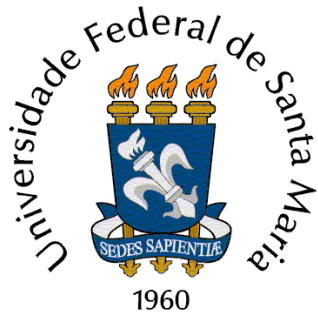




Universidade Federal de Santa Maria
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo
Física do Solo



**Penetrômetros
&
Intervalo Hídrico Ótimo**

Moacir Tuzzin de Moraes

Professor: Dr. José Miguel Reichert

Santa Maria, 29 de setembro de 2011



Fonte: Sá et al., 2005



Fonte: Sá et al., 2005

Penetrometria

- O que é a penetrometria;
- Vantagens;
- Desvantagens;
- Determinação próxima da capacidade de campo;
 - Problema é que grandes variações de densidades podem não ser detectadas.

Velocidade de penetração x RP

- Penetrômetros de campo:
 - Não exceder 30 mm s^{-1} (ASAE, 1999);
 - Menor que $8,3 \text{ mm s}^{-1}$ (Lowery & Morrison, 2002);
 - Sudduth et al. (2004) sugere utilizar velocidade de até 50 mm s^{-1} ;
 - IHO com penetrômetro de campo: 40 mm min^{-1} (Benjamin et al., 2003);
- Penetrômetros de bancada:
 - 10 mm min^{-1} (Tormena et al., 1998; Petean, 2011);
 - 20 mm min^{-1} (Betz et al., 1998);
 - 60 mm min^{-1} (Kunz, 2010);
- Crescimento radicular: $2,78 \times 10^{-3} \text{ mm s}^{-1}$ (Lowery & Morrison, 2002);
- A velocidade apresenta pouca influência nos resultados de RP (Sudduth et al., 2004);

Tamanho do cone x RP

- Diâmetro do cone e macroestrutura do solo;
- Solo desestruturado ou homogêneo;
- Se o diâmetro do cone é grande, a variabilidade da RP é baixa (força inter agregado);
- Se o diâmetro do cone é pequeno, a variabilidade da RP é grande (força intra agregados);
- A magnitude dos valores de RP são inversamente ao tamanho do cone (Sudduth et al., 2004).

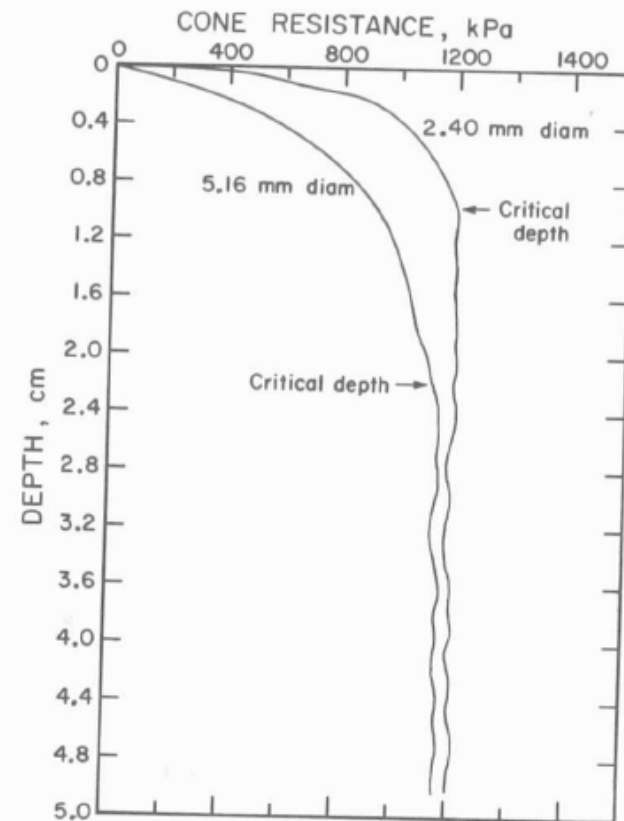


Fig. 19-1. Cone resistance as a function of depth in confined, remolded cores of Dickinson loam, $\rho = 1.43 \text{ g cm}^{-3}$, $\psi = -33 \text{ kPa}$.

Ângulo do cone x RP

- Se o ângulo for $< 30^\circ$ a RP reduz com o aumento do ângulo;
- Se o ângulo for $> 30^\circ$ a RP aumenta com o aumento do ângulo
- Quando reduz o ângulo, aumenta o comprimento e a área superficial.

