
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL ROCHA - revisão

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

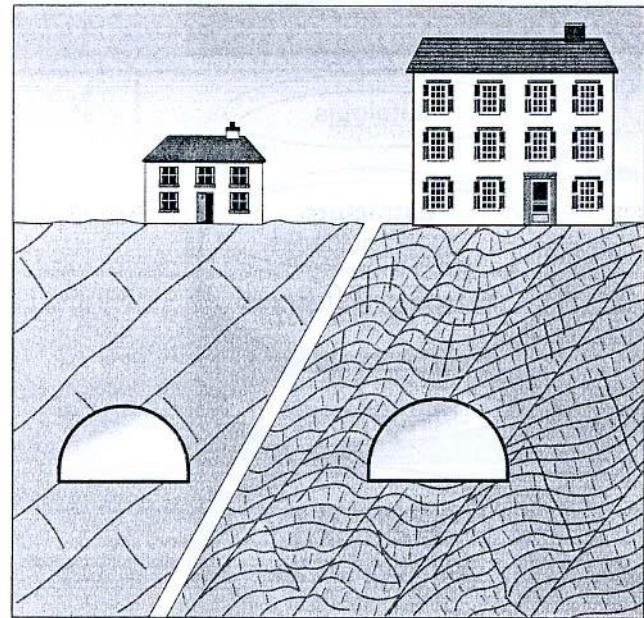
- A alterabilidade é uma avaliação da tendência à rotura dos componentes ou da estrutura da rocha
- Meteorização:
 - Aumenta a porosidade
 - Aumenta a permeabilidade
 - Aumenta a deformabilidade
 - Diminui a resistência
- Durabilidade – resistência da rocha aos processos de alteração e desintegração
 - 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 isotrópicos
- Ensaaios 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 descontinuidades e da **escala** do trabalho.



Classificação material rocha

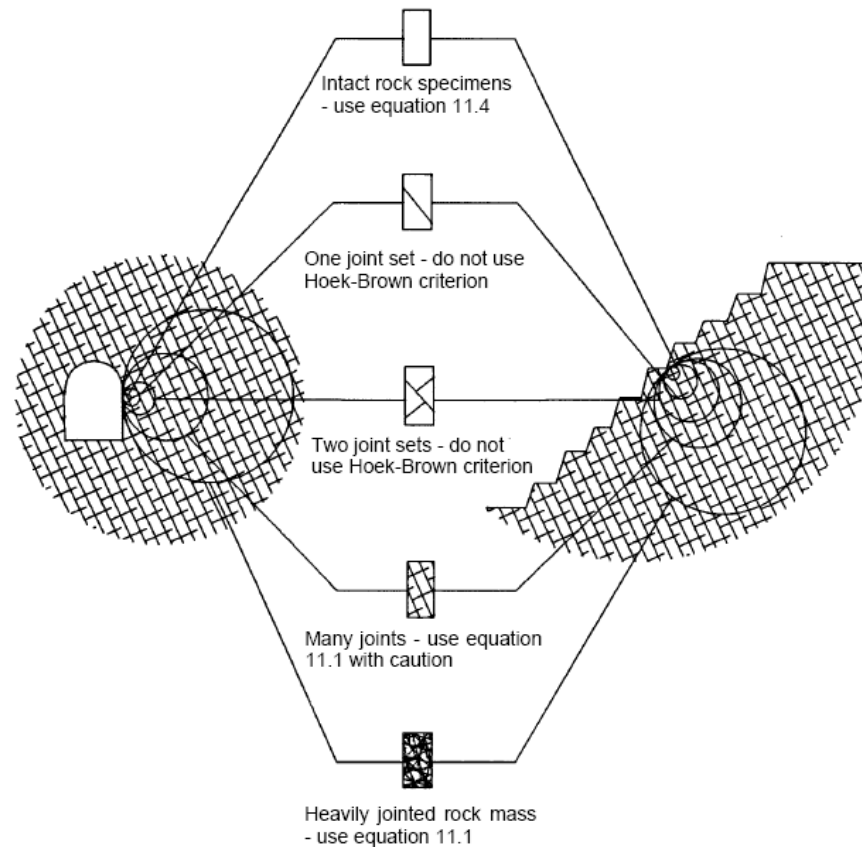


Figure 11.5: Idealised diagram showing the transition from intact to a heavily jointed rock mass with increasing sample size.

