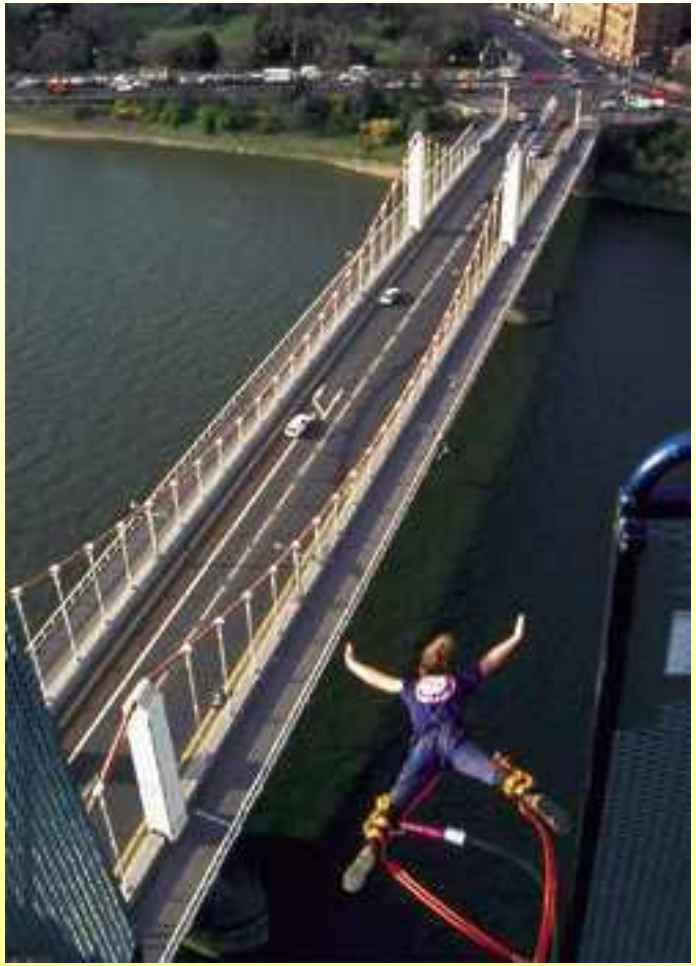
Resistência ao Cisalhamento

Fernando A. M. Marinho

2022

O que é resistência ?

É a habilidade do material de resistir a deformação ?



O que é resistência ?

Resistência de um material é a máxima carga que este material pode suportar antes da ruptura <u>ficar aparente.</u>

https://civildigital.com/failure-modes-in-rock-and-soil-slopes-slope-failure/

Resistência de solos (solos saturados)

O que controla a relação entre tensão e deformação?

- A composição do solo (mineralogia, distribuição granulométrica)
- Estado inicial do solo (índice de vazios, história de tensões)
- Estrutura (arranjo das partículas, camadas, planos de rupturas, cimentações)
- Carregamento (drenado, não drenado, nível de tensão, velocidade de carregamento, estático, dinâmico.
- Tensão de confinamento

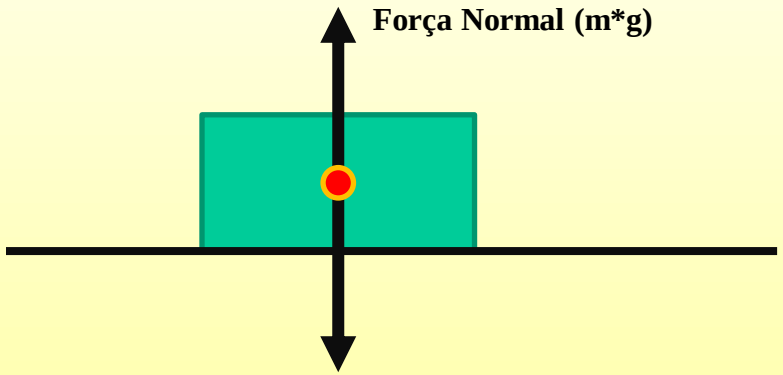
Sobre o estado do solo:
Areias (fofas, densas)
Argilas (normalmente adensadas, sobre adensadas)

Contração
Dilatação

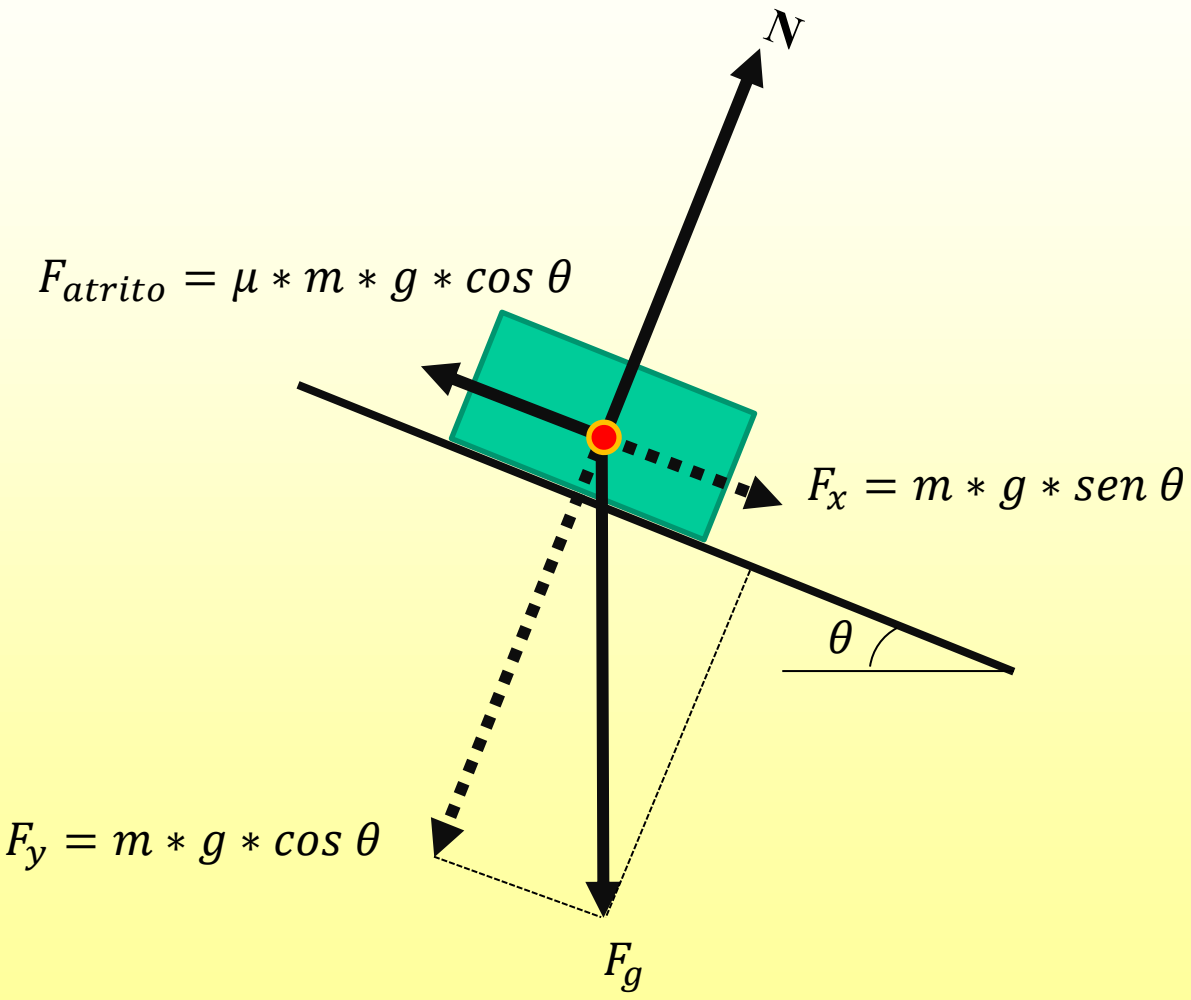
Indeformado
Deformado
Compactado
Floculado
Estratificado
Isotrópico
Anisotrópico

Resistência dos solos - Atrito

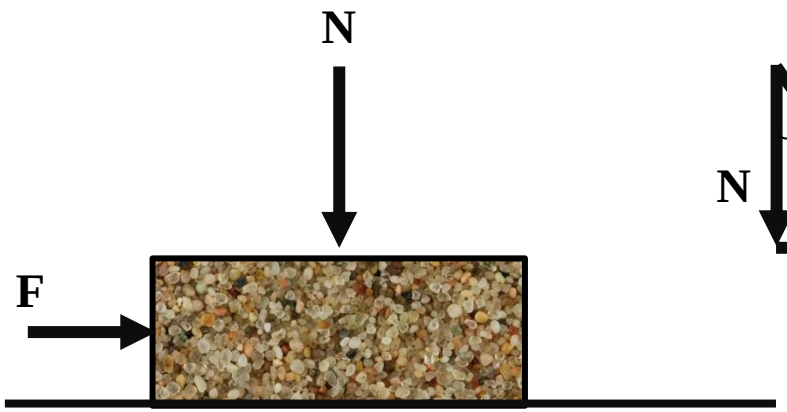
A força de atrito age para parar o movimento de dois corpos em contato.

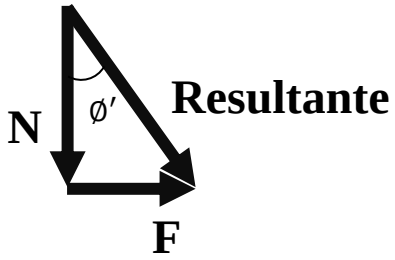


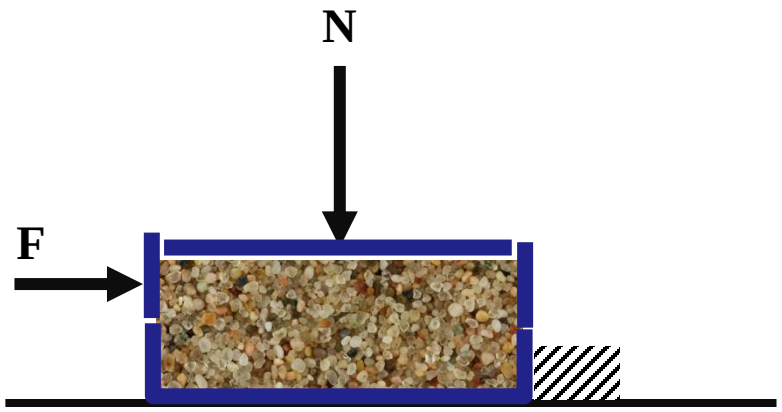
Força da gravidade - Massa * Aceleração da Gravidade (m*g) = Peso



