subdividir em uma estação chuvosa e quente e outra estação seca com temperaturas mais amenas e sem chuvas. Segundo o grupo de previsão de tempo Weather Spark, as temperaturas médias ao longo do ano variam entre 16°C e 32°C.

A média de precipitação anual em Teófilo Otoni é de 950 mm, sendo o período mais chuvosos entre os meses de Outubro e Março (INMET, 2017). O Gráfico 1 indica a média mensal de precipitação na região de Teófilo Otoni entre os anos de 2011 e 2017.

**Gráfico 1- Precipitação Média em Teófilo Otoni 2011-2017 (mm)**



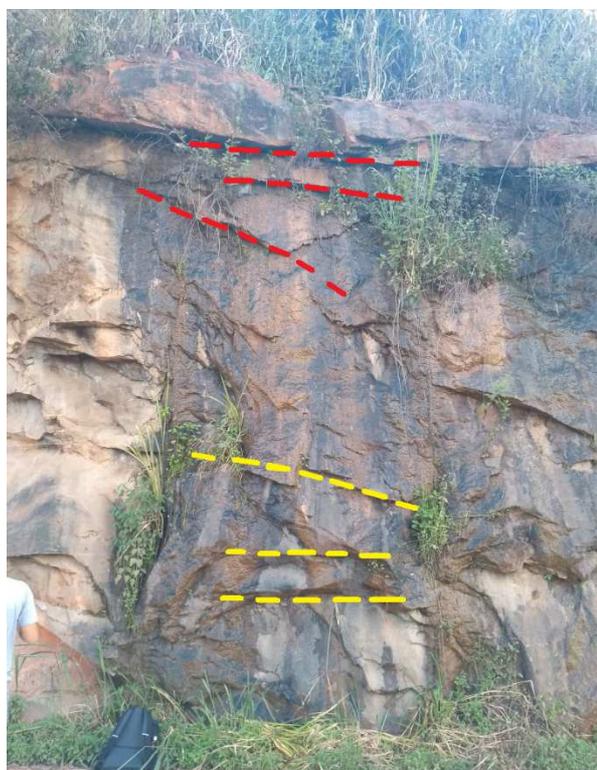
Fonte: INMET, 2017. Adaptado.

O Gráfico 1 comprova que na maioria do ano a precipitação na cidade de Teófilo Otoni é pequena. Sendo a água um dos principais agentes erosivos, a pequena precipitação favorece na estabilidade do talude.

## 6.6 Caracterização do maciço rochoso

O trecho escolhido para ser realizada a análise foi o ponto que apresentou a maior altura vertical. Essa seção se caracteriza por ter seis linhas de divisão de família de descontinuidade. Conforme consta na Figura 23, as famílias 1 a 3 (em amarelo) localizam na parte inferior do talude, enquanto que as famílias 4 e 5 (em vermelho) localizam-se na parte superior do talude, no qual pode ser observado presença de vegetação e presença de água.

**Figura 23 - Vista do trecho em estudo para análise das descontinuidades**



### 6.6.1 Propriedades da rocha intacta

Para análise da resistência uniaxial da rocha foi utilizado o método do martelo de geólogo proposta pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM, 1981). Após a coleta da amostragem, foram observadas algumas características descritas no Quadro 3 que relaciona o número de golpes com a resistência uniaxial. A Figura 24 representa uma amostra coletada no trecho.

