

Parâmetros de Resistência

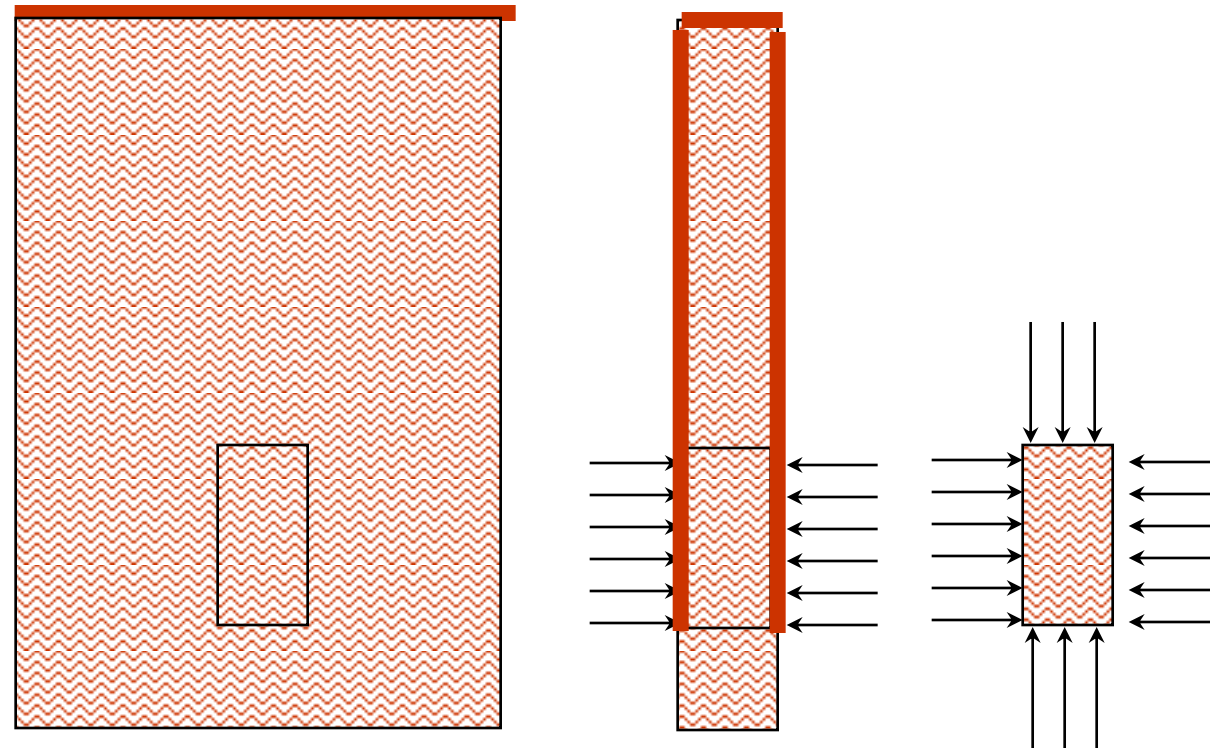
Qual a resistência do solo a ser adotada?

Qual o ensaio mais adequado para estimar essa resistência?

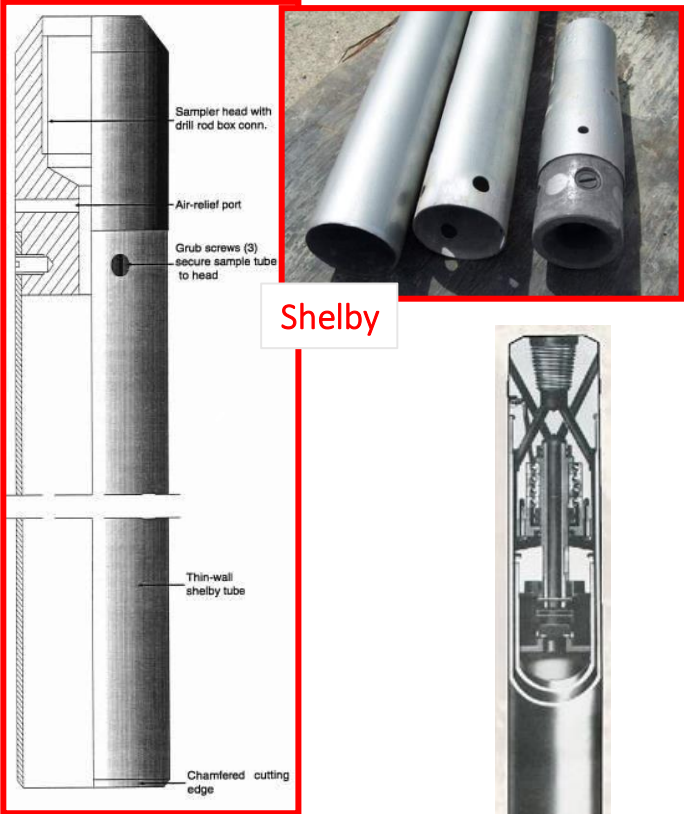
Ensaio triaxiais?

CD, CU, UU?

