

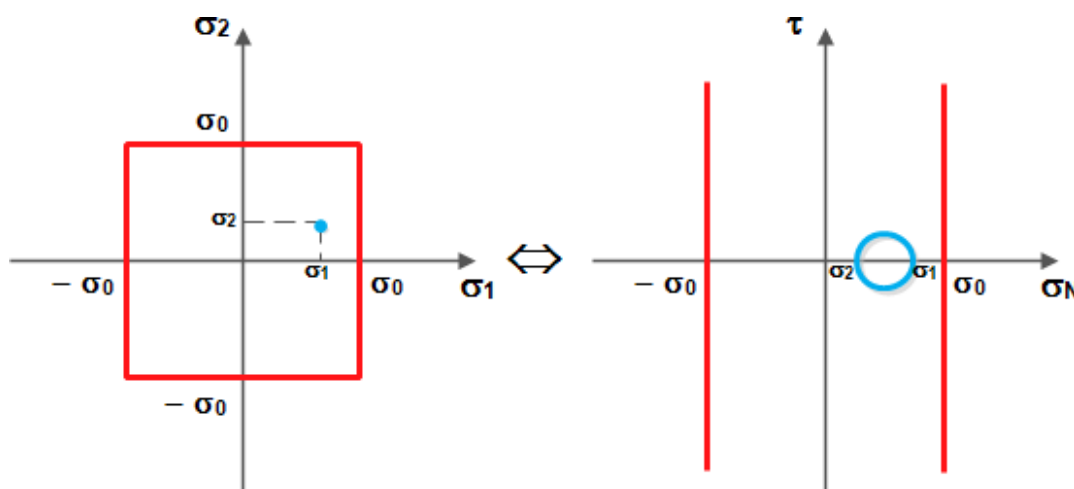


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

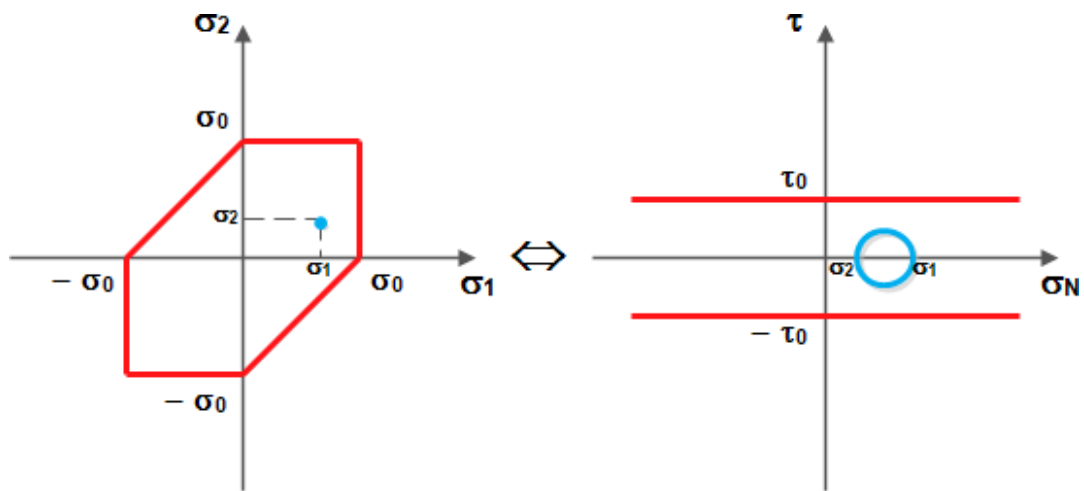
CRITÉRIOS DE RUPTURA PARTE 2

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

CRITÉRIOS DE RUPTURA DE RANKINE E DE TRESCA



Representações para o critério de Rankine



Representações para o critério de Tresca



CRITÉRIO DE RUPTURA DE MOHR-COULOMB

CRITÉRIO DE RUPTURA DE MOHR-COULOMB



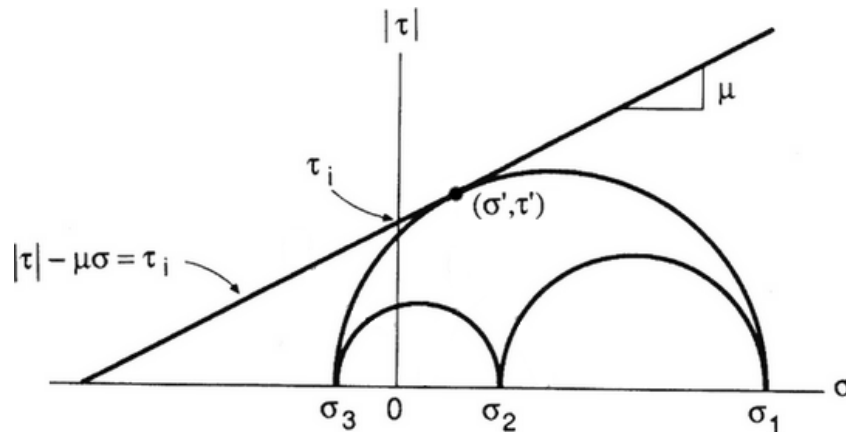
Neste critério, a ruptura é esperada, quando uma combinação linear de TENSÃO NORMAL e TENSÃO DE CISALHAMENTO atuantes sobre um dado plano atingir um valor crítico.

