



**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo**

CLASSIFICAÇÕES DE MACIÇOS ROCHOSOS PARTE 3

**PMI 3309 - Mecânica de Rochas Aplicada à Mineração II
Prof. Eduardo César Sansone**

CLASSIFICAÇÕES DE MACIÇOS ROCHOSOS



CLASSIFICAÇÕES A SEREM ESTUDADAS

**Classificação de Terzaghi - 1946
Rock Quality Designation Index (RQD) - 1967
Rock Structure Rating (RSR) - 1972
Rock Mass Rating (RMR) - 1976
Índice Q (Rock Tunnelling Quality Index) - 1974**



ROCK MASS RATING (RMR) - 1976

3

ROCK MASS RATING (RMR)



O RMR - ROCK MASS RATING é uma classificação geomecânica proposta inicialmente por Bieniawski e que recebeu vários refinamentos posteriores à medida em que novos registros de casos foram sendo analisados.

Classifica maciços rochoso através dos seguintes parâmetros:

- Resistência à compressão uniaxial do material rochoso (A1).
- Valor do índice RQD (A2).
- Espaçamento das descontinuidades (A3).
- Condição das descontinuidades (A4).
- Condição da presença de água (A5).
- Orientação das descontinuidades (B).

4



O valor do RMR é dado pela soma dos índices atribuídos aos seis parâmetros:

$$RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + B$$

Estes índices são fornecidos por tabelas, de acordo com as características dos maciços.

A aplicação deste sistema requer a divisão do maciço rochoso em várias regiões estruturais, que devem ser classificadas separadamente.

Seus limites devem coincidir com as feições estruturais da formação.



A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

Parameter		Ranges of Values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index (MPa)	>10	4 – 10	2 – 4	1 – 2	For this low range, uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength (MPa)	>250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	<1
		Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD (%)		90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	<25		
		Rating	20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0.6 – 2 m	200 – 600 mm	60 – 200 mm	<60 mm		
		Rating	20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered wall	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
		Rating	30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	<10	10 – 25	25 – 125	>125		
		Ratio $\frac{\text{Joint water pressure}}{\text{Major principal stress}}$	0	<0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	>0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating	15	10	7	4	0			

Sistema de classificação RMR

ROCK MASS RATING (RMR)



B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS

Strike and Dip Orientations of Discontinuities		Very Favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Very Unfavorable
Ratings	Tunnels and mines	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60

C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS

Rating	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	<20
Class no.	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

D. MEANING OF ROCK MASS CLASSES

Class no.	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	20 yr for 15-m span	1 yr for 10-m span	1 wk for 5-m span	10 h for 2.5-m span	30 min for 1-m span
Cohesion of the rock mass (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Friction angle of the rock mass (deg)	>45	35-45	25-35	15-25	<15

Ajustes e resultados do sistema de classificação RMR

7

ROCK MASS RATING (RMR)



E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions					
Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Rating	6	4	2	1	0
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Rating	6	5	4	1	0
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Sickensided
Rating	6	5	3	1	0
Infilling (gouge)	None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm
Rating	6	4	2	2	0
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed
Ratings	6	5	3	1	0

F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**			
Strike perpendicular to tunnel axis		Strike parallel to tunnel axis	
Drive with dip - Dip 45 - 90°	Drive with dip - Dip 20 - 45°	Dip 45 - 90°	Dip 20 - 45°
Very favourable	Favourable	Very unfavourable	Fair
Drive against dip - Dip 45-90°	Drive against dip - Dip 20-45°	Dip 0-20 - Irrespective of strike*	
Fair	Unfavourable	Fair	