**Figura 24 - Amostra coletada no trecho escolhido para análise da resistência**



**Quadro 3 - Quadro da ISRM (1981) para compressão uniaxial**

Descrição		Identificação de campo	Resistência (MPa)
R0	Rocha extremamente branda e solo estruturado rijo a duro	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Penetrada pela unha do polegar;</li> <li>-Moldável pela mão;</li> <li>-Escavável com equipamento manual.</li> </ul>	0,25 – 1
R1	Rocha muito branda	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Esmigalha com golpes firmes da ponta do martelo de geólogo;</li> <li>-Raspável com canivete;</li> <li>-Bordas da amostra facilmente quebráveis pela pressão dos dedos;</li> <li>- Pequenos fragmentos (maior extensão &lt; 2 cm) inquebráveis pela pressão dos dedos;</li> <li>-Escavação com equipamento mecanizado, por vezes com explosivos para afrouxamento.</li> </ul>	1 – 5
R2	Rocha branda	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Perfuração rasa com um golpe firme da ponta do martelo de geólogo;</li> <li>-Bordas da amostra quebráveis facilmente por pressão dos dedos;</li> <li>-Riscável por canivete;</li> <li>- Raspável por canivete com dificuldade;</li> <li>-Escavação com equipamento mecanizado, por vezes com explosivo para afrouxamento.</li> </ul>	5 – 25
R3	Rocha medianamente resistente	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Amostra quebrável com um golpe único do martelo de geólogo;</li> <li>-Borda da amostra quebrável com dificuldade pelas mãos;</li> <li>-Superfície da amostra difícil de riscar com canivete;</li> <li>-Não pode ser raspada com canivete;</li> <li>-Escavação com explosivos.</li> </ul>	25 – 50

Continua.

Continuação.

Descrição		Identificação de campo	Resistência (MPa)
R4	Rocha resistente	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Amostra requer mais de um golpe do martelo de geólogo para ser quebrada;</li> <li>-Bordas da amostra difícil de quebrar com as mãos;</li> <li>-Superfície da amostra difícil de riscar com canivete;</li> <li>-Escavação com explosivos.</li> </ul>	50 – 100
R5	Rocha muito resistente	<ul style="list-style-type: none"> <li>-<b>Fragmentos com bordas afiadas são resistentes a lâminas de aço;</b></li> <li>-<b>Superfície da amostra praticamente não riscável por canivete;</b></li> <li>-<b>Escavação com explosivos.</b></li> </ul>	100 – 250
R6	Rocha extremamente resistente	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Amostra pode ser lascada pelo martelo de geólogo;</li> <li>-Escavação com explosivo.</li> </ul>	> 250

Fonte: ISRM, 1981.

A partir das características observadas em campo e analisando os parâmetros do Quadro 3, a resistência da amostra coletada pode ser classificada entre as classes R4-R5, sendo a classe R5 mais representativa para o comportamento observado em campo.

Para a caracterização segundo o RQD, utiliza a Eq.1 e a Eq.2. Em campo observaram-se os espaçamentos na Tabela 2 seguir:

**Tabela 2 - Valores estimados dos espaçamentos entre as famílias**

Famílias (i)	Espaçamento ( $S_i$ )
1	0,35 m
2	0,53 m
3	2,35 m
4	0,55 m
5	0,32 m

Utilizando a Eq. 2, pode-se calcular o valor do  $J_v$ . Retirando os valores de  $S_i$  da Tabela 2:

$$J_v = \sum \frac{1}{S_i}$$

$$J_v = \sum \left( \frac{1}{0,35} + \frac{1}{0,53} + \frac{1}{2,35} + \frac{1}{0,55} + \frac{1}{0,32} \right) = 10,11 \text{ m}^{-1}$$

Empregando o resultado encontrado de  $J_v$  na Eq. 1, temos:

$$\text{RQD} = 115 - 3,3 J_v$$

$$\text{RQD} = 81,63\%$$

Portanto, obteve-se o valor aproximado de  $J_v = 10,11 \text{ m}^{-1}$  e o  $\text{RQD} = 81,63\%$ , que soma 17 pontos ao RMR.

### 6.6.2 Propriedades da descontinuidade crítica

A partir das características observadas nas descontinuidades, a família 5 foi a que apresentou maior risco à estabilidade do talude, optando-se, portanto, por ela como parâmetro representativo para obtenção das características apresentadas nas tabelas propostas por Bieniawski (1989). No Anexo B, apresenta as tabelas utilizadas para determinar os valores dos pesos dos parâmetros utilizados para calcular o valor do RMR. A Tabela 3 são os resultados dos parâmetros analisados em campo.

