



## Aplicação do critério de Hoek e Brown para Análise de Estabilidade de Taludes Rochosos

Yasmin Bolelli de Souza

Estagiária, Sondotécnica, Rio de Janeiro, Brasil, boleliyasmin@outlook.com

Natalia Moschen Bottecchia

Engenheira Geotécnica, Sondotécnica, Rio de Janeiro, Brasil, natalia.bottecchia.ext@sondotecnica.com.br

Érica Pereira Affonso Guedes

Engenheira Geotécnica, Sondotécnica, Rio de Janeiro, Brasil, erica.guedes@sondotecnica.com.br

Jaider Xavier da Silva

Engenheiro Geotécnico, Sondotécnica, Rio de Janeiro, Brasil, jaider.silva@sondotecnica.com.br

Brenda de França Santoro

Engenheira Civil, Sondotécnica, Rio de Janeiro, Brasil, brenda.santoro@sondotecnica.com.br

**RESUMO:** O critério de Hoek-Brown é amplamente utilizado para estimar a resistência de maciços rochosos em meios contínuos, sendo essencial em análises de estabilidade por equilíbrio limite. Ele permite avaliar o fator de segurança e identificar superfícies potenciais de ruptura, sendo eficaz tanto em rochas intactas com baixa resistência quanto em maciços muito fraturados e alterados. Esse modelo, de natureza não linear, foi desenvolvido com base na teoria de Griffith e em observações empíricas, caracterizando-se por uma envoltória de ruptura curva. As propriedades da rocha intacta são ajustadas conforme as descontinuidades do maciço, representadas por sistemas de classificação como o RMR (Rock Mass Rating) e o GSI (Geological Strength Index), que consideram fatores como resistência, alteração, presença de água e características estruturais. Neste trabalho, o critério de Hoek-Brown foi aplicado na análise de estabilidade dos taludes previstos para a duplicação da BR-386, próximo a Marques de Souza (RS), região com maciços rochosos cobertos por camadas alteradas. Com base em inspeções de campo e mapeamento geológico, foram realizadas análises de estabilidade considerando superfícies de ruptura circulares e/ou mistas. A aplicação do critério, aliada à caracterização geomecânica adequada, possibilitou uma modelagem mais realista do comportamento dos taludes locais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hoek e Brown, Taludes Rochosos, Equilíbrio Limite, Estabilidade de talude.

**ABSTRACT:** The Hoek-Brown criterion is widely used to estimate the strength of rock masses in continuum media and is essential in stability analyses using the limit equilibrium method. It enables the evaluation of the safety factor and the identification of potential failure surfaces, proving effective for both low-strength intact rocks and highly fractured or weathered rock masses. This non-linear model was developed based on Griffith's theory and empirical observations and is characterized by a curved failure envelope.

The properties of the intact rock are adjusted according to the discontinuities of the rock mass, as represented by classification systems such as RMR (Rock Mass Rating) and GSI (Geological Strength Index), which consider factors including strength, degree of weathering, presence of water, and structural features.

In this study, the Hoek-Brown criterion was applied in the stability analysis of slopes planned for the duplication of highway BR-386, near Marques de Souza (RS), a region with rock masses covered by weathered layers. Based on field inspections and geological mapping, stability analyses were conducted, considering both circular and composite failure surfaces. The application of the criterion, combined with appropriate geomechanical characterization, enabled a more realistic modeling of the local slopes' behavior.

**KEYWORDS:** Hoek and Brown, Rock Slopes, Limit Equilibrium, Slope Stability.



## 1 INTRODUÇÃO

Com aumento contínuo do tráfego, especialmente de veículos pesados ao longos dos últimos anos, a duplicação da Rodovia BR-386/RS, localizada no Rio Grande do Sul se faz necessária, visando melhorar a fluidez do trânsito e, principalmente, aumentar a segurança dos usuários.

A região estudada, está localizada entre os km 323+056 e km 325+800, no município de Marques de Souza. Este trecho, é predominantemente composto por maciços rochosos resistentes sobrepostos por camadas muito fraturadas e alteradas, que representam um desafio na engenharia geotécnica, principalmente na seleção adequada de parâmetros de resistência. Nesses casos, o critério de Mohr-Coulomb, embora muito utilizado, pode não ser suficiente para captar a complexidade do maciço, sendo mais apropriado adotar o critério empírico de Hoek-Brown.

