
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL ROCHA

Notas: (FCUL) indica acetatos da FCUL, Prof Fernando Marques
(FEUP) indica imagens das folhas de Geologia de Engenharia da FEUP
CS e JS – imagens do estágio de Cláudio Santa e Júlio Santos

Classificação material rocha

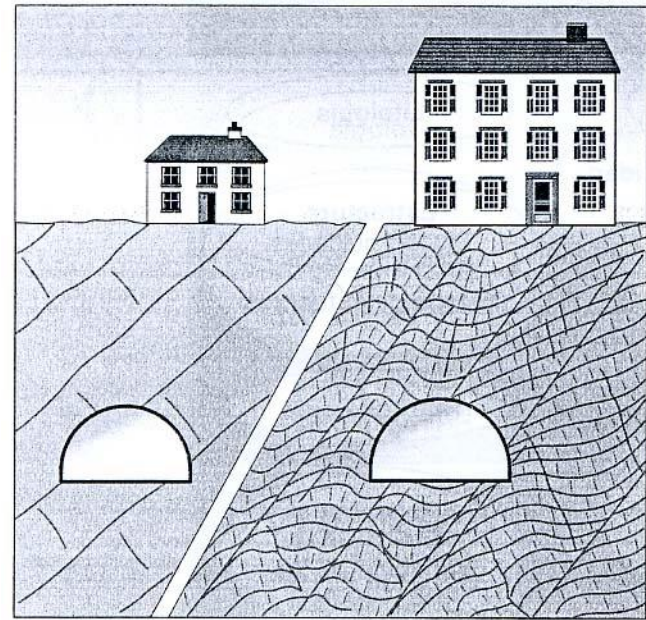
- A alterabilidade é uma avaliação da tendência à rotura dos componentes ou da estrutura da rocha
- Meteorização:
 - Aumenta a porosidade
 - Aumenta a permeabilidade
 - Aumenta a deformabilidade
 - Diminui a resistência
- Durabilidade – resistência da rocha aos processos de alteração e desintegração
 - Aumenta com a densidade
 - Decresce com o teor em água

Classificação material rocha

- A maior ou menor influência dos blocos de material rocha no comportamento de um maciço depende das características relativas do material rocha e das descontinuidades e da **escala** do trabalho.
 - Nas rochas de pior qualidade (mecânica) as descontinuidades têm menor influência no comportamento do maciço
 - Quando as descontinuidades são muito importantes, os blocos de rocha são considerados homogêneos e isótipos
- Ensaio de laboratório permitem avaliar:
 - Natureza
 - Resistência à rotura
 - Deformabilidade
 - Influência da água
 - Comportamento à meteorização
 - Comportamento ao longo do tempo

Classificação material rocha

•A maior ou menor influência dos blocos de material rocha no comportamento de um maciço depende das características relativas do material rocha e das discontinuidades e da **escala** do trabalho.



Classificação material rocha

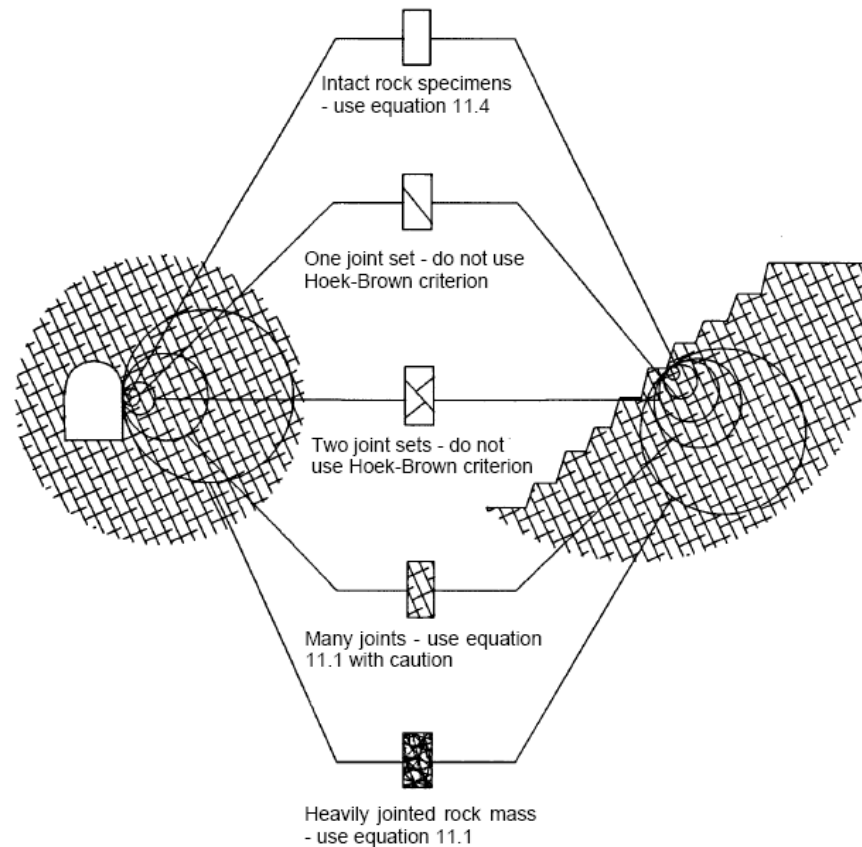


Figure 11.5: Idealised diagram showing the transition from intact to a heavily jointed rock mass with increasing sample size.

Classificação material rocha

- As classificações de rochas e maciços pretendem fazer:
 - Definição/listagem de parâmetros que caracterizam o terreno
 - Universalidade da classificação
- 1. **Critérios Geológicos**
 - Abandono ou não da classificação **litológica** – a informação implícita (ex. calcário, xisto)
 - Outros fatores para classificação – estado de alteração, estrutura geológica
 - Utilização de expressões universais
- **A) Classificação litológica**
 - Baseia-se na composição mineralógica, na textura e na fábrica da rocha
 - Quanto à gênese - rochas ígneas, metamórficas e sedimentares
 - Classificação dos principais tipos de rochas
- **B) Estado de alteração**
 - Baseado em métodos expeditos de observação (cor, brilho, coesão)
 - Critérios da SIMR
- **C) Estado de fracturação**
 - Número / distância
 - Critérios da SIMR

Classificação material rocha

- Ao longo do tempo foram desenvolvidas diferentes classificações de material rocha:
 - Muller (1962) – considerava 4 estados de alteração e 5 grupos para o **espaçamento** entre diaclases:
 - Grau 1 – Rocha sã
 - Grau 2 – Rocha pouco a medianamente alterada
 - Grau 3 – Rocha alterada
 - Grau 4 – Rocha decomposta ou solo residual
 - **Acima de 2m – ocasional**
 - **Entre 20cm e 2m – grande**
 - **Entre 2 e 20cm – pequeno**
 - **Entre 0,1 e 2cm – muito pequeno**
 - **<0,1cm – zona de esmagamento, a rocha comporta-se como um solo**

Classificação material rocha

- Lida e autores japoneses (1970) consideram 3 fatores:
 - Estado de alteração, espaçamento das diaclases, abertura das diaclases
 - A – rocha dura a sã
 - B – medianamente alterada e medianamente dura
 - C – alterada, fraturando-se facilmente com martelo

- I – afastamento >50cm
- II – afastamento entre 15 e 50cm
- III – afastamento <15cm

- a – fechadas, não alteradas ao longo das superfícies das diaclases
- b – fechadas, um pouco alteradas ao longo da diaclase
- c – pouco abertas ou fechadas mas muito alteradas ao longo das diaclases
- d – muito abertas

Classificação material rocha

- Critérios de classificação do material rocha baseiam-se em ensaios de laboratório:
 - Módulo de elasticidade (E)
 - Resistência à compressão simples (p.e. martelo de Schmidt para rochas na gama 20-150MPa)
- Mecanismos de rotura:
 - Tensão de cisalhamento (ex. taludes, tetos de túneis)
 - Compressão (ex. pilares de suporte de uma escavação)
 - Flexão (ex. teto de cavidade cárstica)
 - Tração (ex. taludes)
 - Colapso (rocha transforma-se em material pulverulento devido a compressão isotrópica)

Classificação material rocha

- Deere, 1967 (usou E tangente a 50% da rotura)

Quanto à resistência

Intervalos (σ_r) (Kg/cm ²)	Simbolos	Designações
>2200	A	Muito alta
1100-2200	B	Alta
1100-550	C	Média
275-550	D	Baixa
<275	E	Muito baixa

Quanto ao quociente E_t/σ_r

Intervalos (E_t/σ_r)	Simbolos	Designações
>500	H	Alto
200-500	M	Médio
<200	L	Baixo

Ex. de classificação das rochas: AM, EL etc.

Classificação material rocha

- Coates, 1964

a) Resistência à compressão simples

	(Kg/cm ²)	(psi)
Fraca	<700	<10000
Forte	700 – 1760	10000 – 25000
Muito forte	>1760	>25000

a) Comportamento pré – rotura

Elástico
Viscoso

b) Características na rotura

Frágil
Plástica

Classificação baseada na homogeneidade do maciço rochoso e continuidade da rocha no maciço:

a) Homogeneidade da formação

Maciça
Estratificada

b) Continuidade da rocha na formação

Compacta – espaçamento entre diaclases: >1.8m
Fracturada – espaçamento entre diaclases: 76mm – 1.8m
Fragmentada – fragmentos de diâmetro inferior a 76mm

Classificação material rocha

- Stapleton, 1968
 - Utiliza valores de compressão simples

<u>Designação</u>	<u>Resistência à compressão simples</u>	
	(psi)	(Kg/cm ²)
Muito fraca	<1000	<70
Fraca	1000 – 3000	70 – 200
Mediana	3000 – 10000	200 – 700
Forte	10000 – 25000	700 – 1800
Muito forte	>25000	> 1800

Classificação material rocha

Classificação da SIMR - **Basic Geotechnical Description of Rock Masses**

- Objectivos da BGD: estabelecer código de linguagem e conter informação quantitativa baseada em medições simples
 - Caracterizar o comportamento mecânico de maciços rochosos
 - Parâmetros a utilizar:
 - Caracterização geológica (petrográfica, **grau de alteração**, estrutura geológica e fracturação – características)
 - Características estruturais:
 - espessura de camadas (L)
 - espaçamento entre fracturas (F)
 - Características mecânicas:
 - resistência à compressão simples do material rocha (S)
 - ângulo de atrito das fracturas (A)
 - Aplicação após zonamento do maciço (com base em litologia, alteração e fracturação)
-

Classificação material rocha

■ Estado de alteração (W)

Símbolo		Designação		Descrição
W ₁	W ₁₋₂	São	São a pouco alterado	Sem quaisquer sinais de alteração
W ₂		Pouco alterado		Sinais de alteração apenas nas imediações das descontinuidades
W ₃	W ₃	Medianamente alterado	Medianamente alterado	Alteração visível em todo o maciço mas a rocha não é friável
W ₄	W ₄₋₅	Alterado	Alterado a muito alterado	Alteração visível em todo o maciço e rocha parcialmente friável
W ₅		Muito alterado		Maciço completamente friável