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 factores 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 génese - 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 factores:
 - Estado de alteração, espaçamento das diaclases, abertura das diaclases
 - A – rocha dura a sã
 - B – medianamente alterada e medianamente dura
 - C – alterada, fracturando-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 cisalhante (ex. taludes, tectos de túneis)
 - Compressão (ex. pilares de suporte de uma escavação)
 - Flexão (ex. tecto de cavidade cárstica)
 - Tracção (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
550-1100	C	Média
275-550	D	Baixa
<275	E	Muito baixa

Quanto ao quociente E/σ_r

Intervalos (E/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
Fraturada – 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

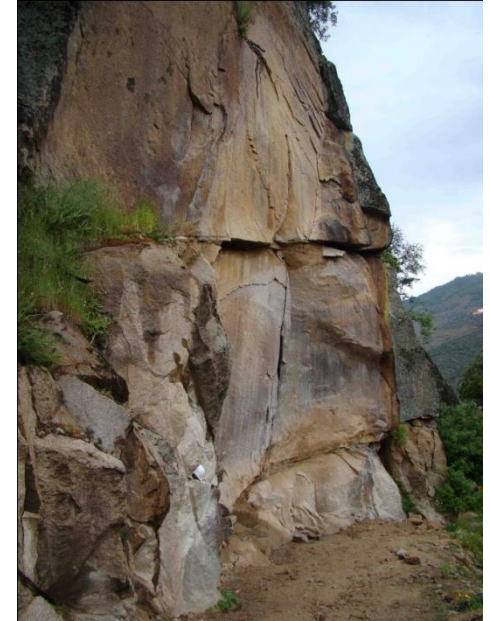
Espaçamento entre fracturas (F)

Intervalos (cm)	Símbolo		Designação	
> 200	F ₁	F ₁₋₂	Muito afastadas	Afastadas
60 a 200	F ₂		afastadas	
20 a 60	F ₃	F ₃	Medianamente afastadas	Medianamente alterado
6 a 20	F ₄	F ₄₋₅	Próximas	Próximas
< 6	F ₅		Muito próximas	

Classificação material rocha

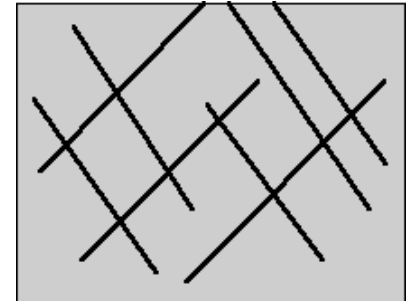
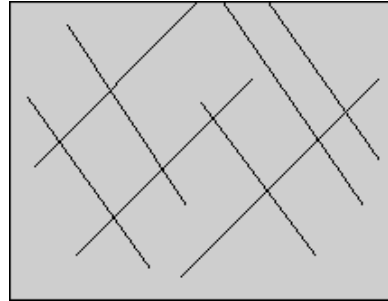


Classificação material rocha

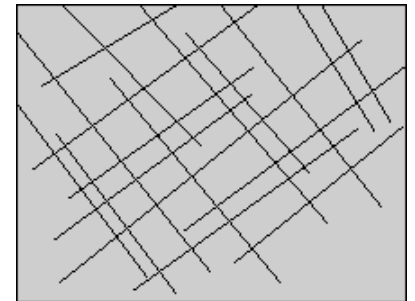
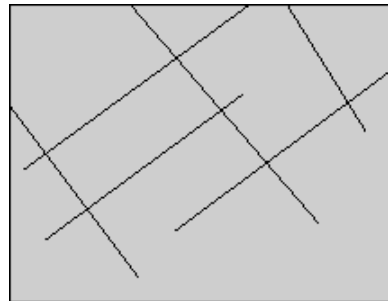


Classificação material rocha

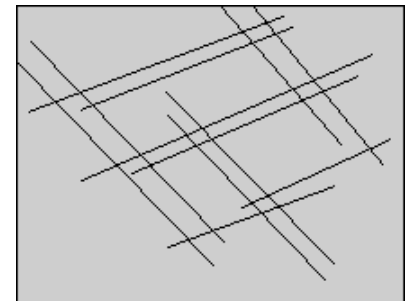
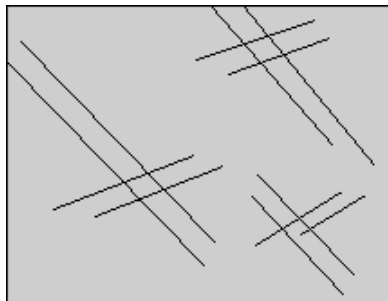
Abertura



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	
	S1	S1-2	Muito elevada	Elevada
> 200	S1	S1-2	Muito elevada	Elevada
60 a 200	S2		Elevada	
20 a 60	S3	S3	Média	Média
6 a 20	S4	S4-5	Baixa	Baixa
< 6	S5		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	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto.
> 250	Extremadamente dura			

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)

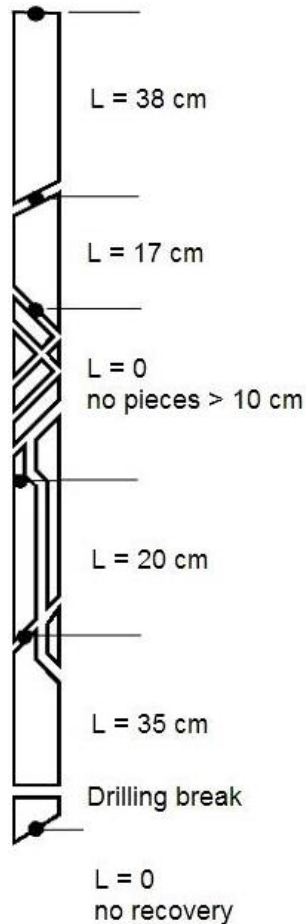
RQD	Qualidade do maciço
0 – 25 %	muito fraca
25 – 50%	fraca
50 – 75 %	razoável
75 – 90 %	boa
90 – 100 %	excelente