Devido a complexibilidade dessas intervenções, podem ocorrer diversos tipos de instabilidade nos taludes, como rupturas por tombamento, rupturas em cunha, deslizamentos planares, além de rupturas circulares e ou mistas, que são comuns em rochas de estrutura homogênea com elevada alteração. Caso essas instabilidades não sejam previstas e controladas, podem representar riscos à segurança da rodovia. Por esse motivo, é essencial uma análise geológica-geotécnica criteriosa, obtendo características e propriedades dos maciços.

Hoek-Brown é empregado para determinar a resistência de maciços rochosos em meios contínuos, sendo aplicado em projetos geotécnicos voltados à análise de estabilidade por equilíbrio limite. Ele permite a estimativa do fator de segurança e a identificação de possíveis superfícies de ruptura. Normalmente, esse método é aplicado em taludes compostos por rochas intactas de baixa resistência, bem como em maciços rochosos muito fraturados e alterados. Trata-se de uma abordagem não linear, desenvolvida com base na teoria de Griffith e em observações empíricas do comportamento de maciços rochosos. As propriedades da rocha intacta são penalizadas em função das descontinuidades do maciço, representadas por sistemas de classificação como o *Geological Strength Index* (GSI) ou o *Rock Mass Rating* (RMR), os quais consideram fatores como resistência do material, grau de alteração, presença de água e características das descontinuidades.

## 2 OBJETIVOS

Com o objetivo de obter resultados mais representativos nos cortes previstos para a duplicação da Rodovia BR-386/RS, no trecho próximo ao município de Marques de Souza, predominantemente composto por maciços rochosos sobrepostos por camadas superficiais alteradas, foram realizadas análises de estabilidade com base em investigações de campo e no mapeamento geológico, utilizando-se o critério de Hoek-Brown. Assim, este trabalho teve como objetivo apresentar a aplicabilidade do critério de Hoek-Brown na representação da resistência de taludes formados por maciços rochosos muito fraturados e alterados, com ênfase na definição dos parâmetros de resistência via RMR/GSI e na realização de análises de estabilidade com superfícies de ruptura circulares e/ou mistas, otimizadas por meio da metodologia de equilíbrio limite.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Caracterização Geológica-Geotécnica

Ao longo do trecho analisado, identificam-se duas unidades litoestratigráficas pertencentes ao Grupo Serra Geral. Essas unidades são compostas, predominantemente, por derrames de rochas básicas a intermediárias, como basaltos e dacitos/riodacitos. Destacam-se, nesse contexto, a formação Gramado (K1β gr), caracterizada por derrames basálticos granulares. Além disso, ocorrem dacitos pertencentes à Formação Caxias (K1α cx), que abrangem aproximadamente 60% do trecho estudado.

Em subsuperfície, identificam-se intercalações do Arenito Botucatu (J3K1bt). Essas intercalações foram depositadas durante períodos de interrupção temporária da atividade vulcânica extrusiva, responsável pela formação das sucessivas camadas de basalto. Na região, observa-se predominância de rochas basálticas e dacitos/riodacitos, recobertas por solos residuais e/ou coluvionares. Em função dessas características geológicas, os principais cortes previstos para o trecho ocorrerão em maciços rochosos, classificados como material de 3<sup>a</sup> categoria para fins de escavação em obras de terraplenagem.



### 3.2 Definição de Parâmetros Geotécnicos

Foi aplicada a análise de ruptura circular ou mista otimizada, utilizando o critério de Hoek-Brown, para maciços rochosos altamente fraturados, caracterizados pela presença de três famílias ou mais de descontinuidades, e para rochas intactas de baixa resistência, nas quais foi possível assumir condições isotrópicas e de homogeneidade.

Os parâmetros de resistência do modelo constitutivo para entrada no programa de análise de equilíbrio limite, Slope®, foram definidos conforme procedimentos especificados a seguir. O critério de Hoek-Brown trata-se de um método não linear, desenvolvido com base na Teoria de Griffith e em observações empíricas do comportamento de maciços rochosos em campo e laboratório, caracterizado por uma envoltória de ruptura curva, em que as propriedades da rocha intacta são penalizadas considerando as descontinuidades do maciço. A relação entre as tensões principais na ruptura é definida pela Equação (1), onde  $\sigma_1$ , é a tensão principal maior;  $\sigma_3$ , é a tensão principal menor; e  $\sigma_{ci}$ , a resistência à compressão uniaxial da rocha intacta.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (1)$$

A resistência à compressão uniaxial da rocha ( $\sigma_{ci}$ ), pode ser obtida através da literatura técnica, conforme Figura 1, ou por meio de ensaios de compressão uniaxial.