Ajustes do sistema de classificação RMR

8



RESULTADOS FORNECIDOS PELO RMR

9

RESULTADOS FORNECIDOS PELO RMR



Rock mass class	Excavation	Rock bolts (20 mm diameter, fully grouted)	Shotcrete	Steel sets
I - Very good rock <i>RMR</i> : 81-100	Full face, 3 m advance.	Generally no support required except spot bolting.		
II - Good rock <i>RMR</i> : 61-80	Full face , 1-1.5 m advance. Complete support 20 m from face.	Locally, bolts in crown 3 m long, spaced 2.5 m with occasional wire mesh.	50 mm in crown where required.	None.
III - Fair rock <i>RMR</i> : 41-60	Top heading and bench 1.5-3 m advance in top heading. Commence support after each blast. Complete support 10 m from face.	Systematic bolts 4 m long, spaced 1.5 - 2 m in crown and walls with wire mesh in crown.	50-100 mm in crown and 30 mm in sides.	None.
IV - Poor rock <i>RMR</i> : 21-40	Top heading and bench 1.0-1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation, 10 m from face.	Systematic bolts 4-5 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh.	100-150 mm in crown and 100 mm in sides.	Light to medium ribs spaced 1.5 m where required.
V - Very poor rock <i>RMR</i> : < 20	Multiple drifts 0.5-1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation. Shotcrete as soon as possible after blasting.	Systematic bolts 5-6 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh. Bolt invert.	150-200 mm in crown, 150 mm in sides, and 50 mm on face.	Medium to heavy ribs spaced 0.75 m with steel lagging and forepoling if required. Close invert.

Recomendações para escavação e suporte em um túnel com largura de 10 m

10



A carga nos suportes pode ser determinada pela classificação RMR através da equação:

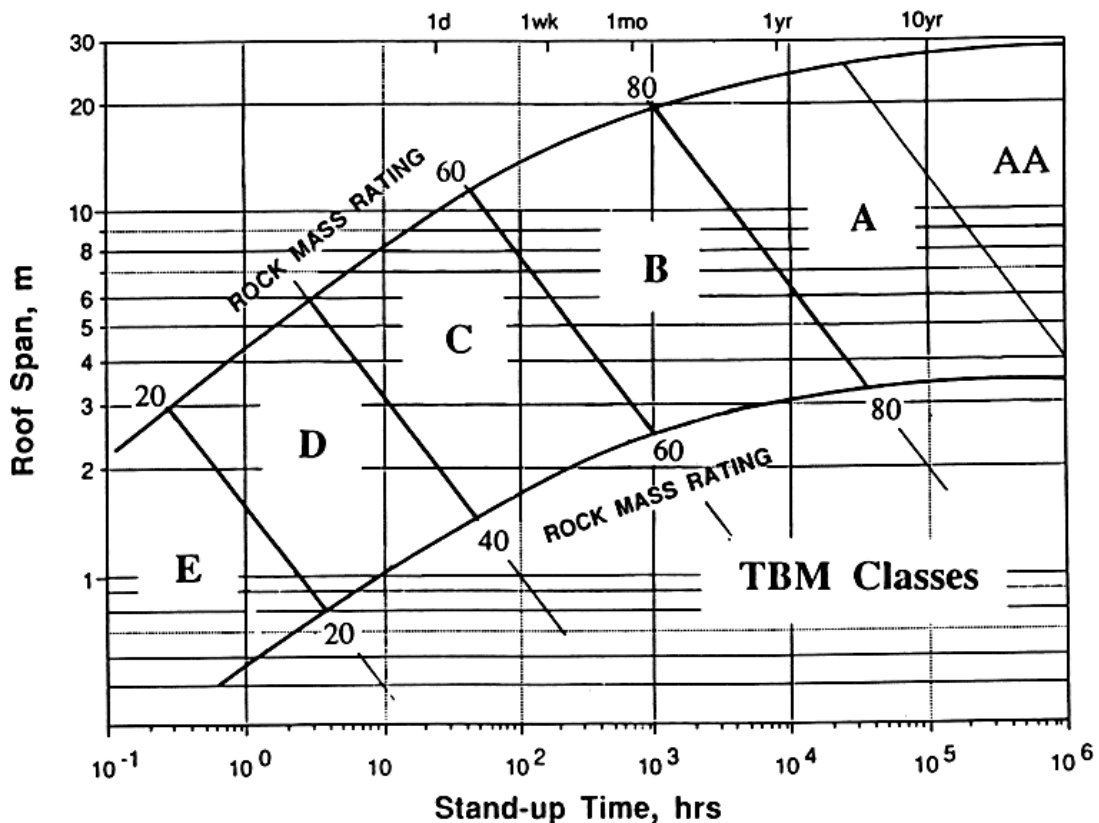
$$P = \frac{100 - \text{RMR}}{100} \cdot \gamma \cdot B$$

