

## **3**

### **Fundamentos Teóricos**

#### **3.1.**

##### **Introdução**

Neste capítulo serão vistos os fundamentos teóricos necessários para a análise dos resultados apresentados no Capítulo 6.

O procedimento mais comum para a determinação da resistência e deformabilidade das rochas é o ensaio de compressão simples, que é utilizado para classificar as rochas, entre branda e resistente.

Há fatores que influenciam a resistência uniaxial que podem ser: fatores internos, onde é destacada a mineralogia, o tamanho dos grãos e a porosidade da rocha; e fatores externos, como o atrito entre os atuadores e a face do corpo de prova, geometria da amostra (forma e tamanho), taxa de carregamento, temperatura, taxa de deformação, trajetória de carregamento e pressão confinante.

No ensaio de compressão triaxial, o corpo de prova é submetido a uma pressão de confinamento que é mantida constante no ensaio, estas representam as duas tensões principais horizontais atuantes na amostra. Na direção axial, a tensão vertical é aumentada até a ruptura, ou não, que é aumentada com controle de deformação, submetida a uma taxa de deformação constante, o que possibilita a continuação do ensaio na região pós-ruptura. Estes ensaios são principalmente para determinar o critério de ruptura da rocha.

No ensaio triaxial verdadeiro, as três tensões principais aplicadas no corpo de prova são independentes e diferentes, de essa maneira se faz possível a simulação de condições de tensão reais de campo, caso sejam conhecidas as magnitudes e orientação das tensões.

### 3.2. Ensaio de Laboratório

As propriedades da rocha intacta podem ser determinadas através de ensaios de resistência das rochas em laboratório. Entre eles estão os ensaios uniaxial, triaxial e poliaxial. A figura 3.1 mostra os tipos de cargas aplicadas em corpos de prova sólidos.

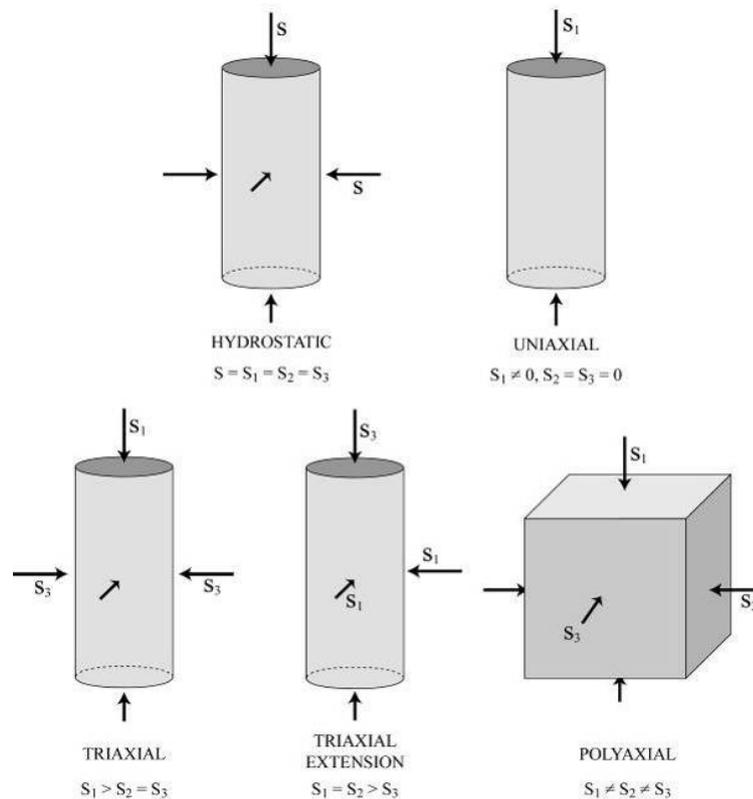


Figura 3.1 – Tipos de ensaio (GMI, 2006).

O ensaio uniaxial é de execução simples, consistindo na aplicação de uma carga axial em corpos de prova de relação altura/diâmetro aproximadamente 2,5. A partir deste ensaio é possível obter a carga de ruptura da amostra, expressa por:

$$q_{ux} = \frac{P}{A} \quad (\text{Equação 3.1})$$

$q_{ux}$ : resistência a compressão uniaxial máxima

$P$ : carga de ruptura

$A$ : área inicial da amostra

O ensaio triaxial convencional consiste na aplicação de um carregamento axial e de confinamento que é obtido por meio da aplicação de óleo sobre pressão na câmara triaxial, onde é colocada a amostra envolvida por uma membrana impermeável. Quanto maior a pressão confinante, maior a resistência. Na ruptura o estado de tensões é dado por:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \Delta\sigma \quad (\text{Equação 3.2})$$

$\sigma_1$ : carga axial aplicada na amostra

$\sigma_3$ : pressão aplicada

$\Delta\sigma$ : tensão desviadora

O ensaio triaxial verdadeiro realizado neste trabalho com a célula cúbica, foi possível ter controle das três tensões que foram diferentes e independentes no corpo de prova, nessas condições permitiu alcançar um estado anisotrópico ( $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$ ).

### 3.3. Modos de Ruptura

A deformação das rochas pode levar a dois modos de ruptura:

Ruptura frágil é aquela que rompe sem significativa deformação, sem alteração permanente na estrutura do material.

Ruptura dúctil é aquela que se deformam plasticamente antes da ruptura, processo no qual os grãos deslizam ou rotacionam uns sobre os outros.