Normas para utilização de cones

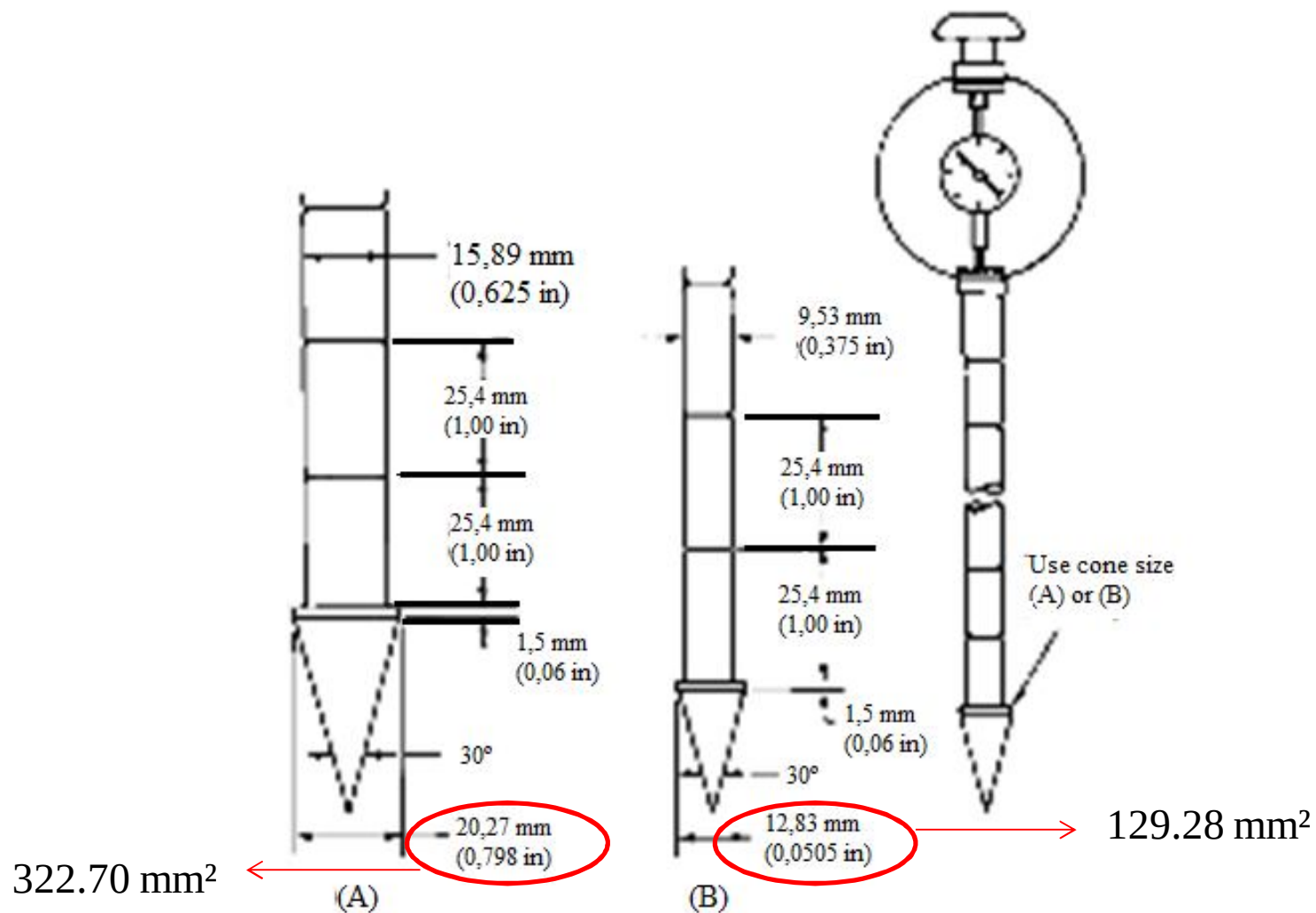


Figure 1 - Soil cone penetrometer

Penetrômetros

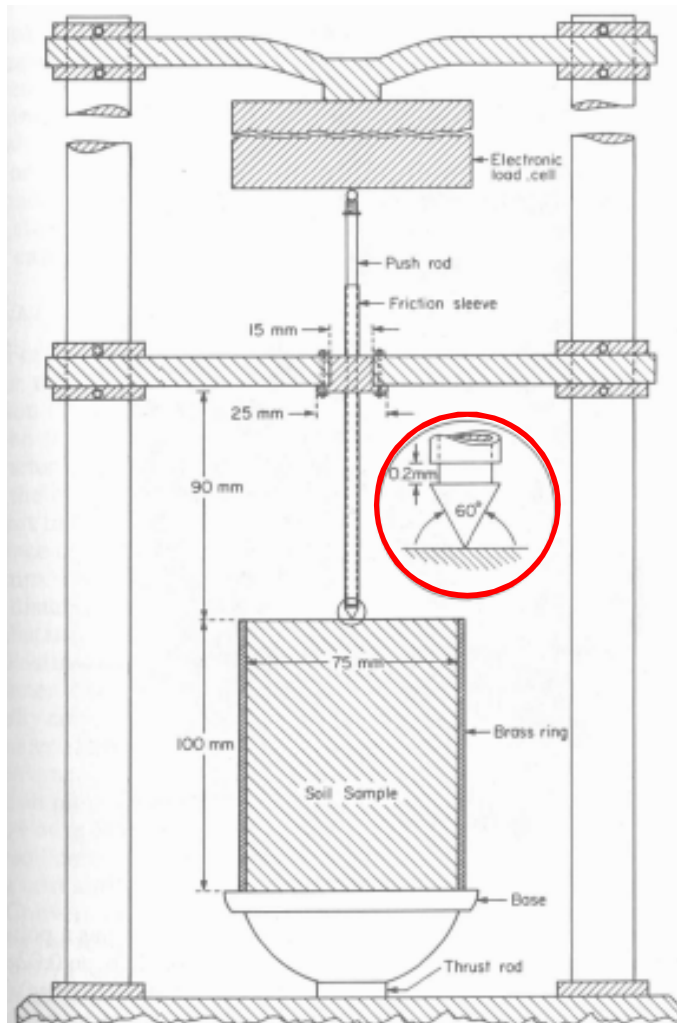


Fig. 19-5. A friction-sleeve cone penetrometer.

Fonte: Bradford (1986)

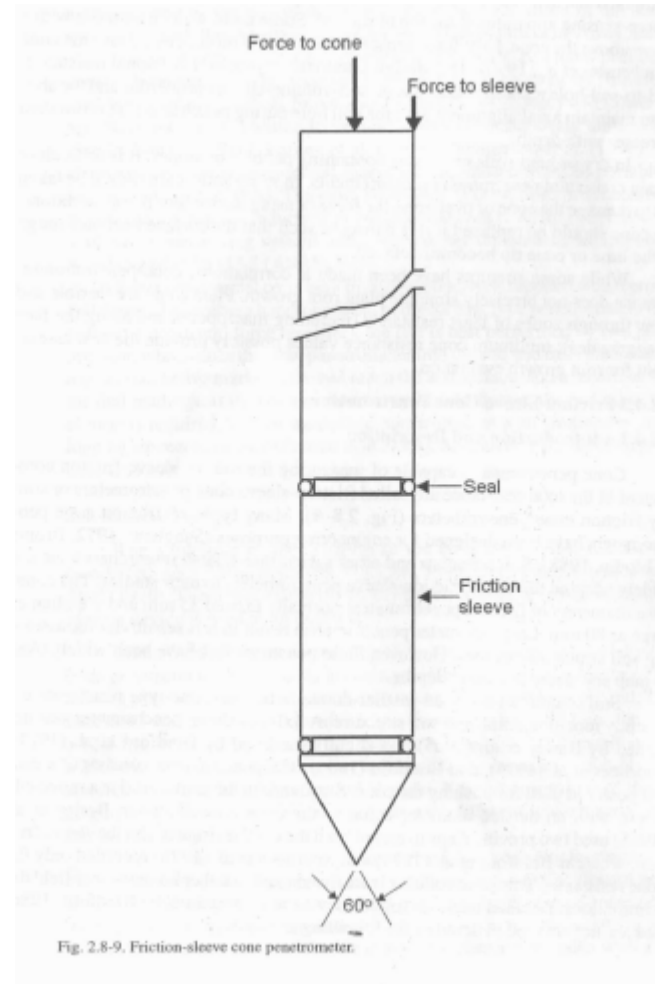


Fig. 2.8-9. Friction-sleeve cone penetrometer.

Fonte: Lowery & Morrison (2002)