Onde:

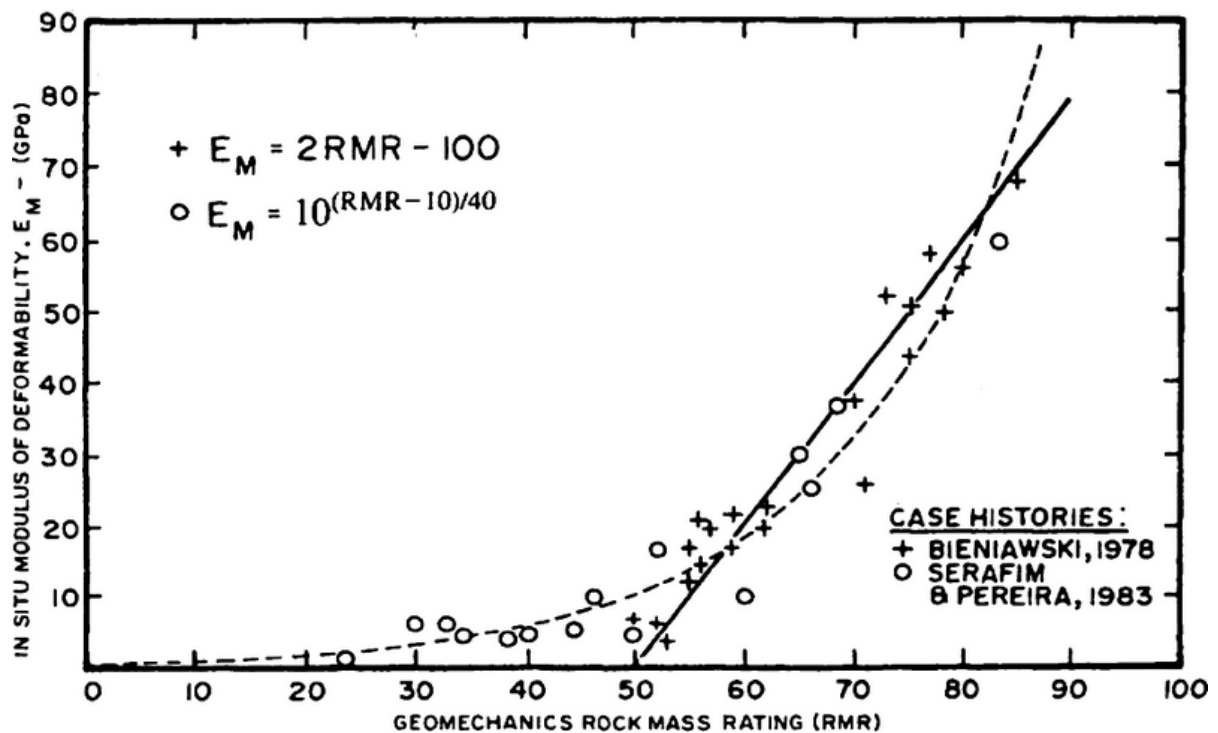
P = carga nos suportes (kN)

B = largura da escavação (m)

γ = densidade da rocha (kg/m³)



Relação entre o Tempo de Auto-Suporte (Stand-Up Time) e a Largura da escavação para maciços rochosos de várias classes



Módulo de Elasticidade do maciço rochoso como função do RMR

13

APLICAÇÃO DO RMR NA MINERAÇÃO



A classificação RMR foi desenvolvida inicialmente a partir de dados de obras civis, mas posteriormente sofreu várias adaptações para se adequar a outros tipos de obras.

Laubscher propôs uma modificação no índice para permitir sua aplicação na mineração.

Assim, o índice MRMR (Modified Rock Mass Rating) de Laubscher é calculado tomando o RMR como base e acrescentando ajustes em função de:

- Tensões induzidas pelas escavações.
- Efeitos do desmonte.
- Efeitos de alteração da rocha.