Resistência dos solos - Atrito





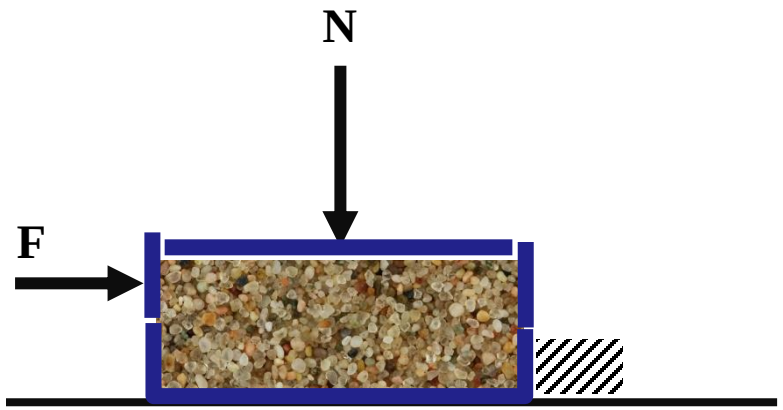


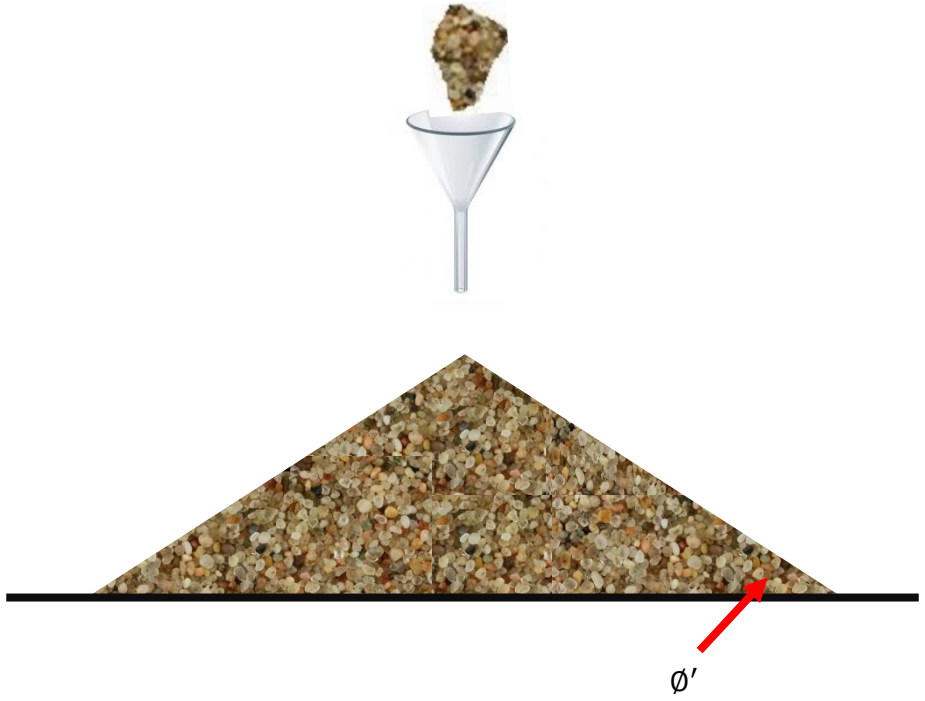
$\emptyset' - \text{ângulo de atrito}$

$\mu - coeficiente\ de\ atrito$

$$tan\emptyset' = \mu = \frac{F}{N}$$

Resistência dos solos - Atrito



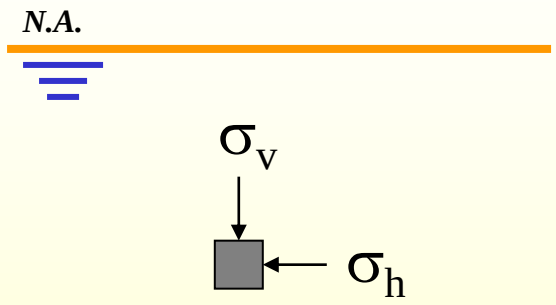


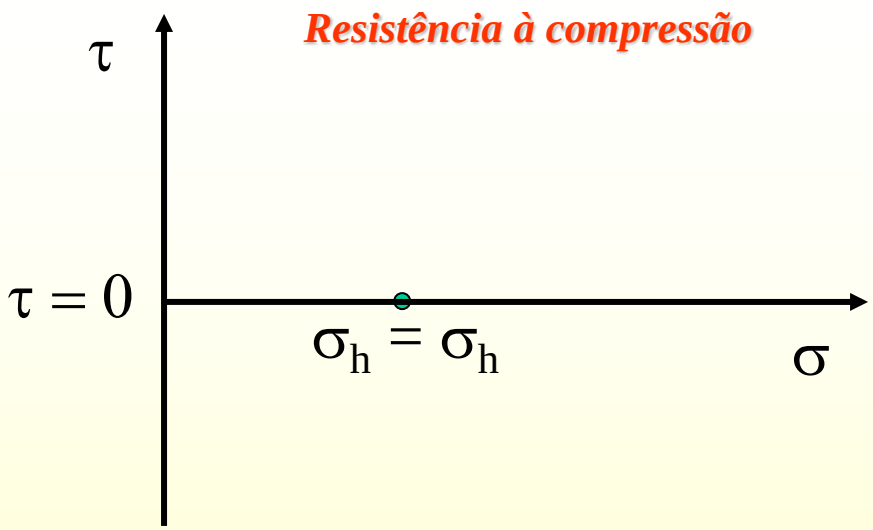
Resistência de solos (solos não saturados)

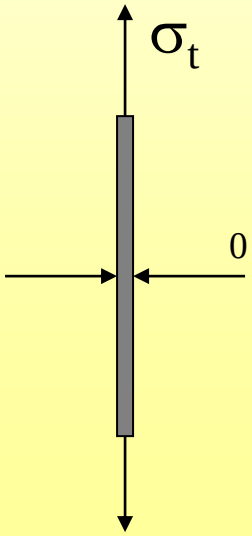
O que controla a relação entre tesão e deformação?

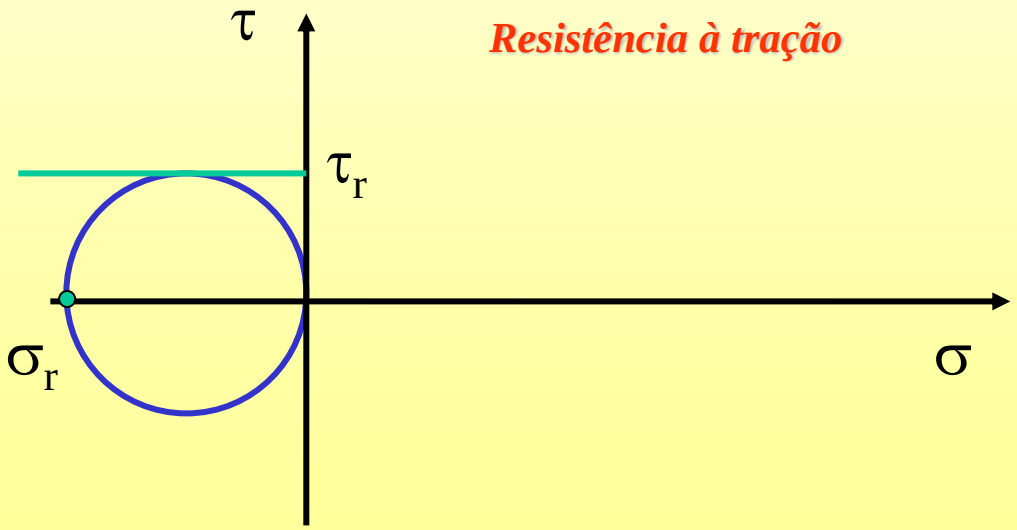
- Tudo que foi visto para solo saturados mais:
  - Grau de saturação
  - Sucção