Assim o critério fica definido por:

$$|\tau| - \mu \sigma = \tau_i \Rightarrow |\tau| = \tau_i + \mu \sigma$$

Onde: τ e σ são as tensões atuantes no plano de ruptura e τ_i e μ são constantes características do material.

Para um dado estado de tensões σ_1 , σ_2 e σ_3 , ocorrerá a ruptura se o maior dos círculos de Mohr tangenciar a reta definida pelo critério.



5

CRITÉRIO DE RUPTURA DE MOHR-COULOMB



σ' e τ' representam as tensões atuantes no plano de ruptura:

$$\sigma' = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \left| \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right| \cos 2\phi$$

$$\tau' = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\phi$$

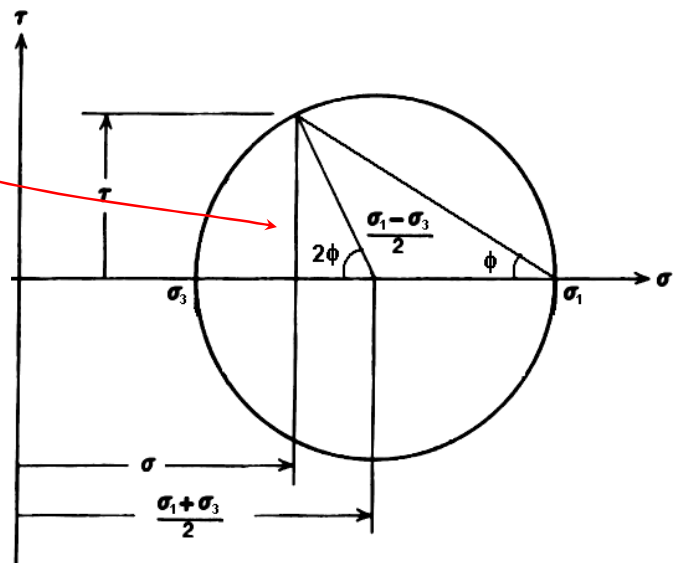
Fazendo substituições teremos:

$$|\sigma_1 - \sigma_3| - m(\sigma_1 + \sigma_3) = 2\tau_u$$

Onde:

$$m = \frac{\mu}{\sqrt{1 + \mu^2}} = \cos 2\phi$$

$$\tau_u = \frac{\tau_i}{\sqrt{1 + \mu^2}} = \tau_i \sin 2\phi$$



6



Estado Plano de Tensões ($\sigma_3 = 0$)

Das equações:

$$|\sigma_1 - \sigma_2| - m(\sigma_1 + \sigma_2) = 2\tau_u$$

$$|\sigma_2 - \sigma_3| - m(\sigma_2 + \sigma_3) = 2\tau_u$$

$$|\sigma_3 - \sigma_1| - m(\sigma_3 + \sigma_1) = 2\tau_u$$

Teremos:

$$|\sigma_1 - \sigma_2| - m(\sigma_1 + \sigma_2) = 2\tau_u$$

$$|\sigma_2| - m\sigma_2 = 2\tau_u$$

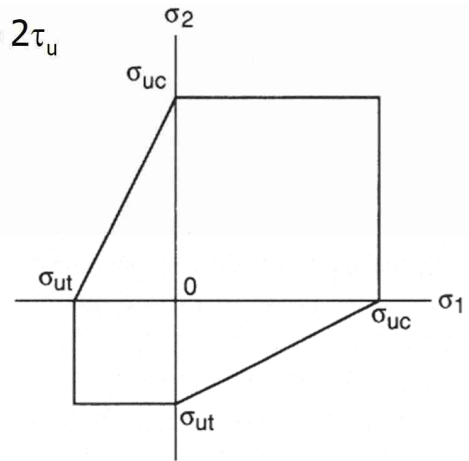
$$|\sigma_1| - m\sigma_1 = 2\tau_u$$

Com a seguinte representação gráfica:

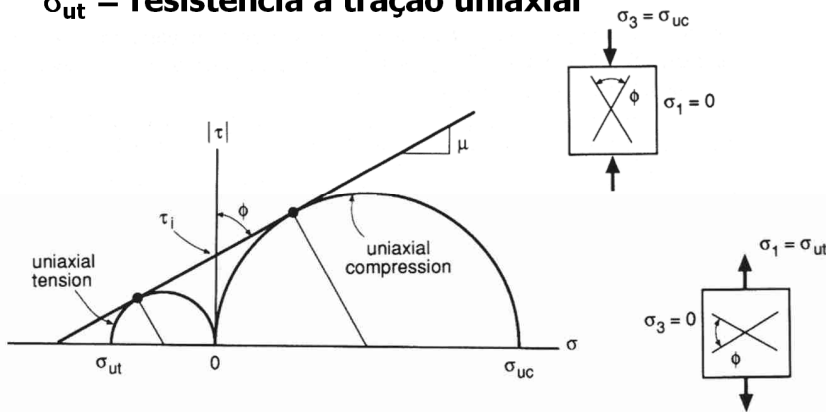
Onde:

σ_{uc} = resistência à compressão uniaxial

σ_{ut} = resistência à tração uniaxial



Representação bidimensional do critério

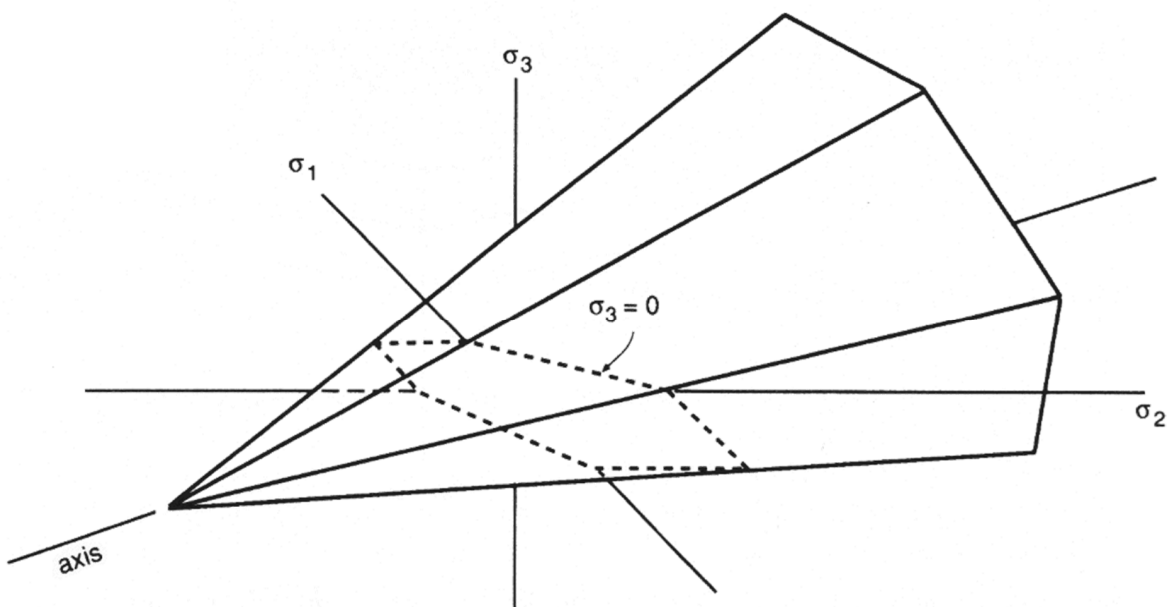


7



Estado Tridimensional de Tensões

As fronteiras da região são delimitadas por 6 planos.



Representação tridimensional do critério

8



Representação tradicional do critério:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

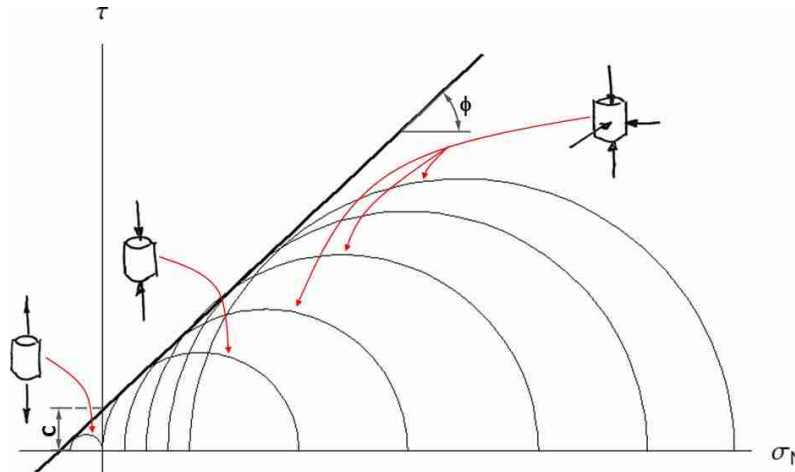
Onde:

c = coesão da rocha

φ = ângulo de atrito interno da rocha

Ou em termos das tensões principais:

$$\sigma_1 = \frac{1 + \operatorname{sen} \varphi}{1 - \operatorname{sen} \varphi} \sigma_3 + c \frac{2 \operatorname{cos} \varphi}{1 - \operatorname{sen} \varphi}$$