Classificação material rocha

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



Classificação material rocha



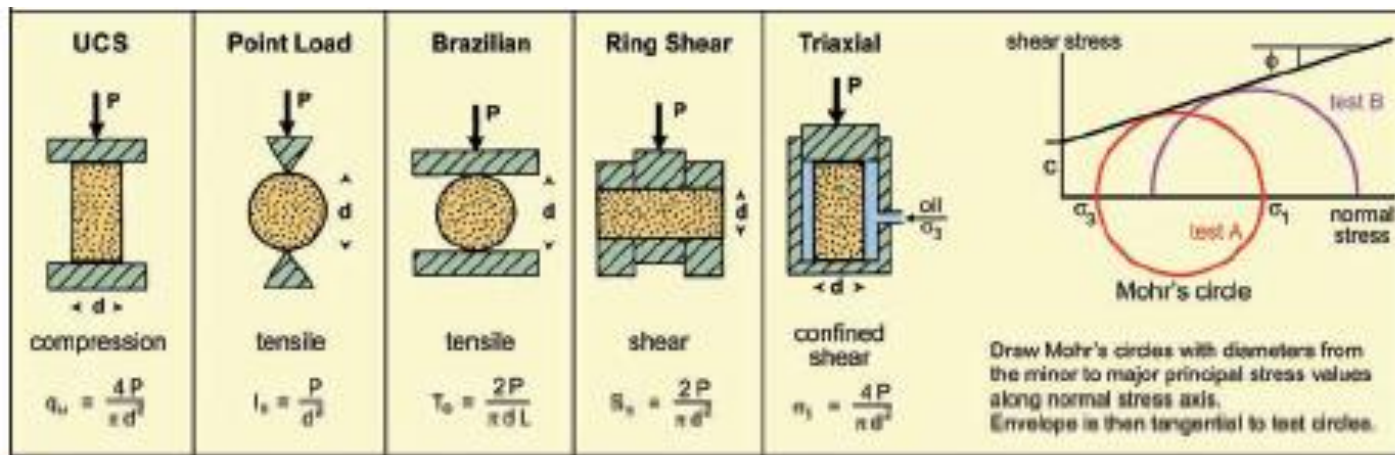
Total length of core run = 200 cms

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

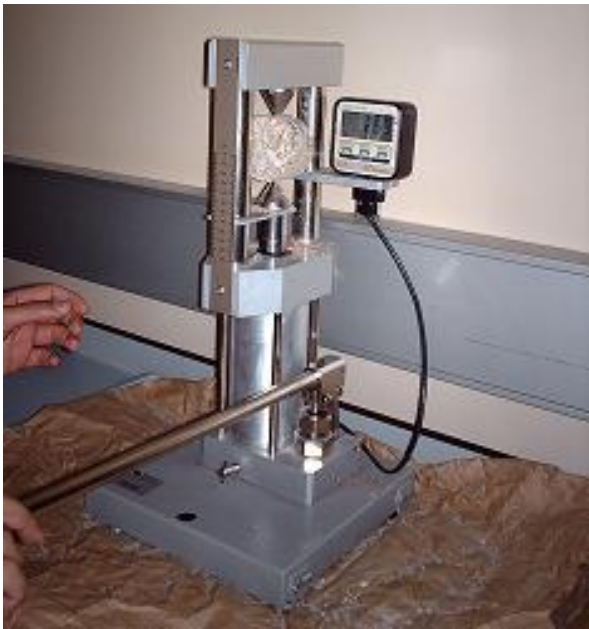
$$RQD = \frac{38 + 17 + 20 + \quad}{200} \times 100 = 55 \%$$