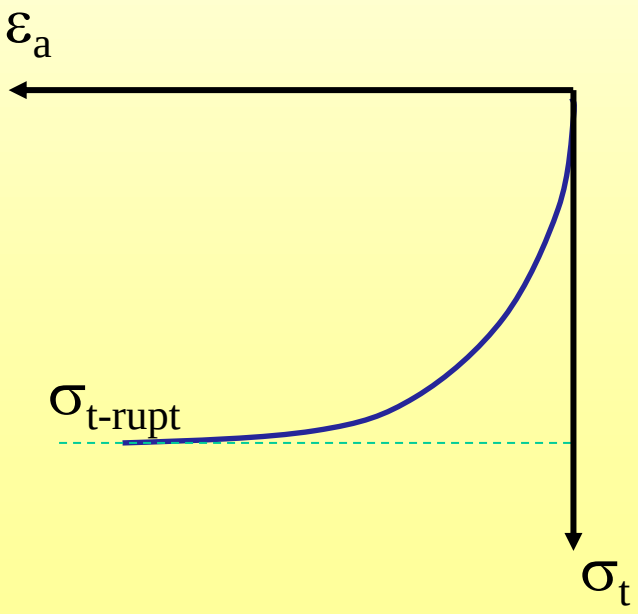
Resistência dos solos





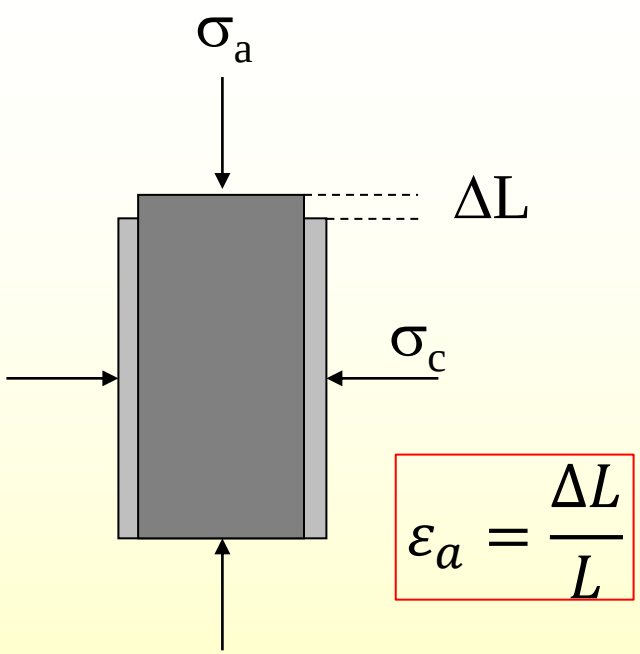




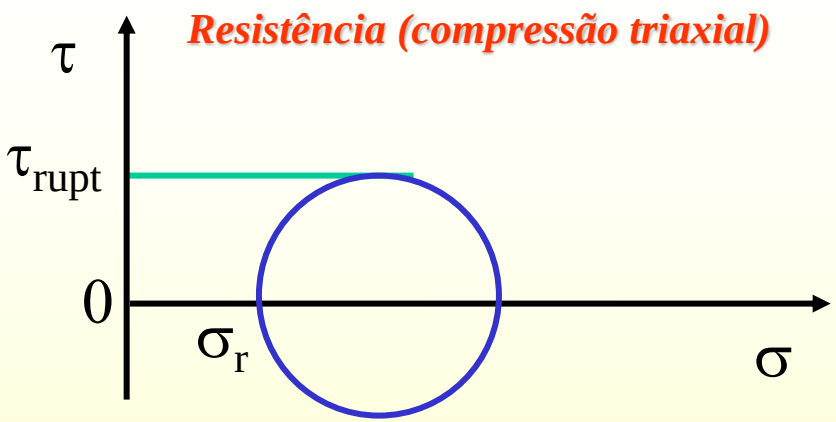


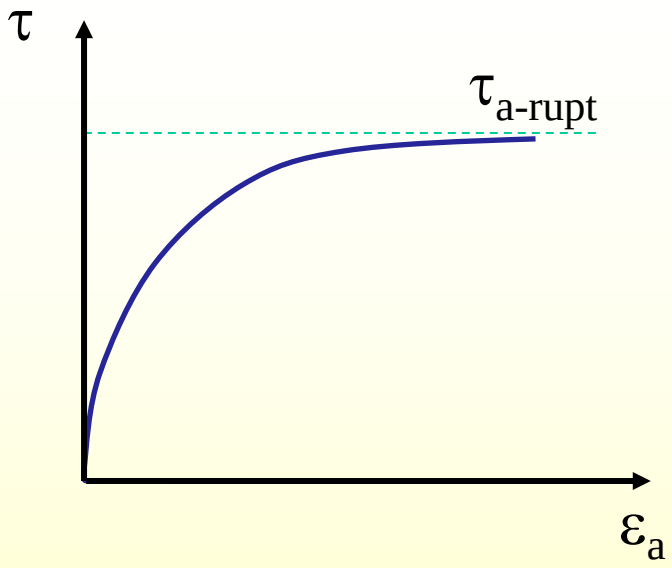
Baseado em Atkinson (2014)

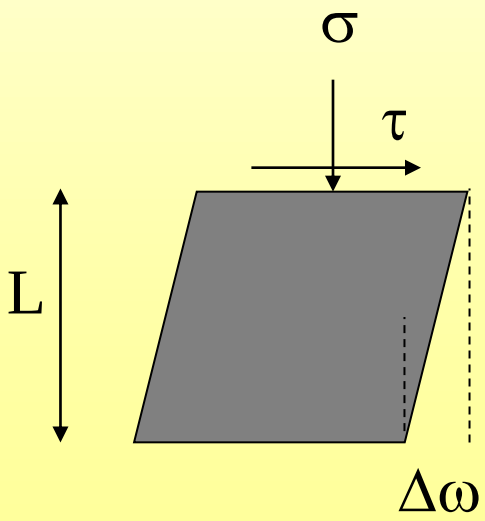
Resistência dos solos



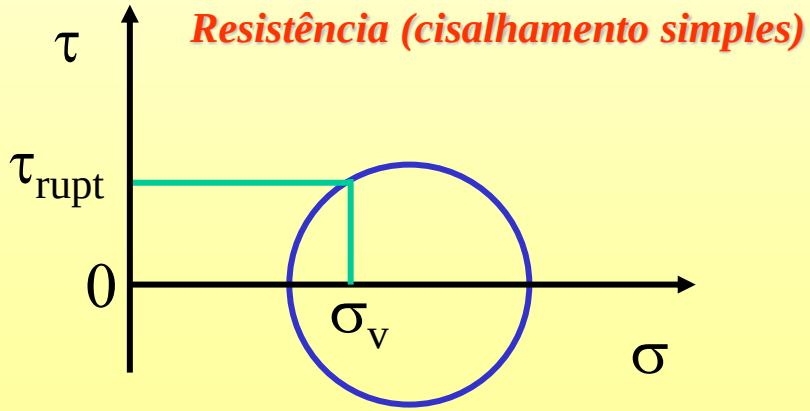
$$\varepsilon_a = \frac{\Delta L}{L}$$

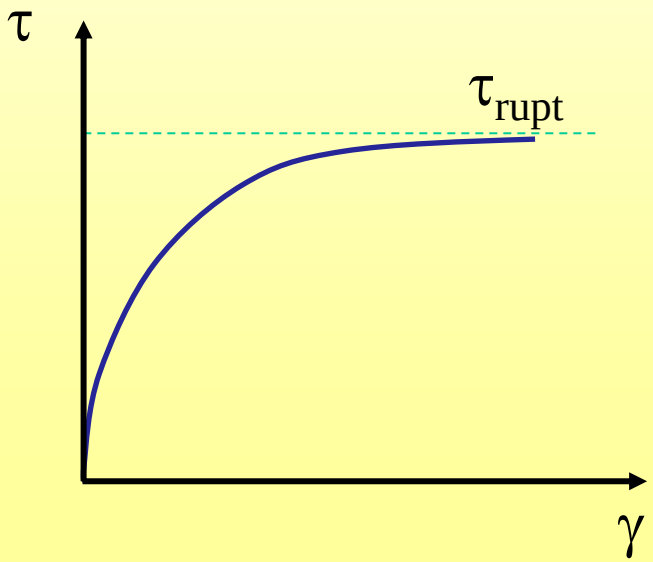






$$\gamma = \frac{\Delta \omega}{L}$$



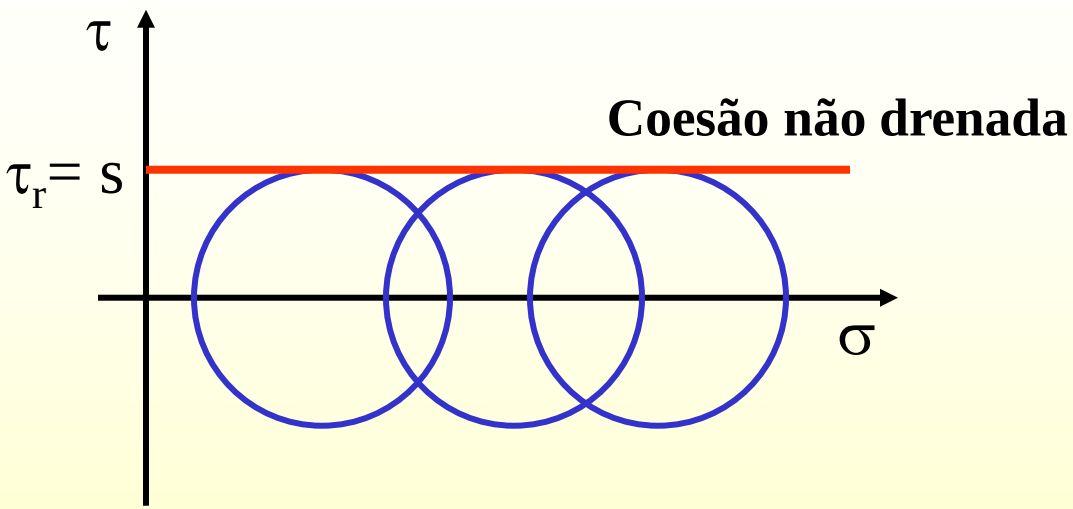


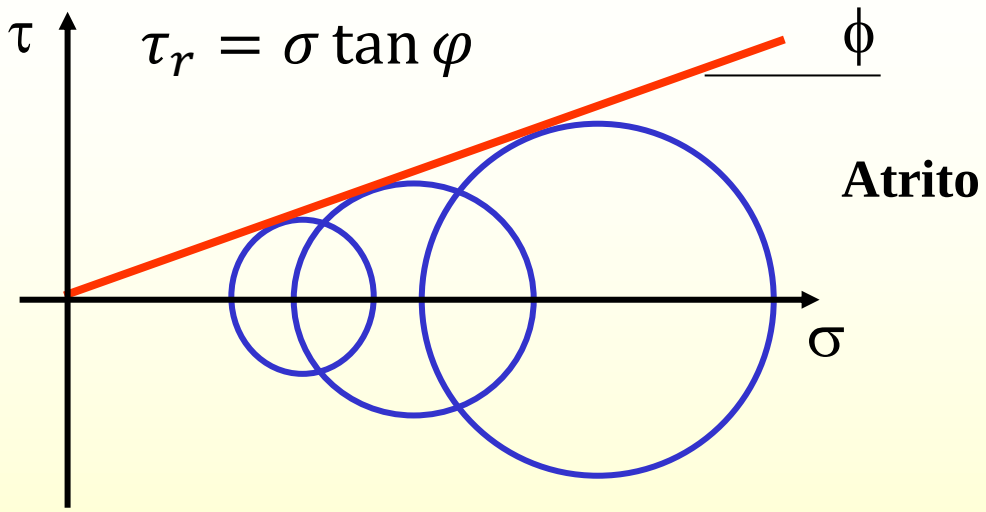
Baseado em Atkinson (2014)