Grade*	Term	Uniaxial Comp. Strength (MPa)	Point Load Index (MPa)	Field estimate of strength	Examples
R6	Extremely Strong	> 250	>10	Specimen can only be chipped with a geological hammer	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite
R5	Very strong	100 - 250	4 - 10	Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff
R4	Strong	50 - 100	2 - 4	Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale
R3	Medium strong	25 - 50	1 - 2	Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone
R2	Weak	5 - 25	**	Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer	Chalk, rocksalt, potash
R1	Very weak	1 - 5	**	Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife	Highly weathered or altered rock

Figura 1 – Estimativas de resistência à compressão uniaxial (Hoek; *et al.* 2000).

Além disso,  $m_b$ ,  $s$  e  $a$  são constantes empíricas do material que dependem das características da rocha e do grau de fraturamento do maciço.

O parâmetro  $m_b$  foi calculado a partir da Equação (2) e depende da constante  $m_i$ , referente à rocha intacta, conforme ilustrado na Figura 2, do parâmetro GSI (Índice de Resistência Geológica) e do valor de D. Onde D é o fator de perturbação do maciço rochoso, variando entre 0 e 1. Para utilização em taludes rochosos foi utilizado D = 0,7 para desmonte realizado com cuidado e D = 1,0 para desmonte realizado com pouco controle (Hoek; *et al.* 2002 *apud* Wyllie; Mah, 2005).



$$m_b = m_i \exp \frac{(GSI - 100)}{28 - 14D} \quad (2)$$

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic	Conglomerate (22)	Sandstone 19	Siltstone 9	Claystone 4	
			— Greywacke — (18)			
	Organic		— Chalk — 7			
			— Coal — (8-21)			
	Non-Clastic	Breccia (20)	Sparitic Limestone (10)	Micritic Limestone 8		
			Gypseous 16	Anhydrite 13		
	Chemical					
METAMORPHIC	Non Foliated	Marble 9	Hornfels (19)	Quartzite 24		
	Slightly foliated	Migmatite (30)	Amphibolite 25 - 31	Mylonites (6)		
	Foliated*	Gneiss 33	Schists 4 - 8	Phyllites (10)	Slate 9	
		Granite 33		Rhyolite (16)	Obsidian (19)	
IGNEOUS	Light	Granodiorite (30)		Dacite (17)		
		Diorite (28)		Andesite 19		
		Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalt (17)		
	Dark	Norite 22				
		Agglomerate (20)	Breccia (18)	Tuff (15)		
	Extrusive pyroclastic type					

Figura 2 – Valores da constante  $m_i$  para a rocha intacta (Hoek; *et al.* 2000).

O GSI foi introduzido por Hoek em 1995, para estimar a resistência de um maciço rochoso sujeito a diferentes condições geológicas. Seu valor foi determinado por meio da Figura 3, a partir da estrutura do maciço, por meio do RQD e das condições de suas descontinuidades  $J_{cond89}$ .

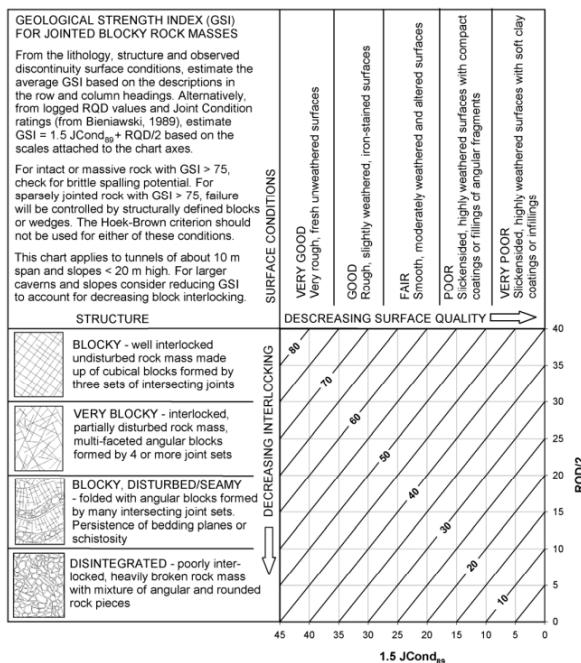


Figura 3 – Estimativa de GSI baseado na descrição geológica (Hoek; *et al.* 2013).