Substituição das Tensões de Campo



Amostradores



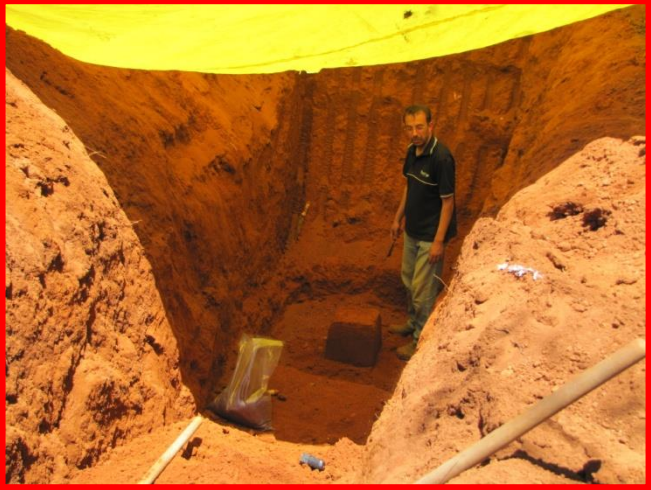
Shelby

Denison

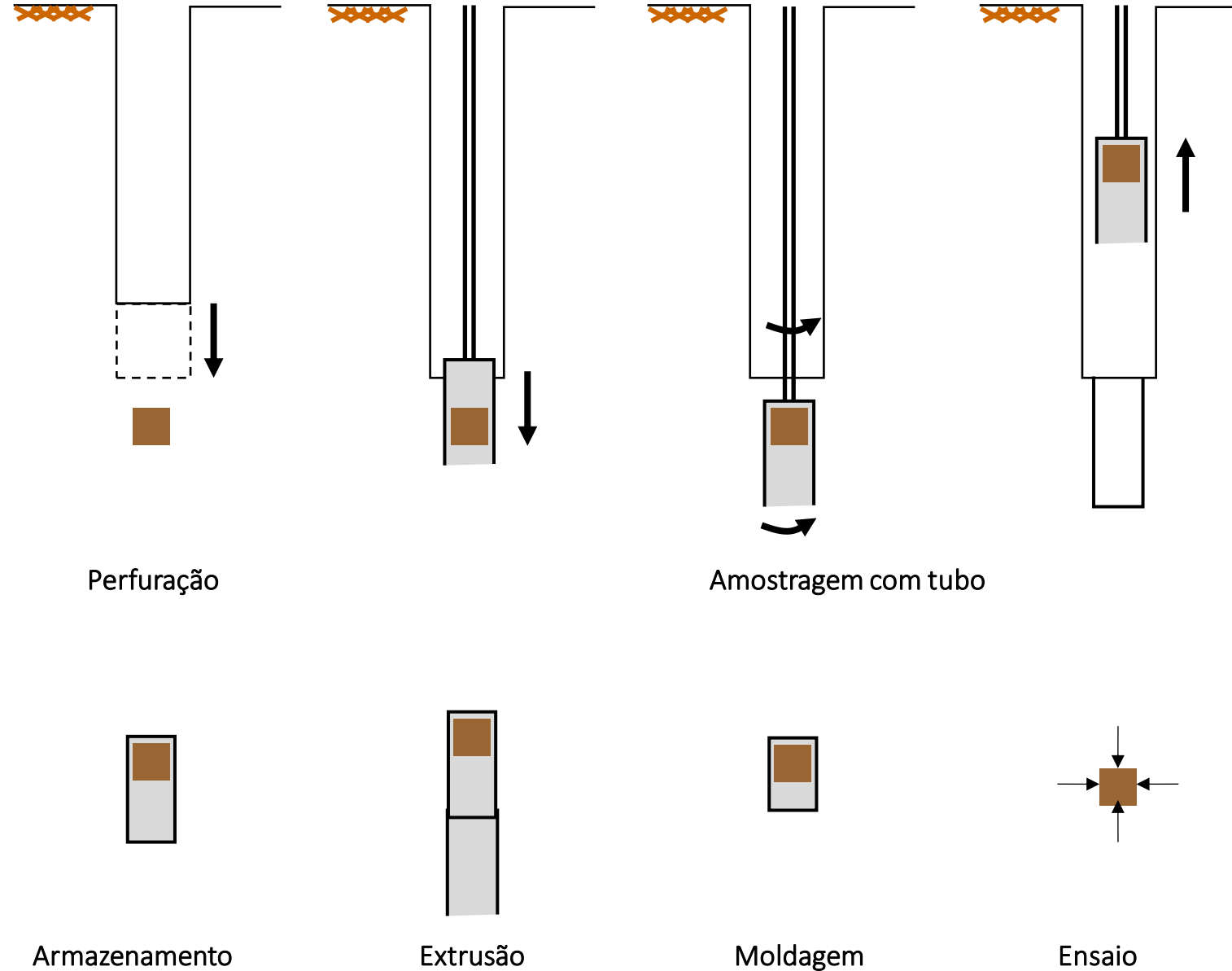


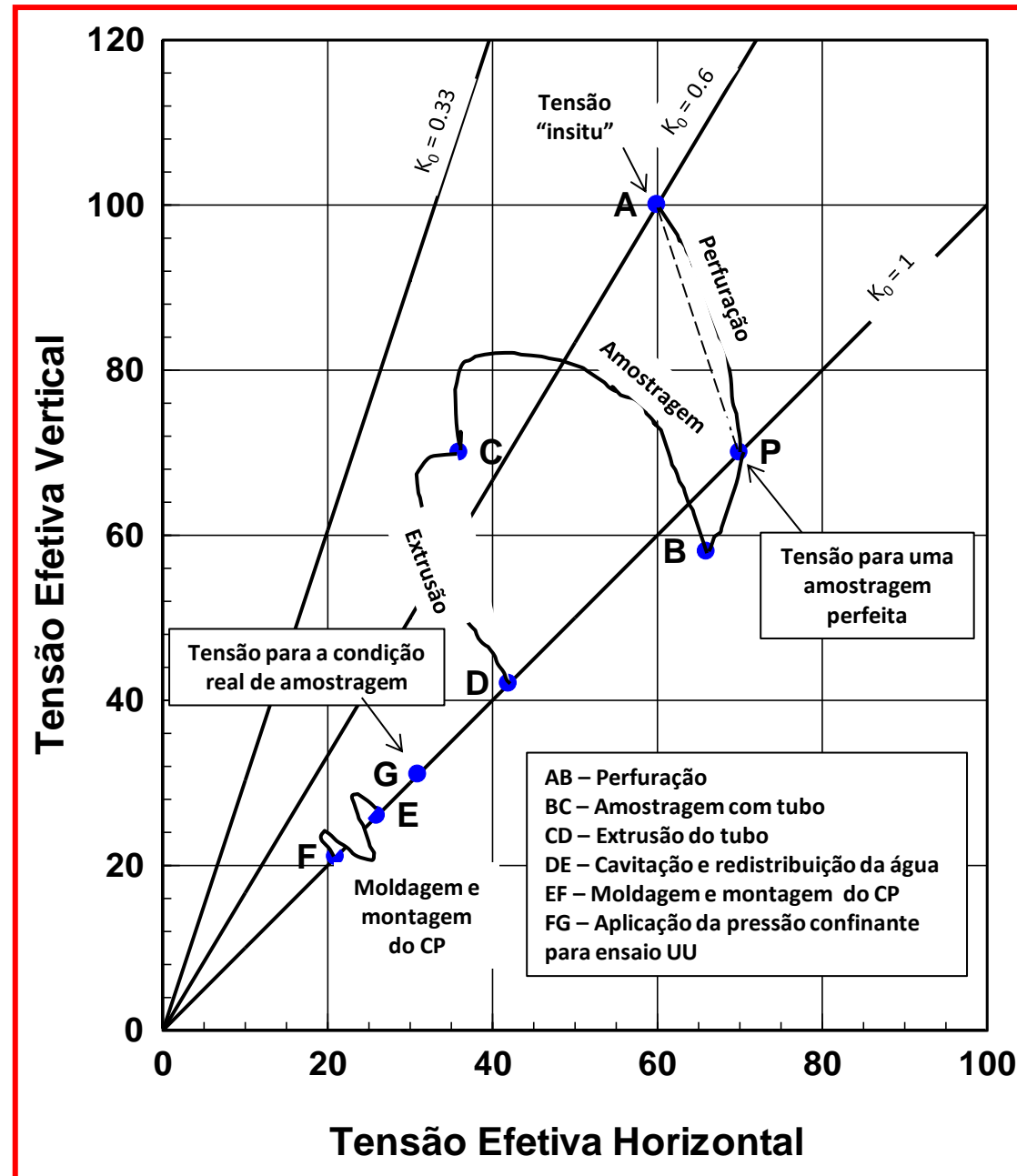
Pitsher

Bloco Indeformado

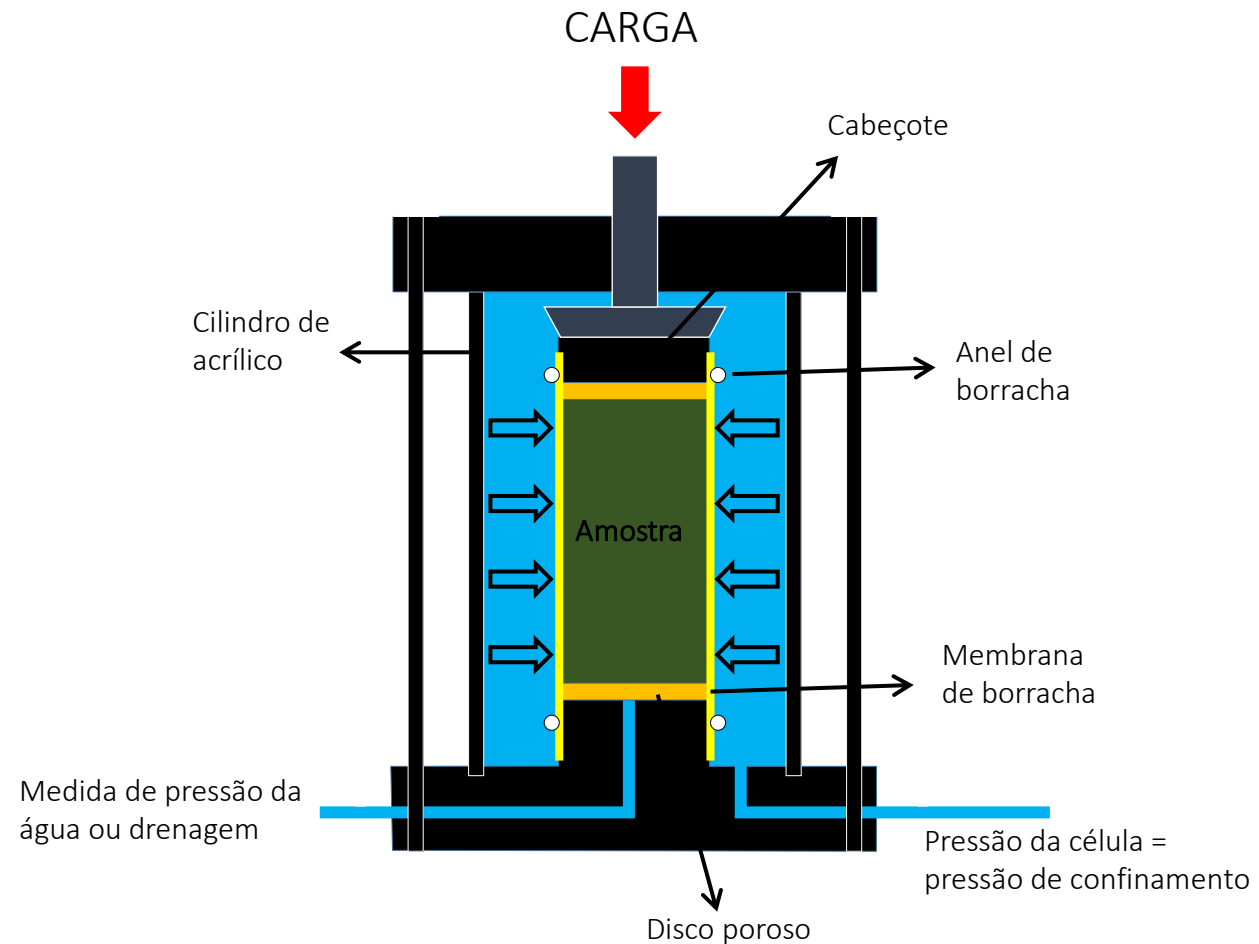


Estágios de amostragem até o ensaio





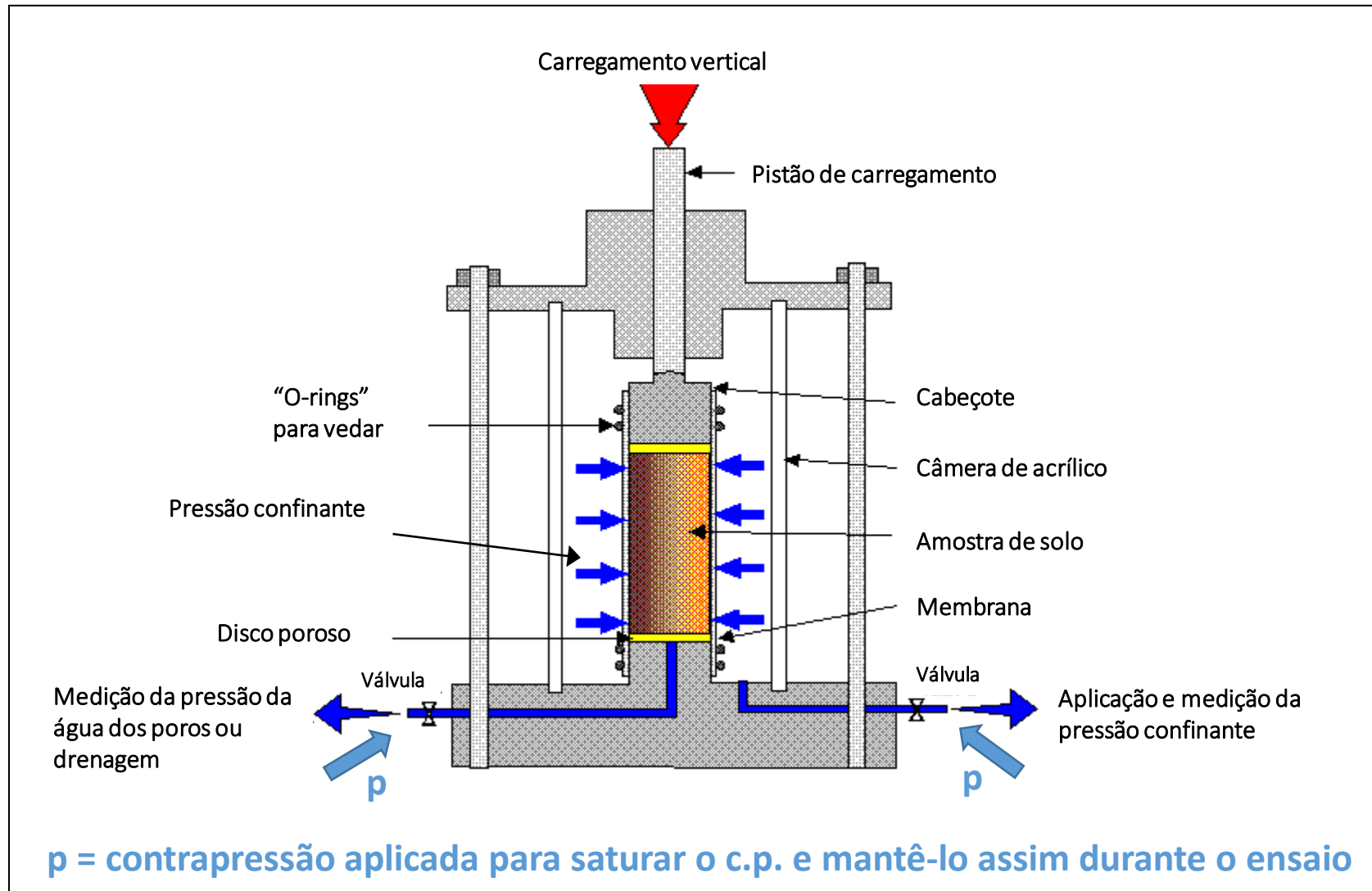