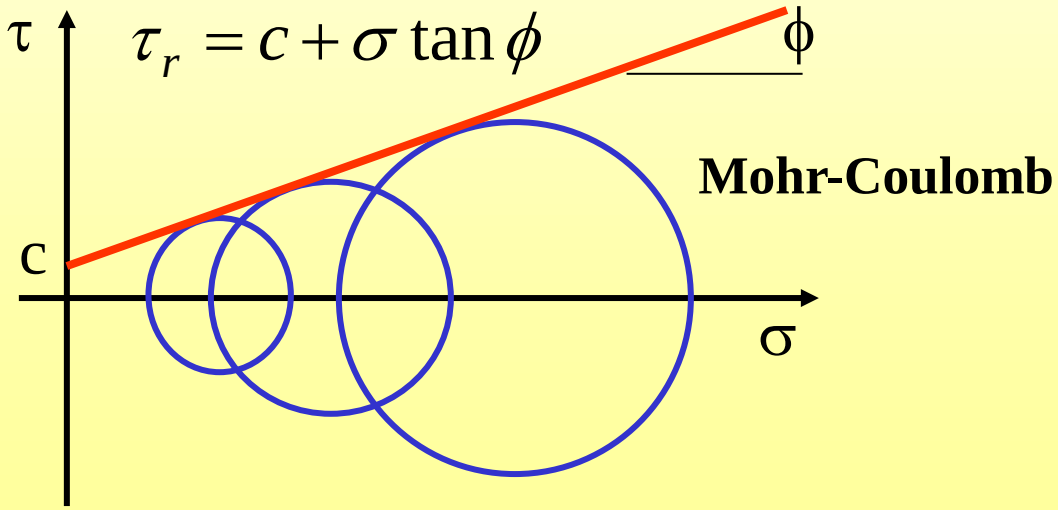
Resistência dos solos

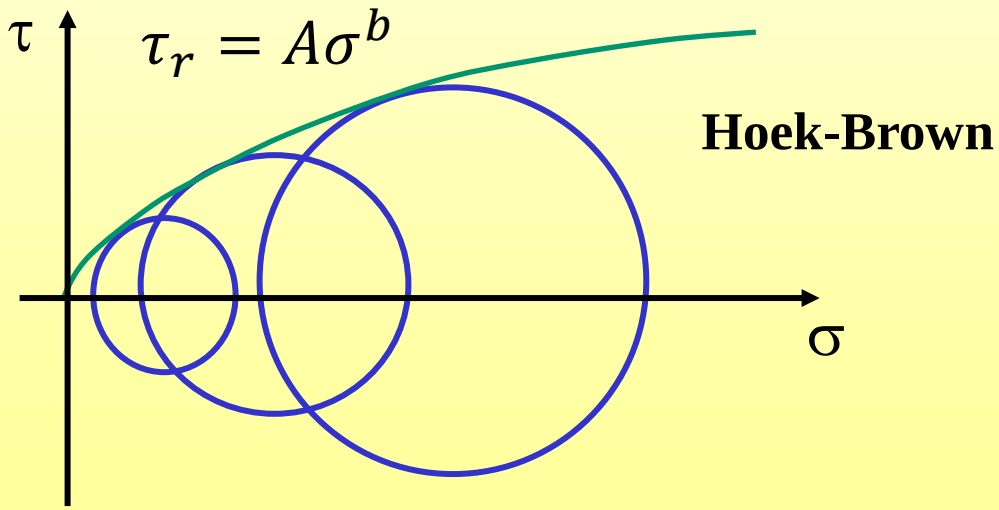
- ✓ **Os solos podem sustentar tensões cisalhantes.**
- ✓ **Apenas materiais com resistência ao cisalhamento podem ter taludes.**

Principais critérios de ruptura

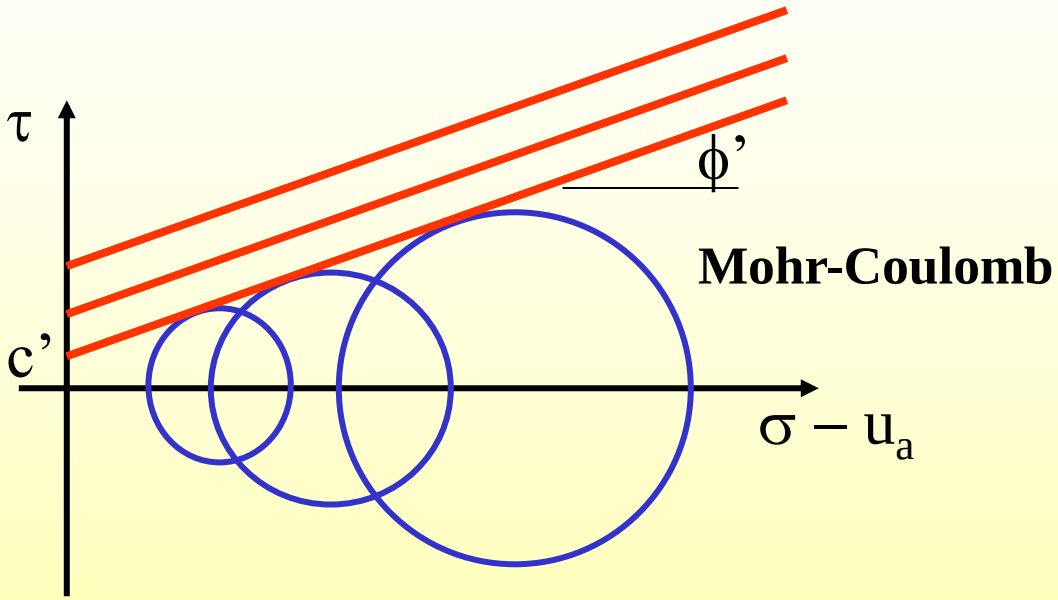


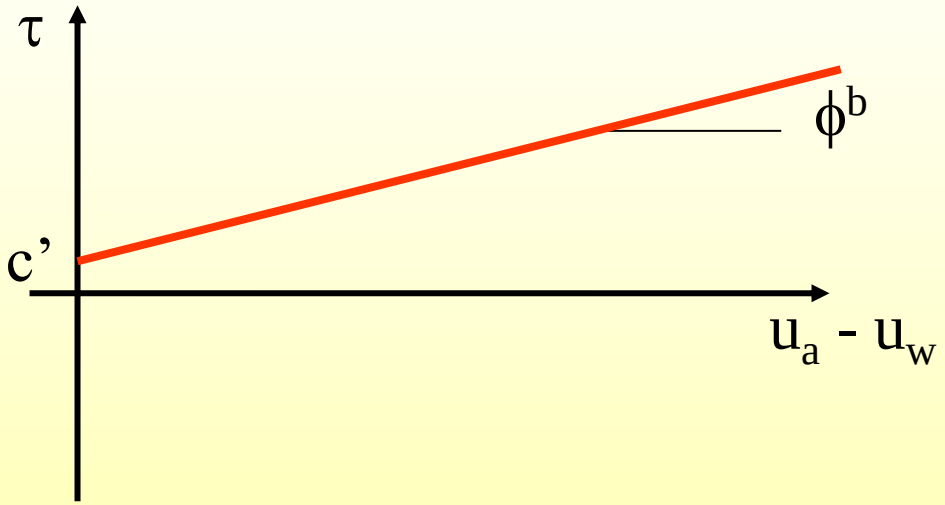






Critérios de ruptura – Solos Não Saturados



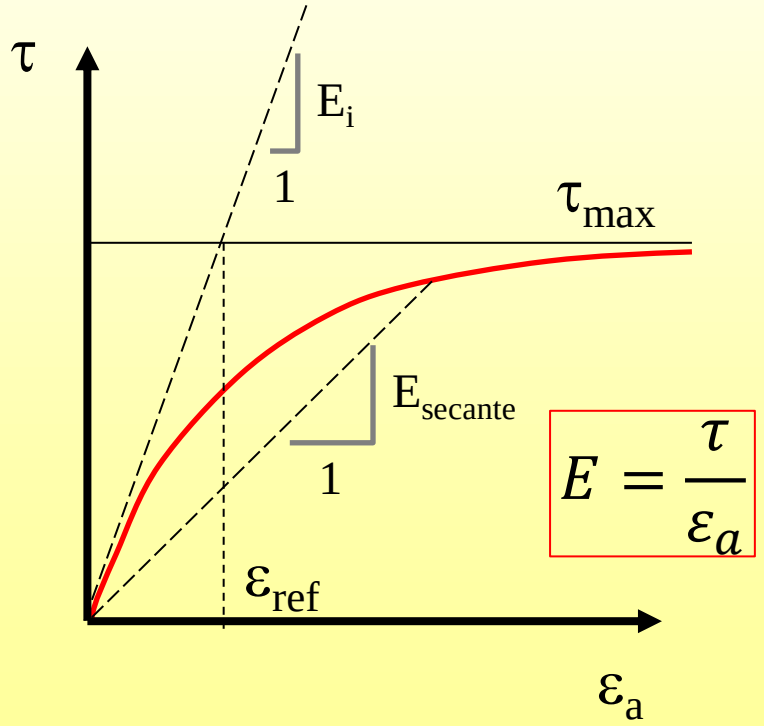


$$\tau_r = c + \sigma \tan\varphi + (u_a - u_w) tan\varphi^b$$

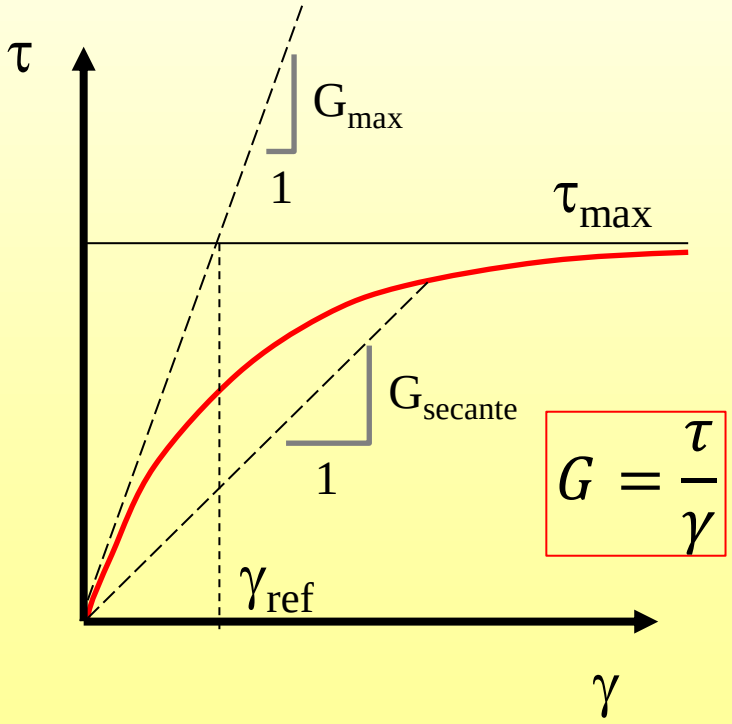
Comportamento Tensão-Deformação, Rigidez e Resistência

- Para se poder analisar qualquer tipo de estrutura, ou qualquer material sólido é necessário se ter a relação entre tensão e deformação.
- Esta relação pode ter várias formas dependendo do material e do carregamento imposto.