Para as análises de estabilidade dos taludes foram utilizados os valores de RQD obtidos por sondagens mistas realizadas na região de estudo. Utilizou-se de  $J_{cond89}$  igual a 5 para estruturas muito fraturadas e/ou



2 0 2 5

alteradas e  $J_{cond89}$  igual ao valor obtido no mapeamento geológico-geotécnico para os maciços menos fraturados/alterados, ou seja, com  $RQD \geq 30\%$ . Ainda, para os casos de escavação em material de terceira categoria,  $RQD \leq 30\%$  utilizou-se D igual a 1 e para os casos de detonação do maciço rochoso, de forma conservadora, utilizou-se 0,7.

A Tabela 1, apresenta um resumo dos parâmetros adotados para as análises de estabilidade que utilizaram o critério de ruptura de Hoek-Brown, bem como as cores utilizadas de acordo com o tipo de material.

Tabela 1 – Resumo dos parâmetros resistência para critério de ruptura de Hoek-Brown.

Legenda	Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	UCS (kPa)	mb	s	a
	MR RQD>30	27	87500	0,1145	8,58E-06	0,5223
	MR RQD 0	27	17500 0	0,1055	1,51E-06	0,6009
	MR muito fraturado, alterado e saturado – RQD 0	27	87500	0,1055	1,51E-06	0,6009
	MR muito fraturado, alterado e saturado – RQD 10	27	87500	0,1388	3,11e-06	0,5722
	MR muito fraturado, alterado e saturado – RQD 15	27	87500	0,1593	4,47e-06	0,5611
	MR muito fraturado, alterado e saturado – KM 323+460 – RQD 20	27	87500	0,1827	6,42e-06	0,5517

### 3.3 Análise de Estabilidade

A verificação da estabilidade dos cortes em solo e rochas homogêneas e muito alteradas foram realizadas por meio da metodologia de Morgenstern-Price, a qual é baseada no método de equilíbrio limite. Foi utilizado o programa computacional Slope/W do pacote GeoStudio, na versão 2023, para a realização dos cálculos e apresentações dos resultados. Foram consideradas superfícies de ruptura circulares e mistas, além de superfícies “otimizadas”.

Essas análises abrangearam taludes de corte com altura superior a 3 metros, de acordo com as diretrizes estabelecidas na Portaria SUINF nº 198/2018 (ANTT). A solução típica implementada para os taludes de corte em solo e em rocha muito fraturada e/ou rocha muito alterada foi inclinação 1,0(V):1,0(H) e para os cortes em maciço rochoso com  $RQD \geq 30$ , 4,0(V):1,0(H).

Foi considerado um nível d’água (N.A) crítico de projeto, considerando possíveis variações sazonais ao longo do ano e representando condições temporárias mais severas. Esse nível foi estabelecido 2 metros acima da linha freática regular, interpretada a partir das investigações geotécnicas e mapeamentos, ou 2 metros acima do topo do maciço rochoso, prevalecendo o valor maior entre os dois. Nas situações em que o nível d’água na sondagem foi identificado acima do pé do talude, optou-se, sempre, pela implementação de Drenos Horizontais Profundos (DHPs).

Neste trabalho, foram indicados os níveis de segurança e os critérios adotados para o projeto na condição permanente (após a construção da obra), resultando em  $FS \geq 1,50$  e os níveis de segurança e critérios adotados para a condição temporária (durante a construção), com  $FS \geq 1,20$  (ABNT 2009).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados referem-se à condição de projeto permanente, resultando em um fator de segurança  $FS \geq 1,50$ , considerando também o funcionamento integral dos drenos horizontais profundos para o rebaixamento do nível d’água.

Para cada talude, foi adotada a seção crítica, com a análise baseada no pior cenário. Vale ressaltar que foram realizada as análises para a condição provisória, durante a execução das obras, e condição permanente. Na Tabela 2, encontram-se as seções de análise.