O Ensaio Triaxial Convencional.



O ensaio é normalmente feito em dois estágios:

1. Preparo (também chamado de **“adensamento”**): aumento de σ_3 que aplica um estado hidrostático de tensão ($\Delta\sigma_3 = \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_1$); ausência de cisalhamento
2. Ruptura (também chamado de **“cisalhamento”**): acréscimo de carga axial que introduz cisalhamento (pela componente desviadora do estado de tensão: $\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$)

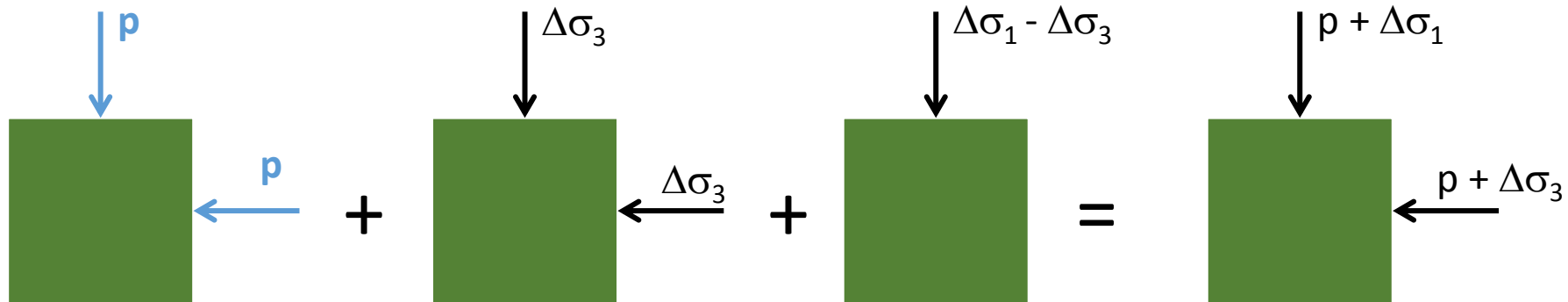
Ensaio Triaxial



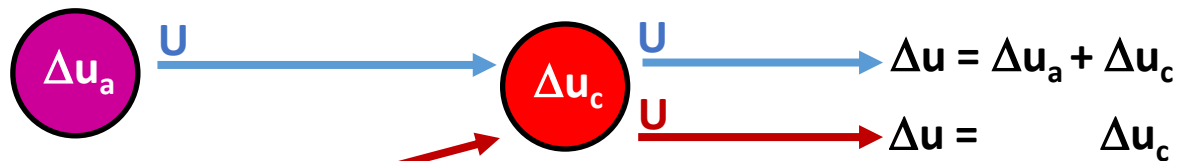
O Ensaio Triaxial **Convencional**.

