

Parâmetros de Resistência

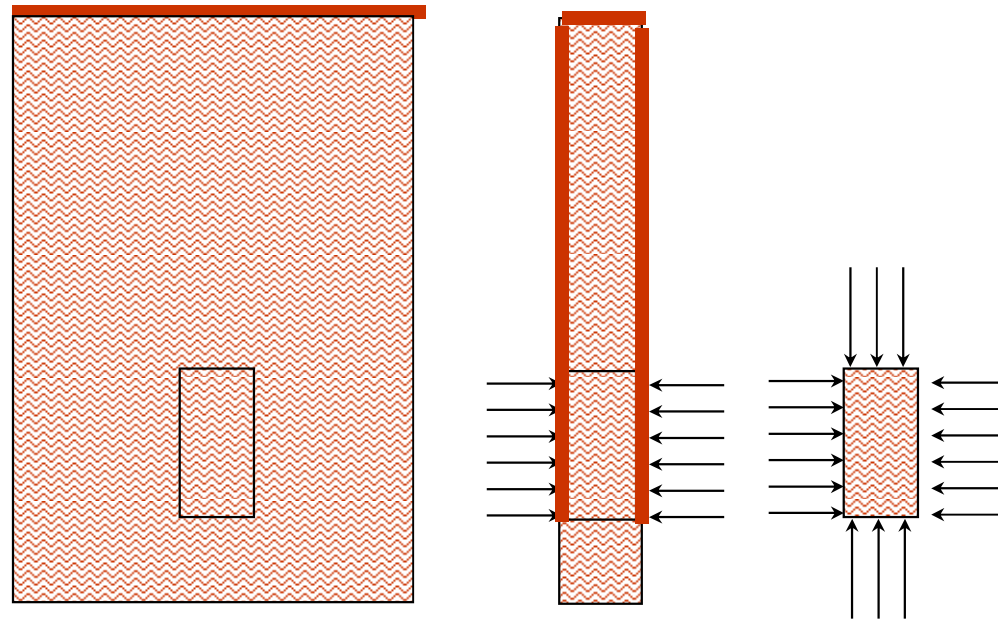
Qual a resistência do solo a ser adotada?

Qual o ensaio mais adequado para estimar essa resistência?

Ensaio triaxiais?

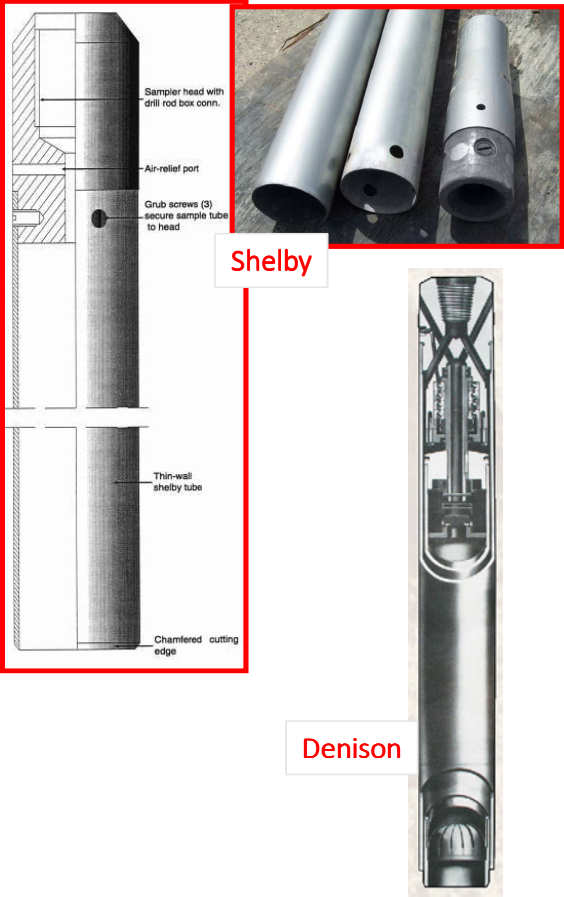
CD, CU, UU?