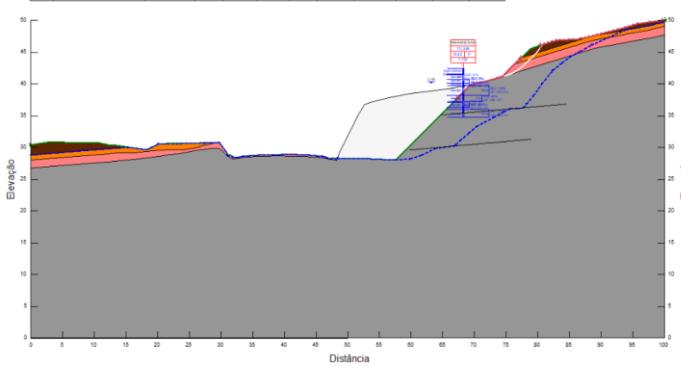


Tabela 1. Seções Críticas – Hoek-Brown

Figura	Est. Inicial	Est. Final	Extensão(m)	H <sub>máx</sub> (m)	Seção Crítica	FS ≥ 1,50
(4)	323+325	323+555	230	20,20	323+460	3,69
(5)	323+598	323+698	100	13,82	323+645	2,37
(6)	323+732	323+872	140	17,28	323+855	2,28
(7)	324+035	324+190	155	15,70	324+100	2,25
(8)	324+255	324+530	275	8,42	324+390	2,07
(9)	324+670	324+770	100	5,60	324+700	2,15

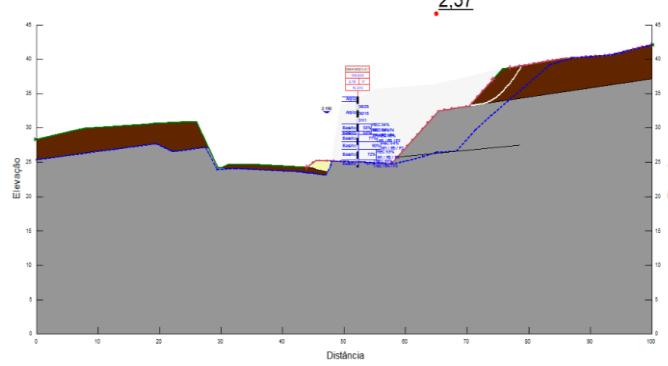
A seguir, encontram-se as imagens que demonstram os resultados obtidos na análise de estabilidade das seções críticas. As Figuras de 4 a 9, mostram as superfícies de ruptura para cada caso.

Case	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	UCS (kN/m²)	Parameter m <sub>b</sub>	Parameter n <sub>b</sub>	Parameter a	Parameter b	Calculated from	Max Cohesion (MPa)	Effective Cohesion (MPa)	Effective Friction Angle (°)
■	MH-mohr-coulomb - KM 323+325	Hoek-Brown	17	10,00	0,108	1,00e-03	0,008	No	16			
■	MH-mohr-coulomb - KM 323+598	Hoek-Brown	17	10,00	0,107	0,01e-03	0,007	No	16			
■	MH-RQD=30	Hoek-Brown	27	10,00	0,144	0,01e-03	0,028	No	16			
■	SH-NSPT + S - Seg-D - VS	Mohr-Coulumb	19	25	24							



(4) Análise de estabilidade do talude - KM 323+460  
FS = 3,69 (FS≥1,5)

Case	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	UCS (kN/m²)	Parameter m <sub>b</sub>	Parameter n <sub>b</sub>	Parameter a	Parameter b	Calculated from	Max Cohesion (MPa)	Effective Cohesion (MPa)	Effective Friction Angle (°)
■	Altos Projeto - Seg D - VS	Mohr-Coulumb	17							30		
■	MH-RQD=30	Hoek-Brown	27	07,500	0,1145	0,017e-03	0,0223	No	15			



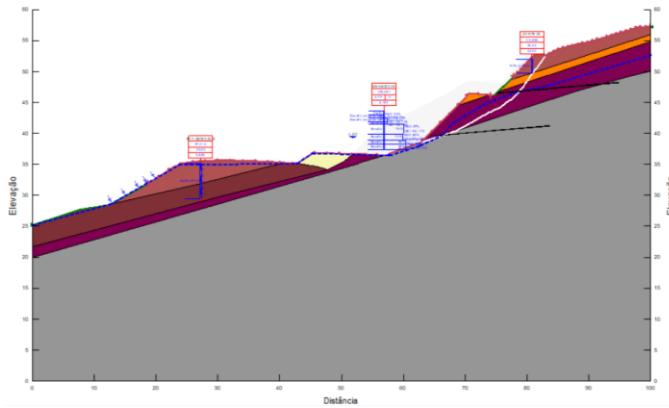
(5) Análise de estabilidade do talude KM 323+645  
FS = 2,37 (FS≥1,5)