O ensaio é normalmente feito em dois estágios:

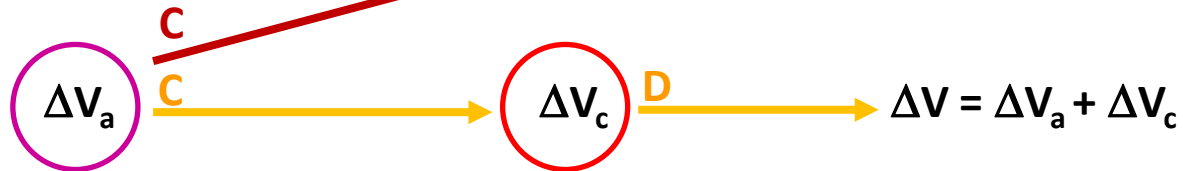
1. Preparo (também chamado de **“adensamento”**): aumento de σ_3 que aplica um estado hidrostático de tensão ($\Delta\sigma_3 = \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_1$); ausência de cisalhamento
2. Ruptura (também chamado de **“cisalhamento”**): acréscimo de carga axial que introduz cisalhamento (pela componente desviadora do estado de tensão: $\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$)



Não drenado



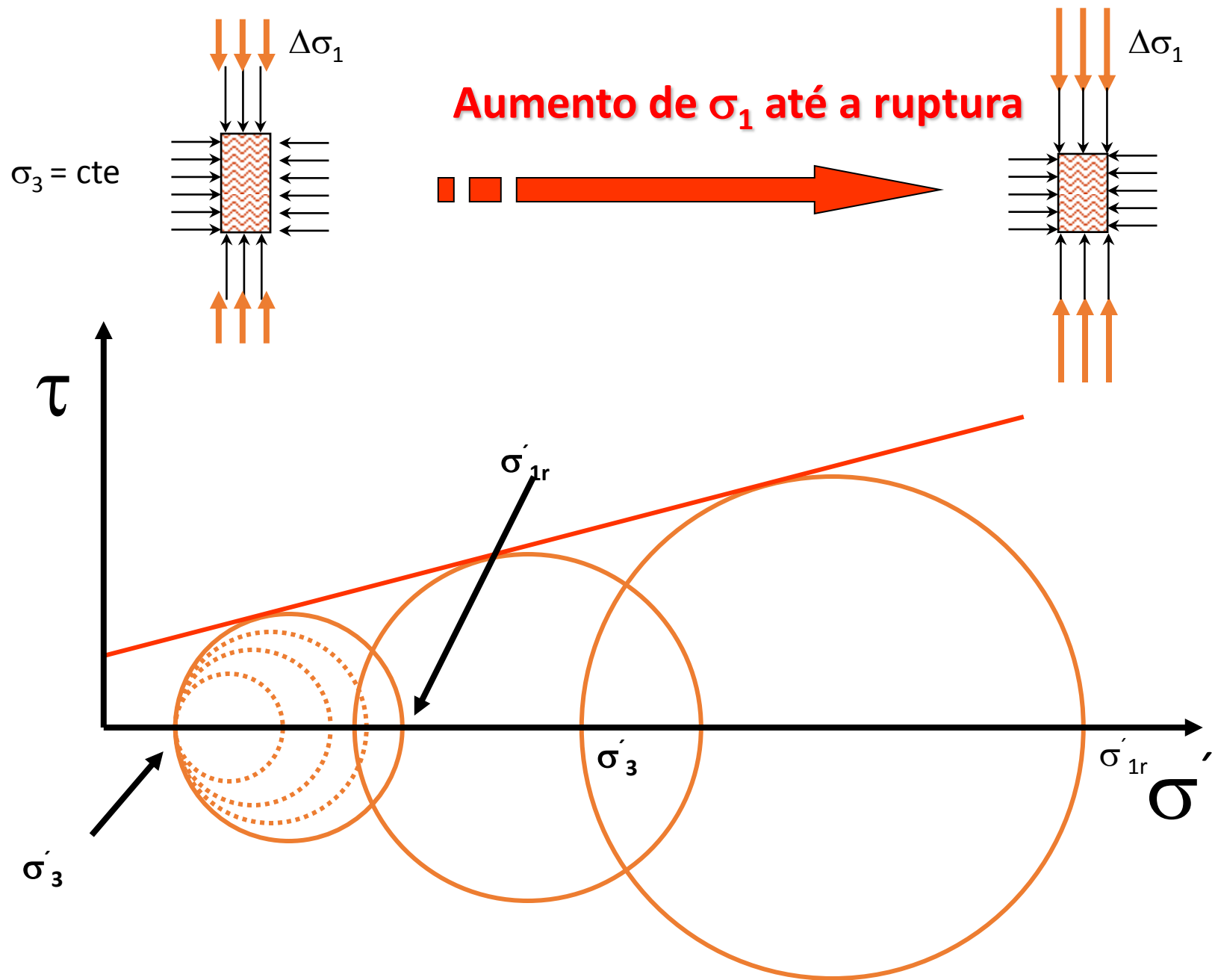
Drenado



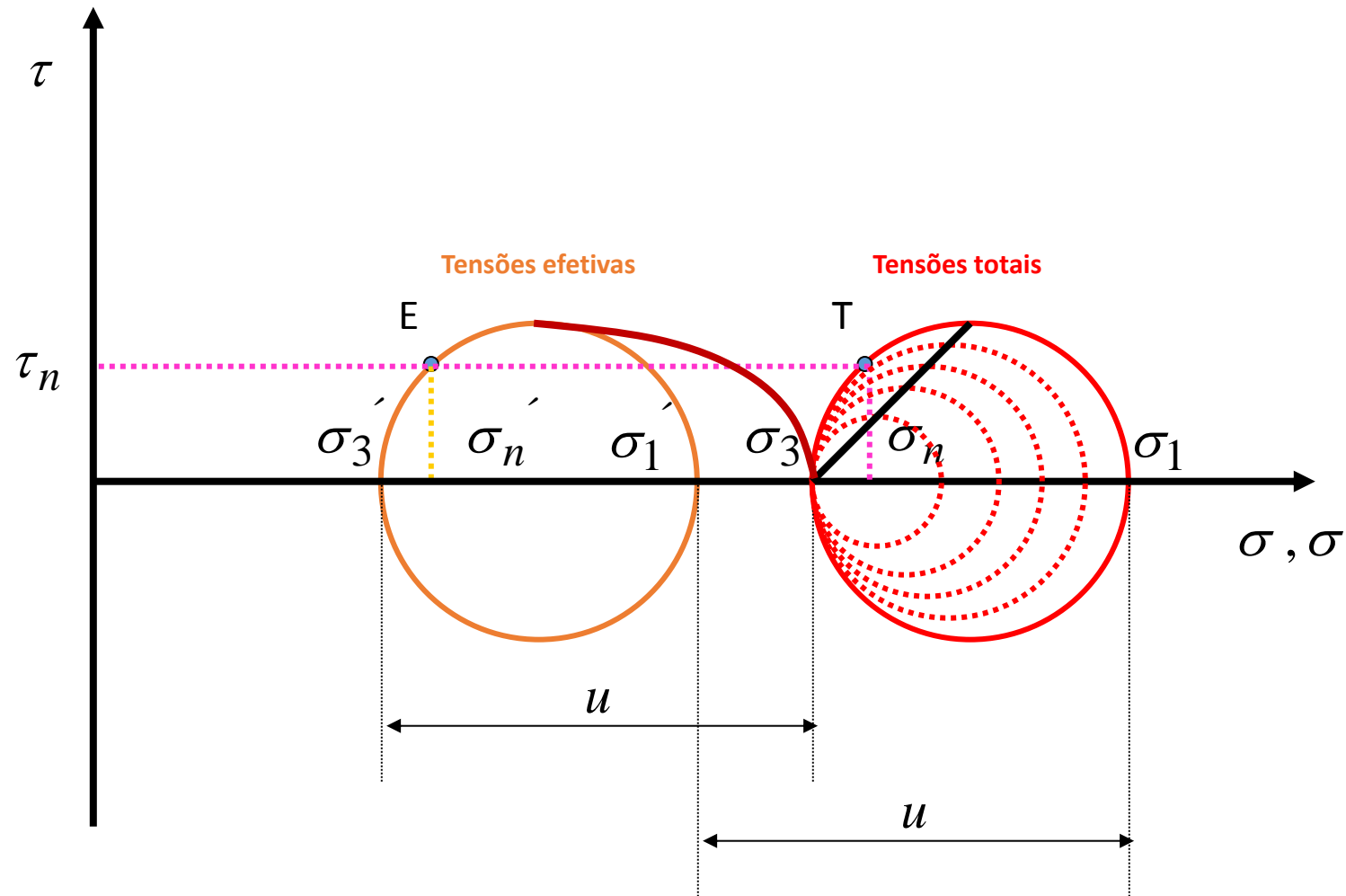
PREPARO ou
“adensamento”

RUPTURA ou
“cisalhamento”

O Ensaio Triaxial Convencional.



O Ensaio Triaxial **Convencional**: trajetórias de tensões



$$\sigma' = \sigma - u$$

Trajetoórias de tensões, utilizadas para representar cada estado de tensão (ou círculo de Mohr) por um único ponto : s , t .

$$t = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

$$s = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

$$s' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$$

Essas tensões, se escritas em função de σ_a e σ_r (em vez de σ_1 e σ_3 , que em geral se admitem ordenadas por magnitude) permitem distinguir trajetórias de compressão ($t > 0$) de trajetórias de expansão ($t < 0$).

Trajétórias de tensões,
utilizadas para representar
cada estado de tensão (ou
círculo de Mohr) por um
único ponto : s , t .

Trajétórias diferentes daquelas do ensaio triaxial convencional podem ser impostas. Diz-se então que o ensaio triaxial é não convencional. Por que fazê-lo?

Porque:

- **idealmente o ensaio deve reproduzir a trajetória de tensões do campo**
- **parâmetros de resistência podem ser influenciados pela trajetória**
- **parâmetros de deformabilidade podem ser influenciados pela trajetória**

Trajétórias de tensões s, t

Trajétórias de tensões efetivas – Ensaios Triaxiais Adensados Drenados (CD)