ENSAIOS

Classificação material rocha



Classificação material rocha



CS-JS

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

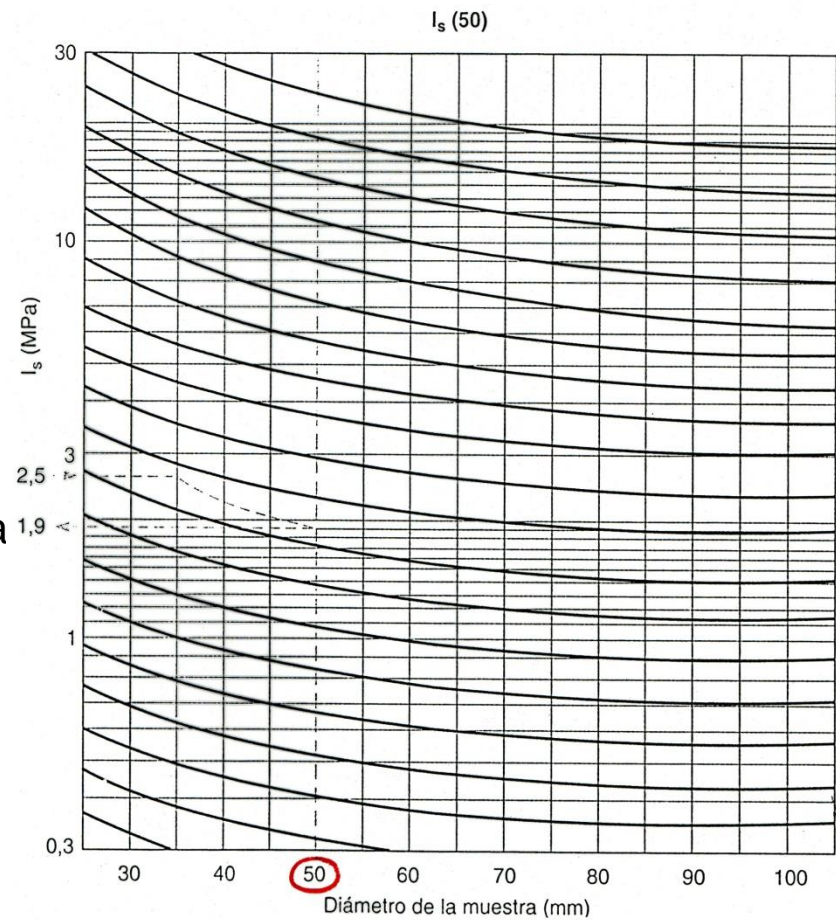
^{*)} Bieniawski (1973) suggests that the point load strength test not be used on rocks having $\sigma_c < \text{approx. } 25 \text{ MPa}$.

Table 2.5 Classifications of the point load strength (I_s)

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

Classificação material rocha

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



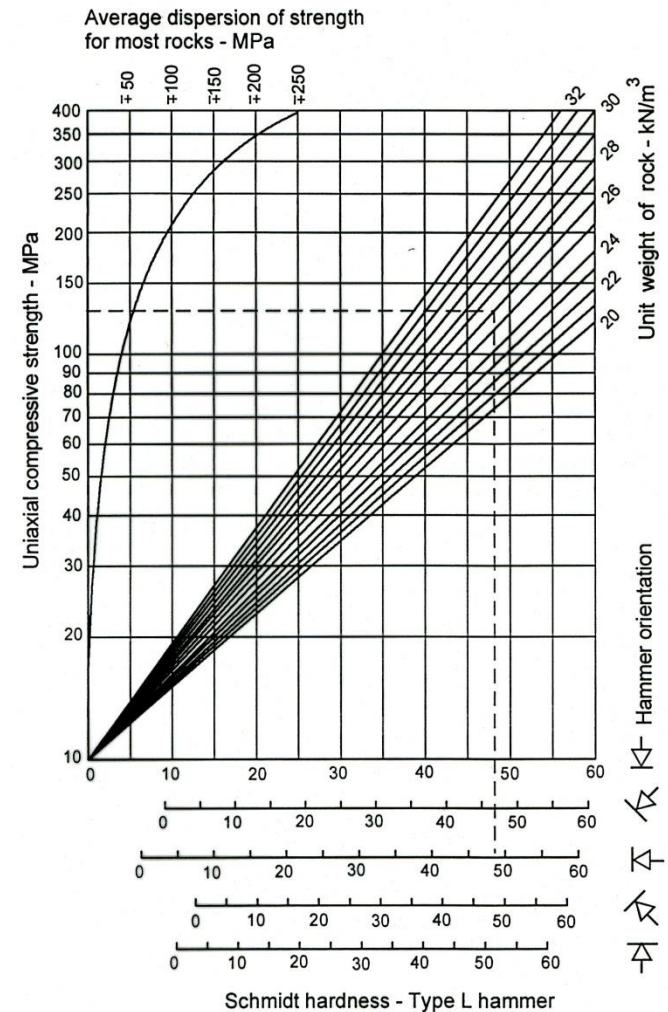
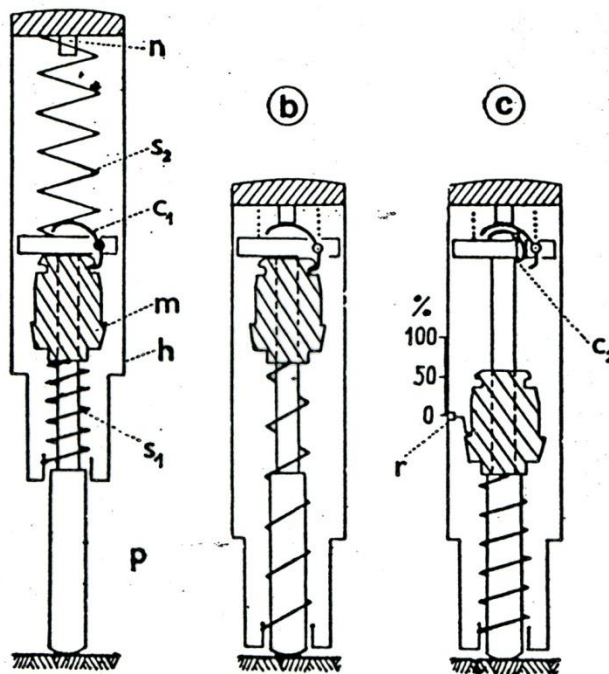
Classificação material rocha