Curva Tensão-Deformação e os módulos



$$E = \frac{\tau}{\varepsilon_a}$$



$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

Rupturas

Próximo a Cusco, Peru in 2018.
https://en.wikipedia.org

Angra dos Reis (2010) – Foto por
Claudio Amaral

Determinação de parâmetros de resistência

Amostras e áreas representativas

Ensaios de Campo

Amostradores
Blocos
Compactada
Reconstituída

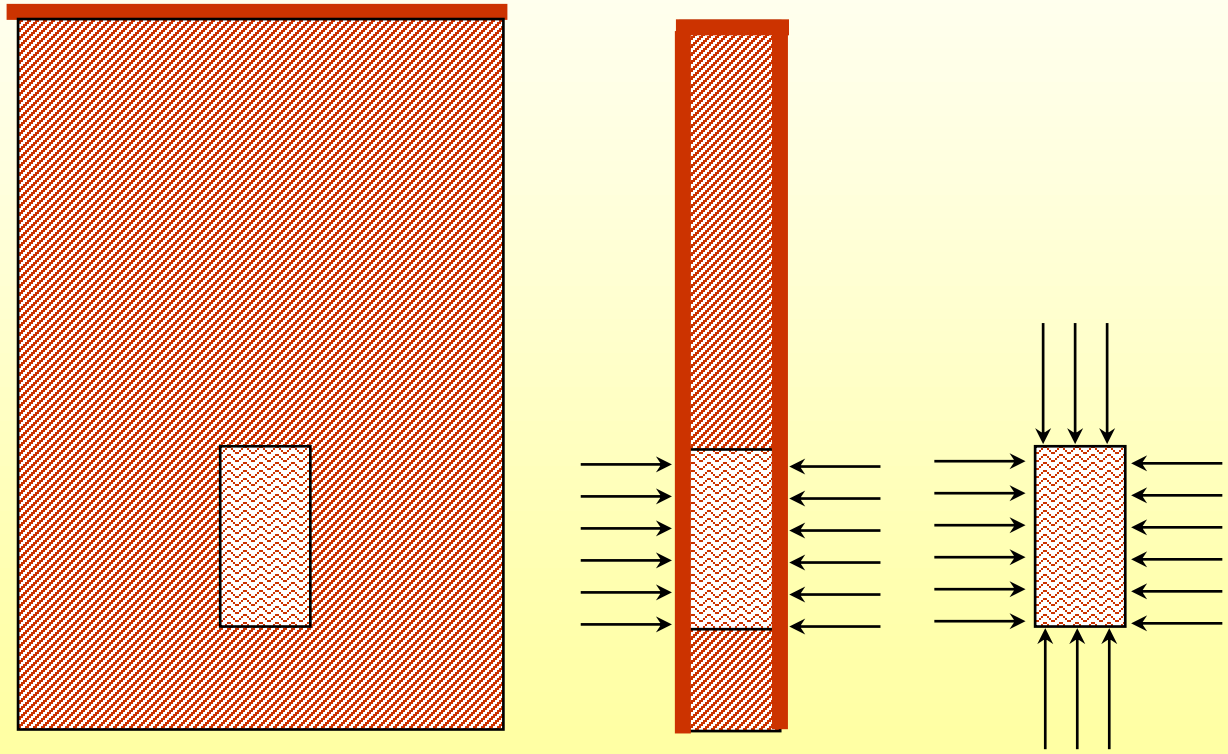
Ensaios de Laboratório

Cisalhamento direto
Cisalhamento simples
Triaxial

CPTu
DMT
Vane test
Pressiômetro

Substituição das Tensões de Campo

Amostra indeformada



Substituição das Tensões de Campo

Para uma argila levemente pré-adensada

$$\frac{\sigma'_s}{\sigma'_{ps}}$$

0.25 a 0.5 (baixa profundidade, baixo OCR)
0.05 a 0.25 (profundo, OCR <1.5)

Recomendação para o amostrador

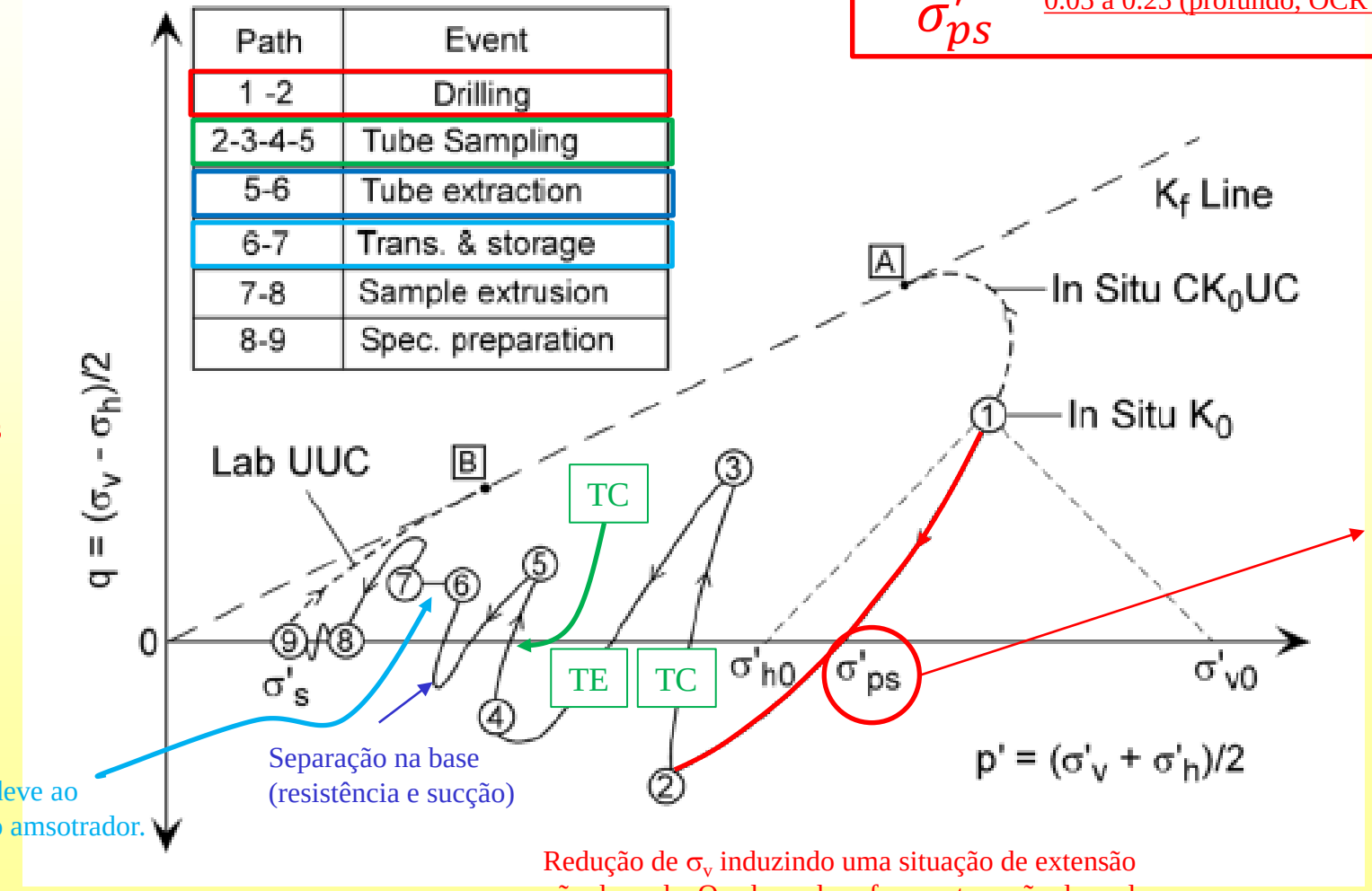
- Tubo com diâmetro externo > 76 mm
- Do/t > 45 (fortemente biselado)
- ICR << 0.5% ou zero.
- Tubos sempre novos. De latão, aço inox ou revestido

Recomendação para o pistão

- Usar pistão estacionário (fixo)

Recomendação para retirada do C.P.

- Cortar o tubo no comprimento próximo ao que será usado.
- Não usar cortador de tubos. Usar serra de fita ou manual.
- Determinar teor de umidade e ensaios simples como Torvane ou cone no solo acima e abaixo da parte cortada.
- Usar uma corda de violino para separar a amostra da parede.
- A moldagem deve ser em local com umidade relativa elevada.



Amostragem ideal

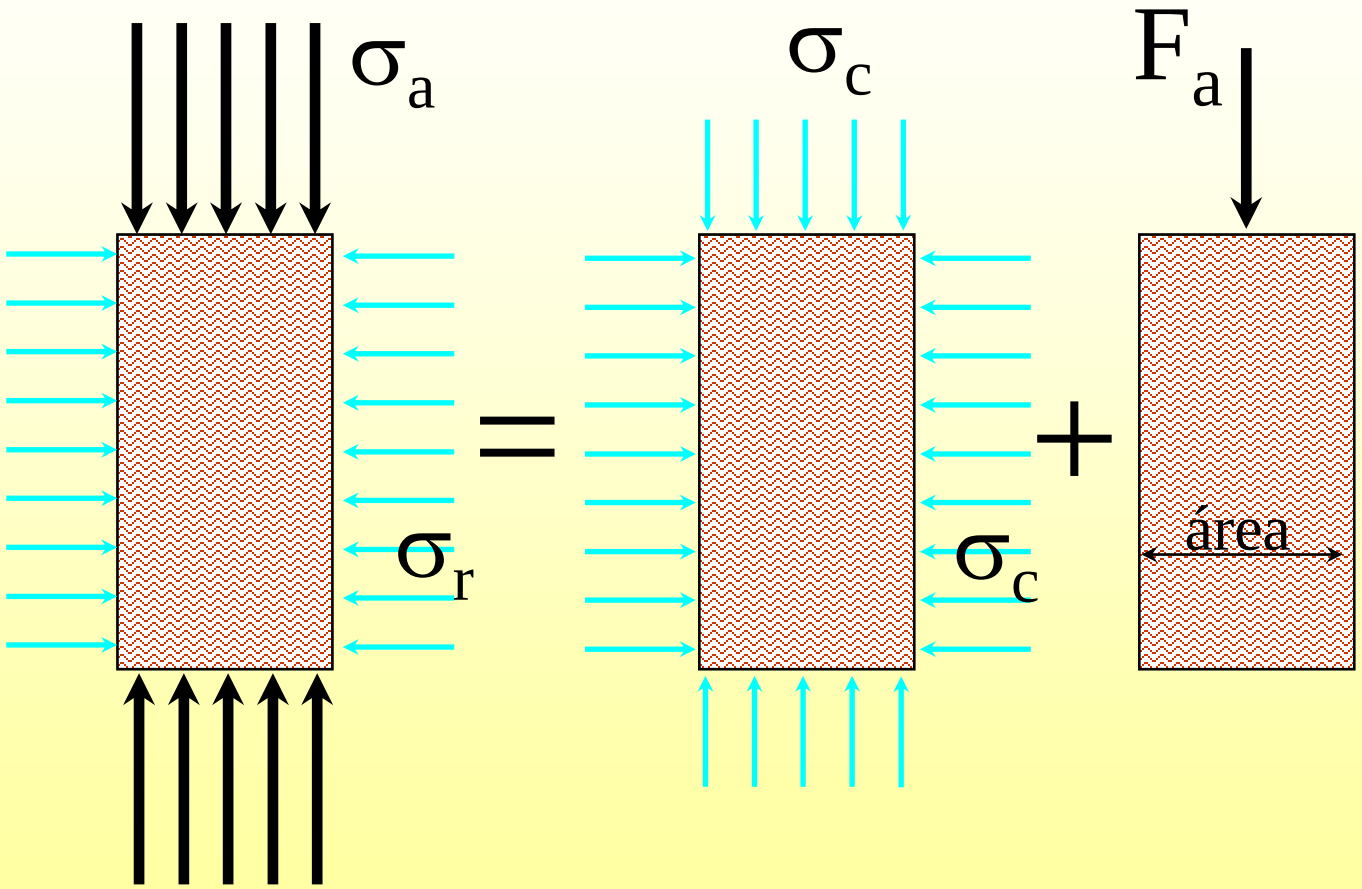
Manuseio com muito cuidado
Manter temperatura constante
A redução da tensão efetiva se deve ao equilíbrio d eumidade dentro do amsotrador.