Aparelhos



Penetrógrafo

Aparelhos



Penetrômetro
Digital

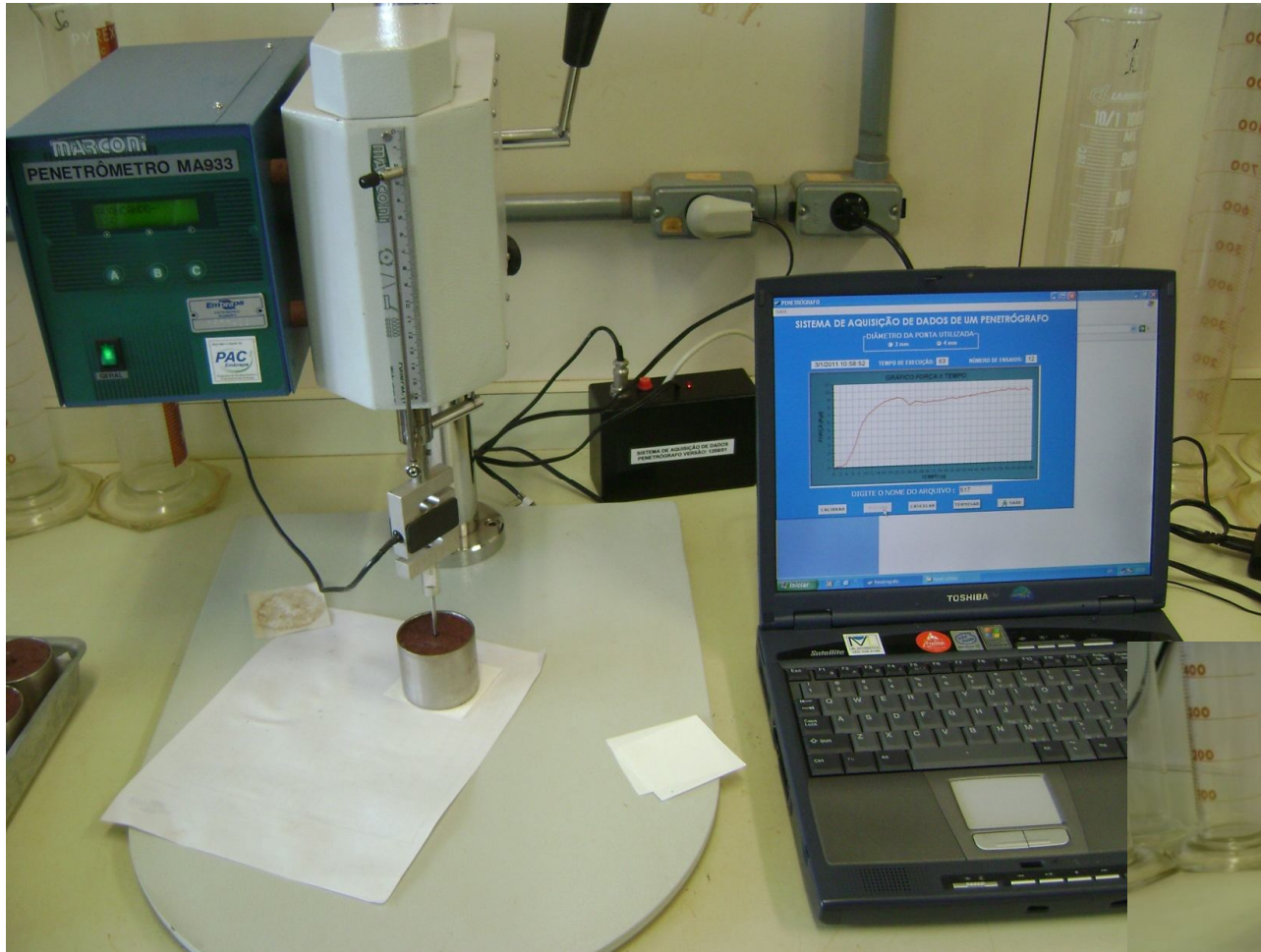
Aparelhos

Penetrômetro de impacto
IAA/Planalsucar-Stolf



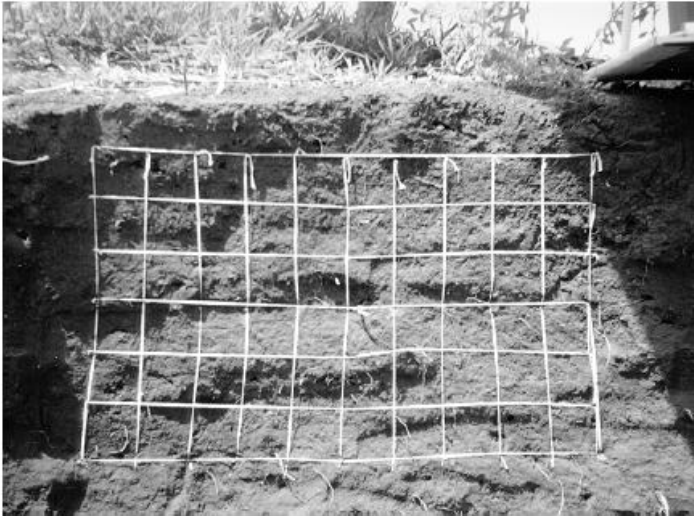
Aparelhos

Penetrômetro eletrônico de Bancada

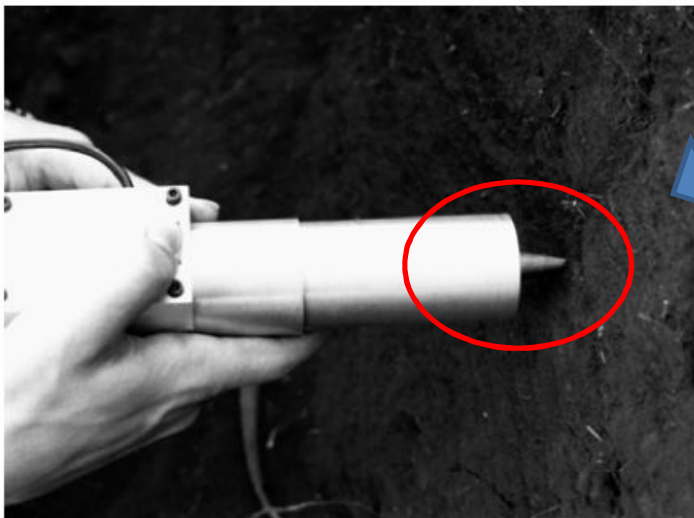


Outros penetrômetros

A.



B.



Cone:
Diâmetro base: 18 mm²

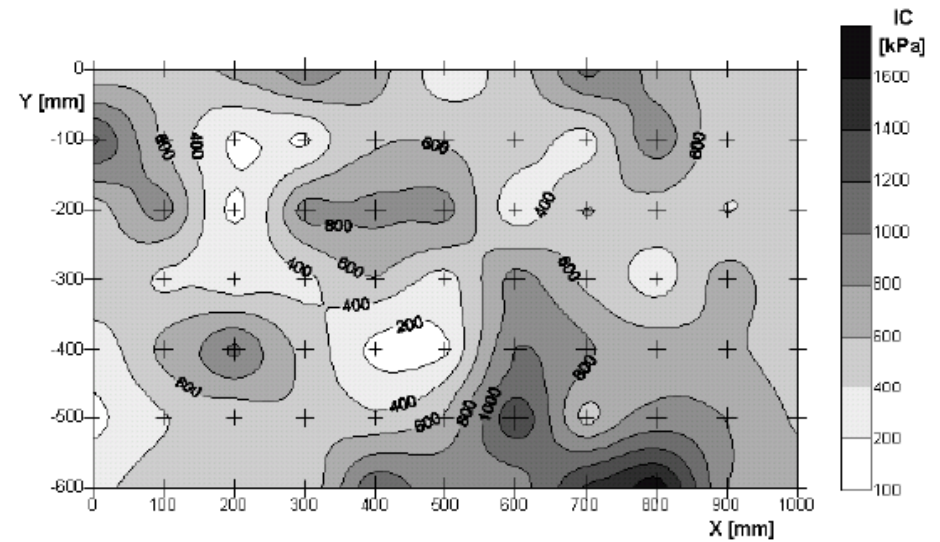


Figura 5. (A) Matriz de pontos do experimento de campo; (B) Detalhe da utilização do Push Cone Eletrônico

Fonte: Cappelli et al., 2001

Limites de resistência à penetração

Segundo o USDA (1993), a resistência do solo a penetração pode ser classificada em três classes:

Table 3-20. Penetration resistance classes

Classes	Penetration resistance (MPa)
Small	< 0.1
Extremely low	< 0.01
Very low	0.01 - 0.1
Intermediate	0.1 - 2
Low	0.1 - 1
Moderate	1 - 2
Large	> 2
High	2 - 4
Very high	4 - 8
Extremely high	> 8

Utilizando um penetrômetro com diâmetro cone de 6,4 mm, semelhante ao descrito por Bradford (1986);
Velocidade 6,4 mm s⁻¹.

Fonte: USDA (1993)