- Dureza de Schmidt:

- Atenção às irregularidades da superfície



CS-JS



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

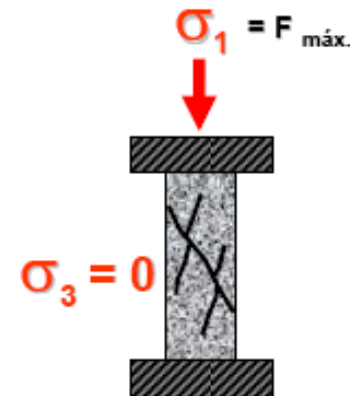
(FCUL)

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° (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.

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



Classificação material rocha

Compressão uniaxial em rochas

(FCUL)

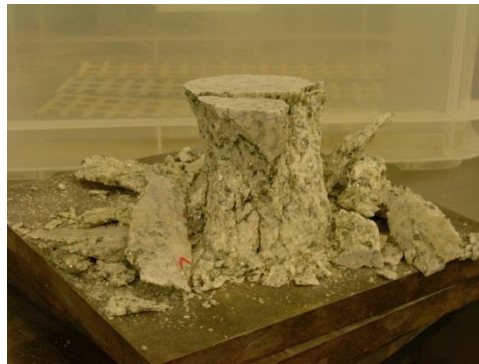
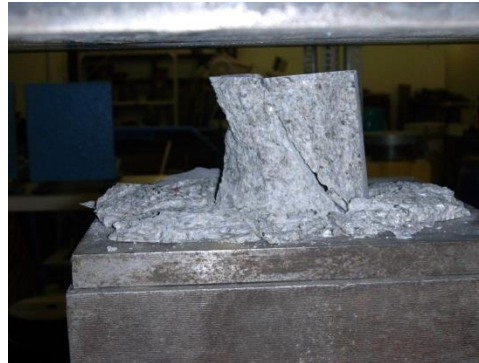
Equipamentos para a realização de ensaios de compressão uniaxial – Pressas de controle hidráulico (load frames) com capacidades habituais de 1500 kN ($\approx$ 150 Ton.) até 5000 kN ($\approx$ 500 Ton.).