14



EXERCÍCIO

15

ROCK MASS RATING (RMR)



EXERCÍCIO

Classificar segundo o Rock Mass Rating - RMR o maciço rochoso em uma galeria de 5 m de largura escavada em granito com densidade de $2,7 \text{ t/m}^3$ e com resistência à compressão uniaxial medida em célula de compressão pontual de 8 MPa e RQD médio de 70%.

Há a presença de uma família de descontinuidades com mergulho a 60° contra a direção da escavação (strike perpendicular ao eixo), com superfícies ligeiramente rugosas e intemperizadas e sem preenchimento, com separação inferior a 1 mm, espaçadas a 300 mm e com persistência de 2 m.

Considerar condição molhada para a escavação.

16



SOLUÇÃO

Tabela	Item	Valor	Classificação
A.1	Teste em máquina pontual	8 MPa	
A.2	RQD		
A.3	Espaçamento das descontinuidades		
E.4	Condição das descontinuidades		
A.5	Água subterrânea		
B	Ajuste para orientação das juntas		
		TOTAL	

17

ROCK MASS RATING (RMR)



A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

Parameter		Ranges of Values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index (MPa)	>10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	For this low range, uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength (MPa)	>250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	<1
		Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	<25		
		Rating	20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	<60 mm		
		Rating	20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered wall	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 - 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
		Rating	30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	<10	10 - 25	25 - 125	>125		
		Ratio $\frac{\text{Joint water pressure}}{\text{Major principal stress}}$	0	<0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	>0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating	15	10	7	4	0			

Sistema de classificação RMR

18



SOLUÇÃO

Tabela	Item	Valor	Classificação
A.1	Teste em máquina pontual	8 MPa	12
A.2	RQD		
A.3	Espaçamento das descontinuidades		
E.4	Condição das descontinuidades		
A.5	Água subterrânea		
B	Ajuste para orientação das juntas		
		TOTAL	

19

ROCK MASS RATING (RMR)



A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

Parameter		Ranges of Values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index (MPa)	>10	4 – 10	2 – 4	1 – 2	For this low range, uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength (MPa)	>250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	<1
		Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD (%)		90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	<25		
		Rating	20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0.6 – 2 m	200 – 600 mm	60 – 200 mm	<60 mm		
		Rating	20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered wall	Slickensided-surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
		Rating	30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	<10	10 – 25	25 – 125	>125		
		Ratio $\frac{\text{Joint water pressure}}{\text{Major principal stress}}$	0	<0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	>0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
		Rating	15	10	7	4	0		

Sistema de classificação RMR

20



SOLUÇÃO

Tabela	Item	Valor	Classificação
A.1	Teste em máquina pontual	8 MPa	12
A.2	RQD	70%	13
A.3	Espaçamento das descontinuidades		
E.4	Condição das descontinuidades		
A.5	Água subterrânea		
B	Ajuste para orientação das juntas		
		TOTAL	

21

ROCK MASS RATING (RMR)



A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

Parameter		Ranges of Values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index (MPa)	>10	4 – 10	2 – 4	1 – 2	For this low range, uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength (MPa)	>250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	<1
		Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD (%)		90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	<25		
		Rating	20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0.6 – 2 m	200 – 600 mm	60 – 200 mm	<60 mm		
		Rating	20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered wall	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
		Rating	30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	<10	10 – 25	25 – 125	>125		
		Ratio $\frac{\text{Joint water pressure}}{\text{Major principal stress}}$	0	<0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	>0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating	15	10	7	4	0			

Sistema de classificação RMR

22

**SOLUÇÃO**

Tabela	Item	Valor	Classificação
A.1	Teste em máquina pontual	8 MPa	12
A.2	RQD	70%	13
A.3	Espaçamento das descontinuidades	300 mm	10
E.4	Condição das descontinuidades		
A.5	Água subterrânea		
B	Ajuste para orientação das juntas		
		TOTAL	



“Há a presença de uma família de descontinuidades com mergulho a 60° contra a direção da escavação (strike perpendicular ao eixo), com superfícies ligeiramente rugosas e intemperizadas e sem preenchimento, com separação inferior a 1 mm, espaçadas a 300 mm e com persistência de 2 m.”