Comparações entre penetrômetros

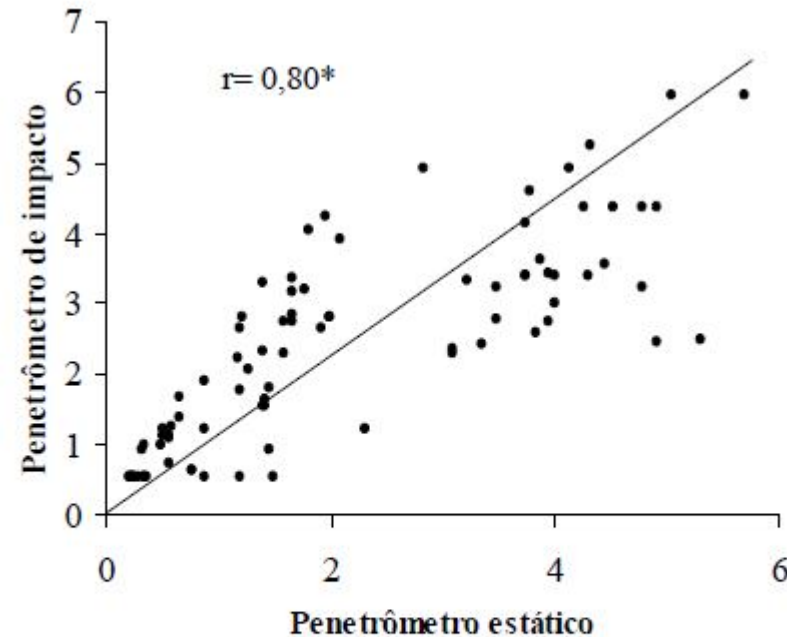
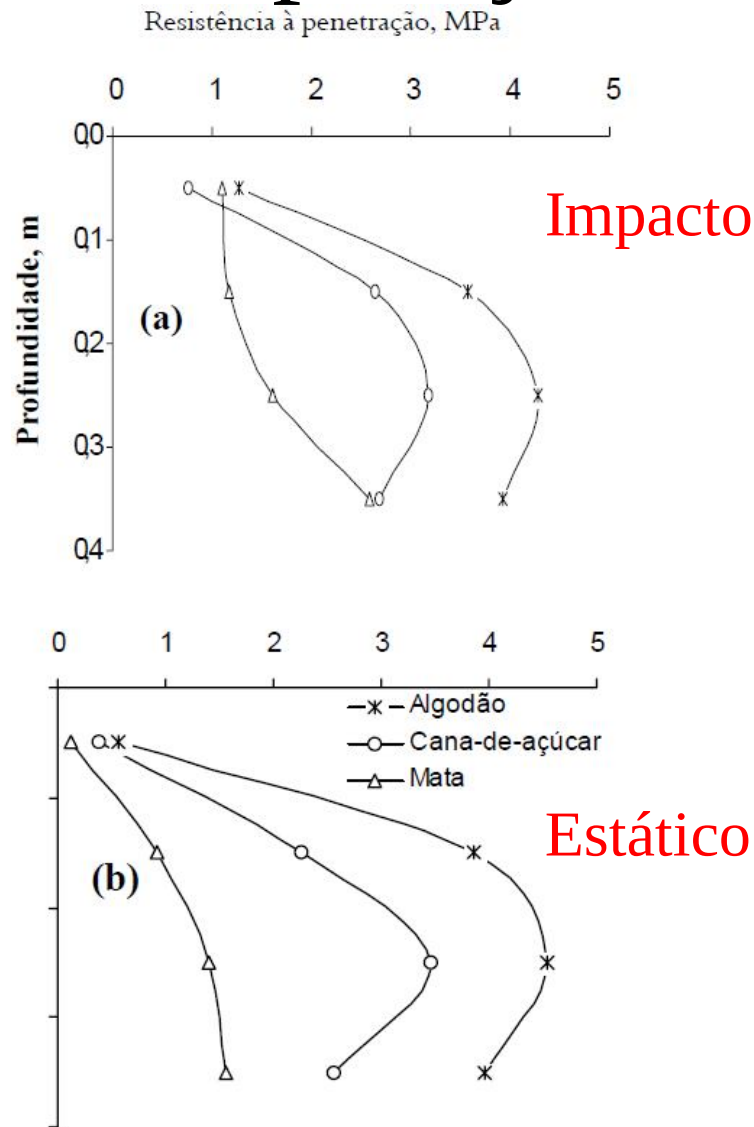
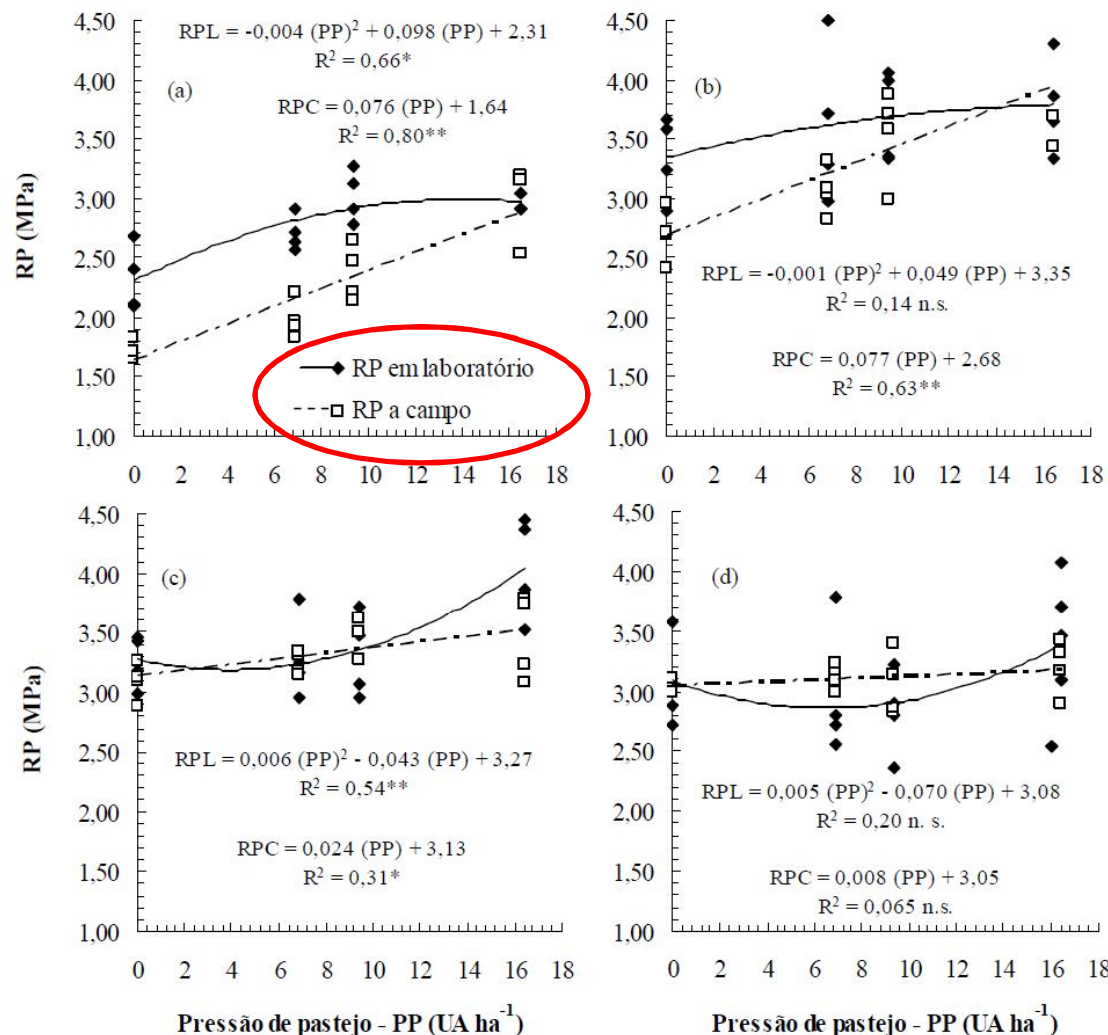


Figura 2. Correlação entre os valores de resistência do solo à penetração determinados com o penetrômetro estático e de impacto

Figura 1. Resistência à penetração avaliada com os penetrômetros de impacto (a) e estático (b), em diferentes profundidades e sistemas de uso do solo

Comparações entre penetrômetros



A magnitude dos valores de RP, assim como a resposta dos mesmos às pressões de pastejo, variaram em função do penetrômetro utilizado (Debiasi et al., 2010).

Figura 1. Resistência do solo à penetração medida em laboratório, com penetrômetro estático de bancada (RPL), e no campo, com penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf (RPC), em função da pressão de pastejo, nas camadas de 0,0-0,05 m (a), 0,05-0,1 m (b), 0,1-0,2 m (c) e 0,2-0,3 m (d). * - modelo estatisticamente significativo ($p < 0,05$). ** - modelo estatisticamente significativo ($p < 0,01$). n. s. – modelo estatisticamente não significativo ($p > 0,05$).

COMPARAÇÃO COM PENETRÔMETRO PADRÃO ASAE

- ASAE Ângulo pequeno
- ASAE Ângulo Grande
- Penetrômetro com sensor de CE e RP;

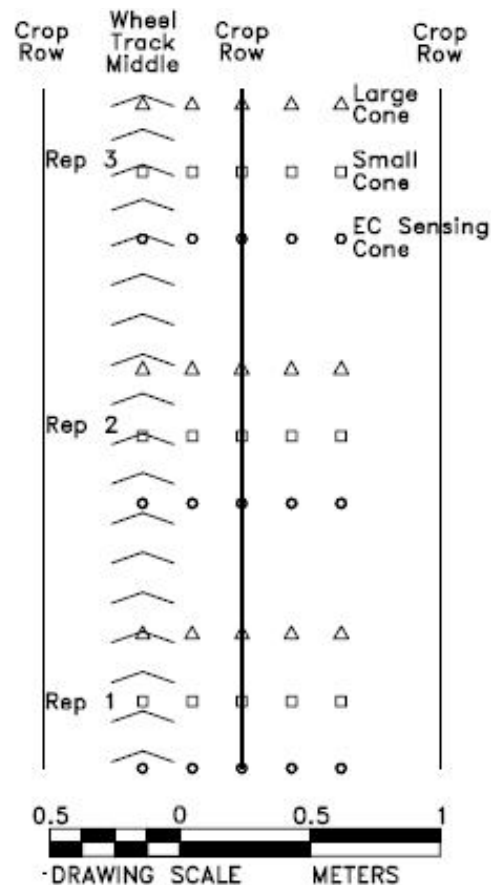


Figure 2. Layout of penetrometer tip comparison study (conversion: multiply m by 3.281 for ft).