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



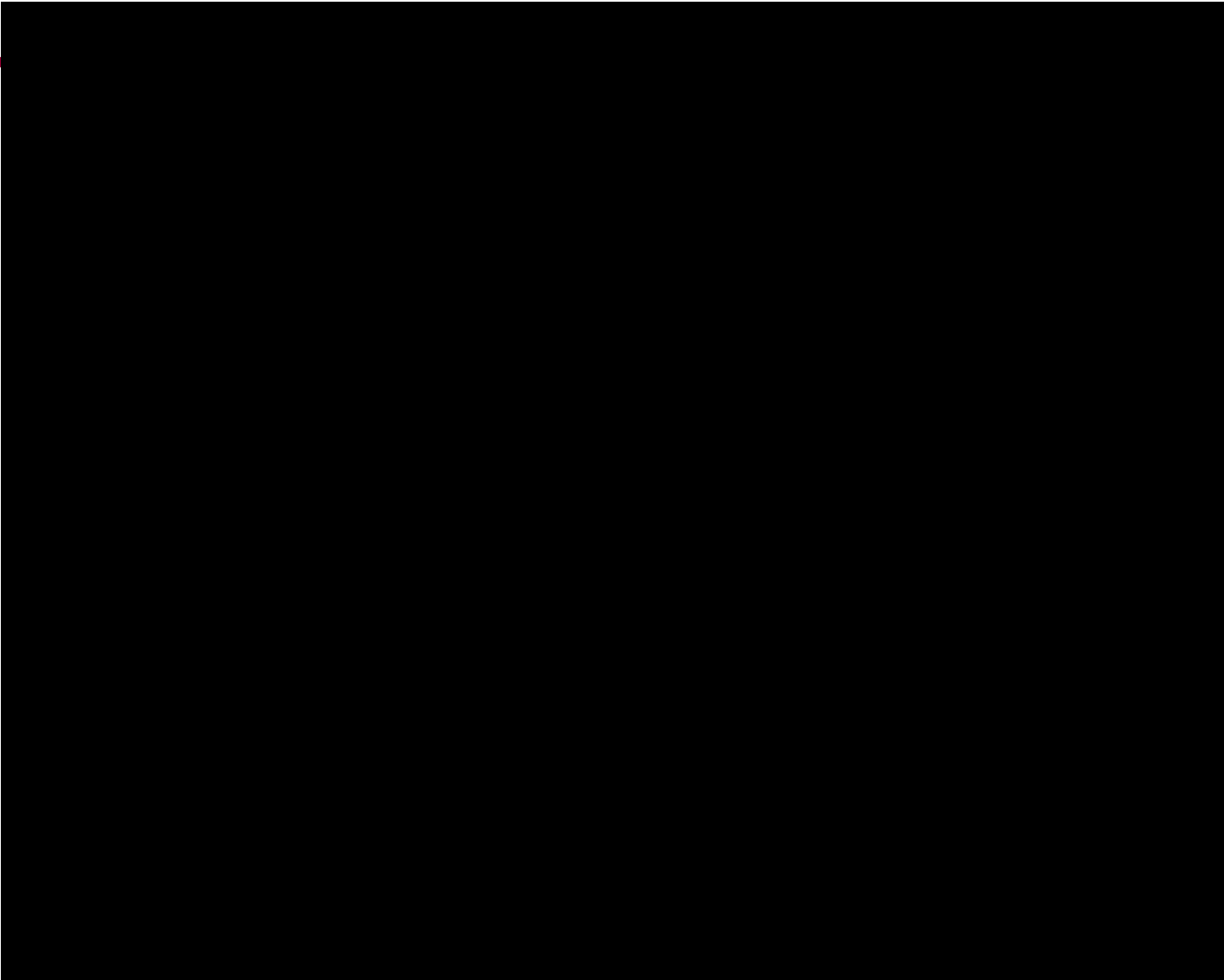
Classificação material rocha

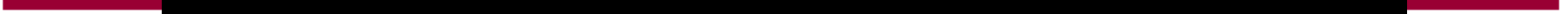
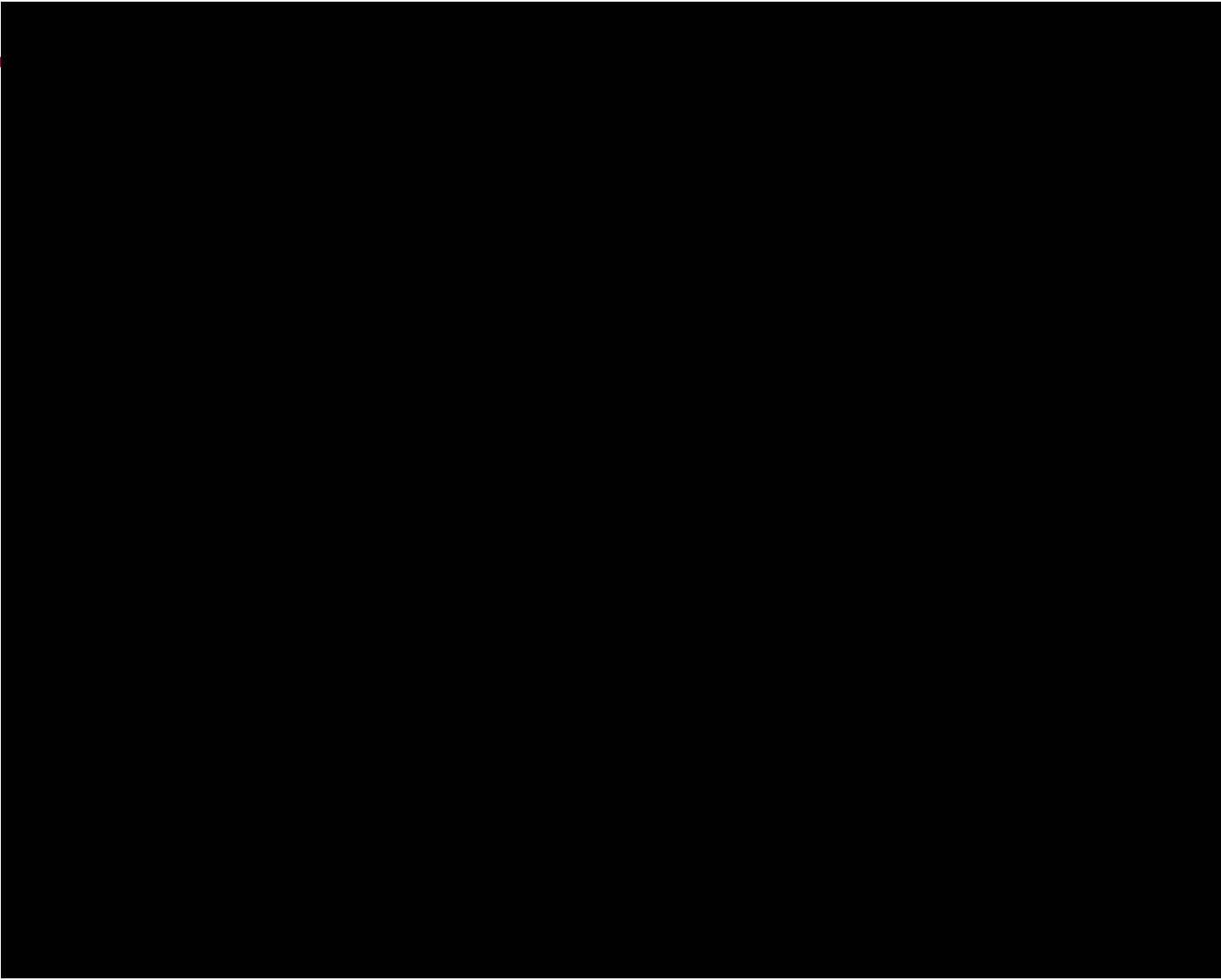