Separação na base
(resistência e sucção)

Redução de σ_v induzindo uma situação de extensão não drenada. O solo pode sofrer ruptura não drenada se a lama de perfuração for muito pouco pesada.

Ladd & De Groot (2003)

Substituição das Tensões de Campo

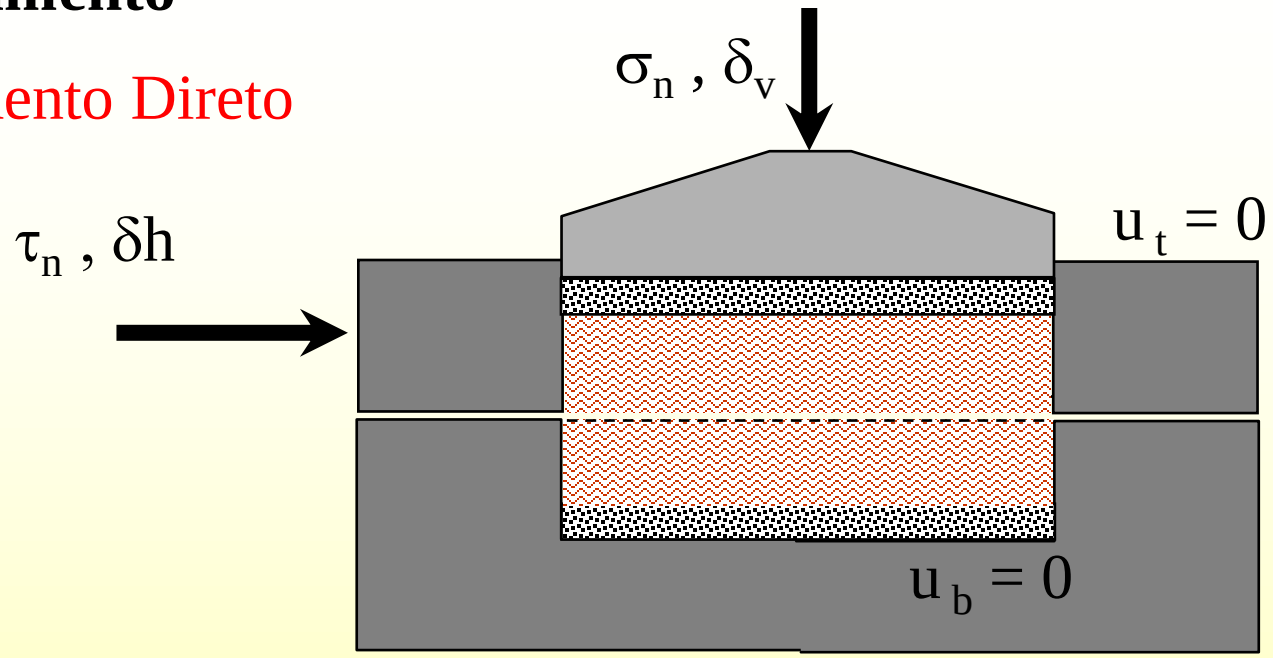


σ_r = Tensão radial = σ_c (tensão confinante)

Ensaios para a Determinação da Resistência dos Solos

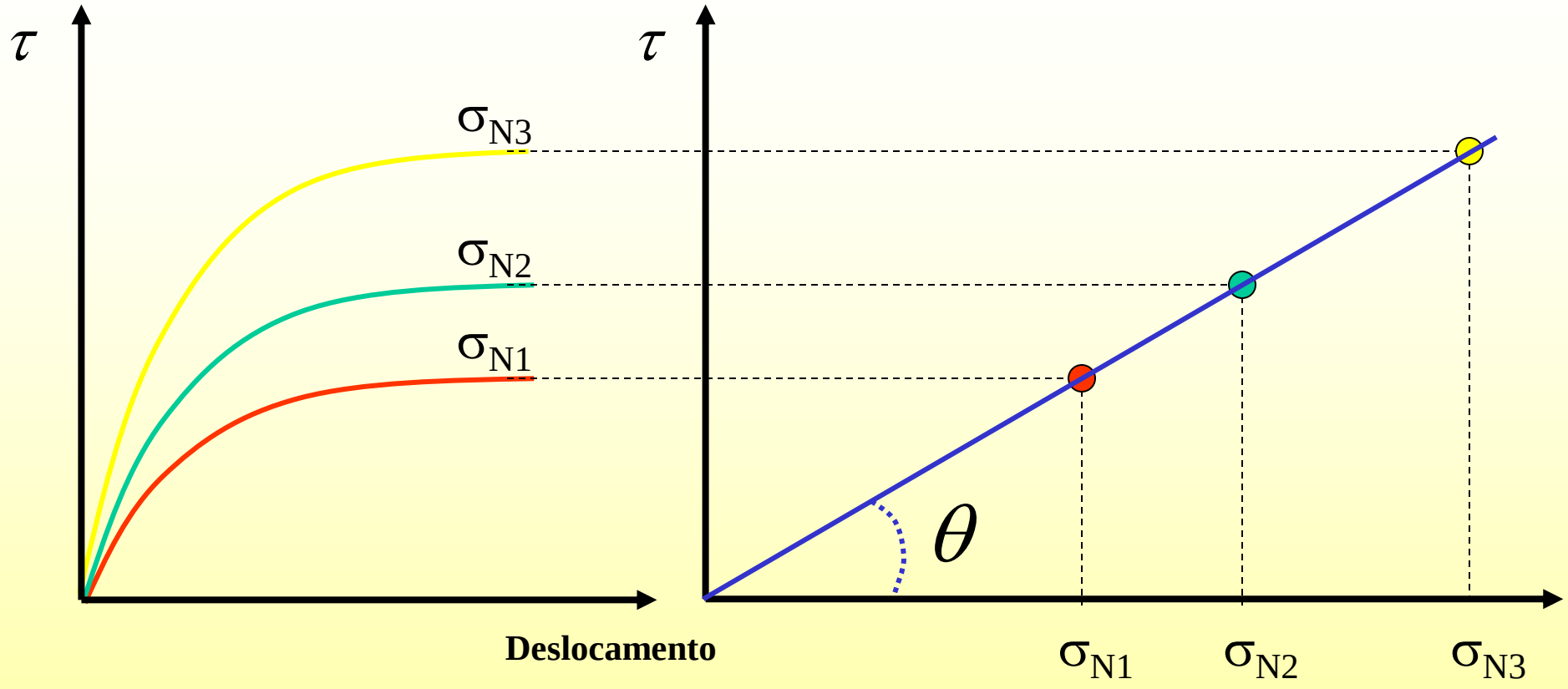
Ensaio de Cisalhamento

Cisalhamento Direto



- ✓ Obrigado a cisalhar ao longo de um plano horizontal definido pela separação entre caixas.
- ✓ σ_n = aplicado por pesos ou controlado por pistão.
- ✓ τ imposto com deslocamentos com velocidade constante. Alguns sistemas controlam a tensão.
- ✓ δh e δv medidos.
- ✓ Drenagem pelo topo e pela base.
- ✓ u_t e u_b iguais a zero.
- ✓ Caso o solo seja argiloso e o ensaio seja relativamente rápido pode-se considerar o ensaio não drenado, no entanto não se pode medir a poro-pressão.
- ✓ O estado de tensão e deformação não são uniformes, particularmente nas bordas.