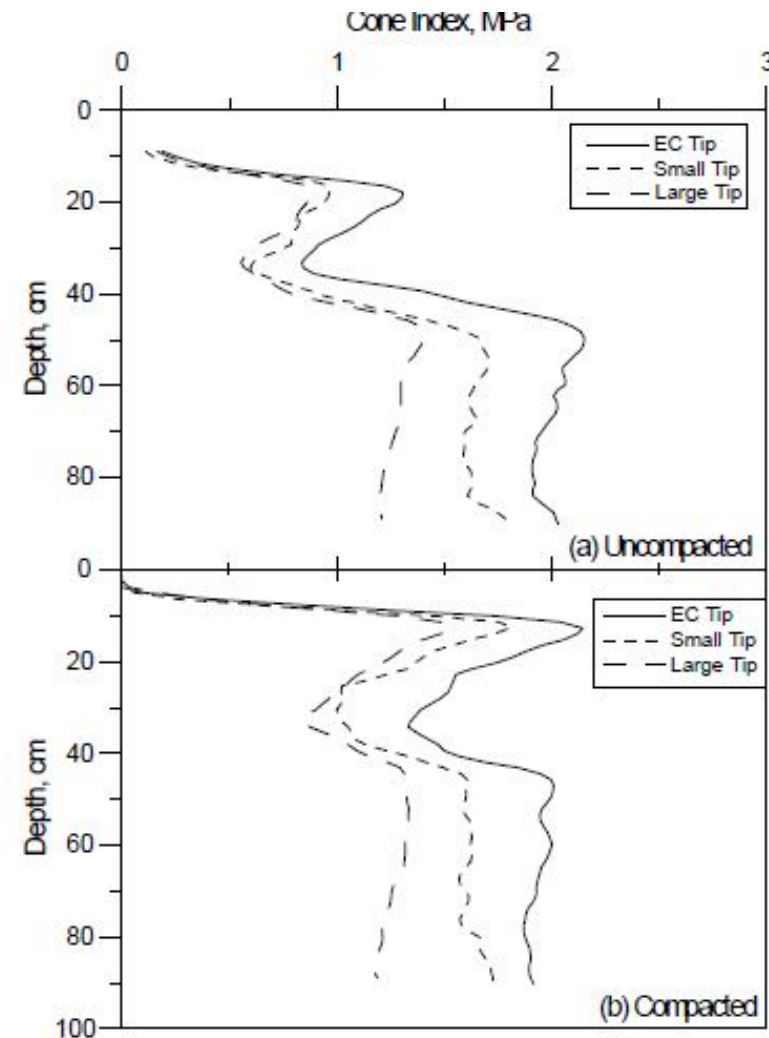


Figure 3. Typical plots of CI as a function of depth for (a) uncompacted and (b) compacted treatments (conversion: multiply MPa by 145.0 for psi, multiply cm by 0.3937 for in.).

Fonte: Sudduth et al. (2004)

Apresentação dos resultados

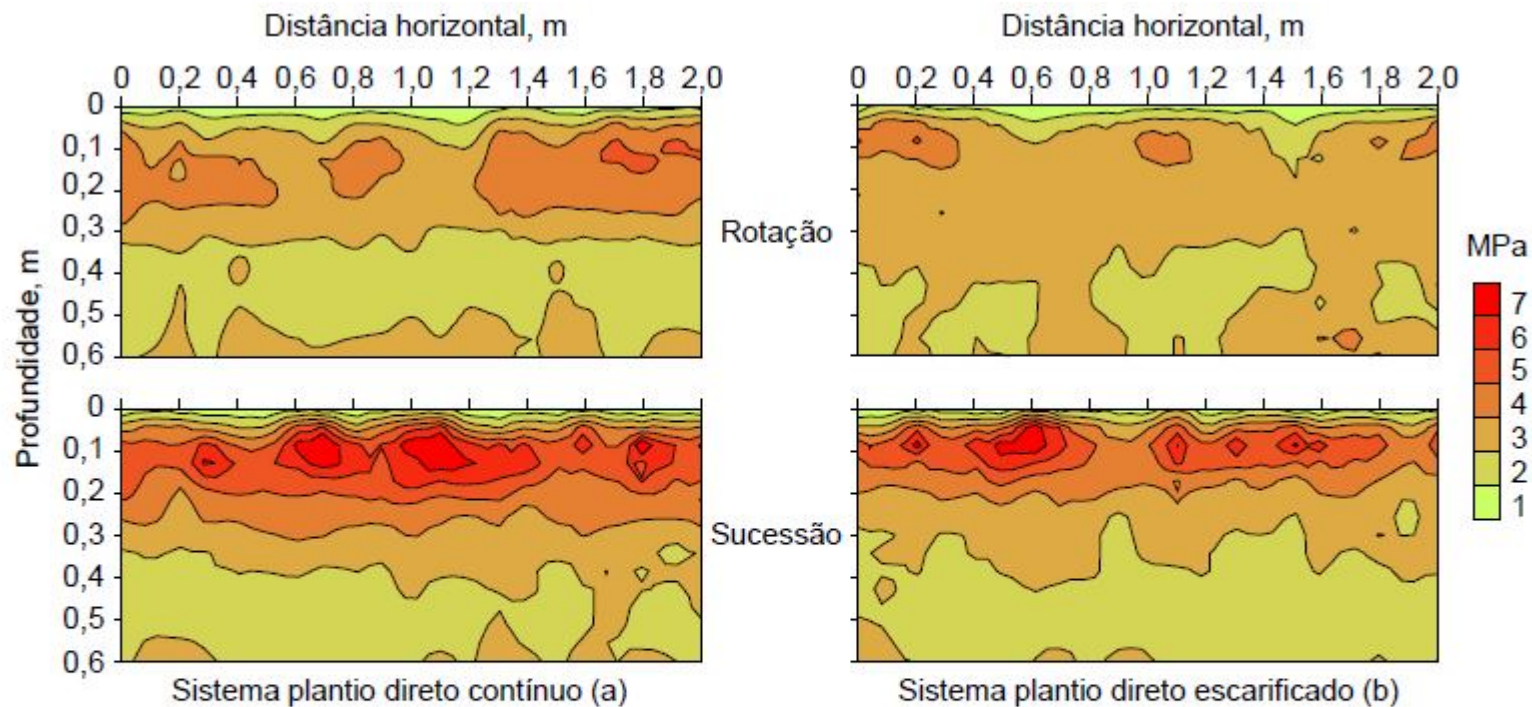


Figura 2. Perfis de resistência à penetração de um Latossolo Vermelho distroférico manejado durante 22 anos sob SPD contínuo (a) ou SPD escarificado a cada três safras (b), em função da rotação (tremoço/milho – aveia/soja – trigo/soja – trigo/soja) e da sucessão de culturas (trigo/soja). Embrapa Soja, Londrina/PR, 2010.

Determinação do Intervalo Hídrico Ótimo

Coleta de Amostras indeformadas



Coleta de Amostras indeformadas



Coleta de Amostras indeformadas



Coleta de Amostras indeformadas



Coleta de Amostras indeformadas



Coleta de Amostras indeformadas



Coleta de Amostras indeformadas



Coleta de Amostras indeformadas



Coleta de Amostras indeformadas



Fonte: Mentges (2010) 27

Porosidade Total

- Determinada através da relação entre a D_s e a D_p :

$$P_t = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right)$$



Curva de retenção de água (CRA)

- Determinada em diferentes equipamentos:

- 0,001 MPa

- 0,006 Mpa

- 0,01MPa;

- 0,033 MPa;

- 0,1 MPa;

- 0,5 MPa;