2025

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	UCS (kN/m²)	Parameter m	Parameter s	Parameter a	Calculated from	Max Confusing Stress Sigma 3 (kPa)
Yellow	Arena Projeto - SegD-VS	Mohr-Coulomb	27	175.000	0.0000	1.000e-08	0.0000	No	150
Orange	MRI muito fraturado e dessecado - RQD 0	Hoek-Brown	27	175.000	0.0000	1.000e-08	0.0000	No	150
Red	MRI muito fraturado e saturado - RQD 10	Hoek-Brown	27	97.000	0.0000	1.000e-08	0.0000	No	150
Grey	MRI RQD=50	Hoek-Brown	27	87.000	0.0145	8.000e-09	0.0020	No	150
Black	SR NSPT 3.0 - SegD-VS	Mohr-Coulumb	19	87.000	0.0000	1.000e-08	0.0000	No	150
Dark Grey	SR NSPT + 20 - SegD-VG	Mohr-Coulumb	17	87.000	0.0000	1.000e-08	0.0000	No	150

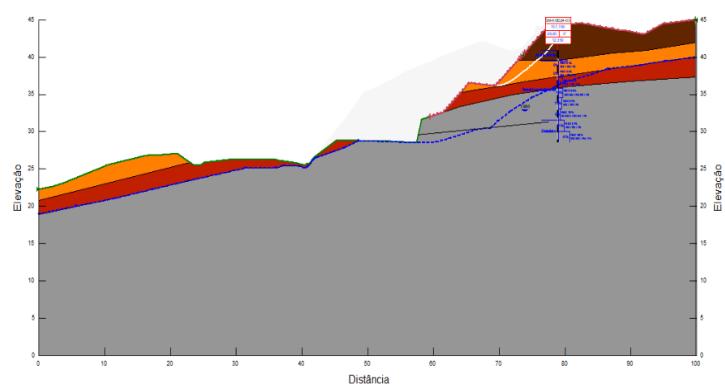
2.28



(6) Análise de estabilidade do talude KM 323+855  
FS = 2,28 (FS≥1,5)

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Effective Cohesion (kN/m²)	Effective Friction Angle (°)	UCS (kN/m²)	Parameter m	Parameter s	Parameter a	Calculated from	Max Confusing Stress Sigma 3 (kPa)
Orange	MR muito fraturado e dessecado - RQD 0	Hoek-Brown	27			178.000	1.000	1.000e-08	0.0000	No	150
Red	MR muito fraturado, dessecado e saturado - RQD 10	Hoek-Brown	27			87.000	1.015	4.400e-09	0.0011	No	150
Grey	MR RQD=50	Hoek-Brown	27			87.000	0.9145	8.000e-09	0.0020	No	150
Black	SR NSPT + 20 - Seg D - VG	Mohr-Coulumb	19	25	26	87.000	0.0000	1.000e-08	0.0000	No	150

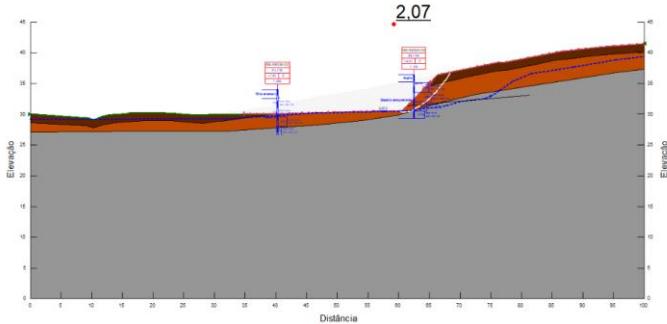
2.25



(7) Análise de estabilidade do talude KM 324+100  
FS = 2,25 (FS≥1,5)

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Effective Cohesion (kN/m²)	Effective Friction Angle (°)	UCS (kN/m²)	Parameter m	Parameter s	Parameter a	Calculated from	Max Confusing Stress Sigma 3 (kPa)
Orange	MR muito fraturado, dessecado e saturado - RQD 0	Hoek-Brown	27			87.000	0.0000	1.000e-08	0.0000	No	150
Grey	MR RQD=50	Hoek-Brown	27			87.000	0.0145	8.000e-09	0.0020	No	150
Black	SR NSPT + 20 - Seg D - VS	Mohr-Coulumb	19	23	25	87.000	0.0000	1.000e-08	0.0000	No	150