Substituição das Tensões de Campo



Amostragem e seus efeitos

Amostradores

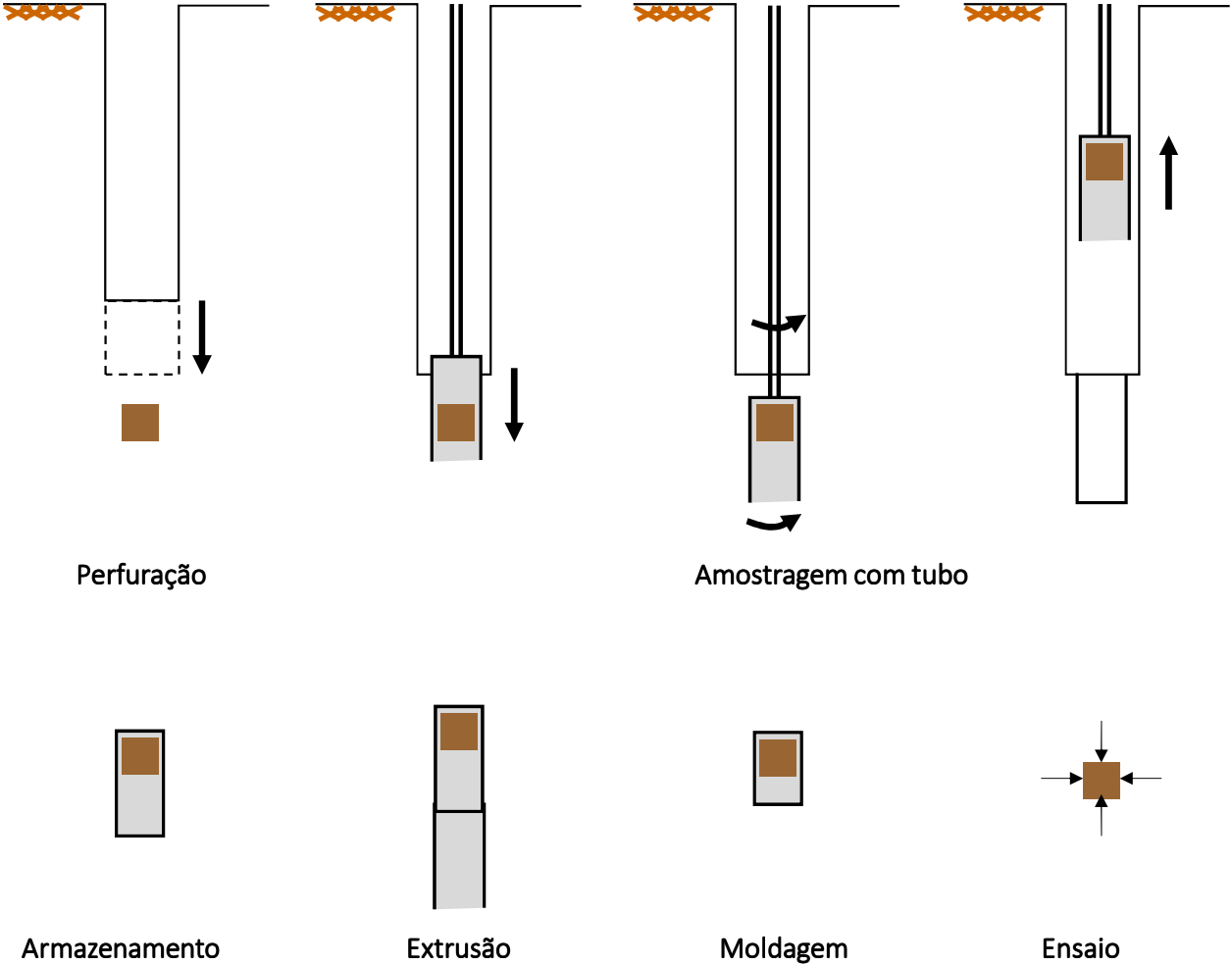


Bloco Indeformado



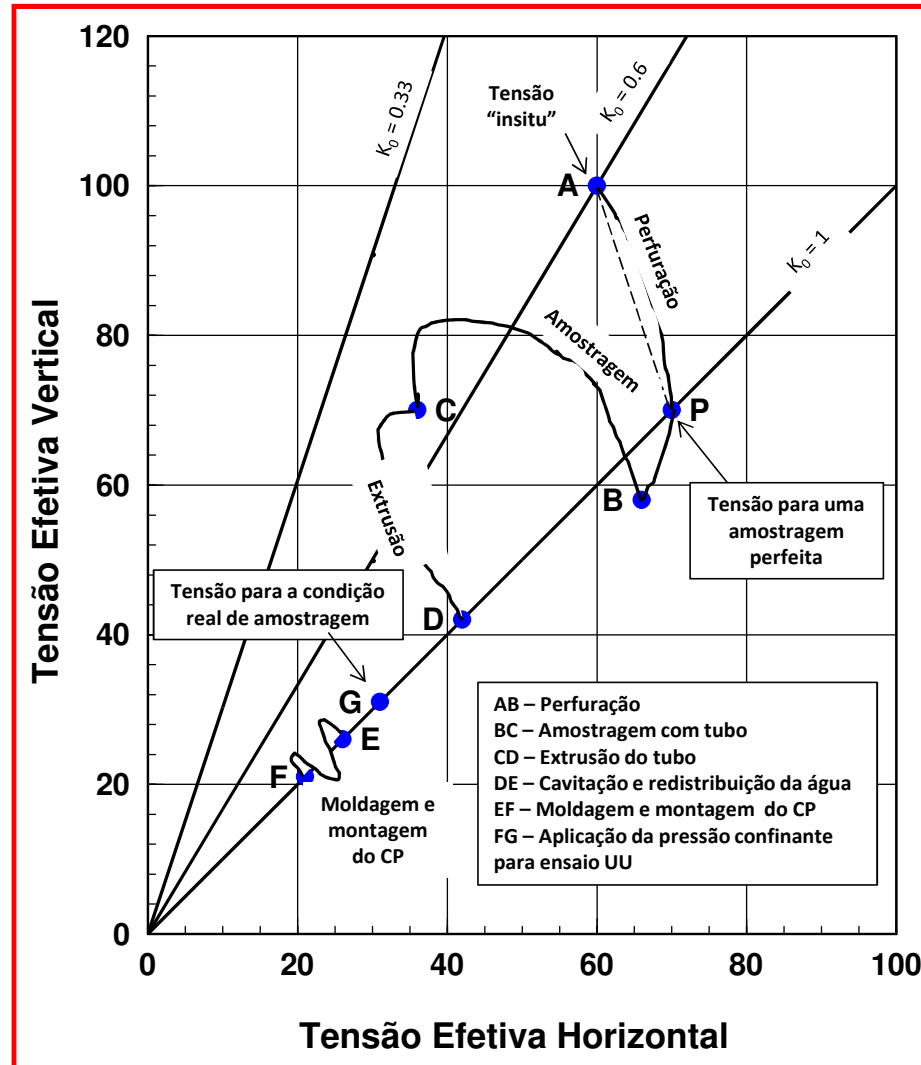
Amostragem e seus efeitos

Estágios de amostragem até o ensaio



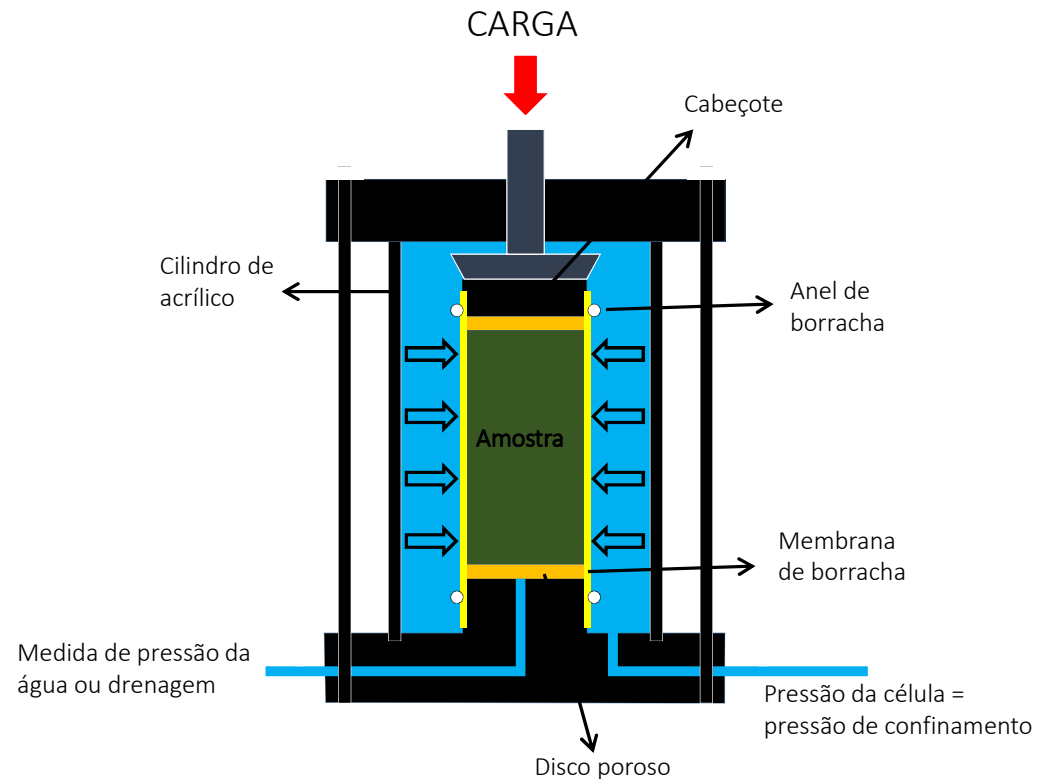
modificado de Hight (2000).

Amostragem e seus efeitos



modificado de Ladd & Lambe (1964).

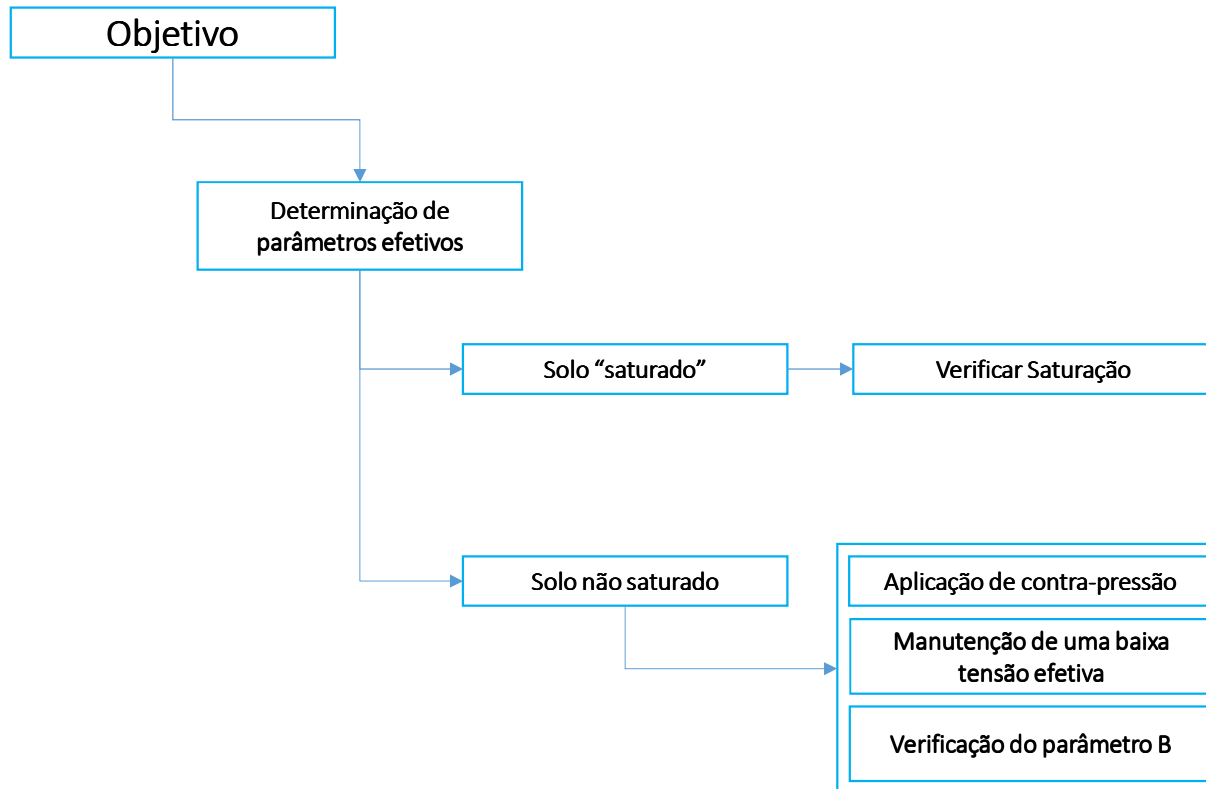
O Ensaio Triaxial Convencional.



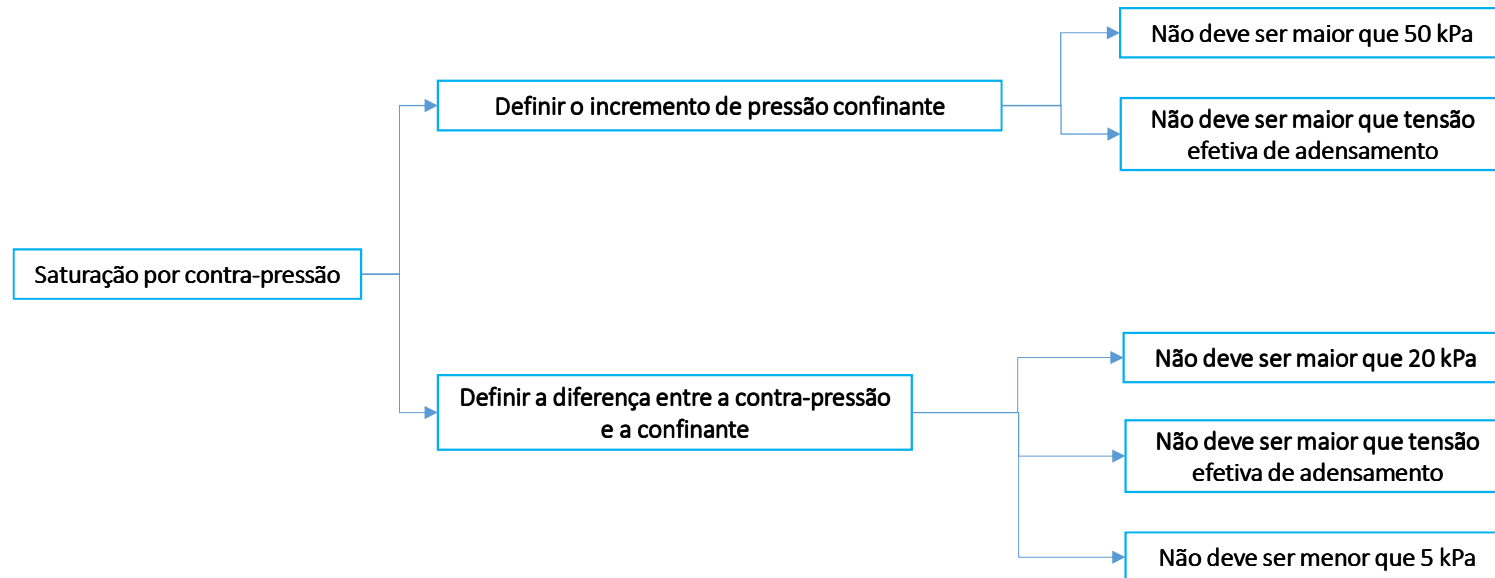
O ensaio é normalmente feito em dois estágios:

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: $\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$)

O processo de Saturação



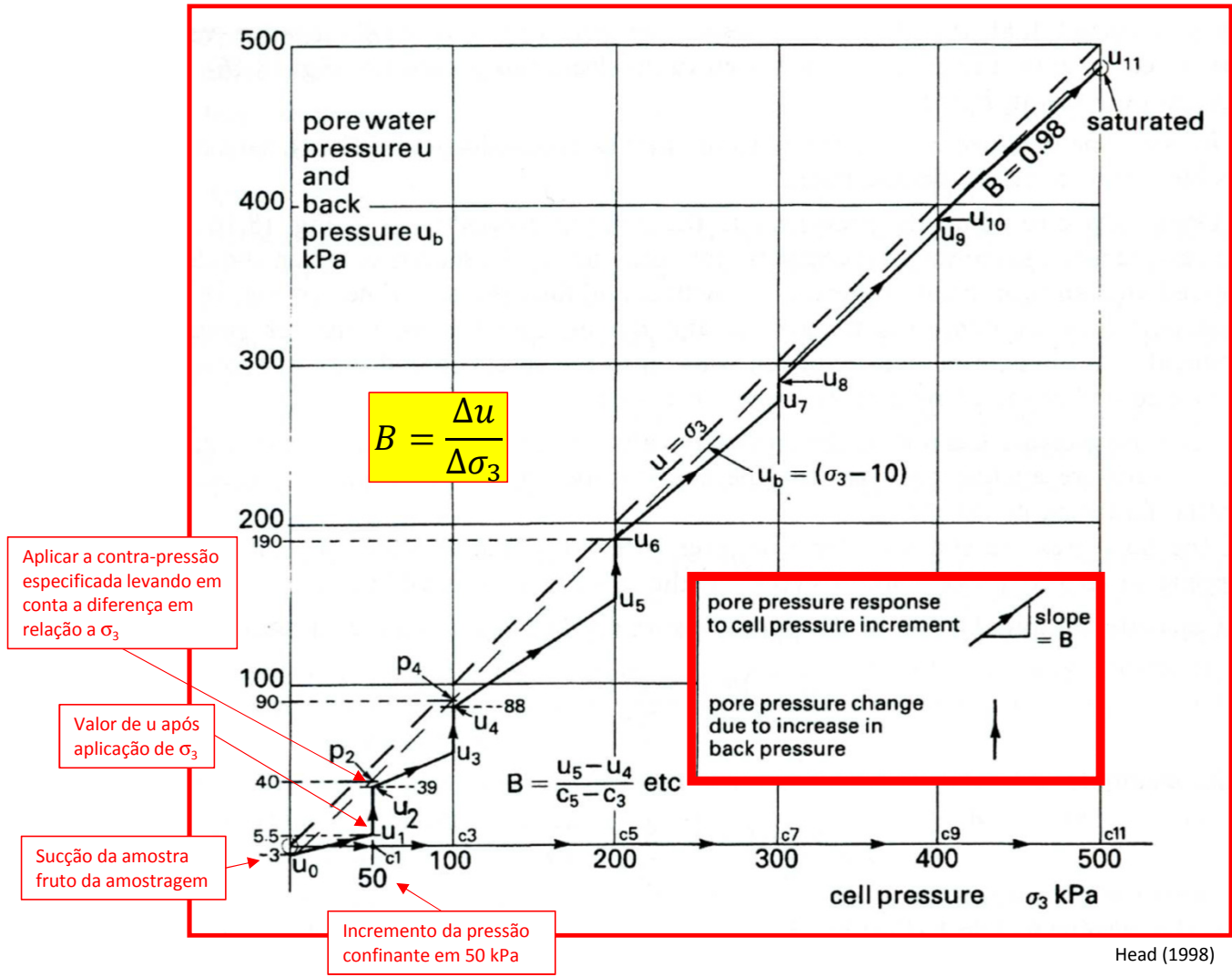
O processo de Saturação



OBS: Em solos sujeitos a expansão a diferença entre a contra-pressão e a confinante deve prevenir a expansão. Solos residuais podem estar nesta categoria.

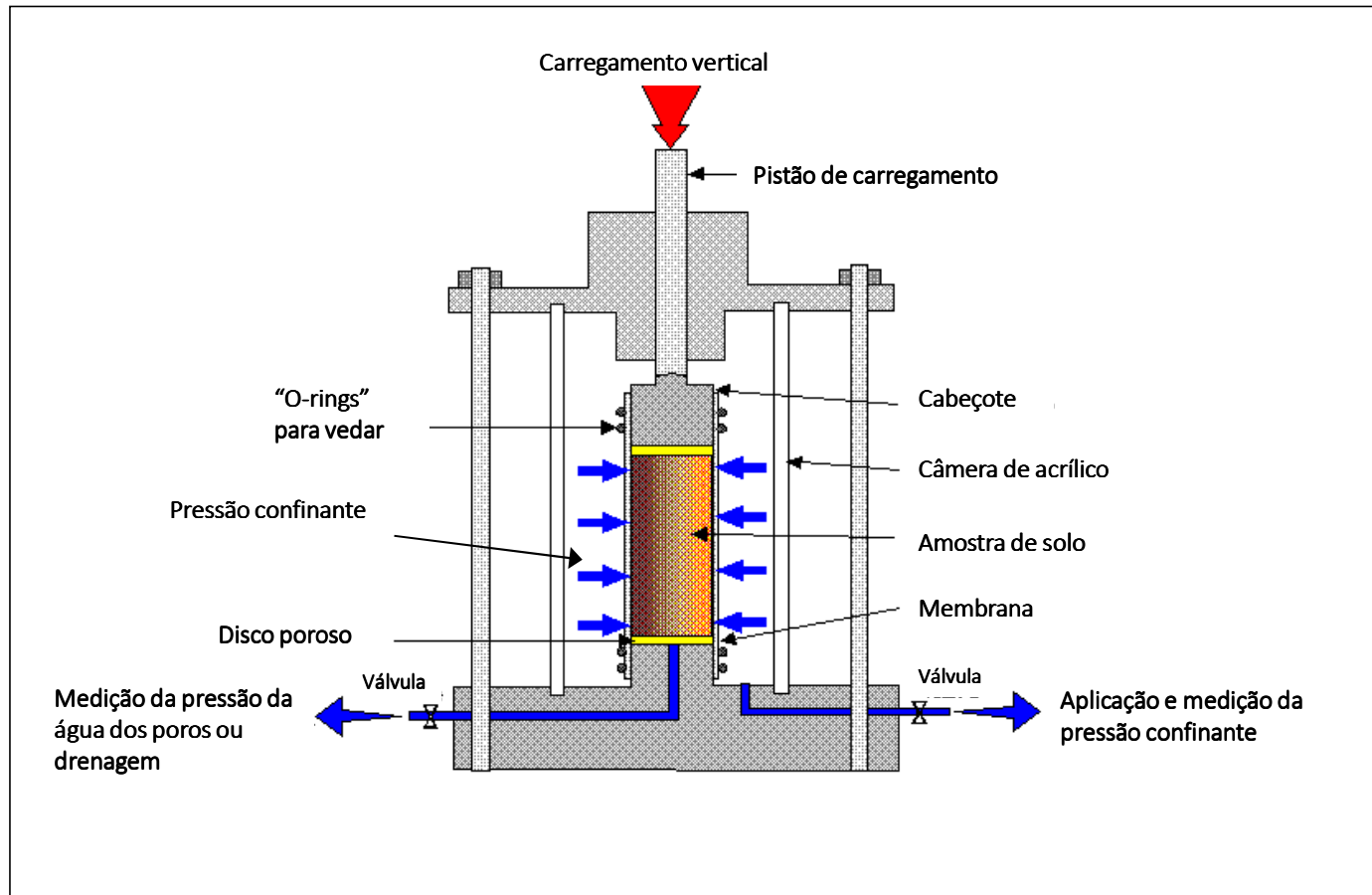
O processo de Saturação

Processo de saturação incremental



Head (1998)