Crítério de ruptura de Mohr-Coulomb



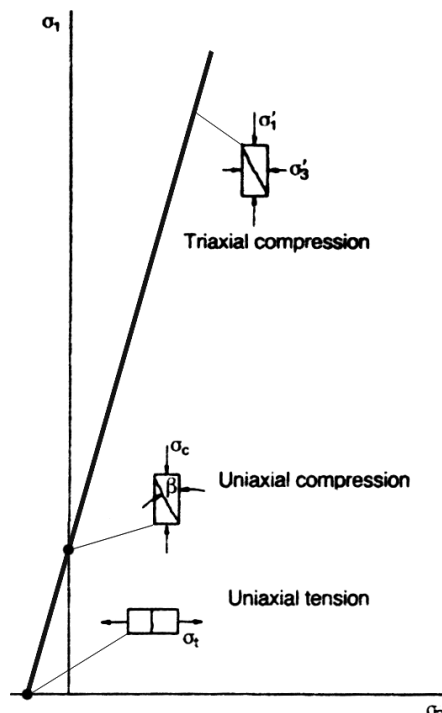
A determinação experimental dos parâmetros característicos de cada litologia, c e φ , pode ser feita através de uma análise de regressão sobre resultados de ensaios mecânicos em rocha sob diferentes condições de confinamento (diferentes estados $\sigma_1 \times \sigma_3$):

$$\sigma_1 = a \sigma_3 + b$$

Assim:

$$\varphi = \operatorname{arcsen} \frac{a - 1}{a + 1}$$

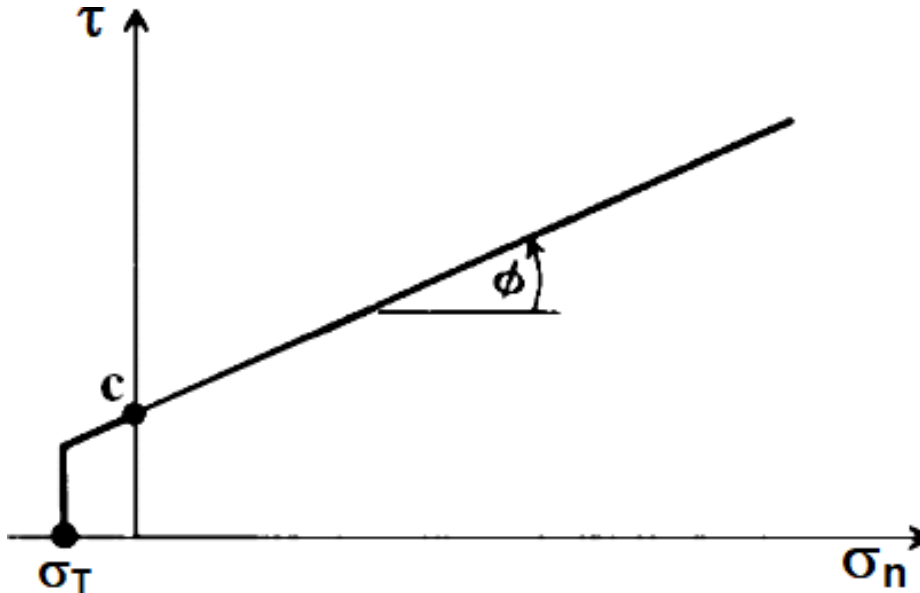
$$c = \frac{b}{2\sqrt{a}}$$



Diferentes condições de ensaio



Uma correção muitas vezes aplicada visando corrigir a pobre representação do Critério de Mohr-Coulomb, em relação ao comportamento das rochas na região de tensões de tração, é o truncamento da reta no valor correspondente à "Resistência à Tração" da rocha.



Critério de Mohr-Coulomb truncado na resistência à tração da rocha (σ_T)

11

REFERÊNCIAS



BRADY, B. H. G.; BROWN, E. T. Rock mechanics for underground mining. London, Chapman & Hall, 1994.

HOEK, E. Rock engineering - the application of modern techniques to underground design. São Paulo, CBMR, 1998.

GOODMAN, R. E. Introduction to rock mechanics. New York, Wiley, 1980.

PARRY, R. H. G. Mohr circles, stress paths and geotechnics. London, FN Spon, 1995.



OBRIGADO!

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