**Tabela 3 - Condições das descontinuidades**

<b>Parâmetro</b>	<b>Classe</b>	<b>Peso</b>
Persistência	3-10m	2
Abertura	1 a 5 mm	1
Rugosidade	Quase liso	1
Enchimento	Nenhum	6
Grau de alteração	Ligeiramente alterada	5
<b>Total</b>		<b>15</b>

Na Tabela 3, encontra-se o resultado das condições das descontinuidades, cujo valor total calculado apresenta o peso de 15. No entanto, para determinar o valor que será utilizado na Tabela 4 é necessário também uma análise descritiva desse parâmetro, que se encontra no P4 do Anexo B. Após fazer essa análise, o valor representativo das condições das descontinuidades utilizado na Tabela 4 será de peso 10.

A Tabela 4 determina os critérios utilizados para obter a qualidade do maciço rochoso, através do sistema RMR. Alguns parâmetros utilizados são: resistência da rocha intacta (Tabela 2), RQD, espaçamento médio, condições de descontinuidade, presença de água e orientação da direção e mergulho.

**Tabela 4 - Cálculo do valor de RMR**

<b>Parâmetro</b>	<b>Classe</b>	<b>Peso</b>
Resistência da rocha intacta (compressão uniaxial)	100-250 MPa	12
R.Q.D	75-90%	17
Espaçamento médio	0,6-0,2 m	10
Condição das descontinuidades	P4 – Anexo 2	10
Água Subterrânea	Úmido	10
Orientação da direção e mergulho	Favorável	-5
	<b>Total</b>	<b>54</b>

Somando-se os pesos de todos os parâmetros na Tabela 4, obteve-se que o valor de RMR é igual a 54. Relacionando esse valor encontrado ao valor de RMR na Tabela 1, pode afirmar que o maciço rochoso analisado pertence à classe III e é classificado como um maciço de regular qualidade geomecânica.

### **6.7 Proposta de soluções para estabilização do talude**

Como apresentado pelo tópico anterior, o talude rochoso analisado tem características geomecânicas classificadas como regulares, dessa forma, para proteção e

segurança da rodovia, são necessárias algumas medidas para prevenir possíveis acidentes no futuro.

Algumas medidas sugeridas por esse trabalho serão: retirada de blocos rochosos que possam estar soltos, retaludamento da camada de solo, aplicação de medidas contra a queda de blocos de rocha e a instalação de dispositivos de drenagem. A seguir, tem-se o detalhamento dessas soluções.

#### ***6.7.1 Remoção dos blocos instáveis***

Como foi apresentado na Figura 21, existem algumas partes do trecho em que ocorreram queda de blocos. A primeira solução para resolver o problema seria a retirada de possíveis blocos de rocha que estejam iminência de queda, como será mostrado na Figura 25, pois apresenta muitas fraturas.

**Figura 25 - Bloco de rocha na iminência de ruptura**



Para retirada dos blocos sugere-se a utilização do equipamento denominado Bate-choco. Tal equipamento é utilizado para a remoção de blocos que estão próximos da ruptura.

### **6.7.2 Retaludamento**

O retaludamento é uma metodologia de estabilização comumente utilizada em obras geotécnicas devido à eficiência e facilidade de execução. Apesar de não ser uma solução estrutural, tem como vantagem o baixo custo se comparado com outros métodos de estabilização.

Além disso, o retaludamento consiste em adequar as características geométricas do talude, principalmente a inclinação, de forma a garantir o nível de estabilidade desejado. Faz-se necessária também uma obra de controle de drenagem e proteção superficial minimizando a ação da água como um agente erosivo.

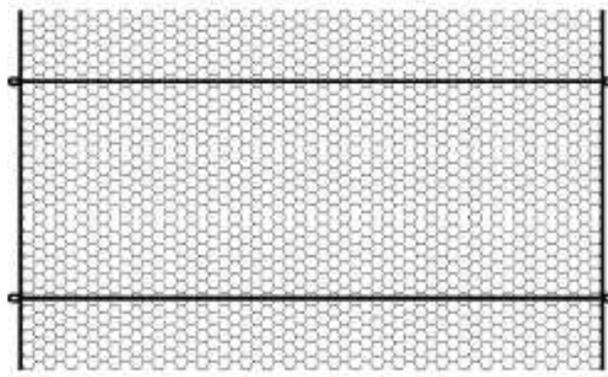
Portanto, a partir dos levantamentos em campo e das informações anteriormente citadas ao longo do texto, é sugerido o retaludamento, como uma proposta de solução para a camada de solo na parte superior do maciço, de forma a suavizar a inclinação que atualmente possui, garantindo assim, maior estabilidade.