ROCK MASS RATING (RMR)



A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

Parameter		Ranges of Values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index (MPa)	>10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	For this low range, uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength (MPa)	>250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	<1
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill core quality RQD (%)	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	<25			
	Rating	20	17	13	8	3			
3	Spacing of discontinuities	>2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	<60 mm			
	Rating	20	15	10	8	5			
4	Condition of discontinuities	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered wall	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 - 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous			
		Rating	30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	<10	10 - 25	25 - 125	>125		
		Ratio $\frac{\text{Joint water pressure}}{\text{Major principal stress}}$	0	<0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	>0.5		
	General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing			
	Rating	15	10	7	4	0			

Sistema de classificação RMR

25

ROCK MASS RATING (RMR)



"Há a presença de uma família de descontinuidades com mergulho a 60° contra a direção da escavação (strike perpendicular ao eixo), com superfícies ligeiramente rugosas e intemperizadas e sem preenchimento, com separação inferior a 1 mm, espaçadas a 300 mm e com persistência de 2 m."

NOTA 1

Para juntas nestas condições a tabela A.4 fornece classificação 25. Quando informações mais detalhadas estão disponíveis, a tabela E pode ser utilizada para se obter uma avaliação mais refinada. Assim, neste caso temos a soma:

4 - comprimento das descontinuidades de 1 a 3 m

4 - separação de 0,1 a 1 mm

3 - ligeiramente rugosas

6 - sem preenchimento

5 - ligeiramente intemperizadas

Total = 22

E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions					
Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Rating	6	4	2	1	0
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Rating	6	5	4	1	0
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided
Rating	6	5	3	1	0
Infilling (gouge)	None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm
Rating	6	4	2	2	0
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed
Ratings	6	5	3	1	0

26



SOLUÇÃO

Tabela	Item	Valor	Classificação
A.1	Teste em máquina pontual	8 MPa	12
A.2	RQD	70%	13
A.3	Espaçamento das descontinuidades	300 mm	10
E.4	Condição das descontinuidades	Nota 1	22
A.5	Água subterrânea		
B	Ajuste para orientação das juntas		
		TOTAL	

27

ROCK MASS RATING (RMR)



A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

Parameter		Ranges of Values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index (MPa)	>10	4 – 10	2 – 4	1 – 2	For this low range, uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength (MPa)	>250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	<1
		Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD (%)		90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	<25		
		Rating	20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0.6 – 2 m	200 – 600 mm	60 – 200 mm	<60 mm		
		Rating	20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered wall	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
		Rating	30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	<10	10 – 25	25 – 125	>125		
		Ratio $\frac{\text{Joint water pressure}}{\text{Major principal stress}}$	0	<0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	>0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating	15	10	7	4	0			

Sistema de classificação RMR

28



SOLUÇÃO

Tabela	Item	Valor	Classificação
A.1	Teste em máquina pontual	8 MPa	12
A.2	RQD	70%	13
A.3	Espaçamento das descontinuidades	300 mm	10
E.4	Condição das descontinuidades	Nota 1	22
A.5	Água subterrânea	Molhada	7
B	Ajuste para orientação das juntas		
		TOTAL	

29

ROCK MASS RATING (RMR)



“Há a presença de uma família de descontinuidades com mergulho a 60° contra a direção da escavação (strike perpendicular ao eixo), com superfícies ligeiramente rugosas e intemperizadas e sem preenchimento, com separação inferior a 1 mm, espaçadas a 300 mm e com persistência de 2 m.”

NOTA 2

A tabela F fornece descrição “Regular” para as condições assumidas, com túnel escavado contra o mergulho das descontinuidades, a 60°. Utilizando esta descrição para “Túneis e Minas” na tabela B, temos um ajuste igual a **-5**.