Ensaio de Cisalhamento

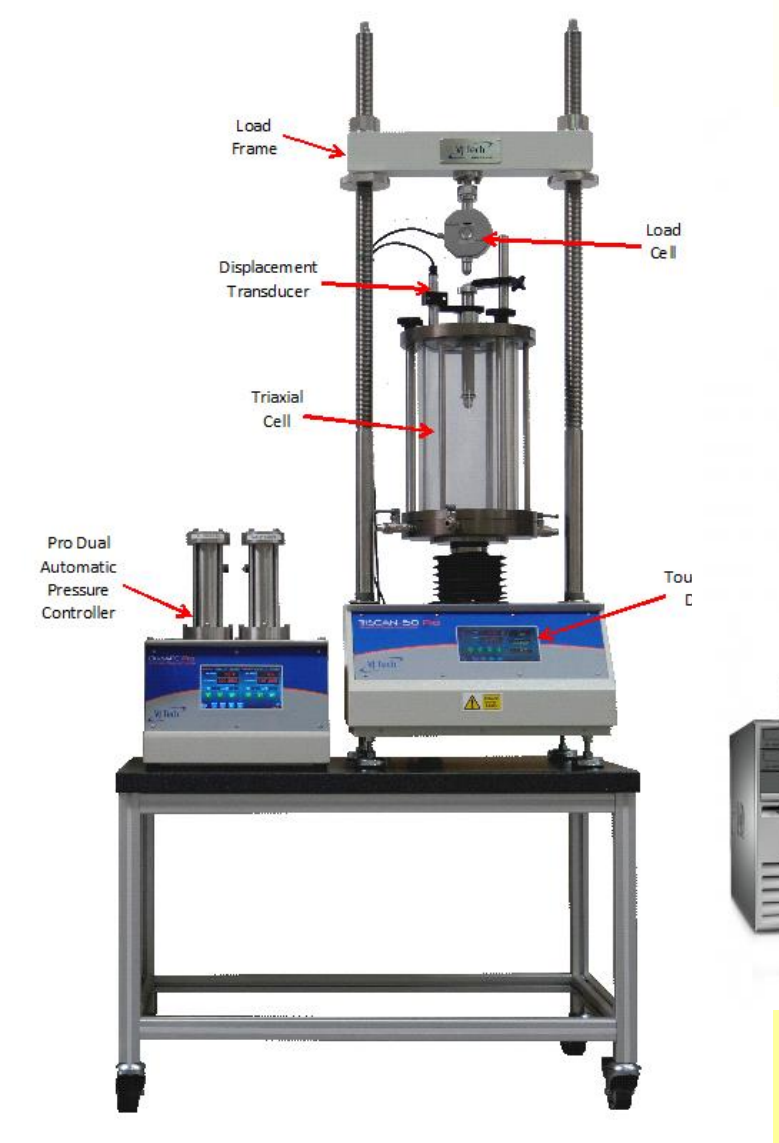


$$\tau = \sigma \tan \theta$$

Ensaio Triaxial Convencional

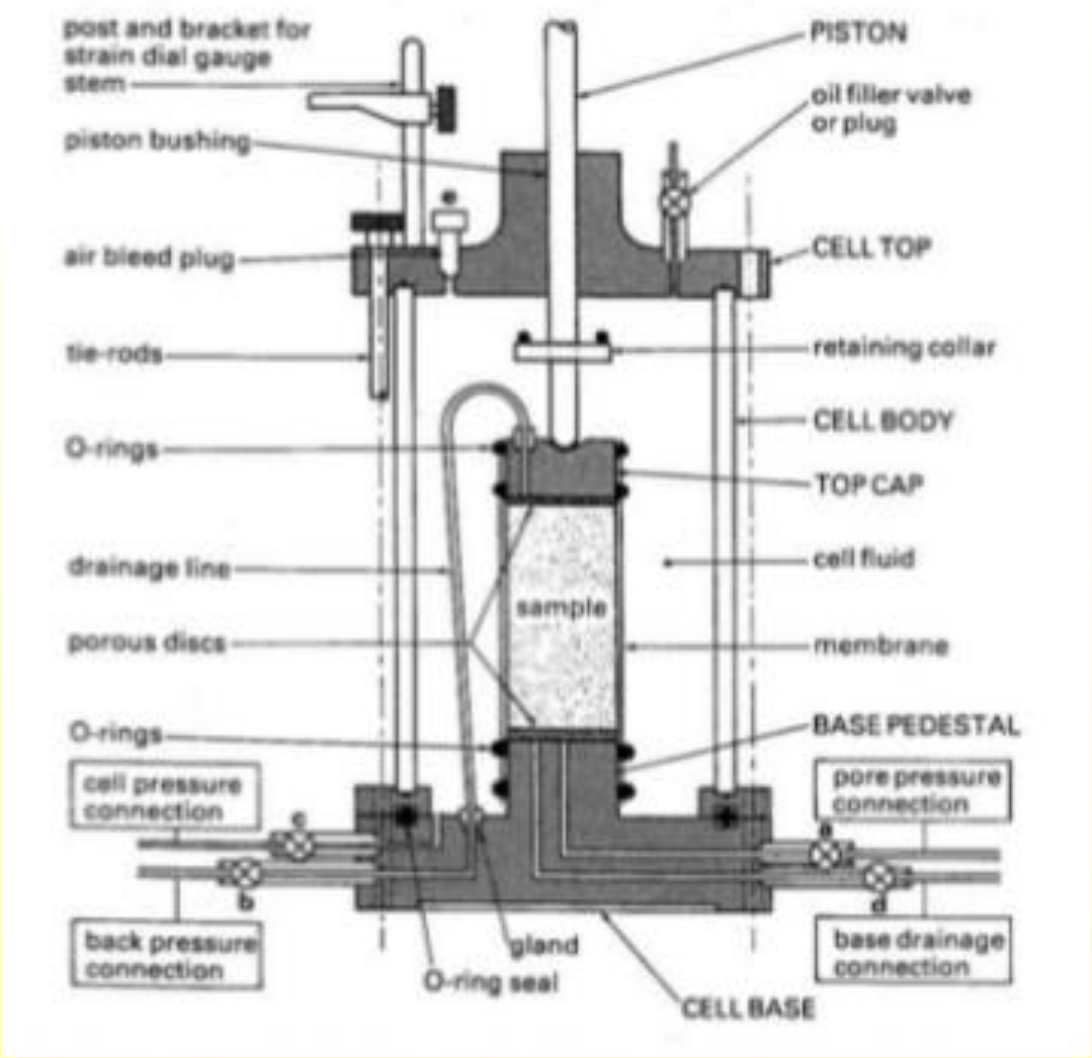
O ensaio triaxial é o mais comum e versátil ensaio para solos existente.

Adensamento
Resistência
Condutividade hidráulica



Ensaio Convencional

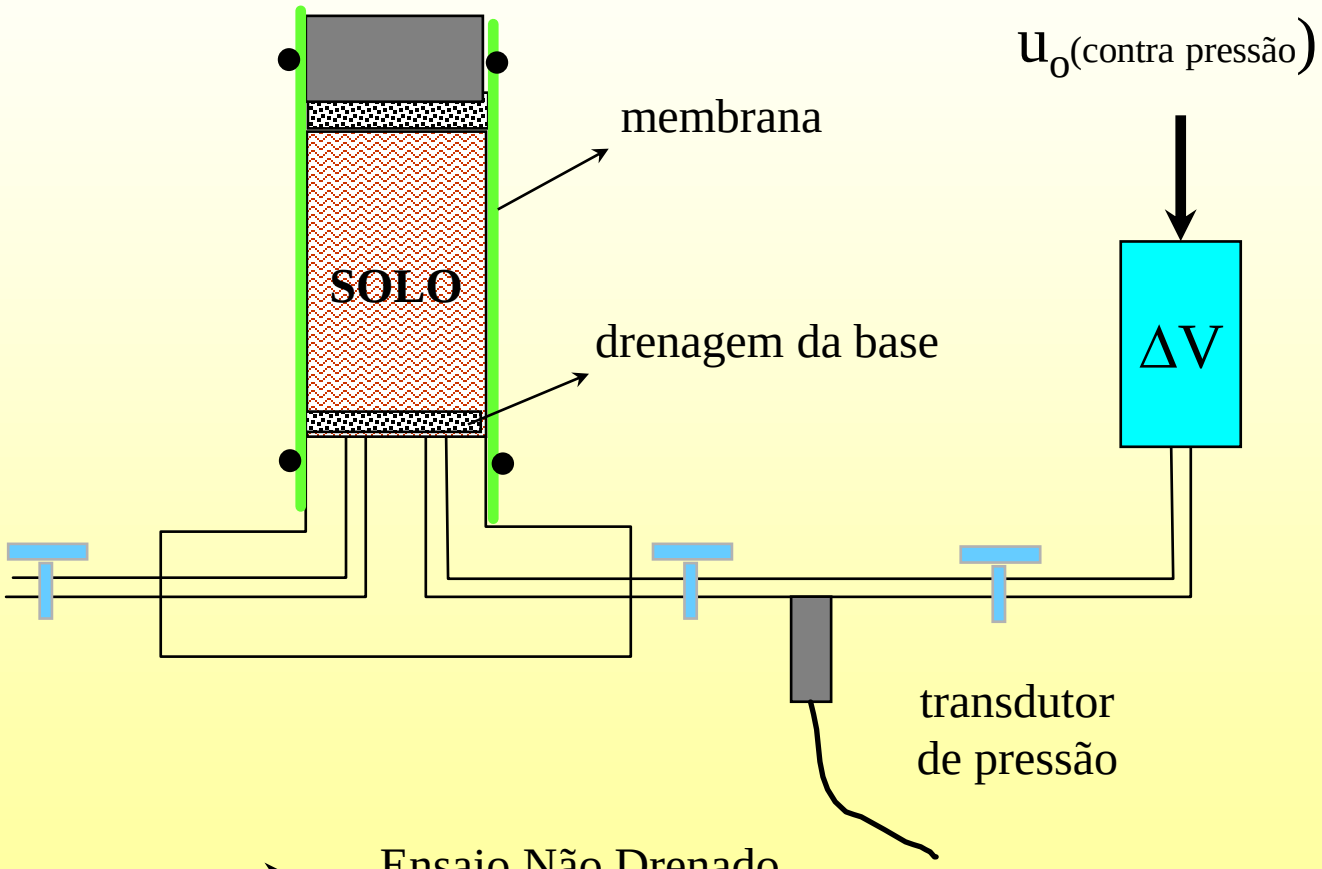
- A amostra é comprimida isotropicamente até o estado inicial requerido.
- O pistão é então posto em contato com o cabeçote. Toma-se como zero as deformações e a amostra é cisalhada pelo aumento da tensão desviadora (q).
- Isto pode se dar de forma drenada ou não drenada.
- O carregamento é feito com deformação controlada, ou tensão controlada
- Caso a pressão confinante seja nula o ensaio é conhecido com compressão simples.



Head (1986)

Detalhes do Equipamento

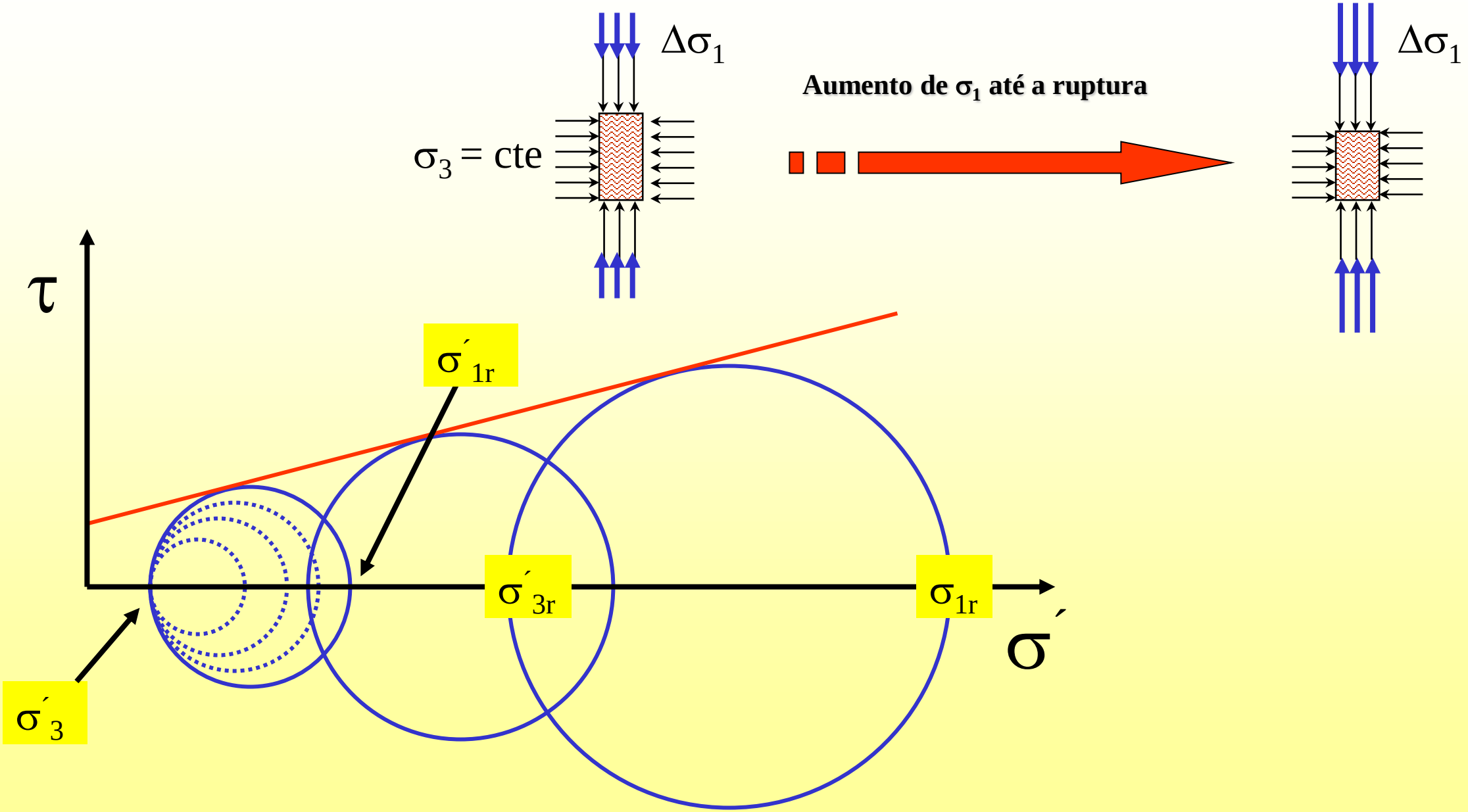
Para controlar a drenagem e medição de poro-pressão a amostra deve ser isolada dentro de uma membrana impermeável. A água dos poros é conectada a um transdutor de pressão e a um medidor de volume.