### **6.7.3 Revestimento do talude**

Após a retirada dos blocos instáveis na superfície, faz-se necessária a implantação de uma solução construtiva permanente que seja capaz de conter os blocos que ao longo do tempo, por ventura, venham a se desprender do maciço. No presente estudo, propõe-se, a aplicação de reforço superficial, que utiliza-se de cabos de aço, malha hexagonal de dupla torção e chumbadores, sendo eficaz em obras geotécnicas, e tem-se tornado cada vez mais comum principalmente em cortes rochosos às margens de rodovias.

Atualmente no mercado, existem várias empresas que trabalham no desenvolvimento de materiais que suportem os esforços gerados a partir dos desprendimentos de blocos, que tenham durabilidade considerável e sejam de fácil de manutenção. A Figura 26 é uma representação da SteelGrid BO (Bi Orientado) desenvolvido pela empresa Maccaferri. Esse sistema é composto por malha hexagonal de dupla torção e cabos de aços dispostos tanto no sentido longitudinal como no sentido transversal, essa solução apresenta maior rigidez a deformação em comparação às outras soluções.

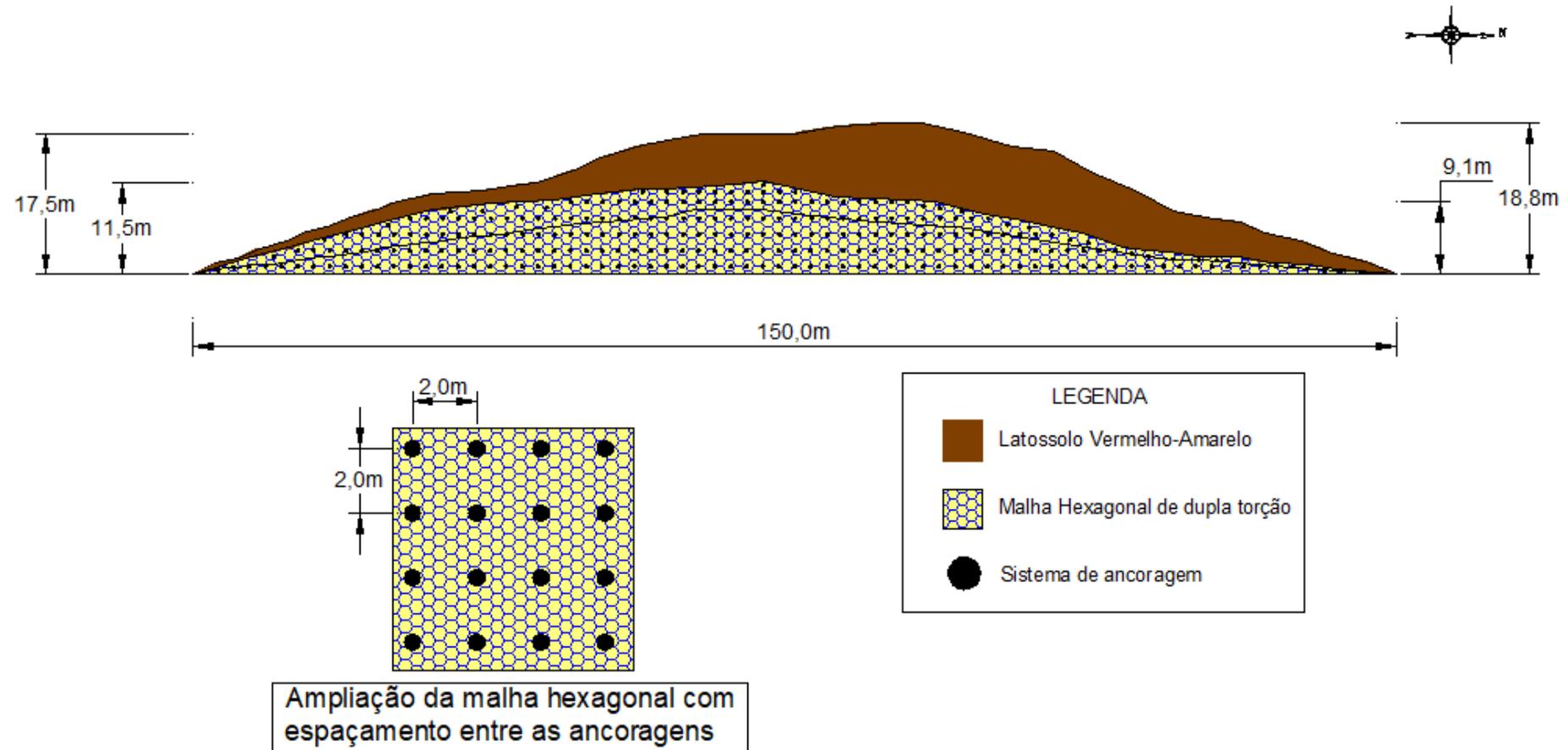
**Figura 26 - Representação da solução SteelGrid BO**