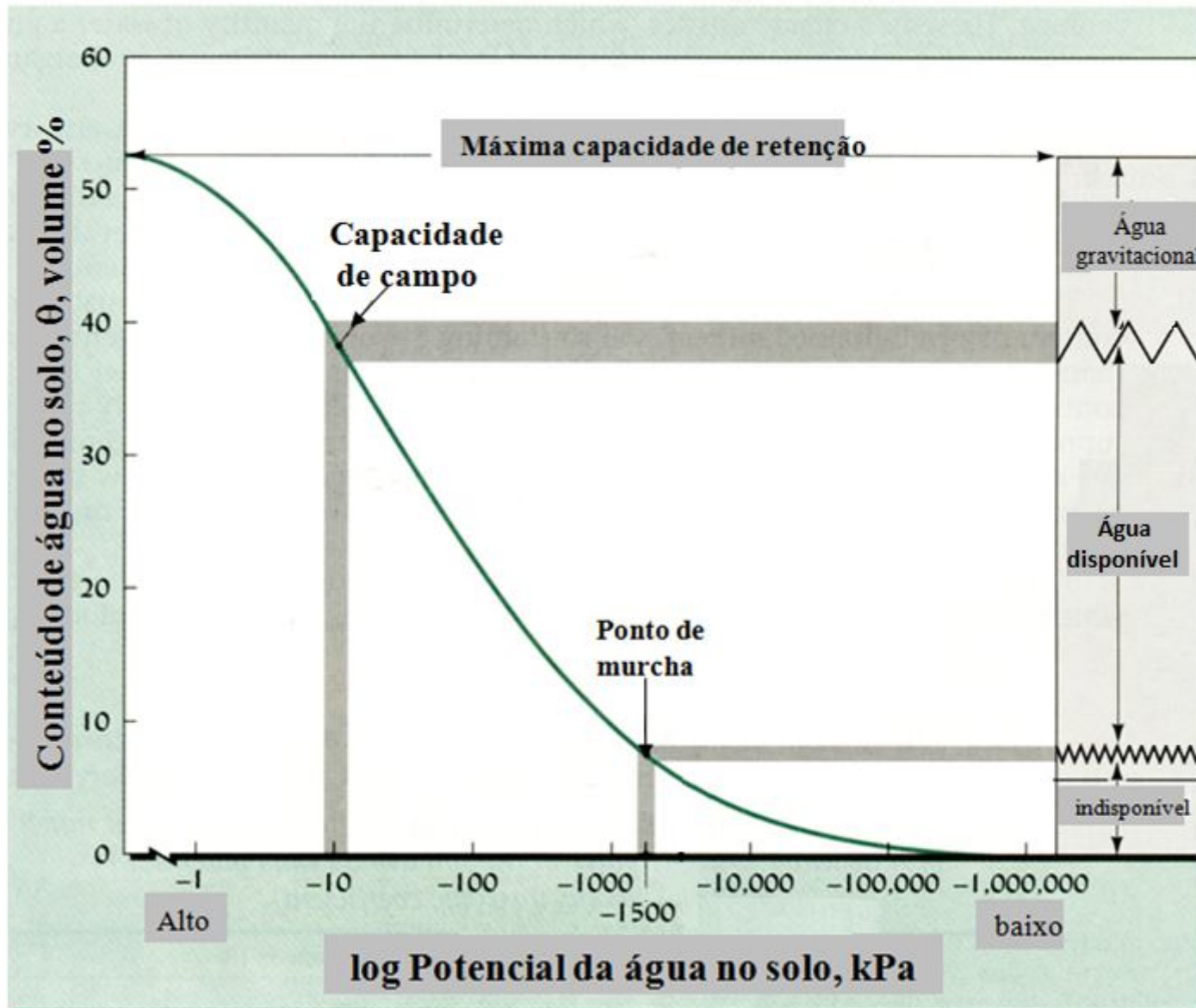
- 1,5 Mpa.

Mesa de tensão ou
coluna de areia

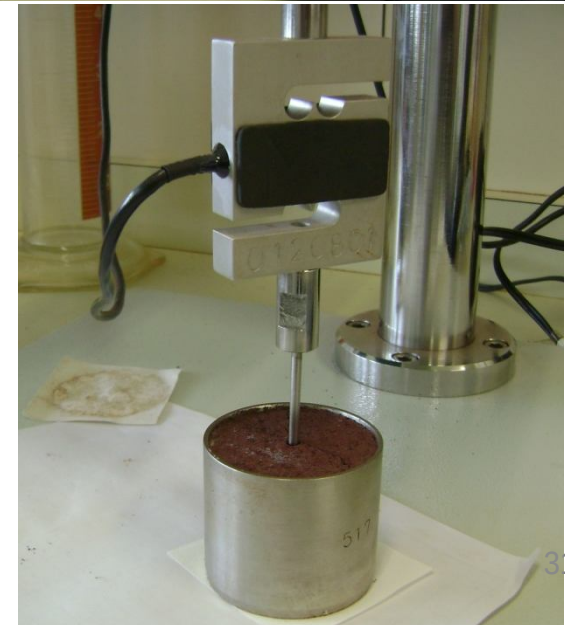
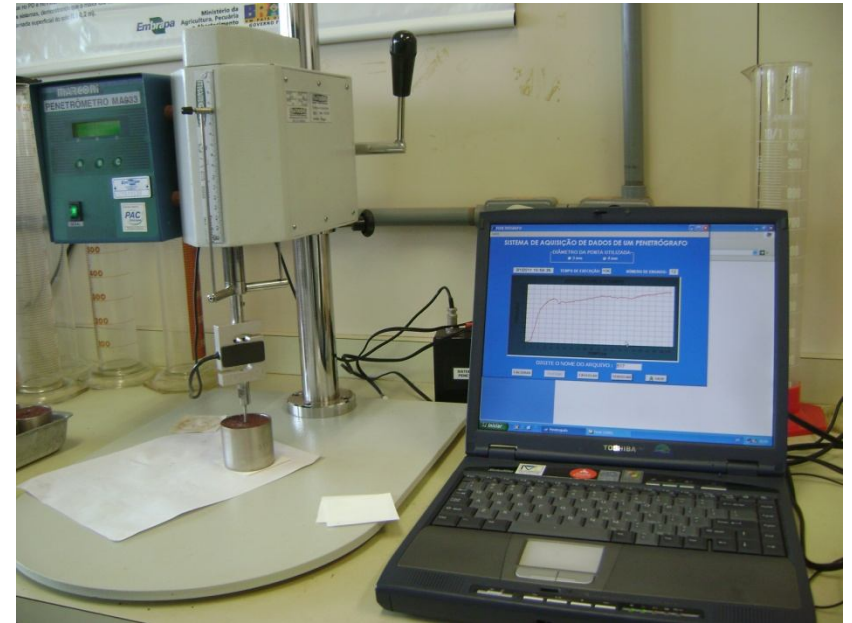
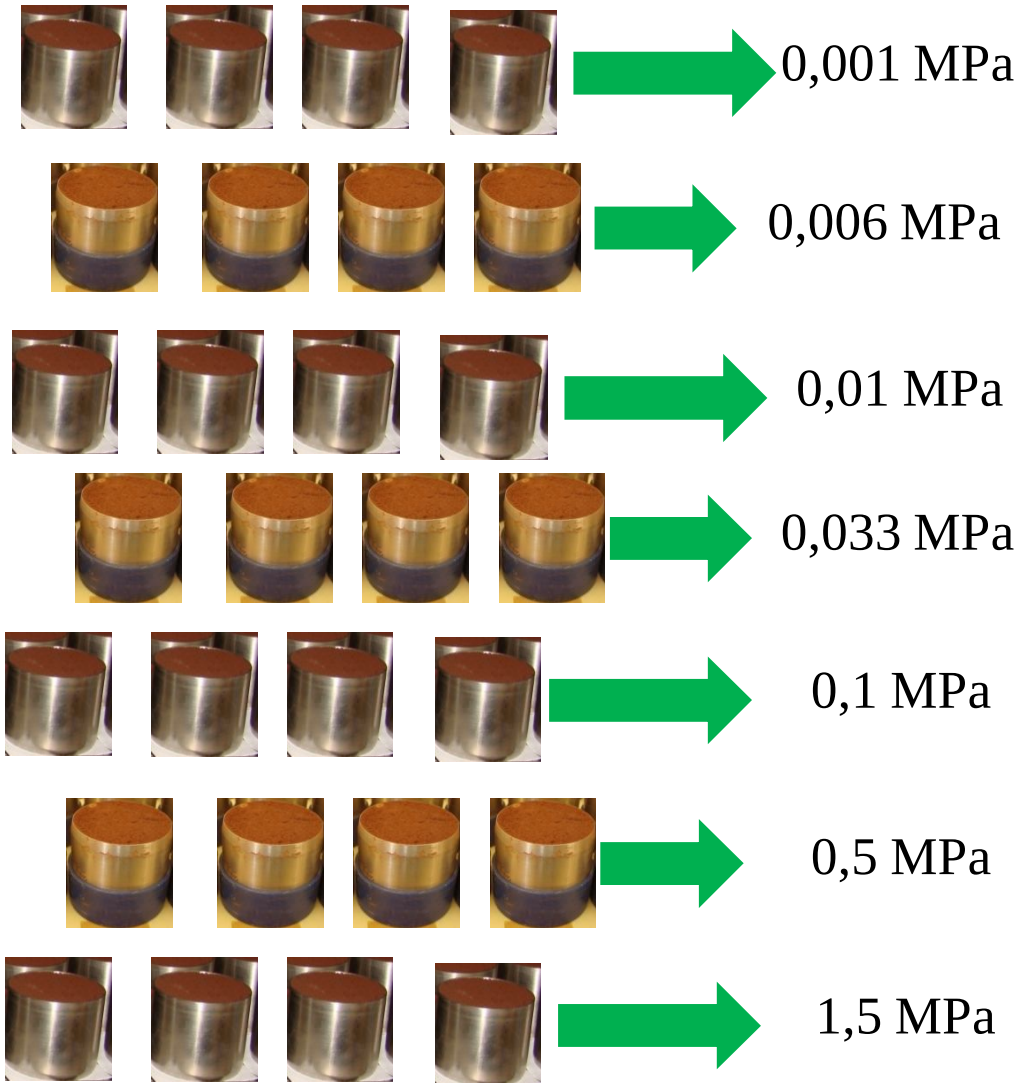
Câmaras extratoras de Richardt