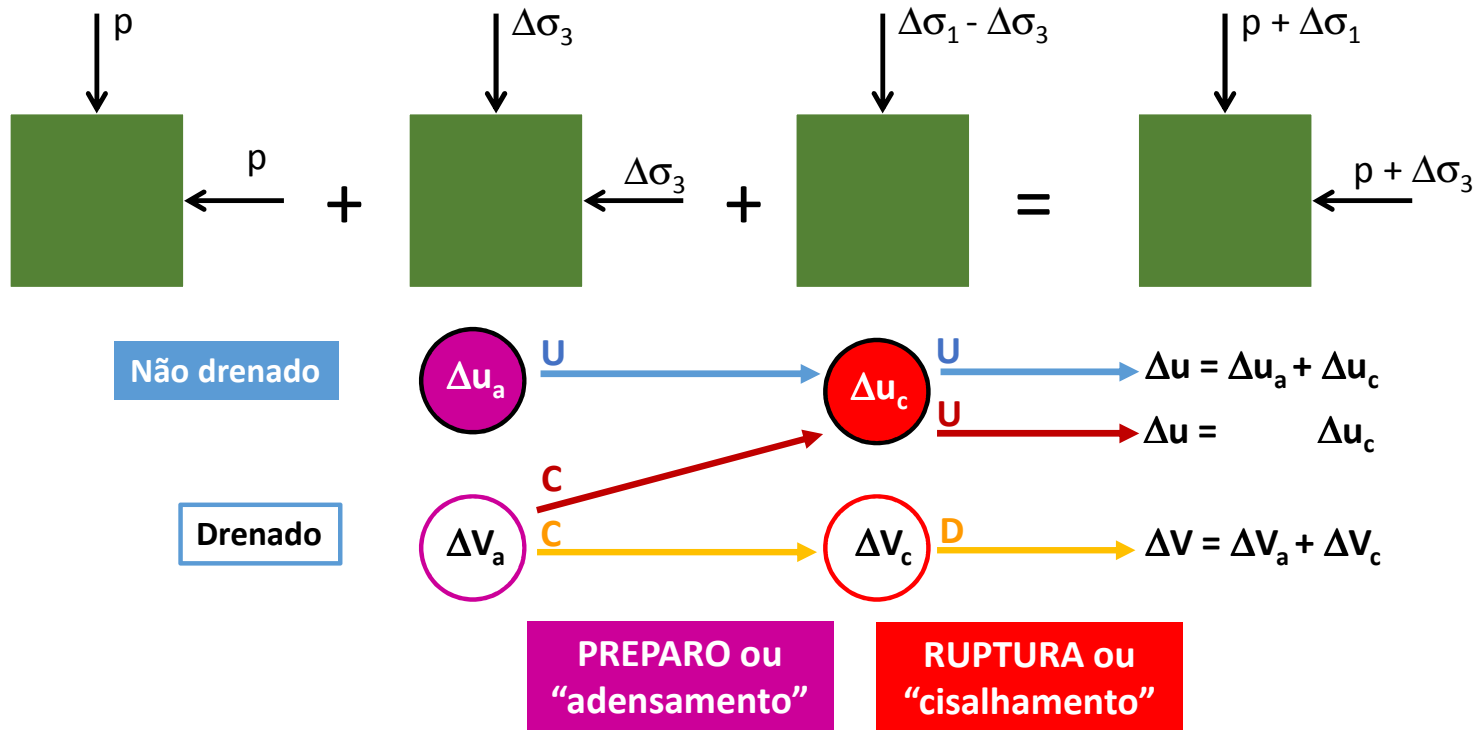
Ensaio Triaxial



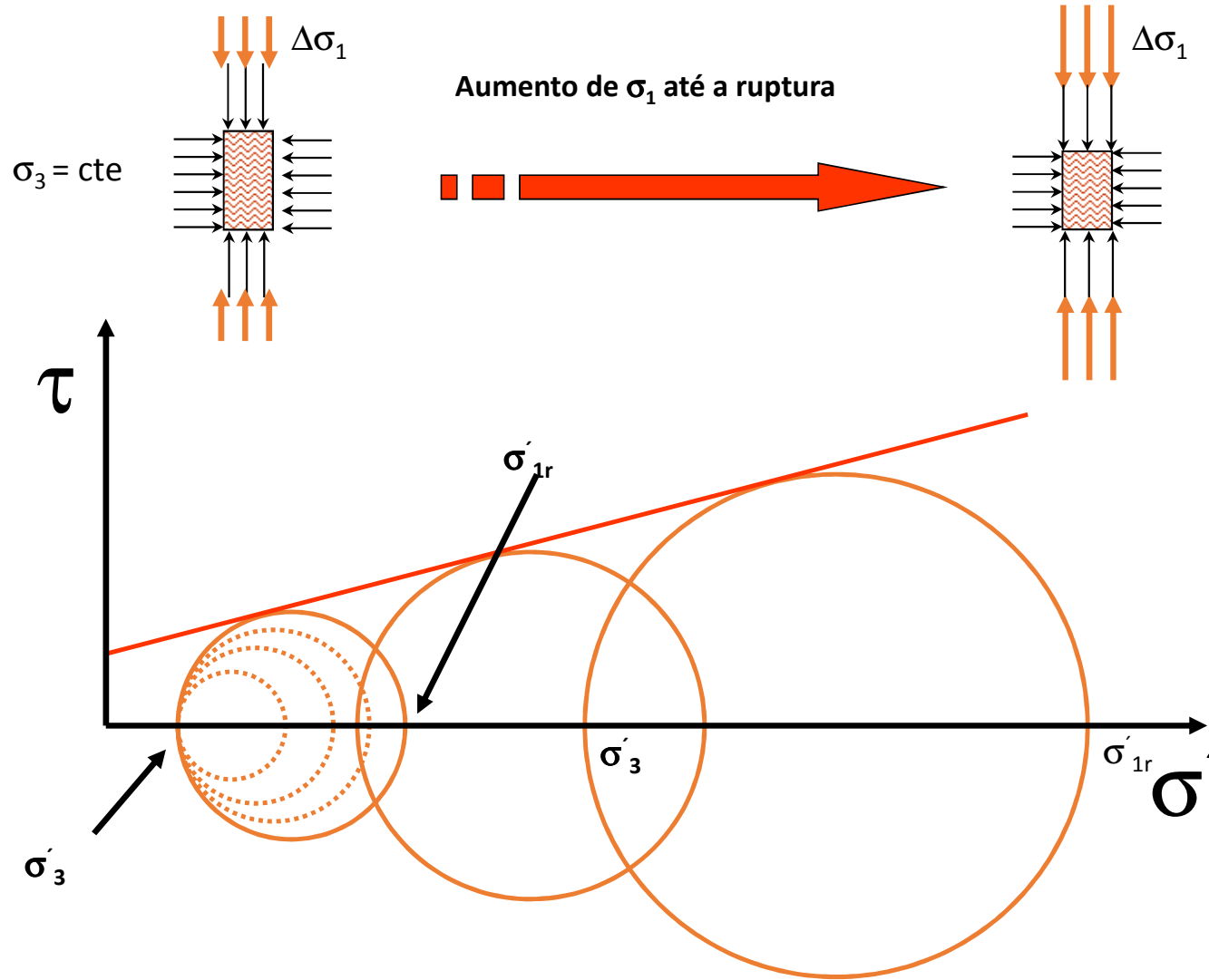
O Ensaio Triaxial Convencional.

O ensaio é normalmente feito em dois estágios:

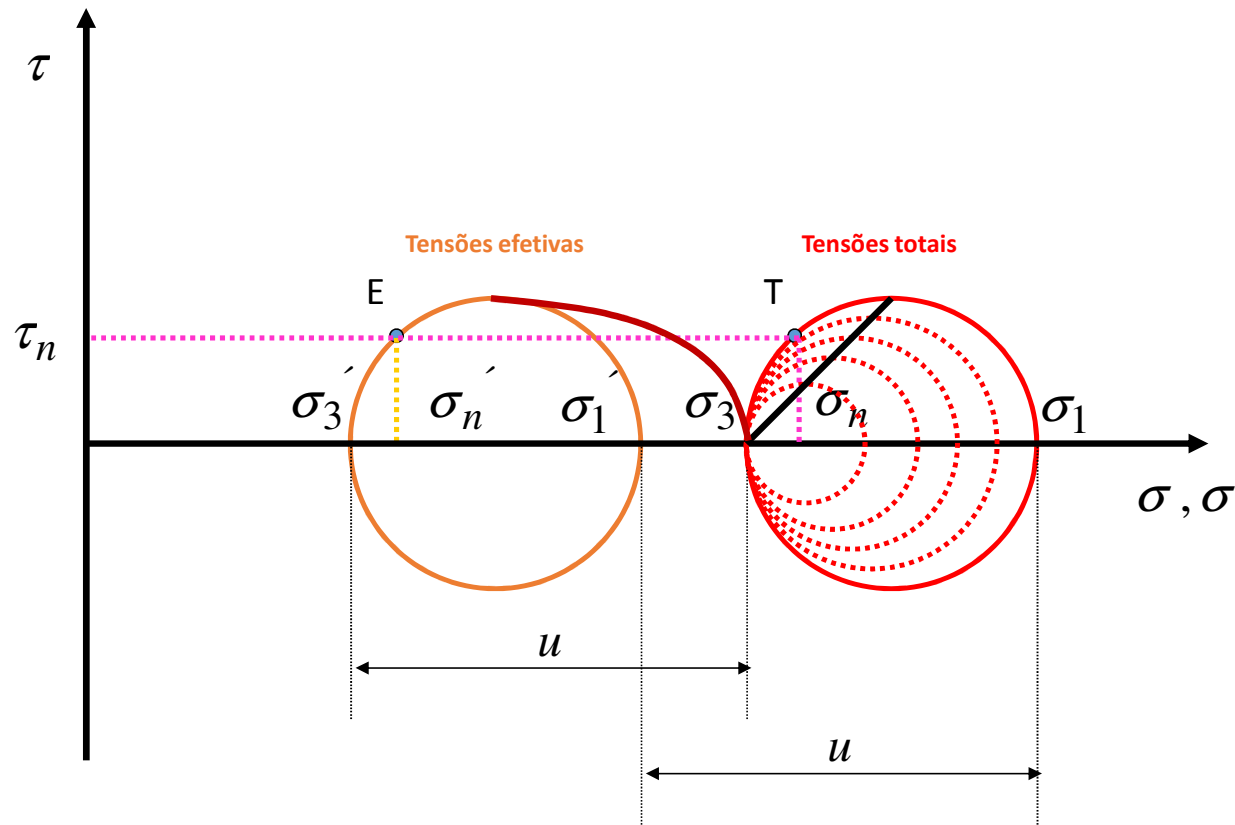
1. Preparo (também chamado de “**adensamento**”): aumento de σ_3 que aplica um estado hidrostático de tensão ($\Delta\sigma_3 = \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_1$); ausência de cisalhamento
2. Ruptura (também chamado de “**cisalhamento**”): acréscimo de carga axial que introduz cisalhamento (pela componente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



O Ensaio Triaxial Convencional.