Fonte: MACCAFERRI, 2017.

Devido à proximidade da face do talude em relação ao passeio e a rodovia, optou-se pela utilização, juntamente com a malha, chumbadores distribuídos geometricamente ao longo da área de aplicação. Pois, além de impedir a queda descontrolada dos blocos de pequena dimensão, os chumbadores funcionam como bloqueadores de desprendimentos dos blocos de maiores dimensões.

A Figura 27 é uma representação da Figura 12, porém com o complemento do sistema de proteção contra quedas de blocos, que nesse caso é o reforço superficial. Nota-se que ao longo da região no qual se encontra o maciço rochoso é implementado uma malha hexagonal de dupla torção com chumbadores distribuídos a cada dois metros na vertical e na horizontal. Para a execução estima-se que seja necessária aproximadamente 1.000 m<sup>2</sup> da malha hexagonal e a adição de aproximadamente 300 chumbadores.

**Figura 27 - Representação do talude maciço com Reforço Superficial**

#### **6.7.4 Drenagem**

O sistema de drenagem em um talude tem como principal função garantir que a água não haja como uma força desestabilizadora nas descontinuidades e superfícies de rotura do maciço rochoso (OLIVEIRA, 2010).

Considerando a água um dos agentes erosivos, o acúmulo no talude pode ocasionar perda de resistência do material. Por esse motivo, o projeto de drenagem tem grande importância em obras geotécnicas.

A partir de informações como nível d'água, declividade do talude e índice pluviométrico local, é possível verificar qual a melhor solução em termos de drenagem. Para o talude estudado, em visitas ao local, não verificou-se dispositivos de drenagem superficial, sendo que são estes os responsáveis por evitar o escoamento direto sob o talude e também a penetração da água superficial nas descontinuidades.

A título de solução para melhorar a estabilidade e prevenir maiores danos erosivos, seria necessária a implantação das valetas de proteção na crista do talude, assim como descidas d'água nas laterais e sarjetas pé de corte ao longo de toda a extensão do mesmo.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho pode-se concluir como é importante a análise dos maciços rochosos distribuídos ao longo das rodovias e cidades do Brasil. O seu estudo é de grande importância para a proteção e segurança das obras de infraestruturas que impactam diretamente na população. Somente a partir do estudo e caracterização da condição estrutural dos taludes é possível posteriormente adotar medidas de segurança como proteção contra quedas de blocos.

Em relação ao talude estudado, apesar de ser classificado de regular resistência geomecânica, já foram constatados desprendimentos de blocos, logo, por precaução, é aconselhável a implementação de medidas estabilizadoras que garantam a segurança contra acidentes tanto para os motoristas que trafegam na via quanto para os pedestres que transitam nas mediações do talude.