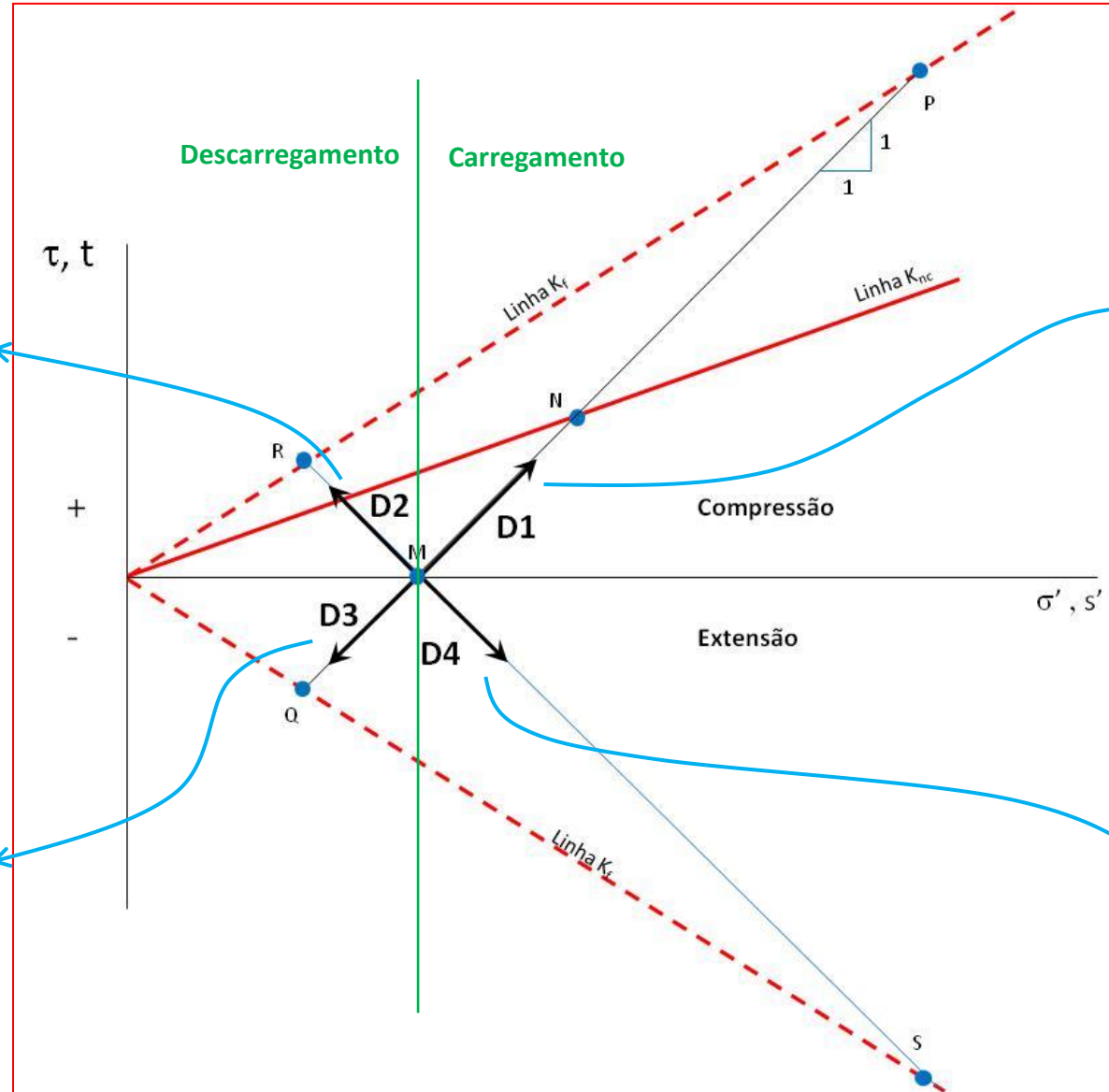
Trajétórias de tensões totais – ensaios Triaxiais Adensados Não Drenados (CU)

D2 – ensaio CD de compressão com $\sigma_a = cte$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma'_a &= 0 \\ \Delta\sigma'_r &= -\Delta\sigma'_r \\ \Delta t &= +\frac{\Delta\sigma'_r}{2} \\ \Delta s &= -\frac{\Delta\sigma'_r}{2} \\ \therefore \frac{\Delta t}{\Delta s} &= -1 \end{aligned}$$

D3 - ensaio CD de extensão com $\sigma_r = cte$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma'_a &= -\Delta\sigma'_a \\ \Delta\sigma'_r &= 0 \\ \Delta t &= \frac{\Delta\sigma'_a - \Delta\sigma'_r}{2} = -\frac{\Delta\sigma'_a}{2} \\ \Delta s &= \frac{\Delta\sigma'_a + \Delta\sigma'_r}{2} = -\frac{\Delta\sigma'_a}{2} \\ \therefore \frac{\Delta t}{\Delta s} &= +1 \end{aligned}$$



D1 - ensaio CD de compressão com $\sigma_r = cte$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma'_a &= +\Delta\sigma'_a \\ \Delta\sigma'_r &= 0 \\ \Delta t &= \frac{\Delta\sigma'_a - \Delta\sigma'_r}{2} = +\frac{\Delta\sigma'_a}{2} \\ \Delta s &= \frac{\Delta\sigma'_a + \Delta\sigma'_r}{2} = +\frac{\Delta\sigma'_a}{2} \\ \therefore \frac{\Delta t}{\Delta s} &= +1 \end{aligned}$$

D4 – ensaio CD de extensão com $\sigma_a = cte$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma'_a &= 0 \\ \Delta\sigma'_r &= +\Delta\sigma'_r \\ \Delta t &= -\frac{\Delta\sigma'_r}{2} \\ \Delta s &= +\frac{\Delta\sigma'_r}{2} \\ \therefore \frac{\Delta t}{\Delta s} &= -1 \end{aligned}$$

O ensaio ideal é aquele que simula a mesma trajetória de tensões da obra (exemplo de uma escavação).

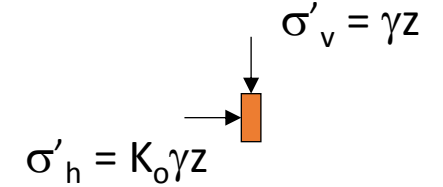
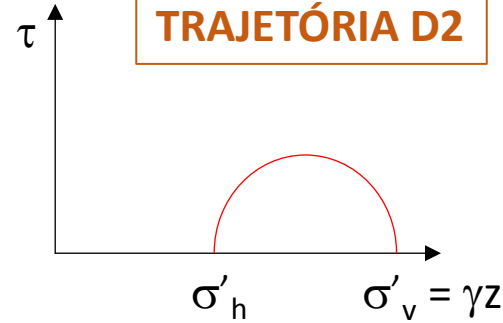
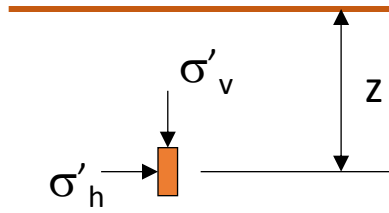
**EXEMPLO
escavação**