O Ensaio Triaxial Convencional.



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

O Ensaio Triaxial: trajetórias de tensões

Trajetoárias de tensões,
utilizadas para representar
cada estado de tensão (ou
círculo de Mohr) por um
único ponto :
s, t - próximo slide
p, q - 2 slides adiante

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

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

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

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 ($t < 0$). Vide próximo slide.

O Ensaio Triaxial: trajetórias s, t

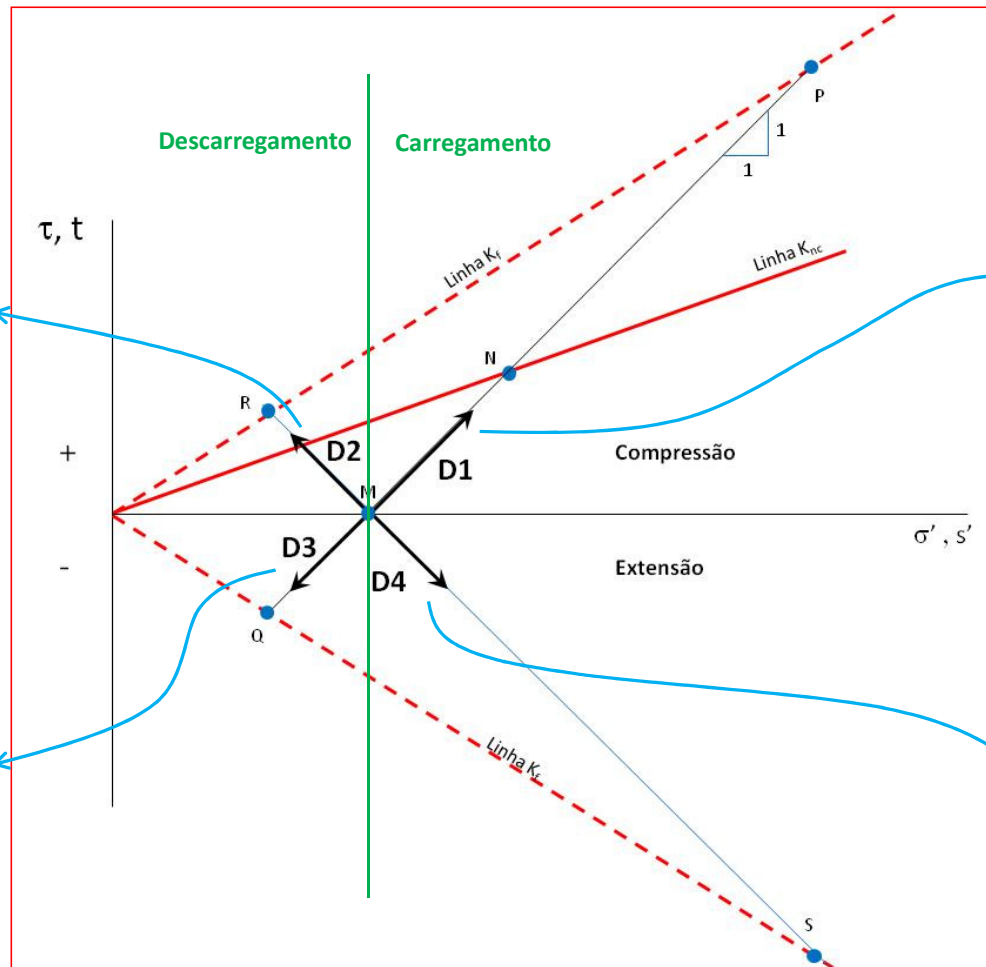
Trajetoárias de tensões efetivas – Ensaio Triaxiais Drenados
(ou trajetórias de tensões totais – ensaios triaxiais não drenados)

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

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

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

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



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

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

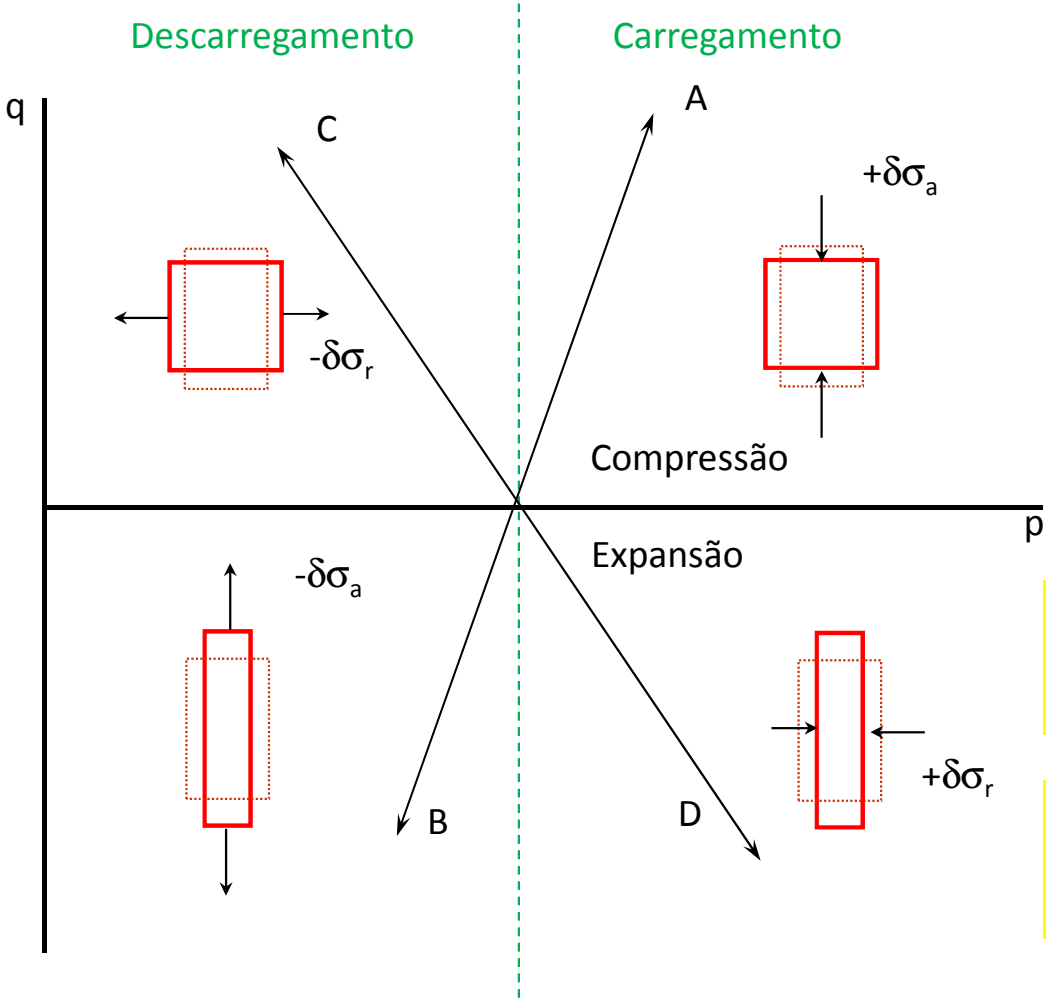
D4 – ensaio CD de extensão com $\sigma_a = \text{cte}$

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

O Ensaio Triaxial: trajetórias p, q

Trajetoórias de tensões efetivas mais típicas – Ensaio Triaxiais Drenados
(ou trajetórias de tensões totais – ensaios triaxiais não drenados)