Como solução é sugerida, inicialmente, a realização da retirada dos blocos que estão em iminência de cair e o retaludamento da camada de solo superior ao maciço. Posteriormente, propõe-se a instalação de uma proteção contra quedas de blocos, no caso, reforço superficial com malha hexagonal de dupla torção e chumbadores e por fim, a instalação de dispositivos de drenagem, tanto na crista como no pé do talude.

Por fim, apesar da solução conceitual já proposta, faz-se necessário ainda estudos complementares mais detalhados a respeito da resistência do maciço, como por exemplo, ensaios laboratoriais, sondagens e também estudos através de ferramentas computacionais que determinem a distância de queda dos blocos de forma a otimizar a solução do problema analisado.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica.** Conferência Brasileira Sobre Estabilidade De Encostas. Rio de Janeiro. **Anais.** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PCRJ. p. 691-704. 1992.

ÁVILA, C. R. **Determinação das propriedades mecânicas de maciços rochosos e/ou descontinuidades utilizando classificações geomecânicas – uma comparação entre os diversos métodos de classificação.** Dissertação de Mestrado. Nugeo, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. 2012.

BIENIAWSKI, Z. **Engineering Rock Mass Classification: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering.** [s.l.] John Wiley & Sons, 1989.

COLTRI, G. **Conheça como funciona o revestimento superficial de taludes.** 58. ed., Infraestrutura Urbana, Maio, 2016.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINEIRAS – CPRM. **Projeto Leste: Folha Teófilo Otoni – SE.24-V-C-IV, escala 1:100.000.** Vinícius José de Castro Paes – Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM, 1997, reimpressão 2000.

CORSINI, R. **Barreira para contenção de rochas.** 24. ed., Infraestrutura Urbana, Edição 24, Março, 2013.

DEERE, D. U.; MILLER, R. P. **Engineering classification and index properties for intact rock.** Urbana/IL – USA. 1967.

FINOTTI, G. B. de S.; RIBEIRO, M. de J.S.; TAVARES, R.S. **Estruturas de Contenção em Gabiões para estabilidade de encostas em Processos Erosivos.** 2013. 130 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Mapa de Clima do Brasil.** Disponível em [ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map\\_BR\\_clima\\_2002.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf). Acesso em 28 de out. de 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Gráficos Climatológicos.** Disponível em [http://www.inmet.gov.br/sim/abre\\_graficos.php](http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php). Acesso em: 28 de out. 2018.

ISRM. **Rock characterization, testing and monitoring.** Oxford: Pergamon Press, 1981.

MACCAFERRI, **Sistema contra a queda de rochas: Necessidades e Soluções.** Jundiaí, SP, 2017.

MATTOS, K.C.A. **Processo de Instabilização em taludes rodoviários em solos residuais arenosos: Estudo na rodovia Castello Branco (SP 280), km 305 a 313.** Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

OLIVEIRA, N. C. D, **Soluções para a estabilização de taludes em linhas férreas**. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

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

PINOTTI, A.M, **Técnicas de geologia estrutural para previsão e contenção de quedas de blocos em encostas: Aplicação na área do granito Santos, Santos, SP**. Instituto de Geociencia. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011.

QUEIROZ, R.C. & GAIOTO, N. **Taludes naturais em solos**. Solos do Interior de São Paulo. São Carlos, 1993.

REDONDO, F. **Classificação probabilística do padrão geomecânico de um maciço rochoso mineralizado com base no índice RQD**. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, p. 80. 2003.

RODRIGUES, C.O. **Aplicação de classificação geomecânica para estimativa de propriedades de resistência em maciços rochosos de uma mina subterrânea de ouro**. Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade. p. 87. 2018.

SANTOS, T. B. **Aplicabilidade das classificações geomecânicas e retroanálises para estimação de propriedades dos maciços rochosos**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 149 p. 2015.

SILVA, C. C. da. **Análise de estabilidade de um talude da cava de Alegria utilizando abordagem probabilística (manuscrito)**. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2015.

SILVEIRA. L.R.C. **Avaliação do perigo de queda de blocos em taludes urbanos e ferroviários e simulação de sua trajetória**. Departamento de Engenharia de Minas. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. p. 169. 2017.