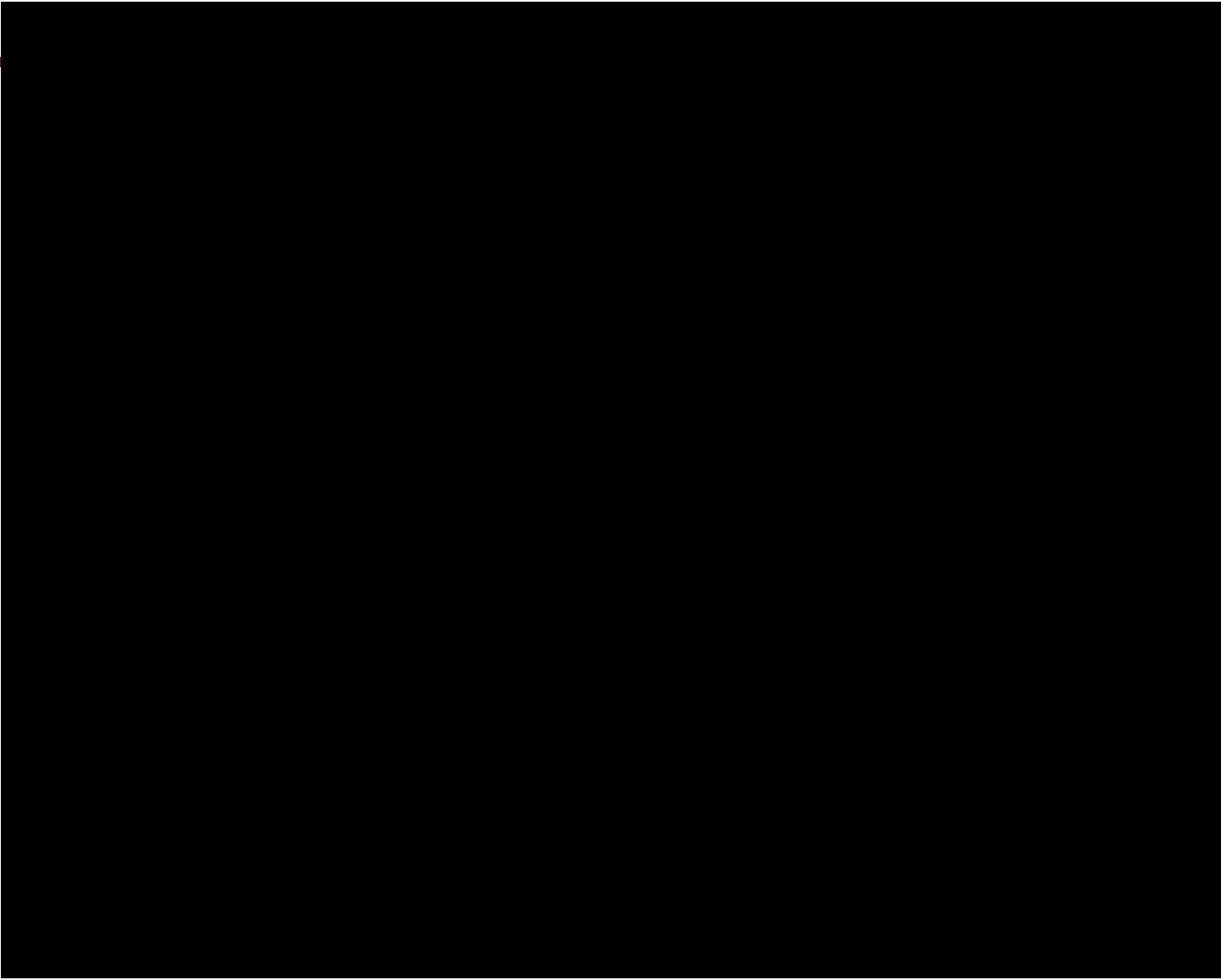
Classificação material rocha

- Compressão uniaxial









[REDACTED]

[REDACTED]

Classificação material rocha



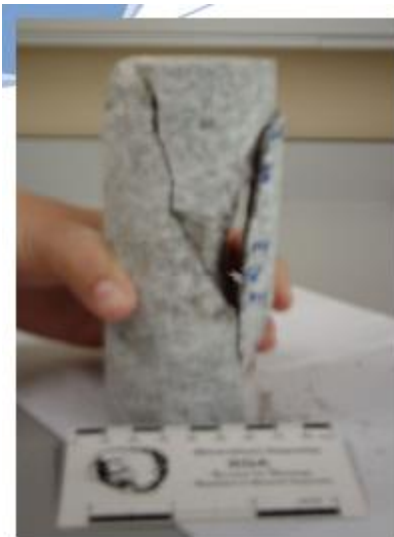
Figura 21. Prensa de compressão uniaxial.

A: Controlador digital –Data Log.

B: Painel de controlo –Wizard.