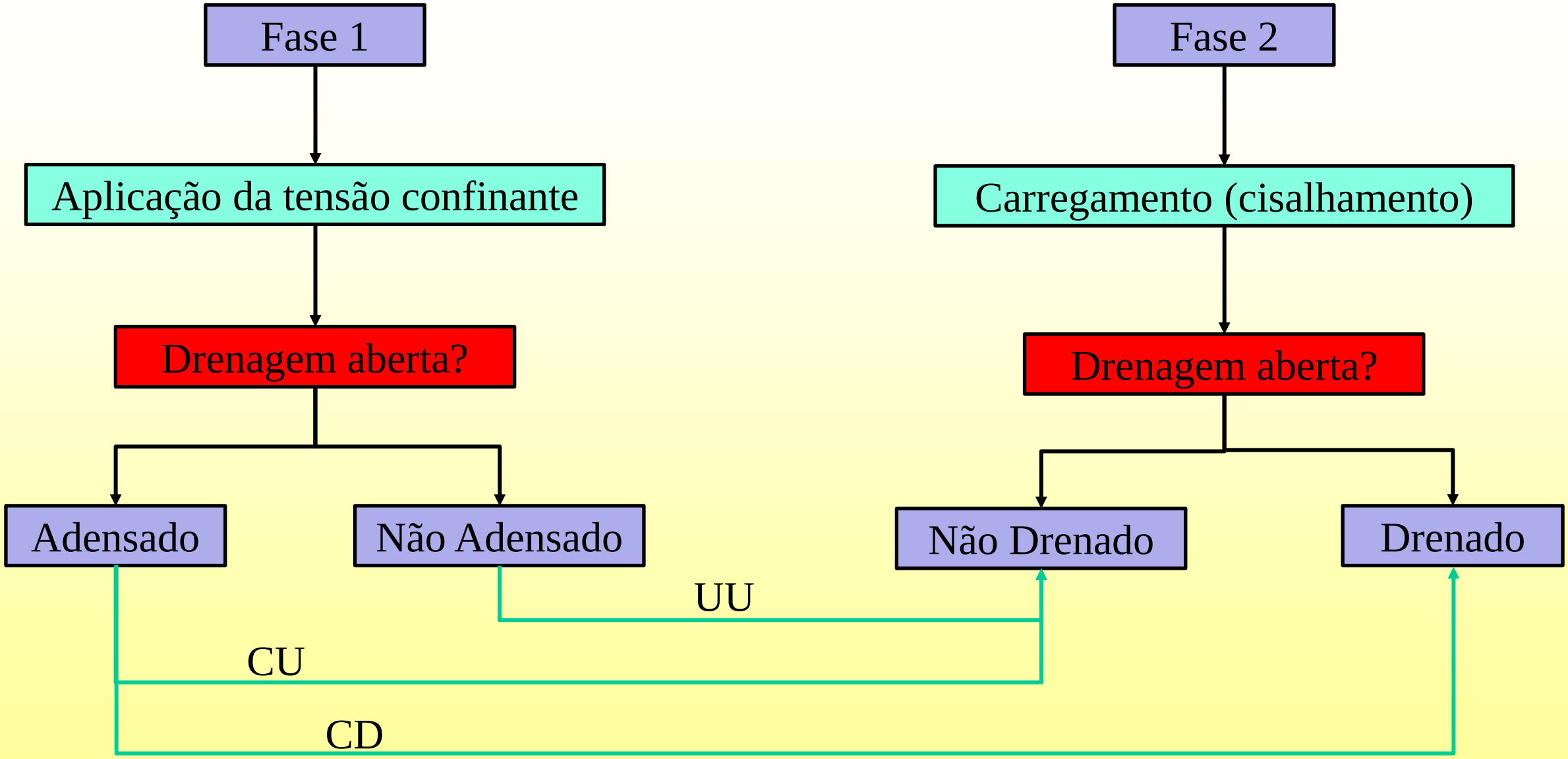
Válvulas Fechadas → Ensaio Não Drenado

Válvulas Abertas → Ensaio Drenado

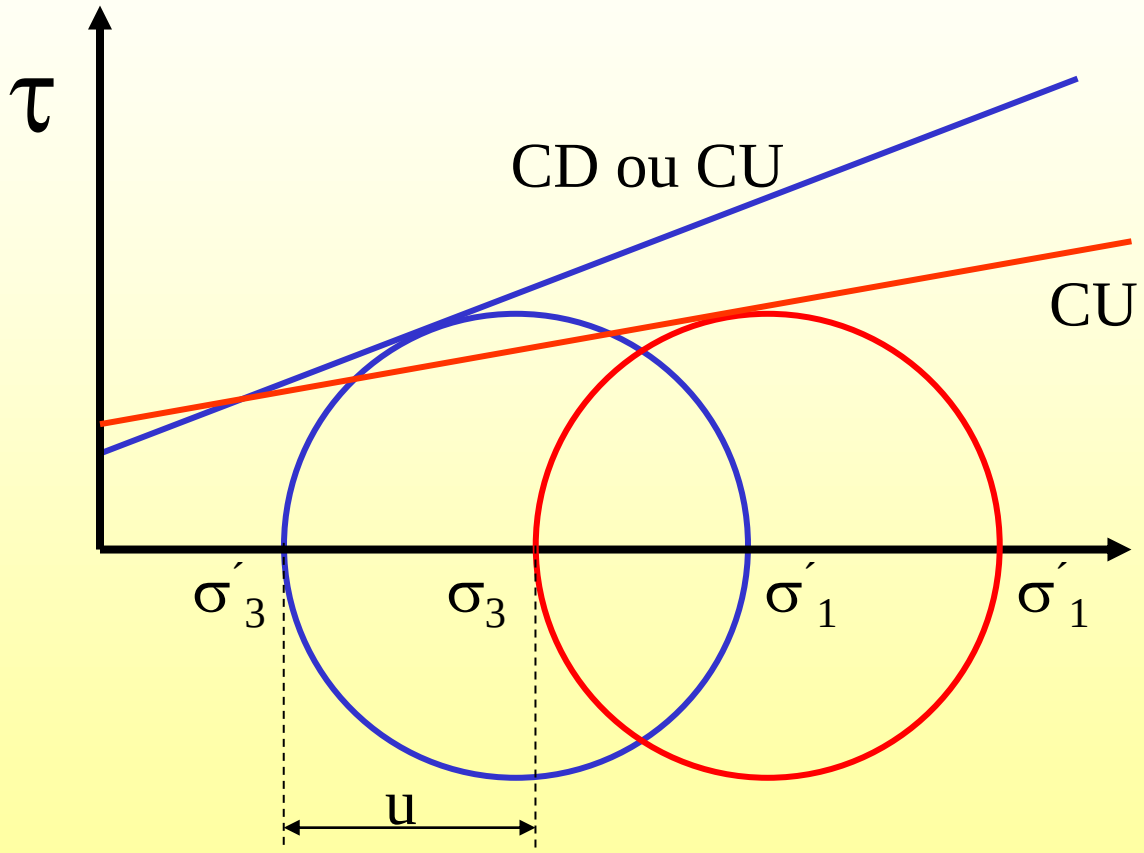
Representação gráfica – Mohr-Coulomb

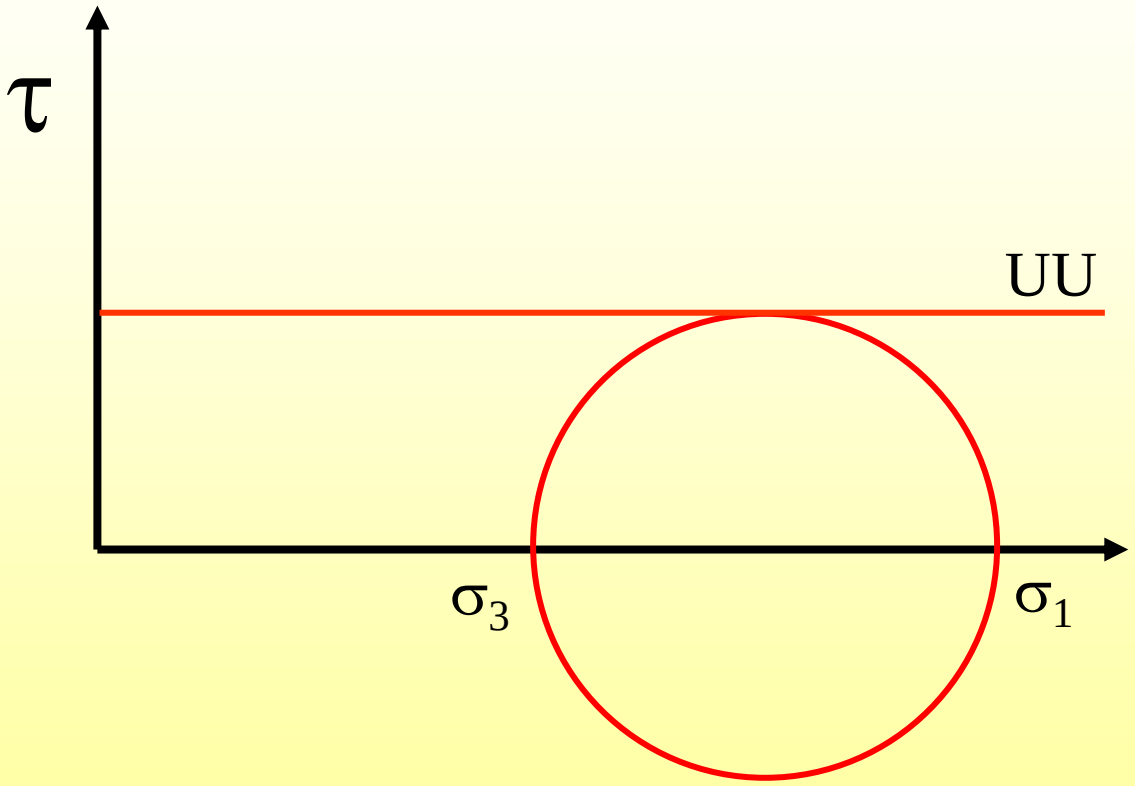


Nomenclatura dos ensaios triaxiais



Tipos de Envoltória





Estabilidade de Taludes