Considerando os efeitos da pressão confinante, na maioria das rochas sofrem enrijecimento pelo confinamento, principalmente aquelas fissuradas. O deslizamento ao longo das fissuras é possível se a rocha está livre para se deslocar normalmente à superfície de ruptura; sob confinamento é necessária energia adicional para que haja deslizamento. Com aumento da pressão de confinamento,

a expansão radial é impedida, assim como a fissuração, e com isso a resistência da rocha aumenta (Azevedo e Marquez, 2006).

Com o contínuo aumento da pressão de confinamento, o rápido declínio na capacidade de carga após a carga de pico torna-se cada vez menos acentuado, até que, atingindo um determinado valor de confinamento, conhecido como *pressão de transição frágil – dúctil*, a rocha passa a ter comportamento plástico. Então após o ponto de pico, a rocha continua a se deformar sem que haja qualquer acréscimo no valor da tensão.

O aumento da pressão de confinamento induz à formação de várias superfícies de ruptura e reduz o efeito de dilatancia do corpo de prova.

A ruptura macroscópica de rochas submetidas a ensaios de compressão triaxial estará de acordo com a tensão confinante a que estas foram sujeitas (Santarelli e Brown, 1989). Griggs e Handin (1960) descrevem a deformação macroscópica de rochas submetidas a ensaios de laboratório de rupturas frágeis e dúcteis com suas respectivas deformações típicas e curvas de tensão-deformação para compressão uniaxial e tração, em cinco estágios, como mostra a Figura 3.2.

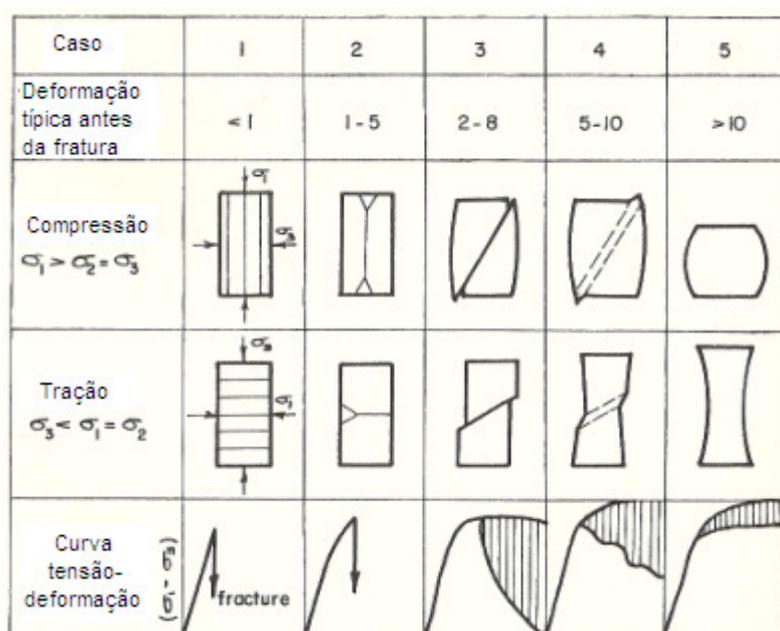
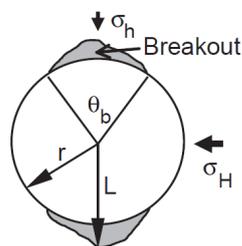


Figura 3.2 – Representação esquemática das rupturas frágeis a dúcteis (adaptado Griggs e Handin, 1960).

$\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  e  $\sigma_3$  são as tensões máxima, intermediária e mínima, respectivamente.

### 3.4. Modos de Ruptura induzidos

*Breakouts* são alongamentos de seções transversais em perfurações ou poços resultantes de uma falha preferencial na parede da rocha e atrás dela. Muita evidência de campo e ensaios em laboratórios sugerem que a orientação ao longo do perímetro de perfurações verticais, seja geralmente alinhada com a direção da tensão mínima horizontal *in-situ*. (Haimson e Song, 1996). A Figura 3.3 mostra um exemplo de *breakout*.



Onde: (L) comprimento ou profundidade;  $\Theta_b$  extensão ou amplitude angular; ( $\sigma_h$ ) tensão horizontal mínima; ( $\sigma_H$ ) tensão horizontal maior.

Figura 3.3 – Modo de ruptura *Breakout*.

Tipos de falhas em arenitos, Papamichos (2008). observados na seguinte Figura 3.4

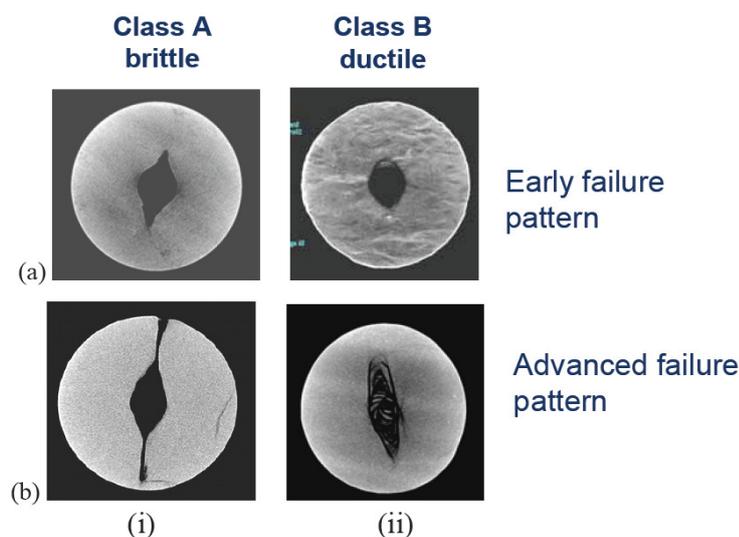


Figura 3.4 – Tipos de ruptura (a) frágil, (b) dúctil (Papamichos, 2008).