WEATHER SPARK: **Condições Meteorológicas Médias de Teófilo Otoni**, Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30796/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Te%C3%B3filo-Otoni-Brasil-durante-o-ano#Sections-Precipitation>. Acesso em 28 de out. de 2018.





## ANEXO B – TABELA DOS PÂRAMETROS PARA A CLASSIFICAÇÃO DO RMR

### SEÇÃO A - PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO E SEUS RESPECTIVOS PESOS RELATIVOS

<b>P1 - Resistência da rocha intacta</b>					
Resistência à compressão uniaxial (MPa)	Índice de carga pontual (MPa)				Peso relativo
> 250	> 10				15
100 a 250	4 a 10				12
50 a 100	2 a 4				7
25 a 50	1 a 2				4
5 a 25	Para valores menores de resistência à carga puntiforme: utilizar o teste de compressão uniaxial				2
1 a 5					1
< 1					0
<b>P2 - RQD</b>					
Valor de RQD (%)	90 a 100	75 a 90	50 a 75	25 a 50	< 25
Peso relativo	20	17	13	8	3
<b>P3 – Espaçamento das descontinuidades</b>					
Espaçamento das descontinuidades	> 2 m	0,6 a 2m	200 a 600 mm	60 a 200 mm	<60 mm
Peso relativo	20	15	10	8	5
<b>P4 – Condição das descontinuidades</b>					
Condição das descontinuidades					Peso relativo
Descontinuidades com superfícies muito rugosas, não contínuas, sem separação e parede da rocha não alterada.					30
Descontinuidades com superfícies levemente rugosas, com separação (abertura) menor que 1 mm e paredes da rocha ligeiramente intemperizadas.					25
Descontinuidades com superfícies levemente rugosas, separação (abertura) menor que 1 mm e paredes da rocha muito intemperizadas.					20
Descontinuidades contínuas com superfícies estriadas ou com preenchimento de espessura menor que 5 mm ou separação (abertura) de 1 a 5 mm.					10
Descontinuidades contínuas com preenchimento macio de espessura maior que 5 mm ou separação maior que 5 mm.					0
<b>P4 – Condição das descontinuidades por parâmetro</b>					

<b>Persistência</b>	1 m	1 a 3 m	3 a 10 m	10 a 20 m	> 20 m
<b>Peso relativo</b>	6	4	2	1	0
<b>Abertura</b>	Nenhuma	< 0,1mm	0,1 a 1,0 mm	1 a 5 mm	> 5 mm
<b>Peso relativo</b>	6	5	4	1	0
<b>Rugosidade</b>	Muito rugosa	Rugosa	Levemente rugosa	Lisa	Estriada
<b>Peso relativo</b>	6	5	3	1	0
<b>Preenchimento</b>	Preenchimento duro			Preenchimento macio	
	Nenhum	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
<b>Peso relativo</b>	6	4	2	2	0
<b>Alteração</b>	Não alterada	Ligeiramente alterada	Moderadamente alterada	Muito alterada	Decompоста
<b>Peso relativo</b>	6	5	3	1	0

**P5 – Água Subterrânea**

<b>Influxo por 10m no comprimento do túnel (1/min)</b>	Sem Valor	<10	10 a 25	25 a 125	> 125
<b>Pressão de água na junta/<math>\sigma</math> principal maior</b>	0	<0,1	0,1 a 0,2	0,2 a 0,5	> 0,5
<b>Condições Gerais</b>	Completamente seco	Úmido	Encharcado	Gotejando	Com fluxo
<b>Peso relativo</b>	15	10	7	4	0

**SEÇÃO B - PESO RELATIVO DE AJUSTE DA ORIENTAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES**

**P6 - Orientação Relativa das Descontinuidades**

<b>Orientações da direção e mergulho</b>		Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável
<b>Peso relativo</b>	<b>Túneis e Minas</b>	0	-2	-5	-10	-12
	<b>Fundações</b>	0	-2	-7	-15	-25
	<b>Taludes</b>	0	-5	-25	-50	-60

Fonte: Rodrigues (2018)

O valor de RMR é a soma de todos os parâmetros, como demonstrado na Equação

3:

$$\text{RMR} = P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 \quad (3)$$