Classificação material rocha



Classificação material rocha

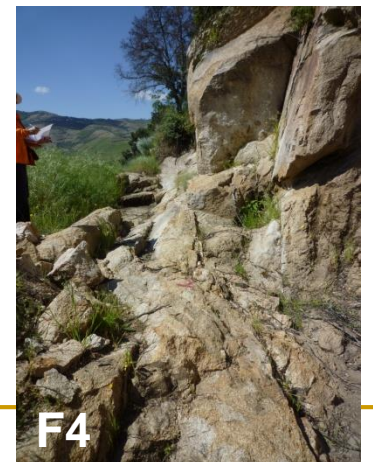


Classificação material rocha

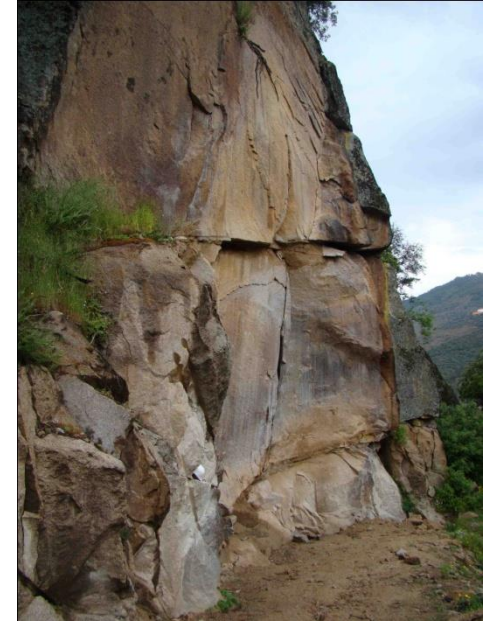
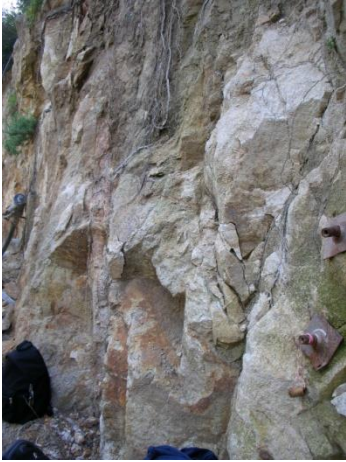
Espaçamento entre fracturas (F)

Intervalos (cm)	Símbolo		Designação	
> 200	F1	F1-2	Muito afastadas	Afastadas
60 a 200	F2		afastadas	
20 a 60	F3	F3	Medianamente afastadas	Medianamente alterado
6 a 20	F4	F4-5	Próximas	Próximas
< 6	F5		Muito próximas	

Classificação material rocha

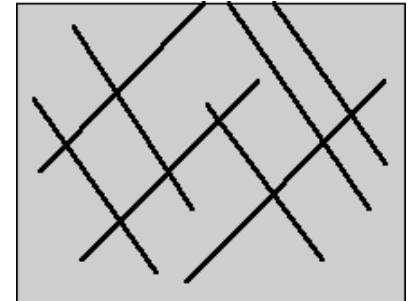
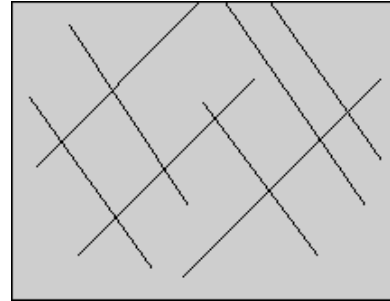


Classificação material rocha

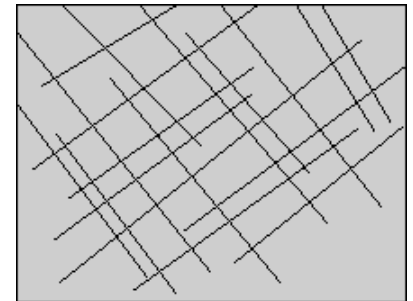
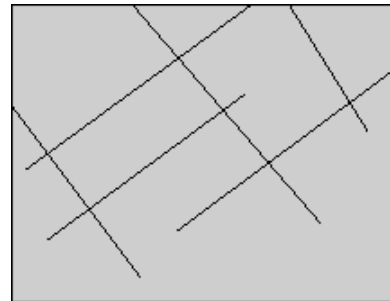


Classificação material rocha

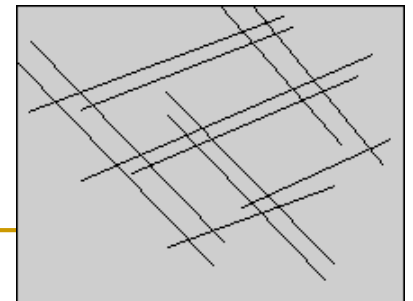
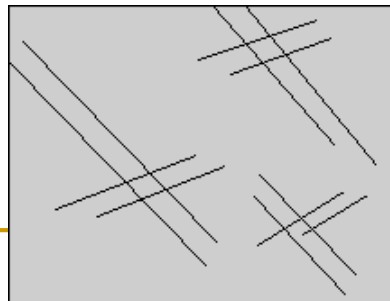
Abertura



Espaçamento



Extensão



Classificação material rocha

■ Espessura das camadas (L)

Intervalos (cm)	Símbolo		Designação	
> 200	L1	L1-2	Muito espessas	Espessas
60 a 200	L2		Espessas	
20 a 60	L3	L3	Espessura mediana	Espessura mediana
6 a 20	L4	L4-5	Delgadas	Delgadas
< 6	L5		Muito delgadas	

Classificação material rocha

■ Ângulo de atrito das fracturas (A)

Intervalos (°)	Símbolo		Designação	
> 45	A1	A1-2	Muito elevado	Elevado
35 a 45	A2		Elevado	
25 a 35	A3	A3	Médio	Médio
15 a 25	A4	A4-5	Baixo	Baixo
< 15	A5		Muito baixo	

Classificação material rocha

■ Resistência à compressão simples (S)

Intervalos (MPa)	Símbolo		Designação	
> 200	S ₁	S ₁₋₂	Muito elevada	Elevada
60 a 200	S ₂		Elevada	
20 a 60	S ₃	S ₃	Média	Média
6 a 20	S ₄	S ₄₋₅	Baixa	Baixa
< 6	S ₅		Muito baixa	

Classificação material rocha

Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple

(Vallejo, 2002)

Resistencia a la compresión simple (MPa)	ISRM (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos			
1-5	Muy blanda	Blanda > 1,25	Muy baja	Sal, lutita, limolita, marga, toba, carbón.
5-12,5	Blanda	Moderadamente blanda		
12,5-25		Moderadamente dura		
25-50	Moderadamente dura		Baja	Esquisto, pizarra.
50-100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa.
100-200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía.
> 200		Extremadamente dura	Extremadamente dura	Muy alta
> 250				

Classificação material rocha

- Em profundidade?
- Avaliação faz-se em sondagens:
 - Estado de alteração - % **de recuperação**
 - > 80% maciço pouco alterado
 - 50 – 80 % maciço medianamente alterado
 - < 50% maciço muito alterado
 - Avaliação do estado de fracturação e alteração – **R.Q.D. (Rock Quality Designation)** – (para amostradores de parede dupla com D > ou = 76 mm)

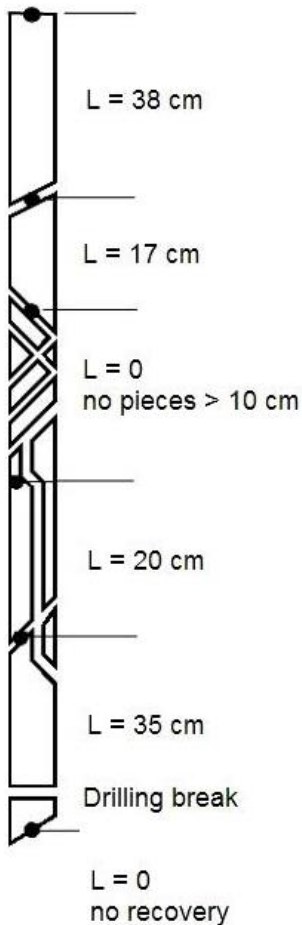
RQD	Qualidade do maciço
0 – 25 %	muito fraca
25 – 50%	fraca
50 – 75 %	razoável
75 – 90 %	boa
90 – 100 %	excelente

Classificação material rocha

- Percentagem de recuperação depende:
 - Equipamento de furação
 - Competência do operador
 - Características da rocha
 - Manuseamento das carotes



Classificação material rocha



Total length of core run = 200 cms

$$RQD = \frac{\sum \text{Length of core pieces} > 10 \text{ cm length}}{\text{Total length of core run}} \times 100$$

$$RQD = \frac{38 + 17 + 20 + \dots}{200} \times 100 = 55 \%$$

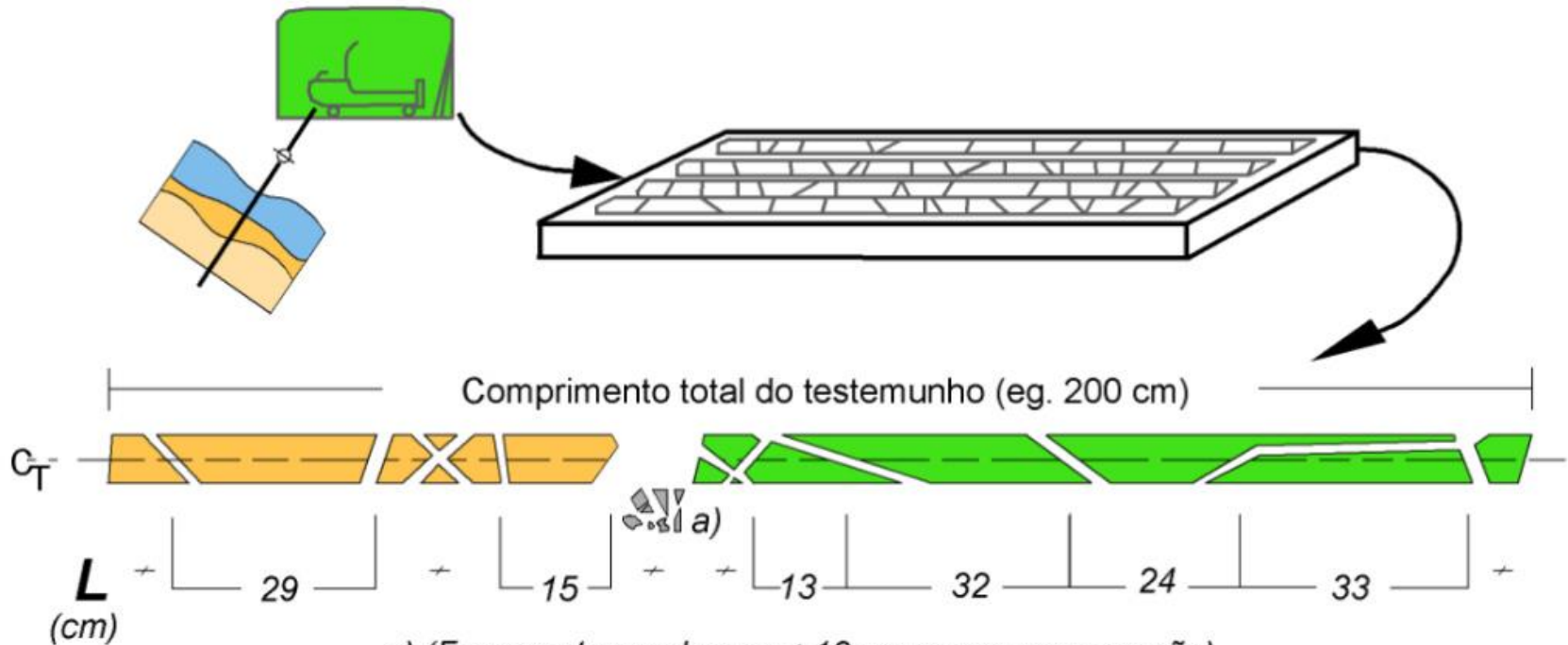
O valor de RQDt pode ser determinado com base na fórmula proposta por Priest (1993):

$$RQDt = 100e^{-\lambda t}(\lambda t + 1)$$

Sendo:

- t = Valor mínimo do espaçamento entre discontinuidades considerado para o cálculo (para o RQD convencional será 0,1m)
- $\lambda = 1/\text{espaçamento médio das discontinuidades (m)}$

RQD

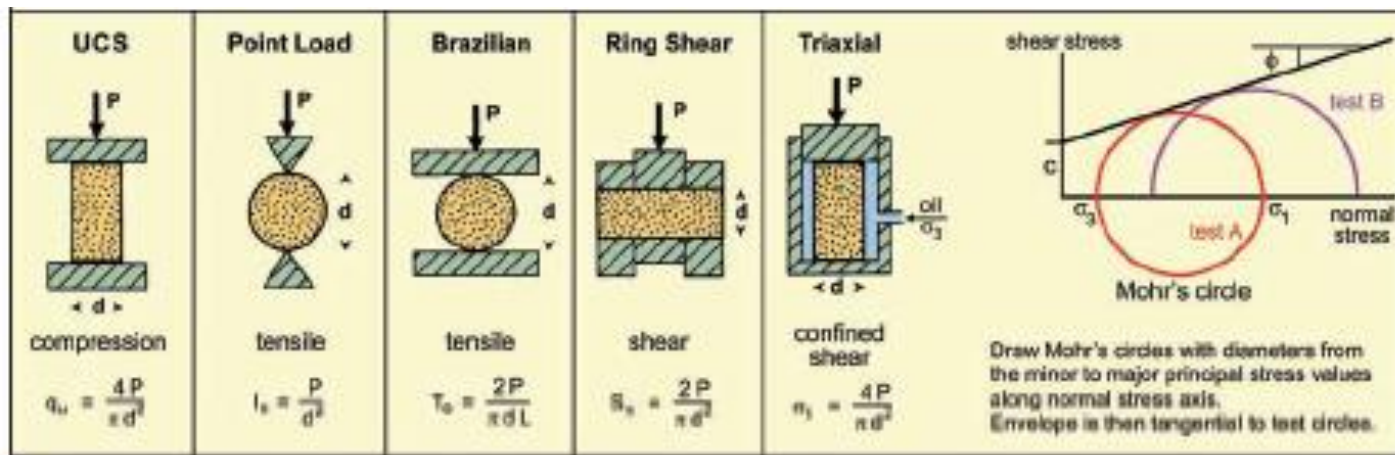


$$RQD = \frac{\sum \text{Comprimento dos fragmentos} > 10 \text{ cm}}{\text{Comprimento total do testemunho}} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{eg: } \frac{29 + 15 + 13 + 32 + 24 + 33}{200} \times 100 = 73 \%$$

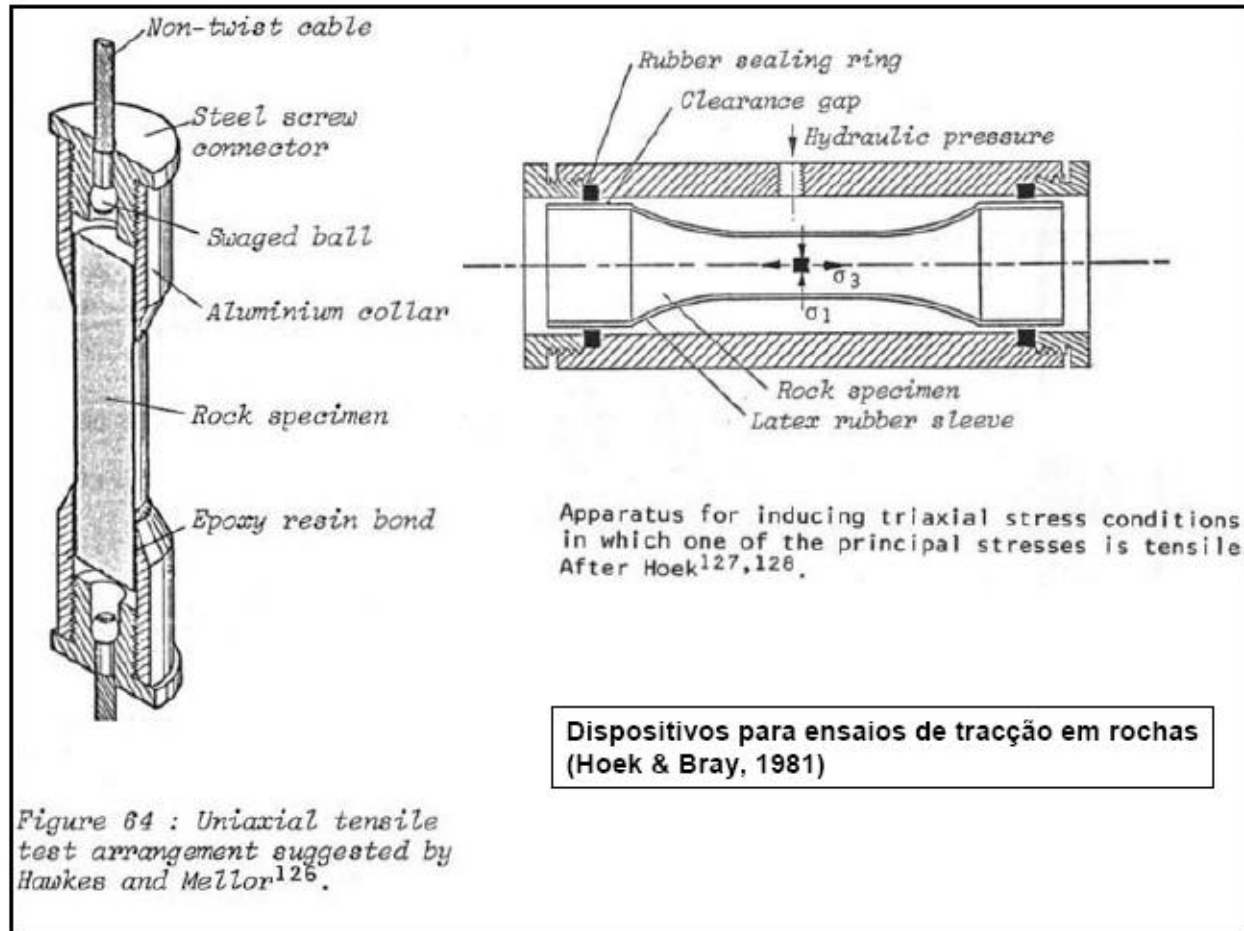
ENSAIOS

Classificação material rocha



Classificação material rocha

(FCUL)



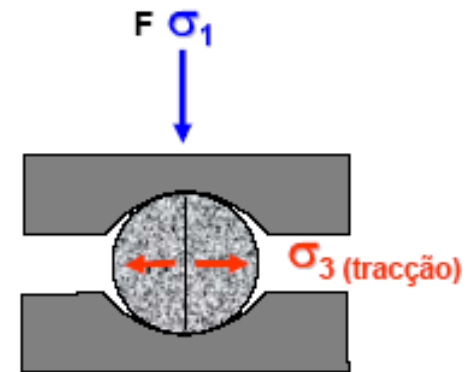
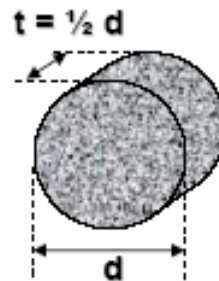
Classificação material rocha

(FCUL)

Considerar ainda os ensaios de tracção indirecta,
como o ensaio brasileiro

Mas que tendem a dar valores
mais elevados do que os ensaios
de tracção directa (1,5 x a 4x)

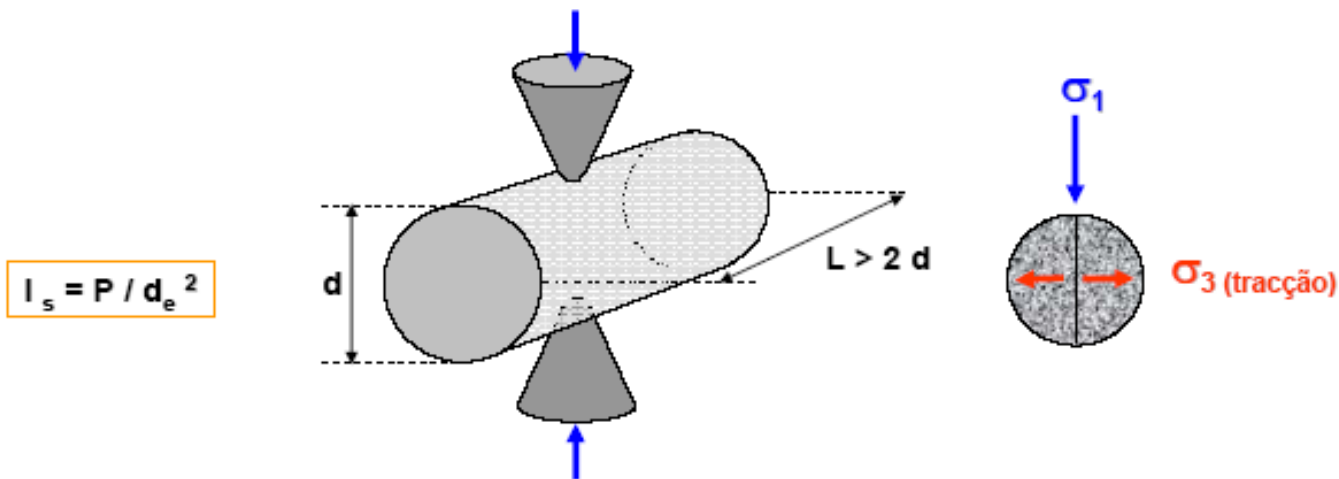
$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi d t}$$