CAMPO

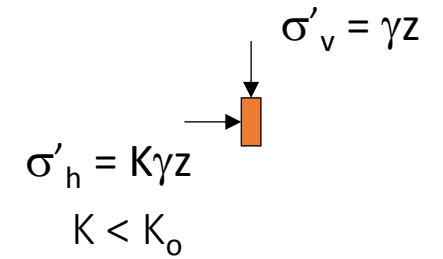
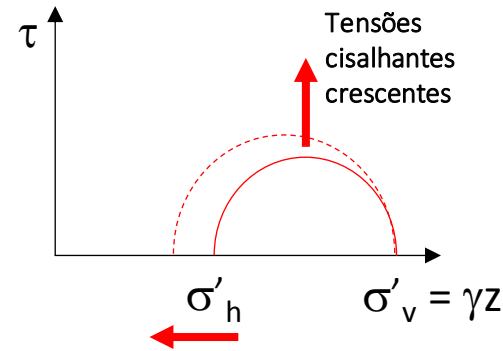
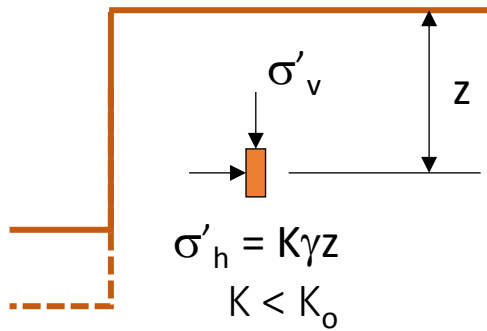
TRAJETÓRIA D2

LABORATÓRIO

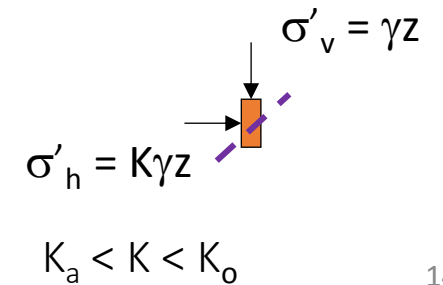
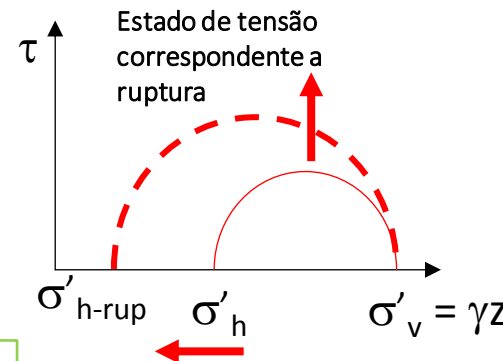
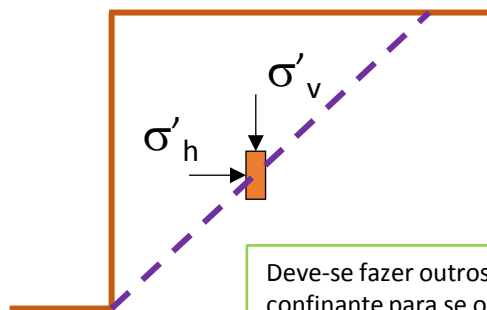
Estado Inicial de tensão



Início da escavação



Início da escavação



Deve-se fazer outros ensaios com maior tensão confinante para se obter a envoltória e consequentemente os parâmetros c' e ϕ' .

Escolha do modelo de resistência

As duas grandes perguntas:

QUAL A OCR?

F
A
S
E

D
E

P
R
E
P
A
R
O

Como são as tensões efetivas no terreno antes das novas solicitações (da obra)?

- Iguais à tensão de pré-adensamento
 - Solo normalmente adensado ($OCR=1$)
 - Envoltória de Mohr-Coulomb (de ensaios CD) passa pela origem
 - Reta $\frac{s_u}{\sigma'_a} = RR$ (de ensaios CU) pela origem também
- Inferiores à tensão de pré-adensamento (ou pré-compressão)
 - Solo sobre-adensado ($OCR>1$)
 - Envoltória de Mohr-Coulomb (de ensaios CD) com intercepto $c' \neq 0$ dependente da gama de σ'
 - $\frac{s_u}{\sigma'_a} = RR \times OCR^m$ (de ensaios CU) com $m \cong 0,8$

Atenção: compactação tem o efeito de conferir ao solo uma certa tensão de pré-adensamento

SOLICITAÇÃO: DRENADA OU NÃO?

F
A
S
E

D
E

R
U
P
T
U
R
A

Como será a variação de tensões provocada pela obra? Velocidade da solicitação vs. velocidade de drenagem (critério de velocidade: c_v)

- **Lenta** \approx drenagem plena \Rightarrow fase de ruptura **drenada**
 - Envoltória de tensões efetivas: ϕ' ($OCR=1$) + c' dependente da gama de σ' ($OCR>1$)
- **Rápida** \approx drenagem restrita
 - Solo saturado: duas possibilidades
 - \Rightarrow fase de ruptura **não drenada** (a favor da segurança)
 - $\left(\frac{s_u}{\sigma'_a} = RR \times OCR^m\right)$ com $m \cong 0,8$ e σ
 - \Rightarrow fase de ruptura **drenada** + previsão de sobrepressões neutras (Δu)
 - ϕ' ($OCR=1$) + c' ($OCR>1$), com $\sigma' = \sigma - \Delta u$
 - Solo não saturado
 - \Rightarrow fase de ruptura **drenada** + previsão de sobrepressões neutras (Δu)
 - $\phi' + c'$ variável com σ' e sucção ($u_a - u_w$), com $\sigma' = \sigma - \Delta u$

Ensaio triaxiais: nomenclatura (revisão final)

FASE	DRENAGEM		
PREPARO ou ADENSAMENTO	Sim (C onsolidated)	Sim (C onsolidated)	Não (U nconsolidated)
RUPTURA ou CISALHAMENTO	Sim (D rained)	Não (U ndrained)	Não (U ndrained)
ENSAIO	CD (SS) Adensado, drenado Lento (S)	CU (SN) Adensado, não drenado Adensado-rápido (R)	UU (NN) Não adensado, não drenado Rápido (Q)

Comportamento Não Drenado E os ensaios UU?

Teoricamente a resistência não drenada medida em ensaios UU reproduziria a resistência não drenada de campo (ensaios de palheta ao lado e linhas pontilhadas nos gráficos).
No entanto, amolgamento e perda de saturação devidos à amostragem, ao transporte e ao manuseio afetam enormemente os valores medidos (linhas cheias nos gráficos).

Características de um perfil da argila de Bothkennar (Hawkins et al. 1989).