WP4 T

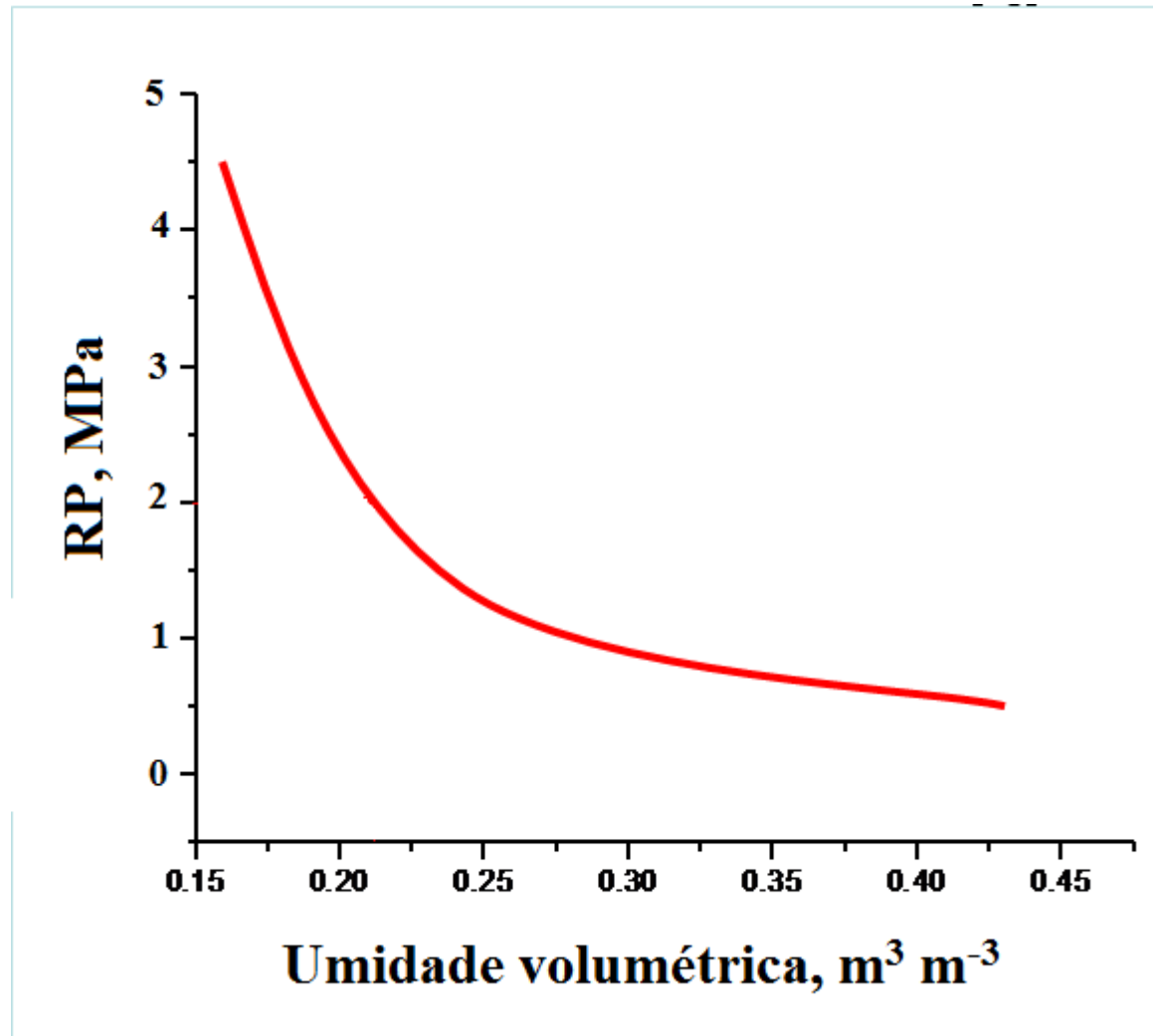
Curva de retenção de água (CRA)



Curva de resistência do solo à penetração (CRSP)



Curva de resistência do solo à penetração (CRSP)



IHO

- 1º Passo:

- Ajustar a CRA com a Ds

- $\theta = a_0 * Ds^{a_1} * |\Psi|^b$

a_0 ; a_1 e b são parâmetros obtidos por meio do ajuste dos modelos

- 2º Passo:

- Ajustar a CRSP com a Ds

- $RP = c * \theta^d * Ds^e$

c ; d e e são parâmetros obtidos por meio do ajuste dos modelos

IHO

- 3º Passo:

- Limite superior

- Determinação do θ para a capacidade de campo

- $\theta_{cc} = a_0 * Ds^{a1} * 100^b$

- Calcular o θ em que a porosidade de aeração é de 10%

- $\theta_{ar} = [1 - (Ds/Dp) - 0,10]$

- Limite inferior

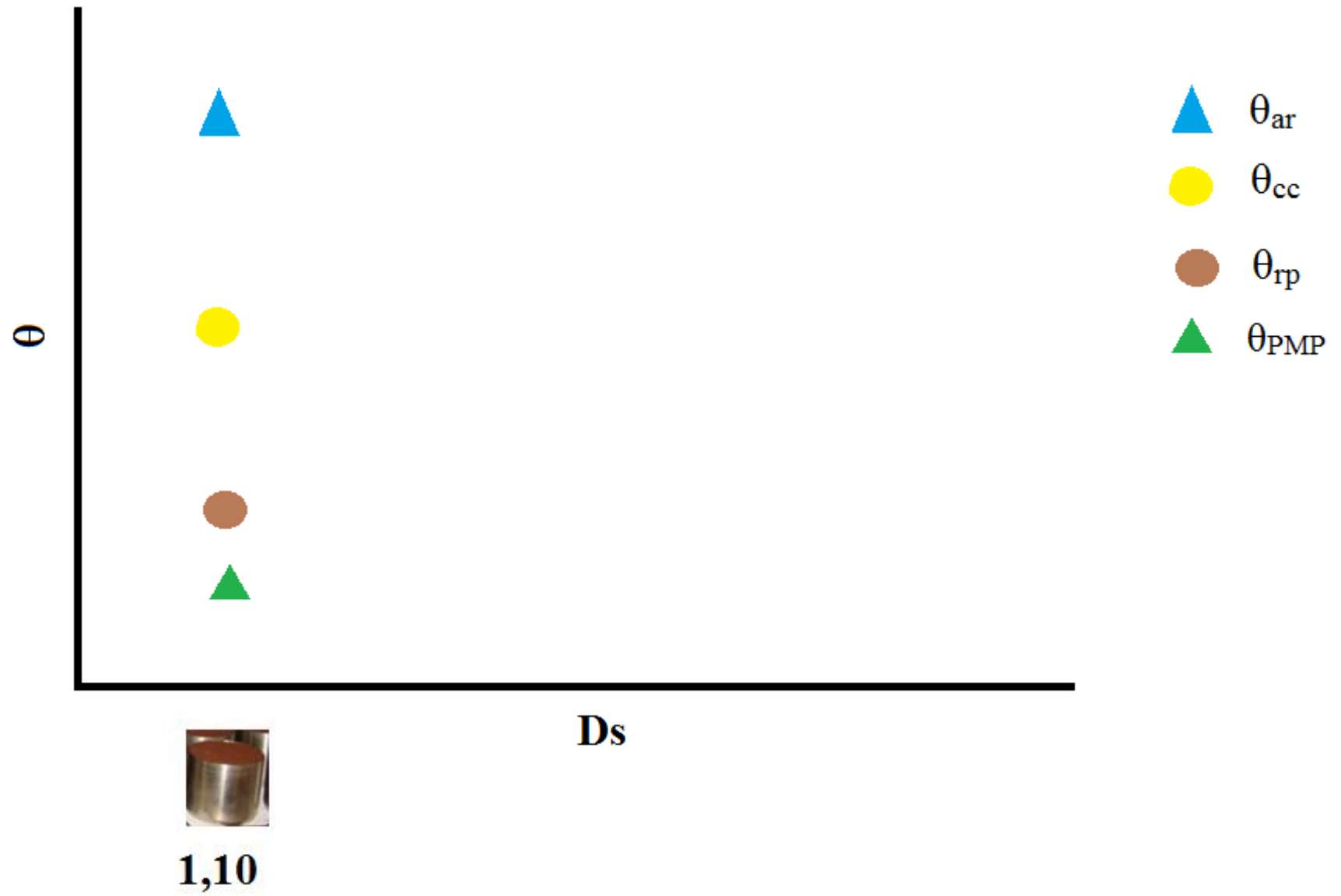
- Determinar o θ no Ponto de Murcha Permanente