Classificação material rocha

(FCUL)

Ou o ensaio de carga pontual, que pode fornecer estimativa da resistência em tracção

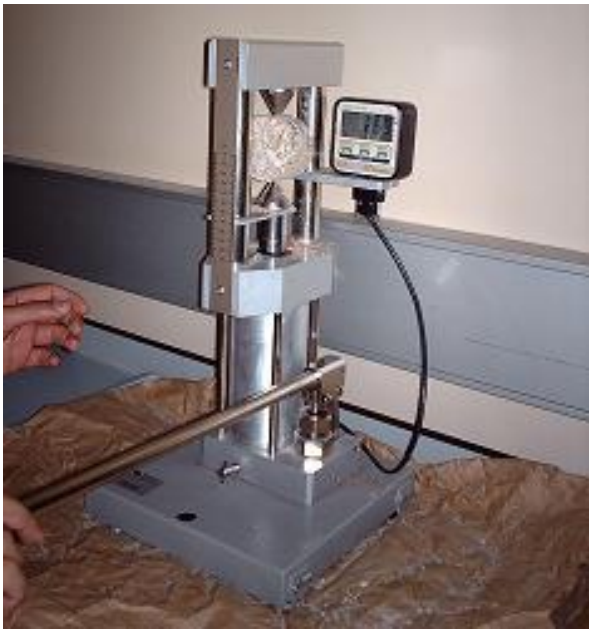


$$I_s = P / d_e^2$$

$d_e = d$ em ensaios diametrais de provetes cilíndricos (ex: tarolos de sondagem)

Franklin, 1985, desenvolveu a fórmula do índice de carga pontual (I_s) considerando que a forma exterior do provete tem pouca influência sobre o resultado. O ensaio-padrão utiliza diâmetros de 50mm

Classificação material rocha



CS-JS

Classificação material rocha

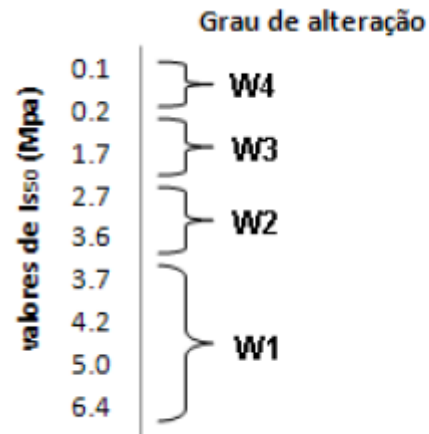


Figura 19. Intervalos de valores de I_{s50} por grau de alteração

Classificação material rocha

Termo	Bieniawsky (1984)	Deere(1966)
Resistência Muito Elevada	$I_s > 8 \text{ MPa}$	$I_s > 10 \text{ MPa}$
Resistência Elevada	$I_s = 4 - 8 \text{ MPa}$	$I_s = 5 - 10 \text{ MPa}$
Resistência Moderada	$I_s = 2 - 4 \text{ MPa}$	$I_s = 2.5 - 5 \text{ MPa}$
Resistência Baixa	$I_s = 1 - 2 \text{ MPa}$	$I_s = 1.25 - 2.5 \text{ MPa}$
Resistência Muito Baixa	$I_s < 1 \text{ MPa}$	$I_s < 1.25 \text{ MPa}$

Tabela 5 - Classificação da Resistência em função do índice de resistência à carga pontual. (NBG, 2000)

Classificação material rocha

(FCUL)

O ensaio de carga pontual tem também a vantagem prática de poder ser utilizado com provetes prismáticos ou mesmo irregulares, com formato grosseiramente paralelepípedo

$$I_s = P / d_e^2$$

Em ensaios axiais ou de provetes paralelepípedicos e irregulares

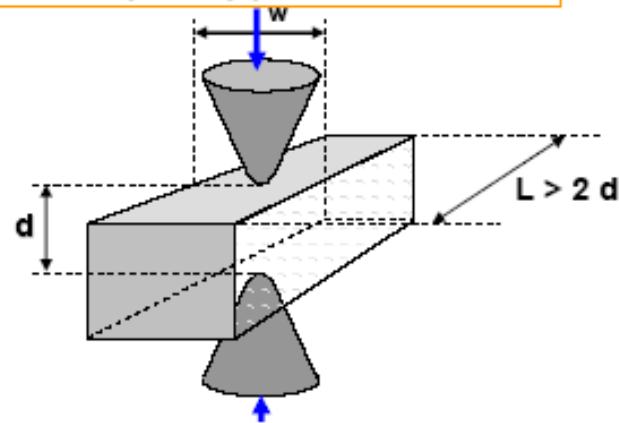
$$d_e^2 = 4 A / \pi$$

$$A = d w$$

Nestes ensaios deve ainda corrigir-se o efeito de escala para obter valores normalizados para provetes cilíndricos com diâmetro de 50mm:

$$I_{s(50)} = F \cdot I_s \quad \text{com} \quad F = (d_e / 50)^{0,45}$$

ou, por regressão dos valores experimentais obtidos na amostra



Para rochas anisotrópicas, determina-se o Índice de Anisotropia:

$$I_{a(50)} = I_{s(50)\perp} / I_{s(50)\parallel}$$

Classificação material rocha

- A carga pontual pode ser relacionada com a resistência à compressão uniaxial através de

□ $\sigma_c = k \times I_s$

Table 2.6 Suggested value of the factor k_{50} .

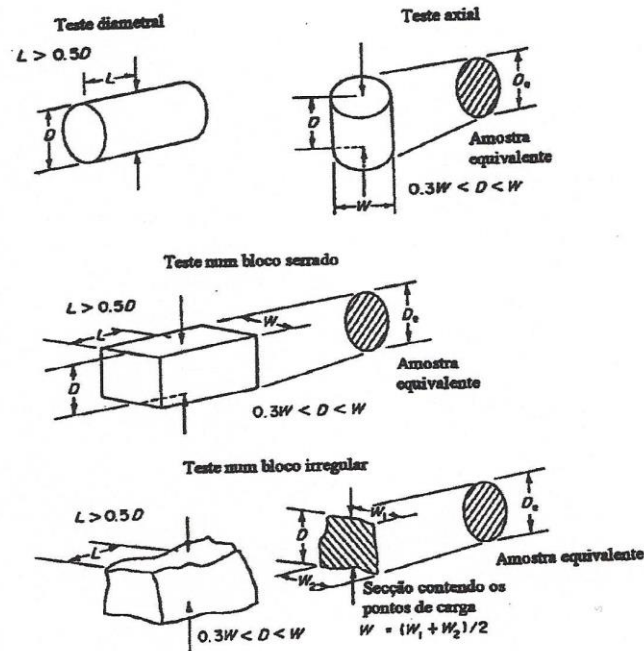
Compressive strength σ_c (MPa)	Point load strength I_{s50} (MPa)	Suggested value of K_{50}
25 ^{*)} - 50	1.8 - 3.5	14 ✎
50 - 100	3.5 - 6	16
100 - 200	6 - 10	20
> 200	> 10	25

^{*)} Bieniawski (1973) suggests that the point load strength test not be used on rocks having $\sigma_c <$ approx. 25 MPa.

Table 2.5 Classifications of the point load strength (I_s)

Term	Bieniawski (1984)	Deere (1966)
Very high strength	$I_s > 8$ MPa	$I_s > 10$ MPa
High strength	$I_s = 4 - 8$ MPa	$I_s = 5 - 10$ MPa
Medium strength	$I_s = 2 - 4$ MPa	$I_s = 2.5 - 5$ MPa
Low strength	$I_s = 1 - 2$ MPa	$I_s = 1.25 - 2.5$ MPa
Very low strength	$I_s < 1$ MPa	$I_s < 1.25$ MPa

Classificação material rocha



(FEUP)

Ensaio válidos

Ensaio não válidos

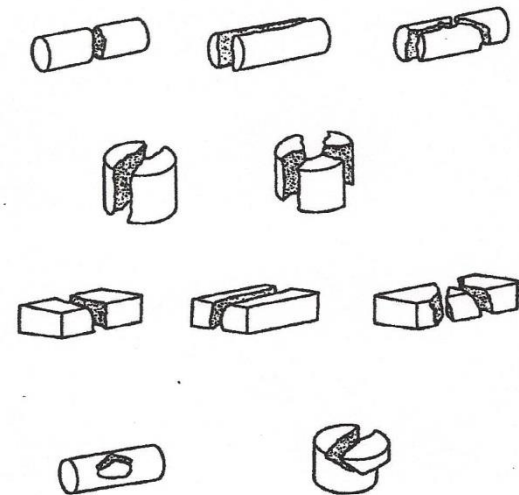


Figura 3.12 - Relação de dimensões dos provetes a satisfazer nos ensaios de carga pontual.

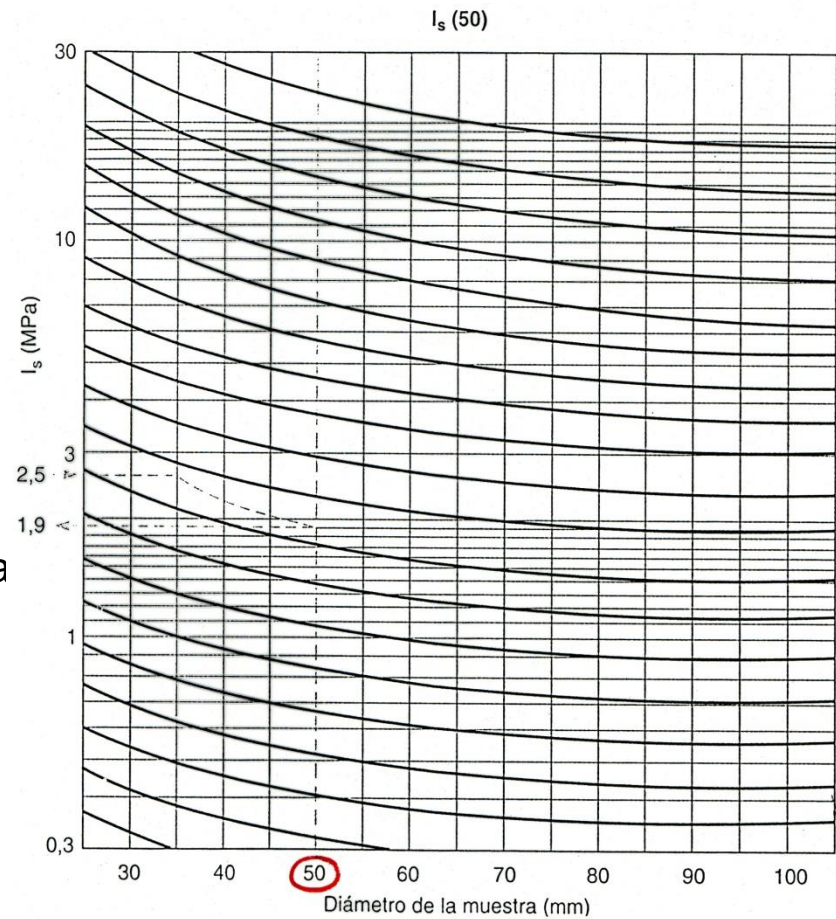
$$A = WD = \frac{\pi}{4} D_e^2 \quad D_e = \sqrt{\frac{4}{\pi} WD}$$

$$I_{s(50)} = F \frac{P}{D_e^2} \quad F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45}$$