F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**			
Strike perpendicular to tunnel axis		Strike parallel to tunnel axis	
Drive with dip - Dip 45 - 90°	Drive with dip - Dip 20 - 45°	Dip 45 - 90°	Dip 20 - 45°
Very favourable	Favourable	Very unfavourable	Fair
Drive against dip - Dip 45-90°	Drive against dip - Dip 20-45°	Dip 0-20 - Irrespective of strike*	
Fair	Unfavourable	Fair	

B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS

Strike and Dip Orientations of Discontinuities		Very Favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Very Unfavorable
Ratings	Tunnels and mines	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60

30



SOLUÇÃO

Tabela	Item	Valor	Classificação
A.1	Teste em máquina pontual	8 MPa	12
A.2	RQD	70%	13
A.3	Espaçamento das descontinuidades	300 mm	10
E.4	Condição das descontinuidades	Nota 1	22
A.5	Água subterrânea	Molhada	7
B	Ajuste para orientação das juntas	Nota 2	-5
TOTAL			

RMR = 59 → Rocha Regular (III)

C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS

Rating	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	<20
Class no.	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

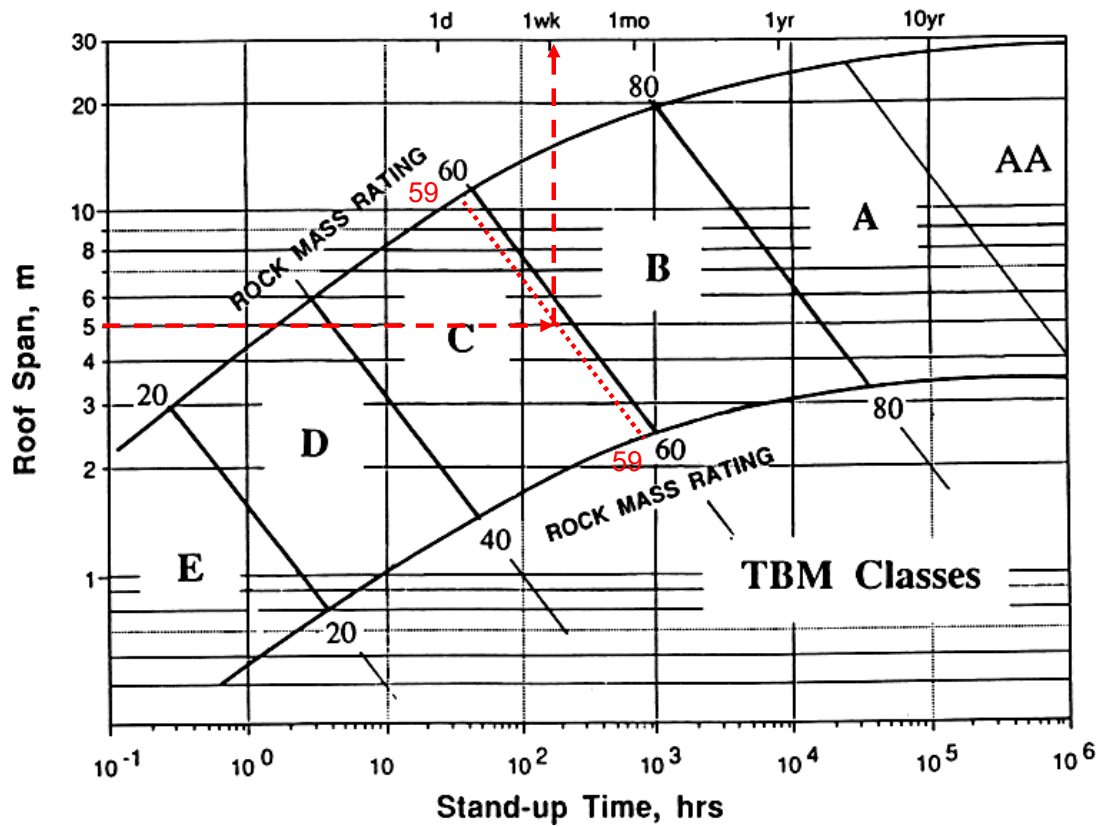
31



Cálculo da carga nos suportes:

$$P = \frac{100 - \text{RMR}}{100} \cdot \gamma \cdot B = \frac{100 - 59}{100} \cdot 2700 \cdot 5 \Leftrightarrow P = 5535 \text{ kN}$$

Podemos também estimar o tempo de auto-suporte da escavação em cerca uma semana (galeria de 5 m de largura).



Tempo de Auto-Suporte (Stand-Up Time) de 1 semana para uma galeria de 5 m de largura em um maciço com RMR = 59



OBRIGADO!

Contato:
Prof. Eduardo César Sansone
esansone@usp.br