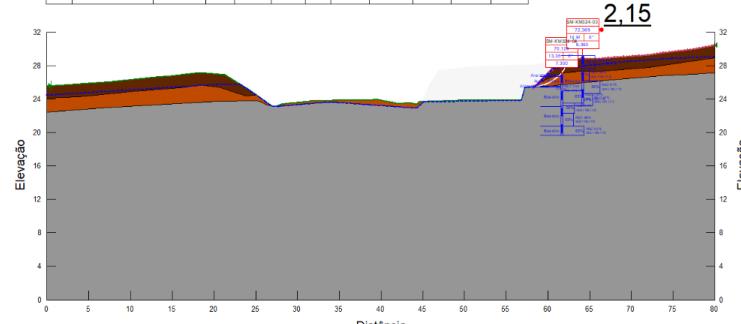
2.07



(8) Análise de estabilidade do talude KM 324+390  
FS = 2,07 (FS≥1,5)

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Effective Cohesion (kN/m²)	Effective Friction Angle (°)	UCS (kN/m²)	Parameter m	Parameter s	Parameter a	Calculated from	Max Confusing Stress Sigma 3 (kPa)
Orange	MR muito fraturado, dessecado e saturado - RQD 0	Hoek-Brown	27			87.000	0.0000	1.000e-08	0.0000	No	150
Grey	MR RQD=50	Hoek-Brown	27			87.000	0.0145	8.000e-09	0.0020	No	150
Black	SR NSPT + 20 - Seg D - VS	Mohr-Coulumb	19	25	26	87.000	0.0000	1.000e-08	0.0000	No	150

2.15



(9) Análise de estabilidade do talude KM 324+700  
FS = 2,15 (FS≥1,5)

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresenta o estudo de estabilidade de taludes de corte previstos para a duplicação da Rodovia BR-386, no trecho próximo ao município de Marques de Souza (RS), entre os km 323+056 e o kn 325+800.

Foi possível observar que a análise de estabilidade de talude, realizadas no software Slope/W, utilizando o critério de Hoek-Brown para maciços rochosos altamente fraturados, por incorporar parâmetros como o fraturamento, GSI, RMR,  $J_{cond89}$ , resistência da rocha, etc. consegue reproduzir de forma mais fiel o comportamento desse material em campo.

Os resultados apresentados demonstram que todos os taludes e suas seções ciríticas apresentam um fator de segurança satisfatório ( $FS \geq 1,50$ ), garantindo, conforme normativa, a estabilidade nas condições permanentes de projeto.



## AGRADECIMENTOS

Sou muito grata à equipe com quem tenho a sorte de conviver todos os dias. O apoio, a troca de ideias e a parceria fazem toda a diferença nesse processo de crescimento profissional. Também agradeço à empresa Sondotécnica pela confiança e por oferecer um ambiente onde a gente se sente valorizada e motivada a crescer.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT. (2018). *SUINF n° 198/2018: Diretrizes para Elaboração de Estudos e Projetos de Rodovias e Disposições Transitórias*. Brasília
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2009). *NBR 11682: Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. Wiley-Interscience, pp. P. 51-72.
- Hoek, E., & Brown, E. T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, vol. 34, pp. p. 1165-1186.
- Hoek, E., & Brown, E. T. (2018). *The Hoek–Brown failure criterion and GSI–2018*. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, v. 11(n. 3), pp. p. 445-463.
- Hoek, E., & Marinos, P. (2000). *GSI: A Geologically friendly tool for rock mass strength estimation*. Proceedings of the GeoEng 2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, (pp. p. 1422-1446). Melbourne.
- Hoek, E., Carter, T. G., & Diederichs, M. S. (2013). *Quantification of the geological strength index chart*. US rock mechanics/geomechanics symposium. OnePetro.
- Hoek, E., Torres, C. C., Diederichs, M., & Corkum, B. (2008). *Integration of geotechnical and structural design in tunneling*. Annual Geotechnical Engineering Conference. Minneapolis.
- Wyllie D. C, Mah C. W. (2005). *Rock Slope Engineering*. New York.