A superfície de rotura deve conter os pontos de aplicação da carga

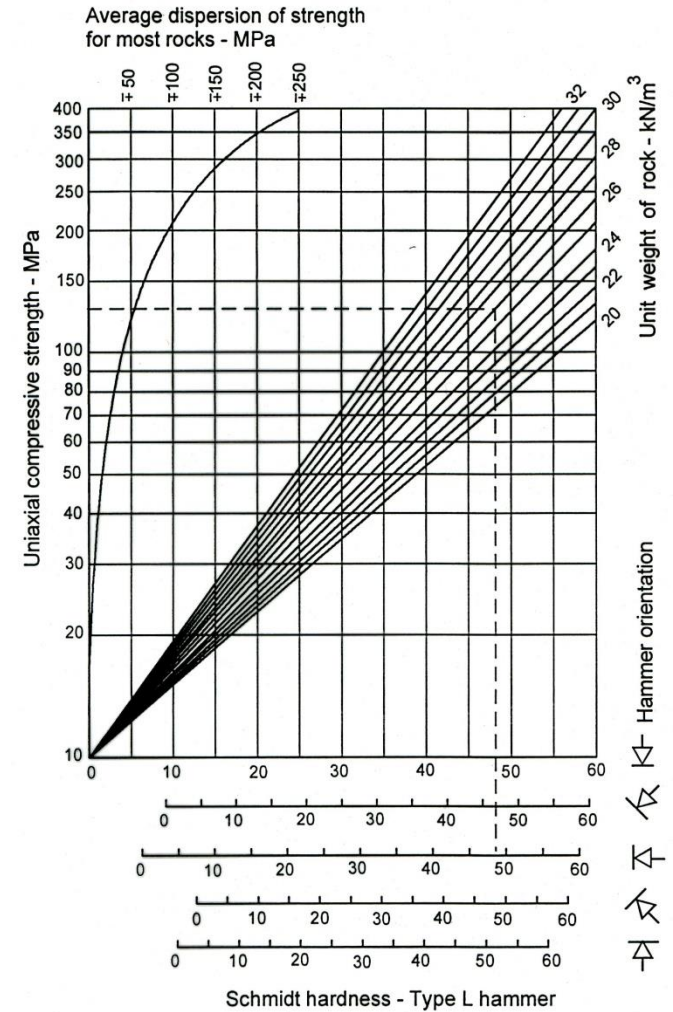
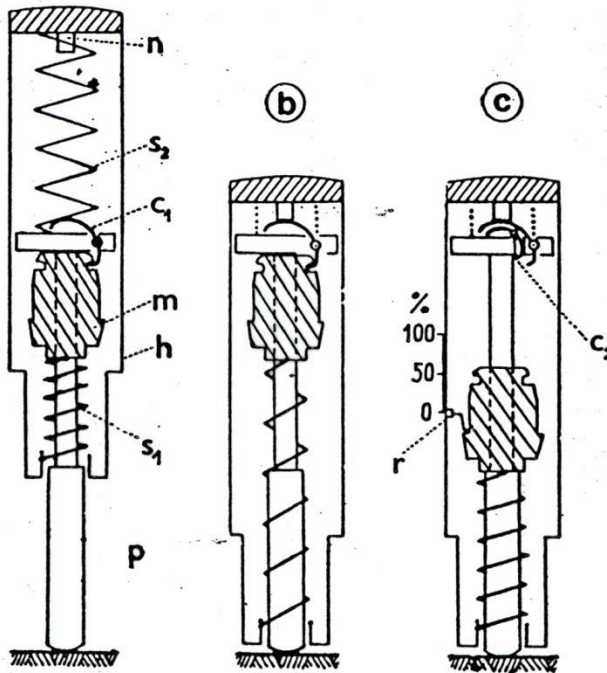
Classificação material rocha

- Carga pontual
 - Tração indirecta
 - Ensaio brasileiro
- Carga pontual:
 - Leve
 - Pode ser utilizado no campo
 - Pouco dispendioso
 - Preparação mínima das amostra



Classificação material rocha

- Dureza de Schmidt:
 - Atenção às irregularidades da superfície



Classificação material rocha

(FEUP)

Tabela 3.8

GRAU	DESIGNAÇÃO	σ_c (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	ANÁLISE EXPEDITA
R6	Extremamente elevada	>250	>10	A rocha lasca depois de sucessivos golpes de martelo e ressoa quando batida
R5	Muito elevada	100 – 250	4 – 10	Requer muitos golpes de martelo para partir espécimes intactos de rocha
R4	Elevada	50 – 100	2 – 4	Pedaços pequenos de rocha seguros com a mão são partidos com um único golpe de martelo
R3	Mediana	25 – 50	1 – 2	Um golpe firme com o pico do martelo de geólogo faz identações até 5 mm; com a faca consegue-se raspar a superfície
R2	Baixa	5 – 25	(*)	Com a faca é possível cortar o material, mas este é demasiado duro para lhe dar a forma de provete para ensaio triaxial
R1	Muito baixa	1 – 5	(*)	O material desagrega-se com golpe firme do pico de martelo de geólogo
R0	Extremamente baixa	0,25 – 1	(*)	Consegue-se marcar com a unha

(*) – Não são consideradas minimamente fiáveis as correlações com a resistência à compressão simples.

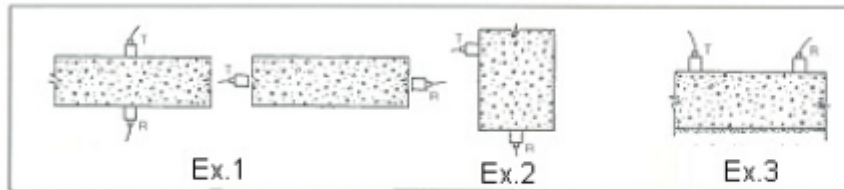
Classificação material rocha



Figura

26. Equipamento de medição da velocidade de propagação de ultrasons: (da esquerda para a direita: Amostra de calibração, módulo principal, bolsa de transporte, gel condutor e transdutores piezoelétricos de face plana.)

Classificação material rocha



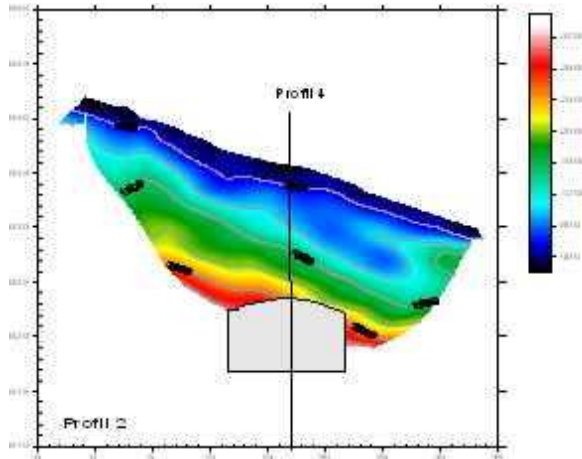
Ex.1 Método directo;
Ex.2 Método semi-directo;
Ex.3 Método inverso.

Figura 27. Ensaio possíveis para a medição da velocidade de propagação de ultra-sons, de acordo com a posição relativa dos transdutores.



Figura 29. Aplicação do gel nos transdutores, de forma a criar vácuo entre estes e a amostra, pois os impulsos ultrasónicos não se propagam no ar

Propiedades índice



$$\mu = \frac{V_P^2 - 2V_S^2}{2(V_P^2 - V_S^2)}$$

Velocidad de propagación de las ondas longitudinales en rocas

Roca sana	Velocidad de propagación de las ondas V_p (m/s)
Arenisca	1.400-4.200
Basalto	4.500-6.500
Caliza	2.500-6.000
Conglomerado	2.500-5.000
Cuarcita	5.000-6.500
Diabasa	5.500-7.000
Dolerita	4.500-6.500
Dolomía	5.000-6.000
Gabro	4.500-6.500
Gneiss	3.100-5.500
Granito sano	4.500-6.000
Lutita	1.400-3.000
Marga	1.800-3.200
Mármol	3.500-6.000
Pizarra	3.500-5.000
Sal	4.500-6.000
Yeso	3.000-4.000

Propriedades índice

VELOCIDADES DE PROPAGAÇÃO DE ULTRASSONS
EM ALGUNS TIPOS DE ROCHAS

IDENTIFICAÇÃO	TIPO DE ROCHA	ESTADO DE ALTERAÇÃO	V _L m/s
GMP6-5	GRANITO	LEVE	4430
GMP6-3	GRANITO	MÉDIO	3530
LX1N	GRANITO	MÉDIO	3990
LX3V	GRANITO	INTENSO	1640
SD1	DIORITO	SÃO	6560
SD7	DIORITO	INTENSO	1630
DA	DOLERITO	MÉDIO	4340
DMS42	DOLERITO	INTENSO	1610

Propriedades índice

Velocidade de propagação de ondas longitudinais em minerais (Goodman, 1985)

Mineral	V_l (m/s)
Quartzo	6050
Olivina	8400
Augite	7200
Anfibola	7200
Moscovite	5800
Ortose	5800
Plagioclase	6250
Calcite	6600
Dolomite	7500
Magnetite	7400
Gesso	5200
Epídoto	7450
Pirite	8000

FCUL

Velocidade de propagação de ondas longitudinais em rochas (Goodman, 1985)

Mineral	V_l (m/s)
Gabro	7000
Basalto	6500 – 7000
Calcário	6000 – 6500
Dolomito	6500 – 7000
Arenito e quartzito	6000
Rochas graníticas	5500 - 6000

Índice de qualidade da rocha (Fourmaintraux, 1976)

$$IQ(\%) = \frac{V_l}{V_l^*} \cdot 100 \quad \text{com} \quad \frac{1}{V_l^*} = \sum_i \frac{C_i}{V_{l,i}}$$

Em que $V_{l,i}$ é a velocidade de onda longitudinal no mineral com uma proporção C_i na rocha

Propriedades índice

FEUP

Tabela 3.5 – Velocidades padrões de rochas V_p^* ($n = 0\%$).