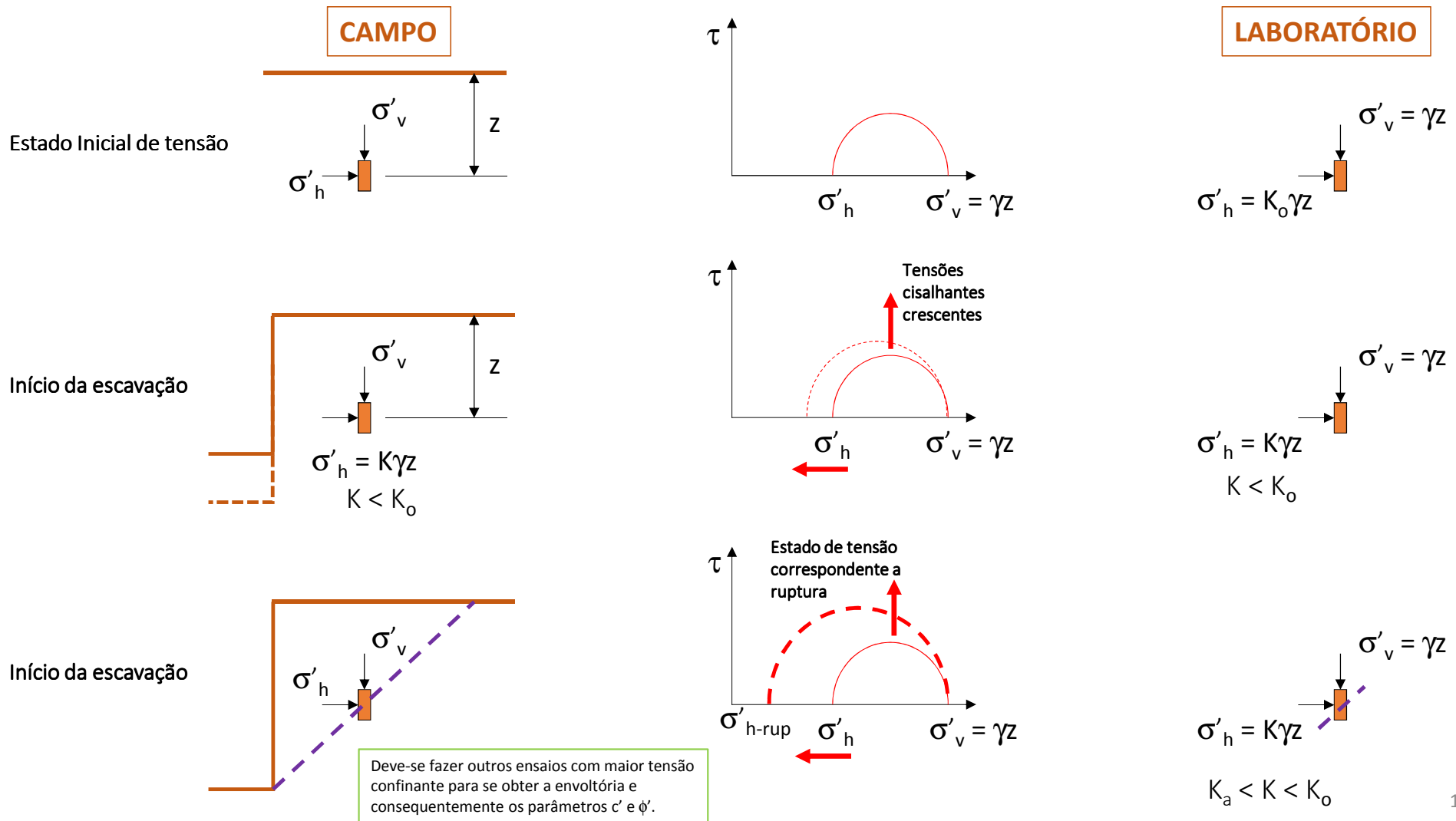
$$q = \sigma_1 - \sigma_3$$



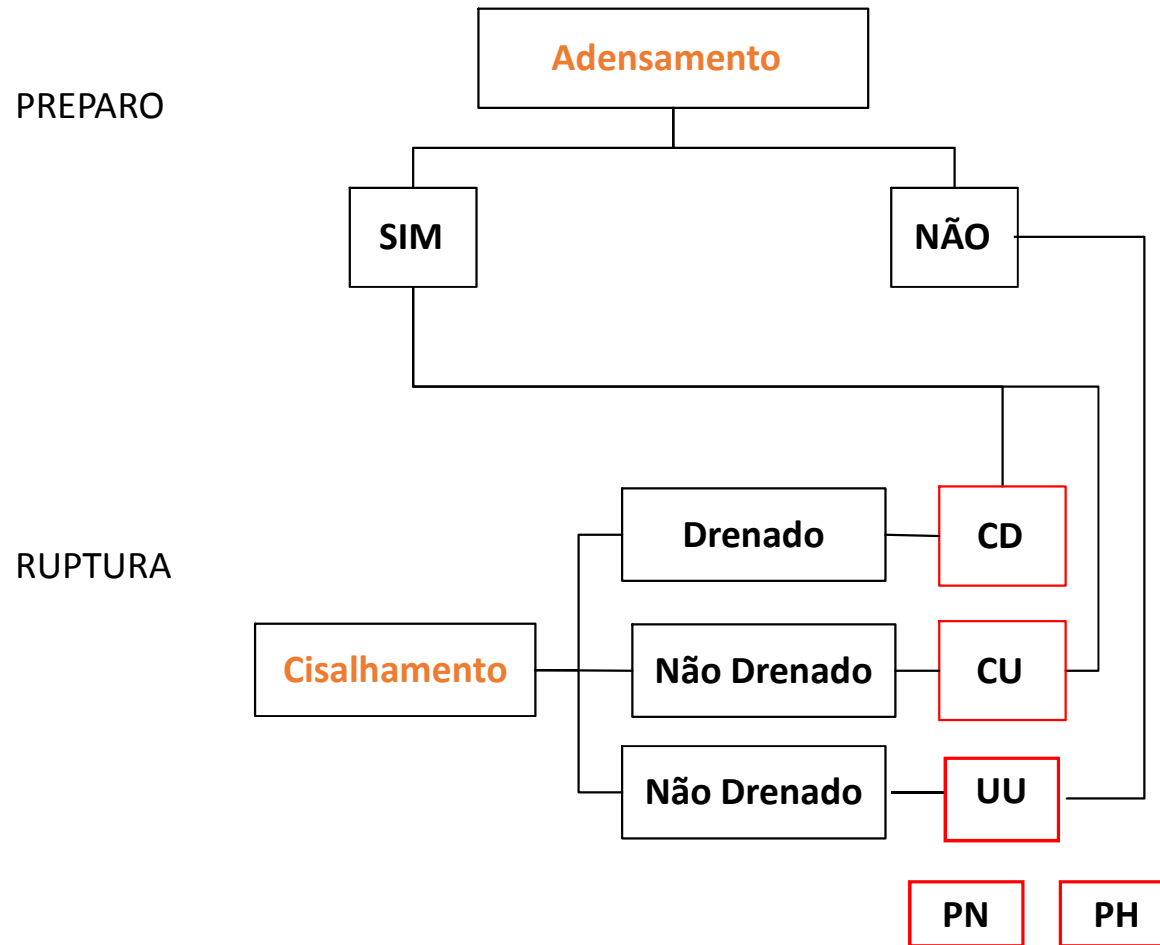
$$p = \frac{\sigma_1 + 2\sigma_3}{3}$$

$$p' = \frac{\sigma'_1 + 2\sigma'_3}{3}$$

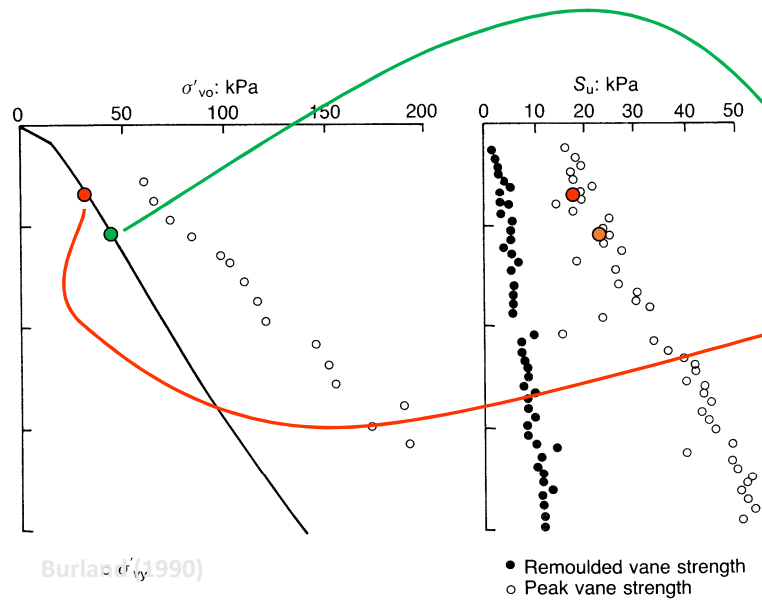
O ensaio ideal é aquele que simula a mesma trajetória de tensões da obra (exemplo de uma escavação).