C: Grupo hidráulico

Classificação material rocha

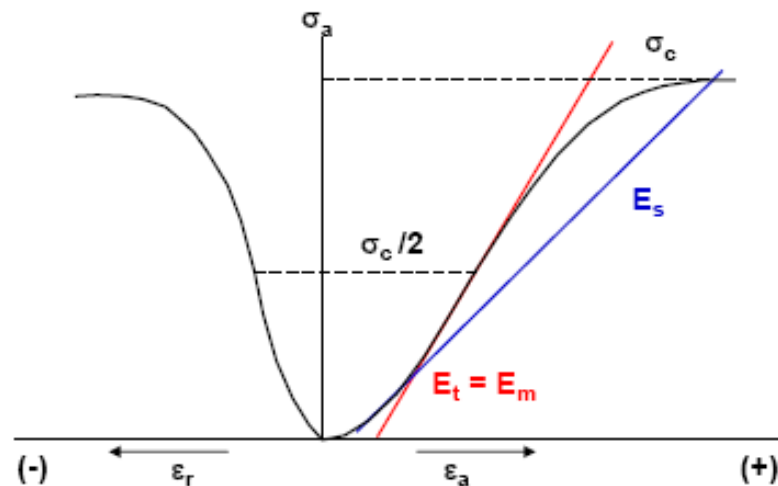
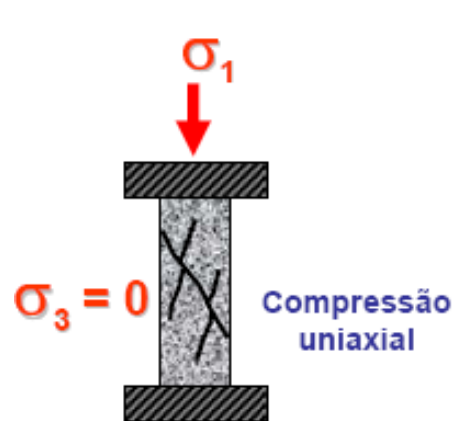


Figuras 22,23 e 24. Amostras pós-rotura com fracturas que fazem entre 30° e 45° com a direcção da aplicação da pressão.

Classificação material rocha

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 $E = \sigma / \epsilon$

Coeficiente de Poisson $\nu = - \frac{(\Delta \sigma_a / \Delta \epsilon_a)}{(\Delta \sigma_a / \Delta \epsilon_r)}$

Caracterizam as relações entre as tensões e as deformações

Classificação material rocha

(FCUL)



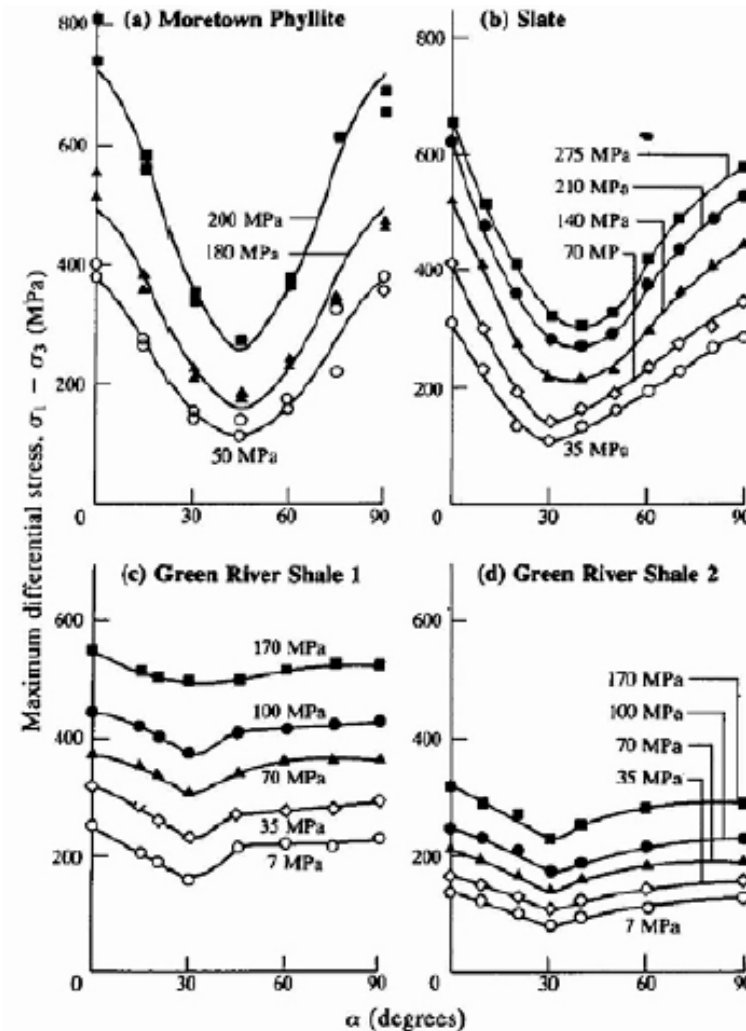
Câmara para ensaios de compressão triaxial em rochas

Dispositivo para ensaios de compressão triaxial em rochas



Classificação material rocha

Variação 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)