ROCHA	V_p^* (m/s)	ROCHA	V_p^* (m/s)
Gabro	7000	Dolomite	6500 – 7000
Basalto	6500 – 7000	Arenito e quartzito	6000
Calcário	6000 - 6500	Rochas graníticas	5500 - 6000

A velocidade padrão das rochas é determinada pela relação $\frac{1}{V_p^*} = \sum_i \frac{C_i}{V_{p,i}}$ onde C_i é a percentagem em volume do constituinte mineral i da rocha e $V_{p,i}$ a velocidade das ondas longitudinais no mineral i .

Tabela 3.6 – Velocidades longitudinais de minerais V_p .

MINERAL	V_p (m/s)	MINERAL	V_p (m/s)
Quartzo	6050	Calcite	6600
Olivina	8400	Dolomite	7500
Augite	7200	Magnetite	7400
Anfibola	7200	Gesso	5200
Moscovite	5800	Epídoto	7450
Ortóclase	5800	Pirite	8000
Plagioclase	6250		

A qualidade da rocha, em relação ao seu estado de alteração e fracturação, pode ser avaliada pelo

índice de qualidade da rocha obtido pela relação $IQ = \frac{V_p}{V_p^*} \times 100\%$ (ver exemplos na Tabela 3.7).

Tabela 3.7 – Exemplo de variação da velocidade das ondas sísmicas longitudinais em função da porosidade.

Porosidade total n %	V_p (m/s) - calcários	V_p (m/s) – grés e quartzitos
1	6500	5900
5	6000	5200
10	5200	4700
20	4000	3200
30	3000	-
45	1850	-

Propriedades índice

- Velocidade de propagação de ondas elásticas depende de:
 - Densidade
 - Propriedades elásticas do material
 - Fornece informação sobre a porosidade
- É indicativa da qualidade da rocha e relaciona-se com a resistência à compressão uniaxial:
 - Rochas – varia entre 1000 e 6000 m/s
 - Rochas alteradas - <9000 m/s
 - Rochas decompostas - <700 a 800 m/s

Propriedades índice

- Índice de velocidade relativa:
 - Relaciona-se com o RQD
 - Diminui com o aumento de fracturação
 - É dado por:
 - $(V_{\text{in situ}} / V_{\text{lab}})^2$



Classificação material rocha

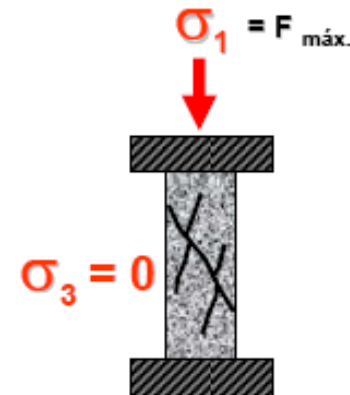
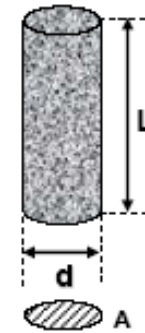
Compressão uniaxial em rochas

Na Mecânica das Rochas os ensaios de compressão uniaxial são realizados sobre provetes cilíndricos com as seguintes características:

- Comprimento 2,5 x diâmetro (ISRM suggested methods) ou
- Comprimento de 2,0 x a 2,5 x diâmetro (ASTM)
- Diâmetro igual ou superior a 47 mm (ASTM)
- É desejável que o diâmetro do provete seja mais de 10 x superior ao maior grão mineral da rocha
- As faces do provete devem ser lisas e regulares, com irregularidades inferiores a 0,5 mm
- Os topos do provete devem ser perpendiculares ao eixo, com tolerância máxima de $0,25^\circ$ (1 em 230)
- A utilização de materiais de capeamento dos topos só é aceite quando não é possível produzir provetes com as especificações acima descritas, nomeadamente em rochas muito porosas.

$$UCS = \frac{F_{\text{máx.}}}{A} = \frac{F_{\text{máx.}}}{\pi \cdot (d/2)^2}$$

(FCUL)



Classificação material rocha

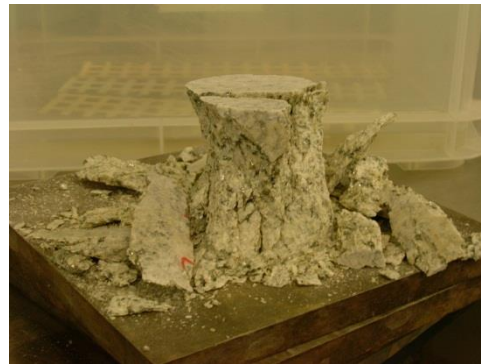
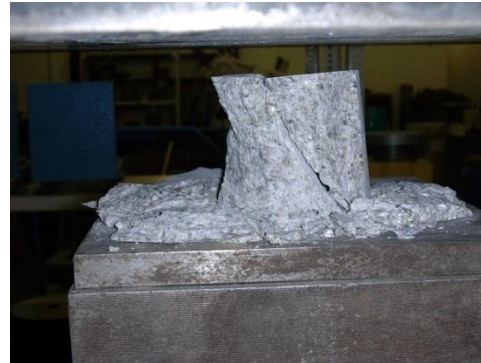
Compressão uniaxial em rochas

(FCUL)

Equipamentos para a realização de ensaios de compressão uniaxial –
Prensas de controle hidráulico (load frames) com capacidades habituais
de 1500 kN (\approx 150 Ton.) até 5000 kN (\approx 500 Ton.).
São geralmente equipamentos concebidos para ensaios de compressão
de betão (cubos com 15 cm ou 20 cm de aresta ou cilindros de 15 cm ou
20 cm de diâmetro)
O prato inferior da prensa é normalmente rígido enquanto o superior é
apoiado numa junta esférica, para acomodar ligeiras deficiências de
paralelismo entre os topos dos provetes



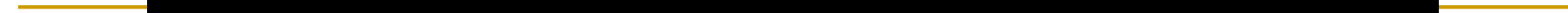
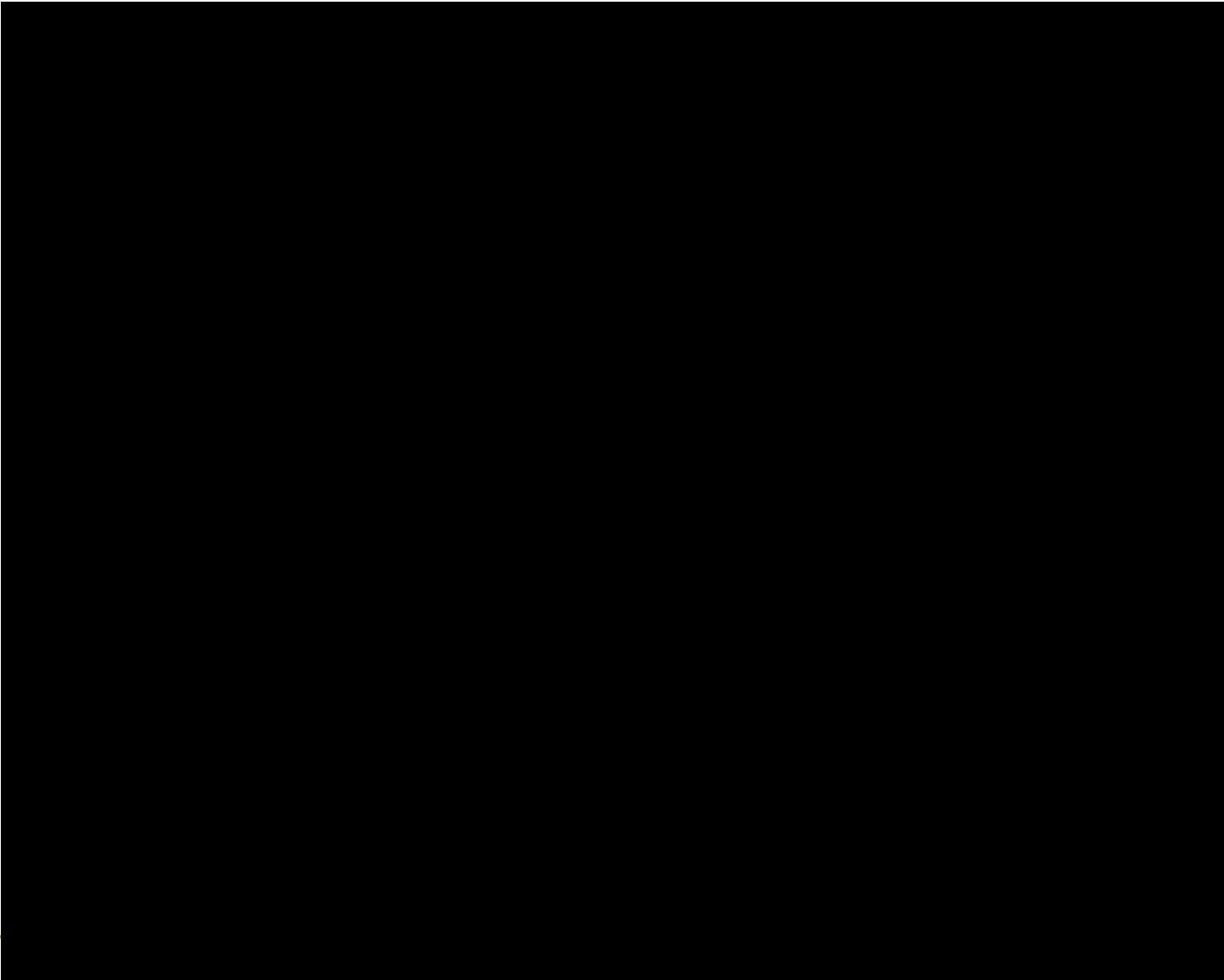
Classificação material rocha