Nomenclatura dos Ensaio Triaxiais



Comportamento Não Drenado
Resistência não drenada

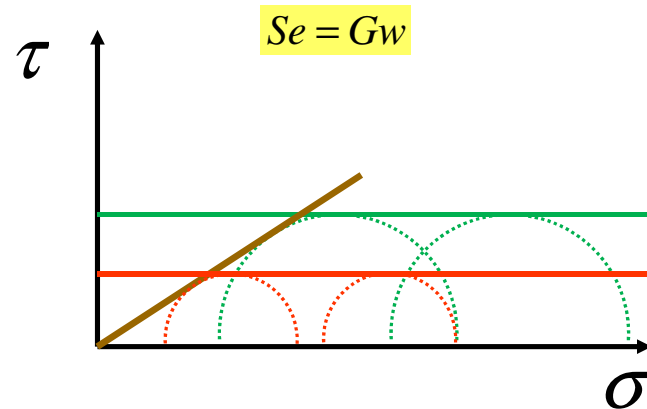
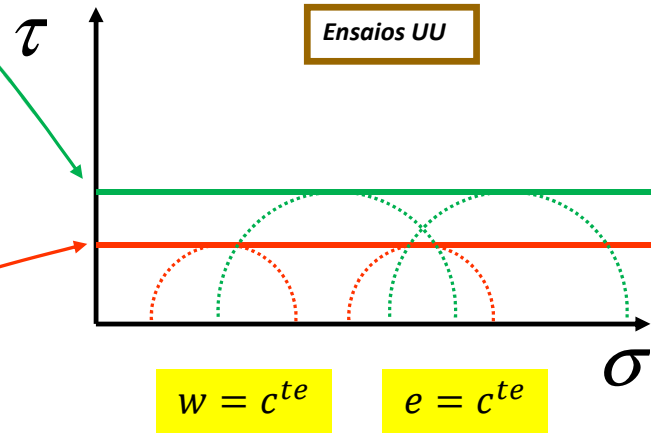


Burland (1990)

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

Conceito de amostra indeformada Lembrando:

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



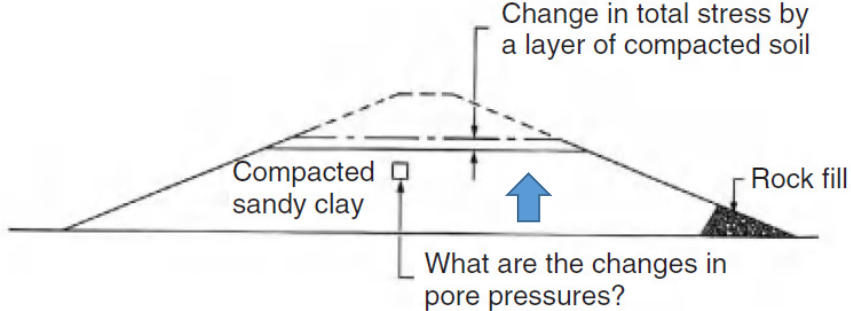
Ensaio PN e PH

Mudança da pressão da água e sobrepressão gerada pela colocação de um aterro compactado.

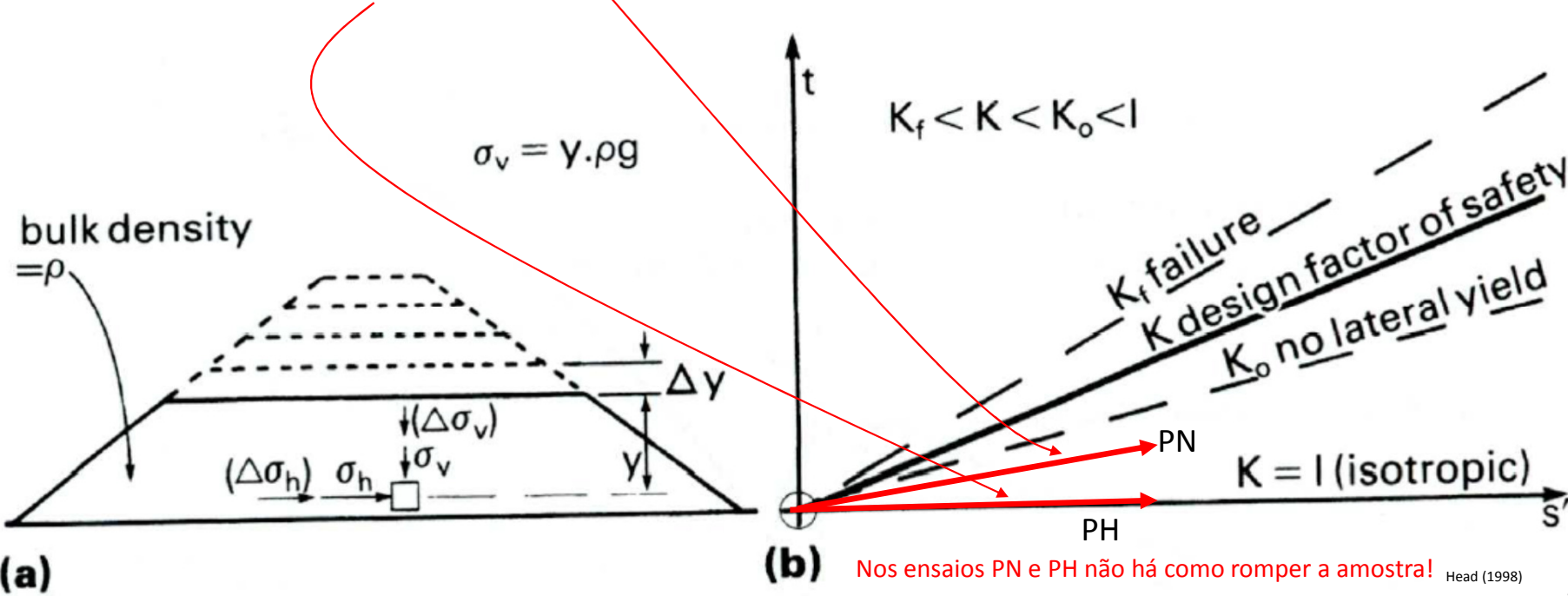
Simulação da geração das pressões feita por meio de ensaios triaxiais não drenados nas seguintes condições:

- Solo como compactado (não saturado)
- Sem drenagem da água

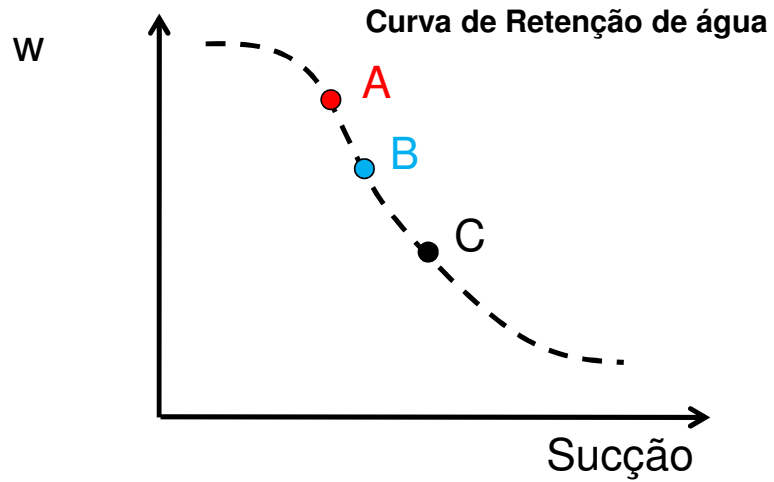
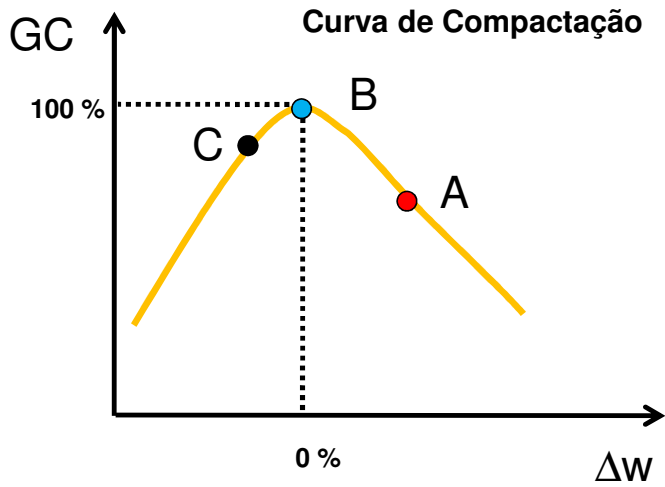
Pode seguir uma trajetória "isotrópica" (PH) ou "anisotrópica" (PN)



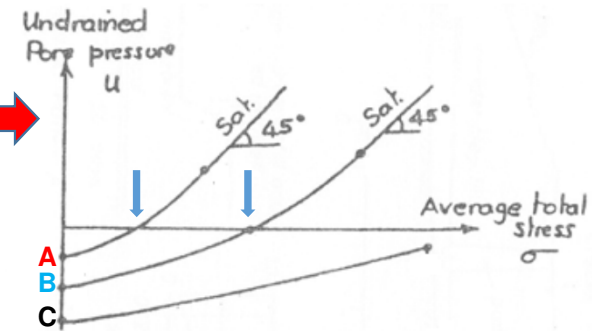
Fredlund et al. (2012)



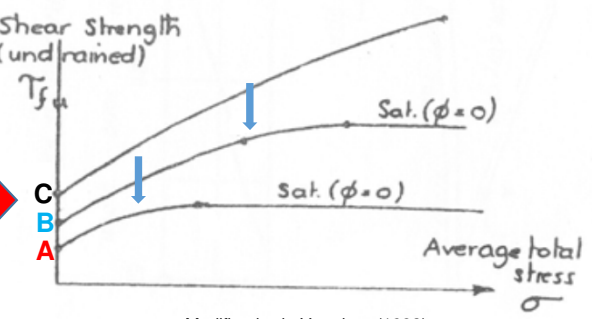
Nos ensaios PN e PH não há como romper a amostra! Head (1998)