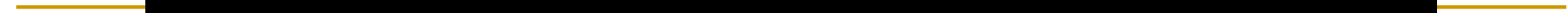
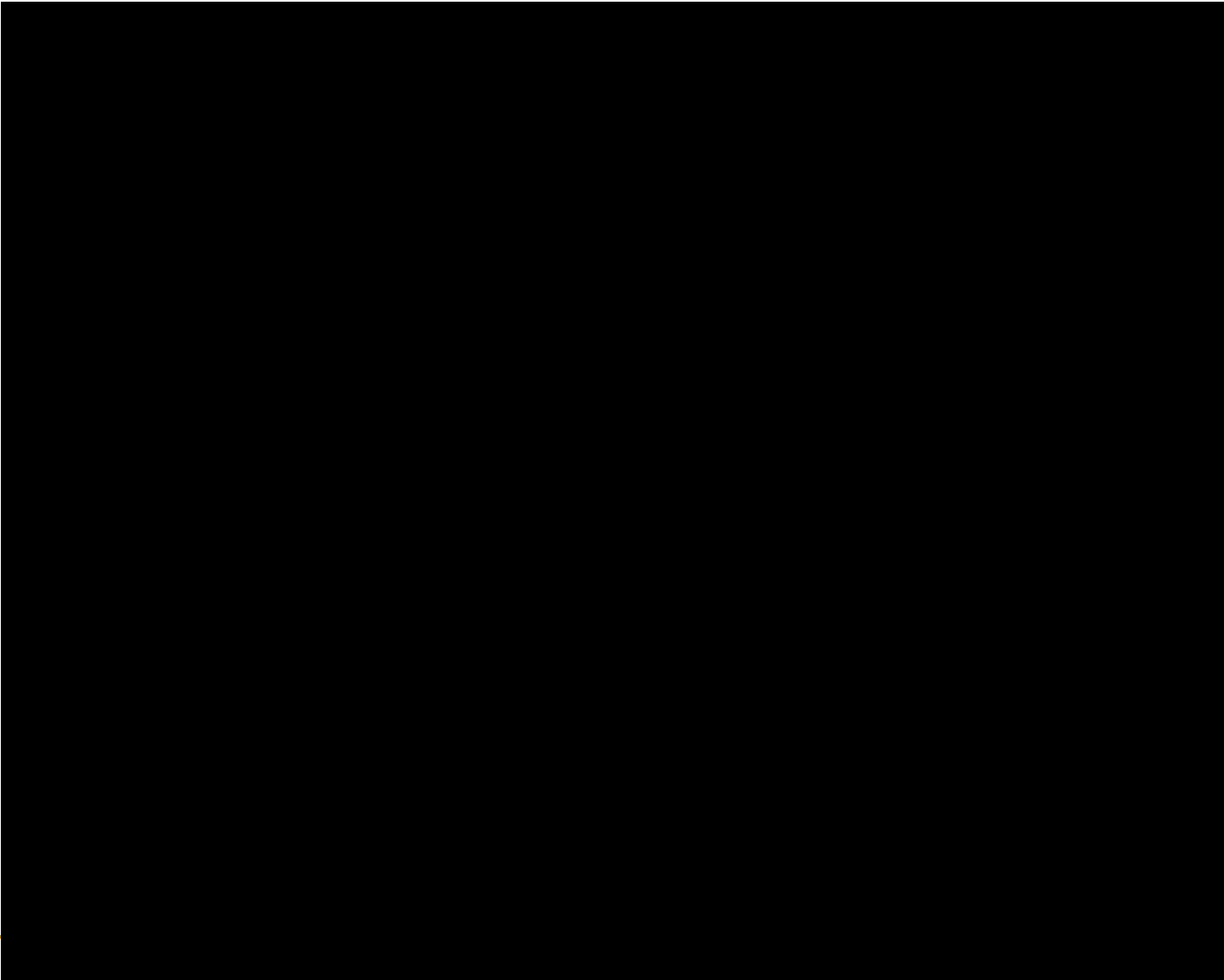


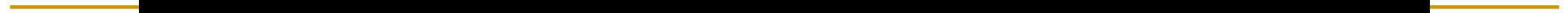
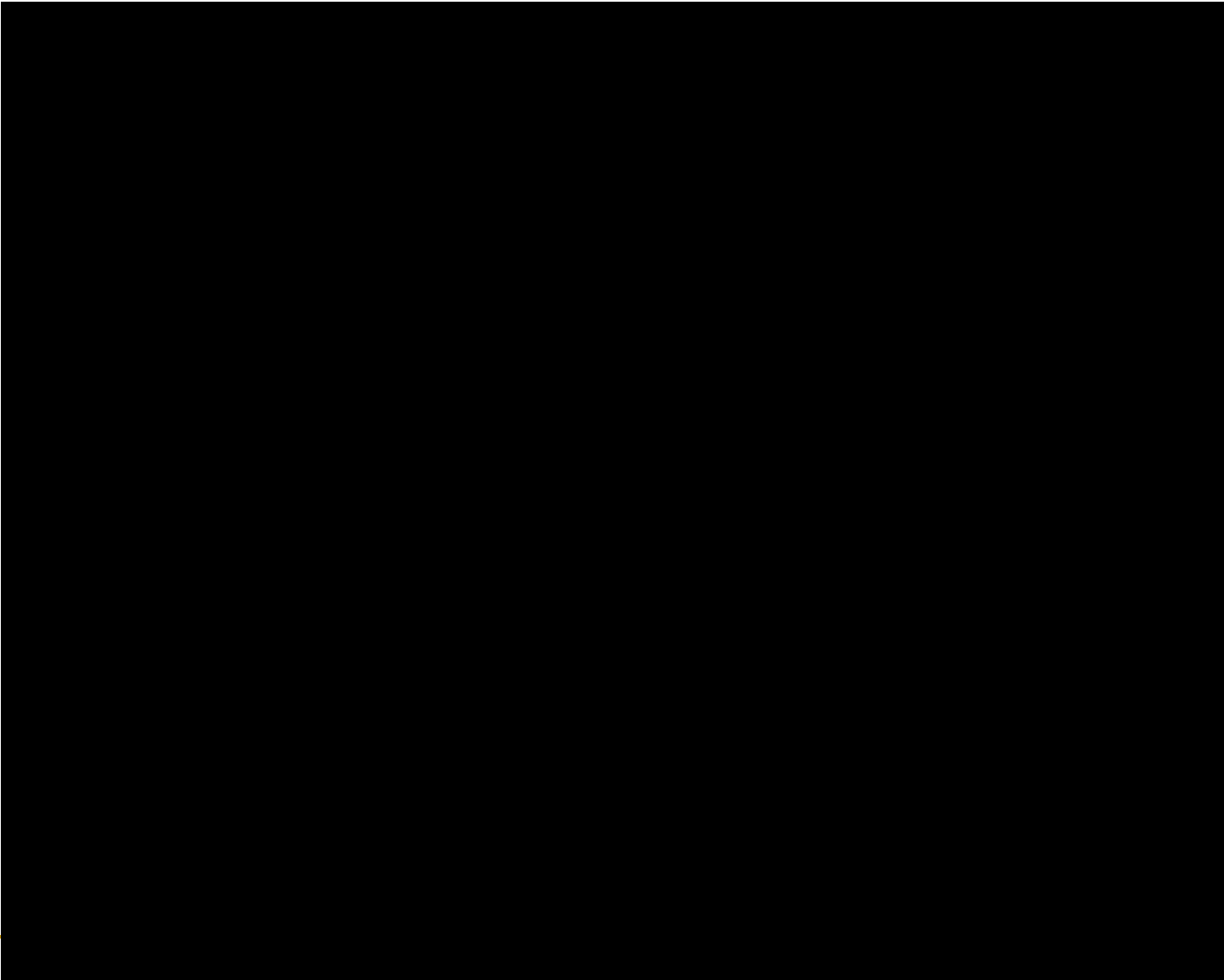
Classificação material rocha

- Compressão uniaxial









Classificação material rocha



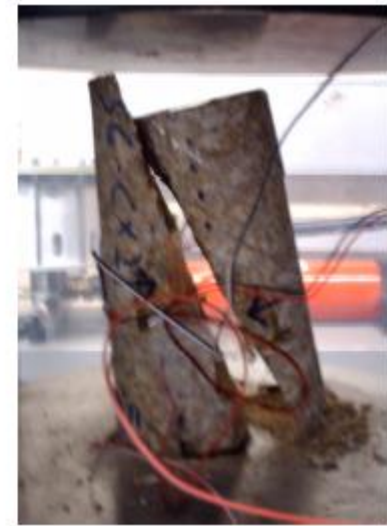
Figura 21. Prensa de compressão uniaxial.

A: Controlador digital -Data Log.

B: Painel de controlo -Wizard.

C: Grupo hidráulico

Classificação material rocha



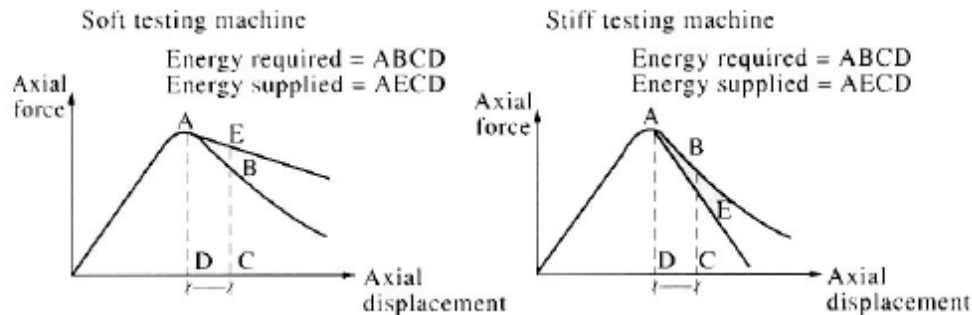
Figuras 22,23 e 24. Amostras pós-rotura com fracturas que fazem entre 30° e 45° com a direcção da aplicação da pressão.

Classificação material rocha

Compressão uniaxial em rochas

(FCUL)

- Importância da rigidez da prensa para investigar as relações tensão deformação na região pós-pico (após a rotura = após atingir a máxima força que o provete suporta)

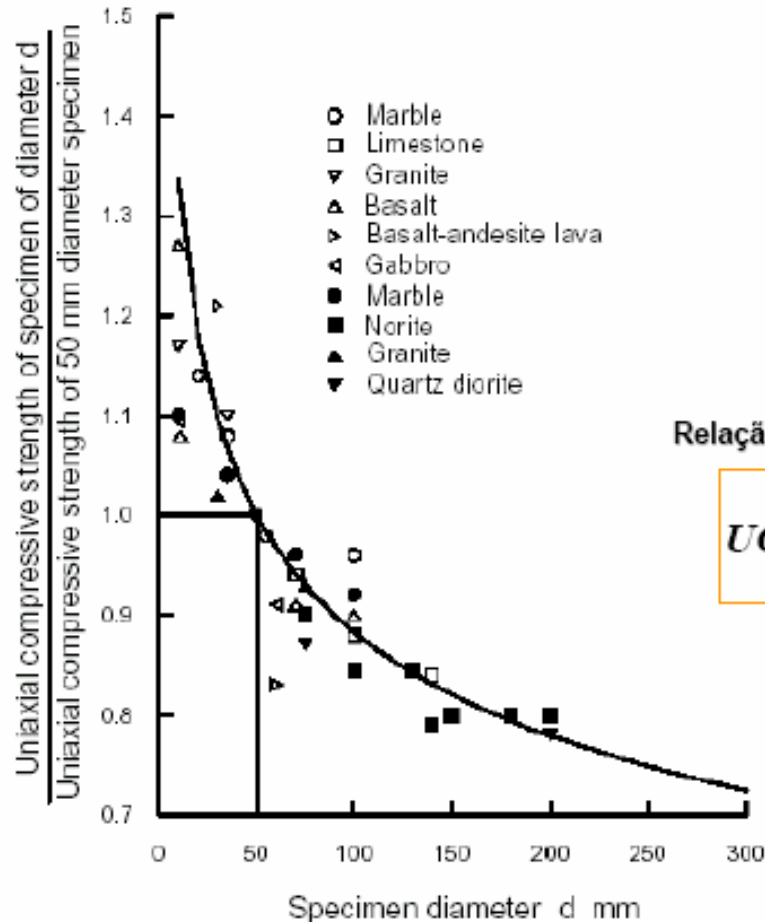


Machine stiffness and specimen stiffness in the post-peak region.

Para uma mesma rocha os resultados dependem de:

- Direcção da carga em rochas anisotrópicas
- Dimensão dos provetes de ensaio (efeito de escala) – provetes mais pequenos fornecem valores mais elevados de resistência
- Velocidade de carga - Resistência reduz-se com velocidades de aplicação de carga mais baixas
- Teor de água - A rocha seca tem resistência maior do que saturada (até valores de 2x ou mais)

Classificação material rocha



(FCUL)

Relação empírica para o efeito de escala

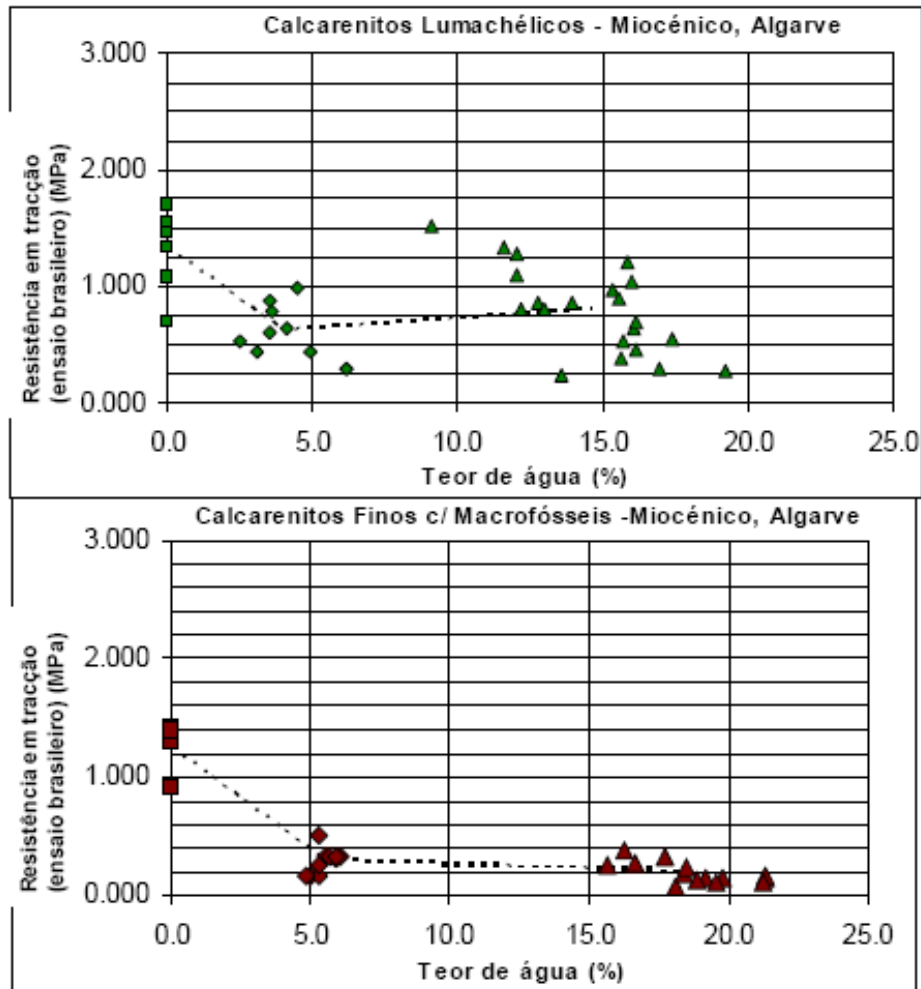
$$UCS(\sigma_c) = \sigma_{c50} \left(\frac{50}{d} \right)^{0.18}$$

Influência da dimensão dos provetes na resistência do material rocha (efeito de escala) (Hoek & Brown, 1980a).

Classificação material rocha

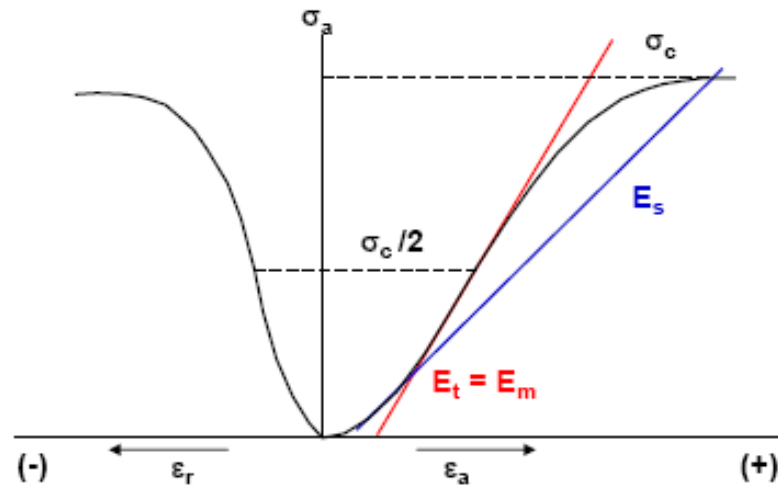
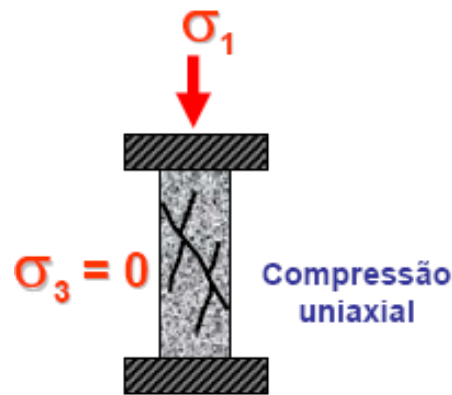
Efeitos da variação do teor de água em ensaios de tracção indirecta (ensaio brasileiro)

(FCUL)



Classificação material rocha

Nos ensaios de compressão uniaxial com instrumentação específica – Extensómetros para medição das deformações axiais e laterais concomitantes com a aplicação das cargas – determina-se não só a resistência à rotura (máxima pressão aplicável ao provete) mas também as relações entre as tensões aplicadas e as correspondentes deformações. (FCUL)

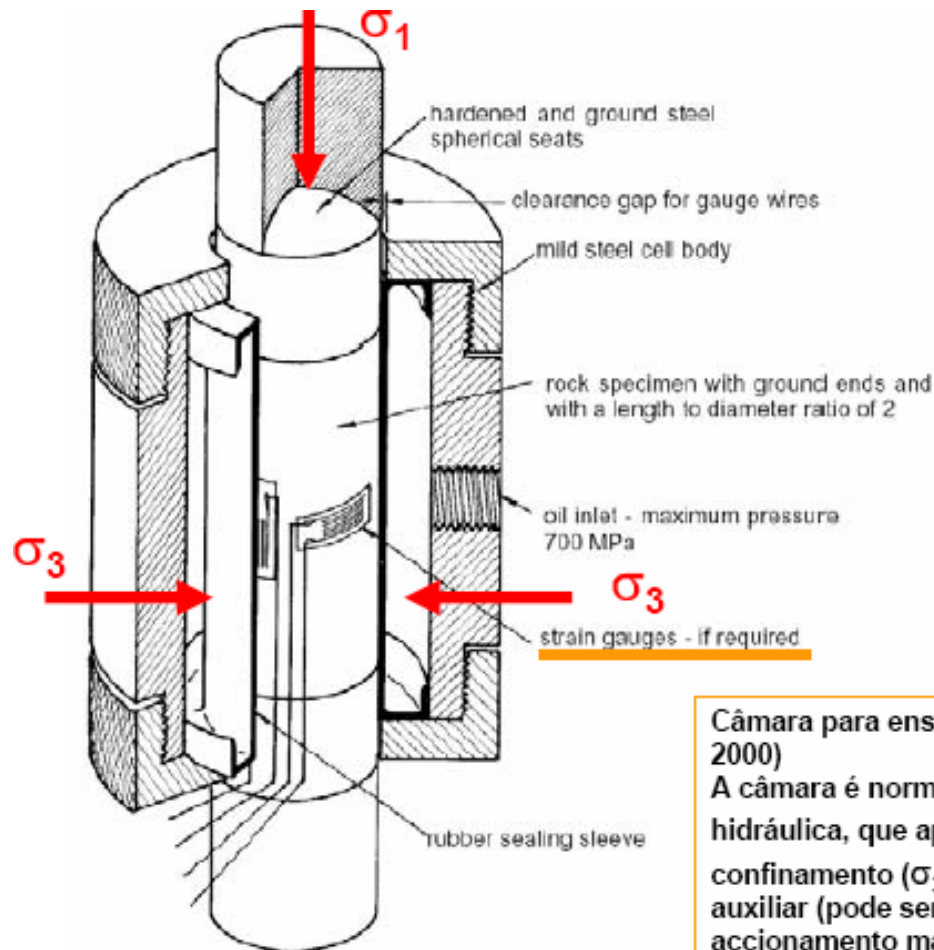


Módulo de Young $E = \sigma / \varepsilon$

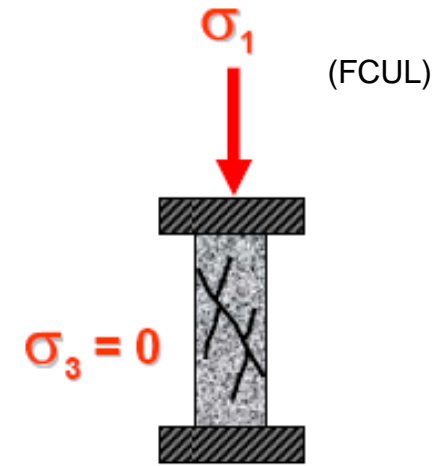
Coefficiente de Poisson $\nu = -\frac{(\Delta\sigma_a / \Delta\varepsilon_a)}{(\Delta\sigma_a / \Delta\varepsilon_r)}$

Caracterizam as relações entre as tensões e as deformações

Classificação material rocha



Compressão triaxial



Compressão uniaxial

Câmara para ensaios triaxiais de rochas (Hoek, 2000)

A câmara é normalmente colocada numa prensa hidráulica, que aplica σ_1 , enquanto a tensão de confinamento (σ_3) é aplicada por equipamento auxiliar (pode ser uma bomba hidráulica de accionamento manual ou electromecânico, que pode ser controlado por computador (controle da velocidade de aplicação de carga))

Classificação material rocha



Câmara para ensaios de compressão triaxial em rochas

Dispositivo para ensaios de compressão triaxial em rochas

(FCUL)



Classificação material rocha

Varição do valor máximo de diferença de tensões principais ($\sigma_1 - \sigma_3$) com a inclinação da tensão principal máxima relativamente aos planos de fraqueza (xistosidade, clivagem xistenta) (in Brady & Brown, 1993)

(FCUL)