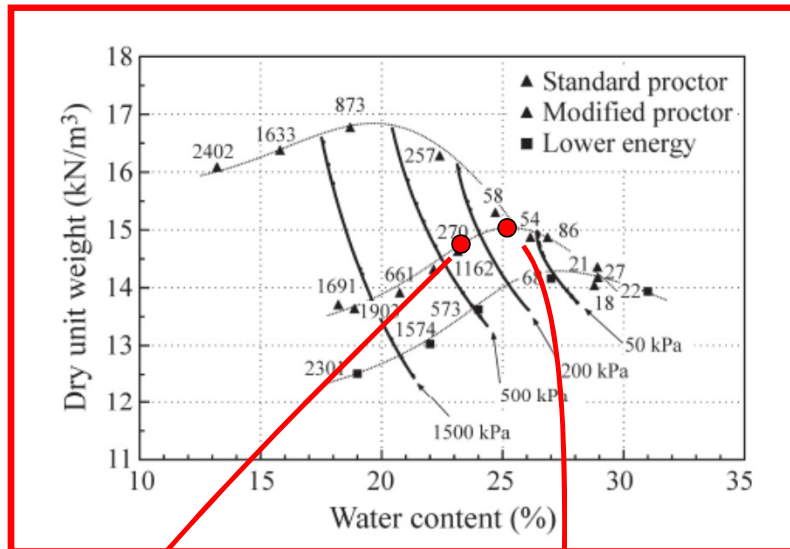
Efeito benéfico da sucção no desenvolvimento de pressões de água



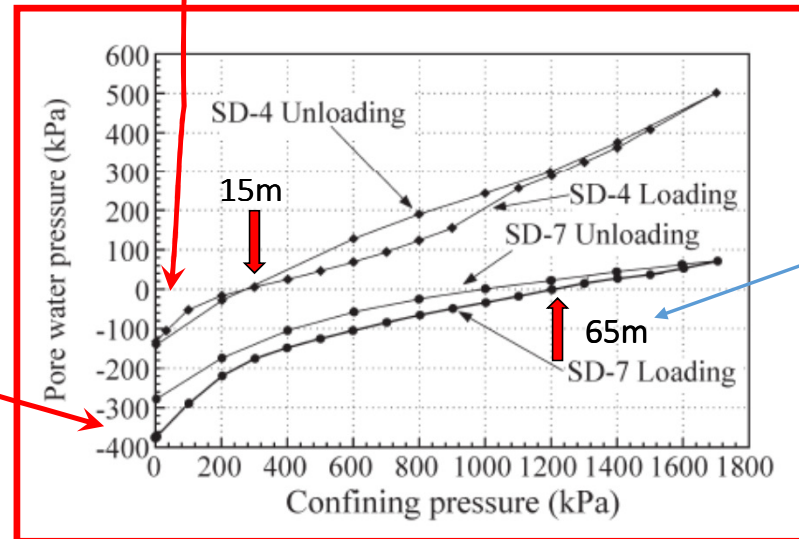
Efeito benéfico da sucção na resistência



Modificado de Vaughan (1982)



Marinho et al. (2003)



Marinho et al. (2003)

Ensaio PH em solo residual compactado

Table 31.1 Choice of Total Versus Effective Stress Method of Stability Analysis

Situation	Preferred Method	Comment
1. <u>End-of-construction</u> with saturated soil; construction period short compared to consolidation time	s_u -analysis with $\phi = 0$ and $c = s_u$ Bastante conservador!	\bar{c} , $\bar{\phi}$ -analysis permits check during construction using <u>actual pore pressures</u>
2. Long-term stability	\bar{c} , $\bar{\phi}$ -analysis with pore pressures given by <u>equilibrium ground water conditions</u>	Pressupõe que o próprio processo de ruptura também seja lento o suficiente para não gerar sobrepressões, ou que não haja tendência de variação volumétrica na ruptura
3. <u>End-of-construction</u> with partially saturated soil; construction period short compared to consolidation time	Either method: c_u , ϕ_u from UU tests or \bar{c} , $\bar{\phi}$ plus <u>estimated pore pressures</u>	\bar{c} , $\bar{\phi}$ -analysis permits check during construction using actual pore pressures
4. Stability at intermediate times	\bar{c} , $\bar{\phi}$ -analysis with <u>estimated pore pressures</u>	Actual pore pressures must be checked in field

Obs.:
 $\bar{c} = c'$
 $\bar{\phi} = \phi' = \varphi'$

RP (rede)

RT (r_u)

RT? RP ainda não estabelecido?

Observação semelhante àquela acima. Pressupõe que subsistam apenas sobrepressões de período construtivo

Pore-pressure ratios for four typical cases

Case	Range of r_u	Average r_u	Remarks
Vallecito Dam	0-0.55	0.23	Pore-pressure ratios calculated from measurements at end of construction (Niederhoff, 1951).
Steady seepage	0-0.40	0.22	Pore-pressure ratios calculated from construction of a flow net (Casagrande, 1937).
Lodalen	0-0.49	0.28	Pore-pressure ratios calculated from field measurements (Sevaldson, 1956).
Selset	0.48	0.48	Pore-pressure ratio based upon field observations (Imperial College).

Muito desaconselhável para projeto! Está aqui apenas para comparação de magnitudes.

Nunca confundir:

- RP – pressões neutras (de rede de fluxo, por exemplo)
- RT – sobrepressões neutras estimadas de outra forma, por exemplo por r_u

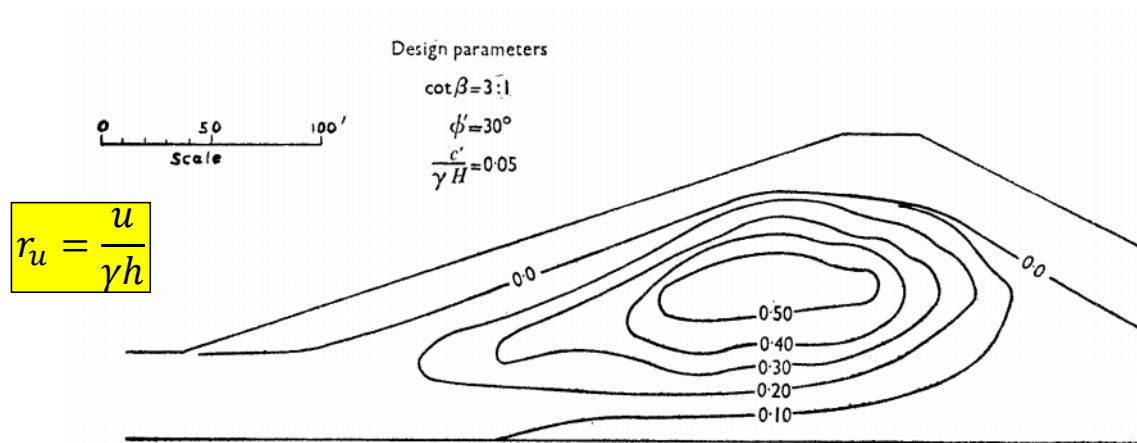


Fig. 18. Distribution of pore-pressure ratio r_u for end of construction case

Escolha do modelo de resistência (resumo)

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 ($OCR=1$)
 - Envoltórias (Mohr-Coulomb) de ensaios CD e CU passam pela origem ($c'=0$; $c=0$)
 - Envoltória (Tresca) de ensaios UU ($s=s_u$; $\varphi=0$)
- Inferiores à tensão de pré-adensamento (ou pré-compressão)
 - Solo sobre-adensado ($OCR>1$)
 - Nenhuma envoltória passa pela origem ($c'\neq 0$; $c\neq 0$; $s_u\neq 0$)
 - Atenção: compactação tem o efeito de conferir ao solo uma certa tensão de pré-adensamento

F
A
S
E
D
E
P
R
E
P
A
R
O

- 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
 - $OCR=1$
 - Envoltória de tensões efetivas (só φ' , $c'=0$)
 - $OCR>1$
 - Envoltória de tensões efetivas (c' e φ')
- Rápida \approx drenagem restrita
 - Solo saturado: admite-se drenagem nula, a favor da segurança
 - $OCR=1$
 - Resistência não drenada associada à tensão de pré-adensamento ($s_u/\sigma'_o=c^{te}$); ou
 - Envoltória de tensões totais (só φ , $c=0$); ou
 - Previsão de sobrepressões neutras + envoltória de tensões efetivas (só φ' , $c'=0$)
 - $OCR>1$
 - Resistência não drenada associada à tensão de pré-adensamento ($s_u/\sigma'_o=f(OCR)$); ou
 - Previsão de sobrepressões neutras + envoltória de tensões efetivas (c' e φ')
 - Solo não saturado: drenagem nula ou parcial
 - Envoltória de tensões totais (c e φ , retilínea como aproximação de envoltória curva); ou
 - Envoltória de tensões totais com c (e φ) variáveis em função da sucção (u_o-u_w)

Ensaio triaxiais: nomenclatura (revisão)

FASE	PREPARO ou ADENSAMENTO		RUPTURA ou CISALHAMENTO		ENSAIO			
	S	(Consolidated)	S	(Drained)	CD	(SS)	Adensado, drenado	Lento (S)
S	(Consolidated)	N	(Undrained)	CU	(SN)	Adensado, não drenado	Adensado-rápido (R)	
N	(Unconsolidated)	N	(Undrained)	UU	(NN)	Não adensado, não drenado	Rápido (Q)	

S = com drenagem

N = sem drenagem

Ensaio triaxiais: nomenclatura (revisão final)

FASE	DRENAGEM		
PREPARO OU ADENSAMENTO	S (<i>Consolidated</i>)	S (<i>Consolidated</i>)	N (<i>Unconsolidated</i>)
RUPTURA OU CISALHAMENTO	S (<i>Drained</i>)	N (<i>Undrained</i>)	N (<i>Undrained</i>)
ENSAIO	CD (SS) Adensado, drenado Lento (S)	CU (SN) Adensado, não drenado Adensado rápido (R)	UU (NN) Não adensado, não drenado Rápido (Q)