- $\theta_{PMP} = a_0 * Ds^{a1} * 15000^b$

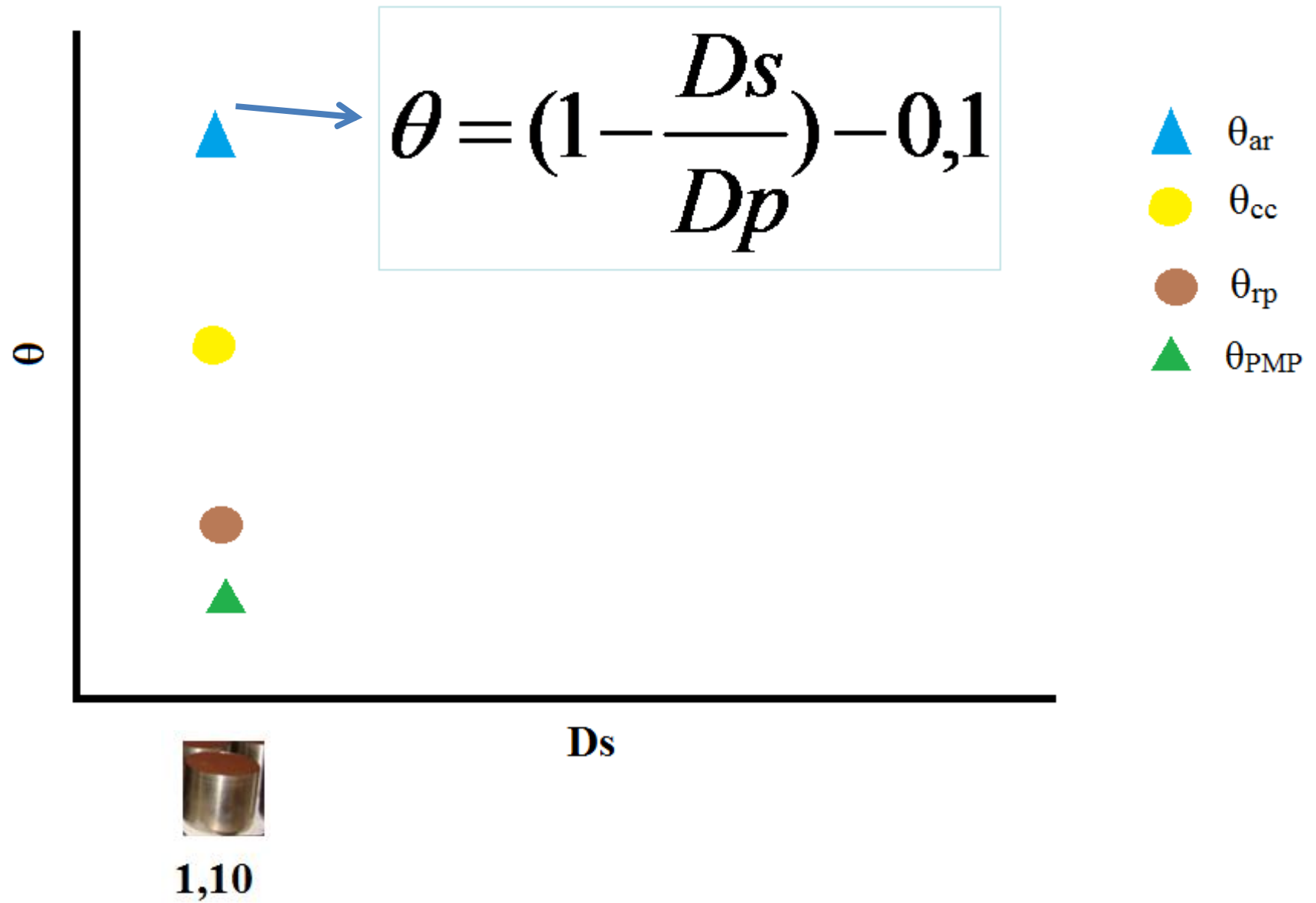
- Calcular o θ em que a RP é limitante (2 MPa)

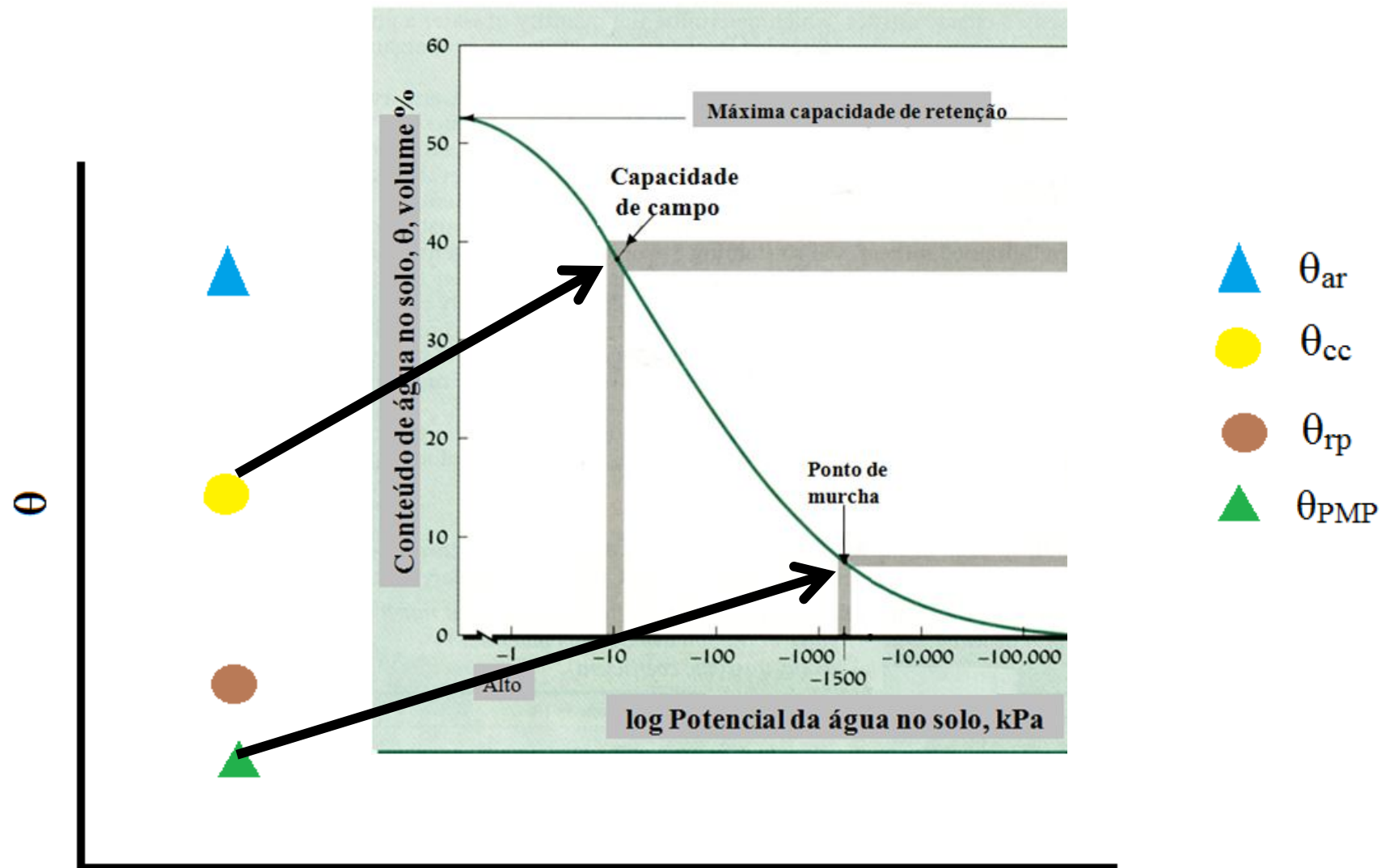
- $\theta_{rp} = [2/(cDs^f)]^{(1/e)}$

IHO



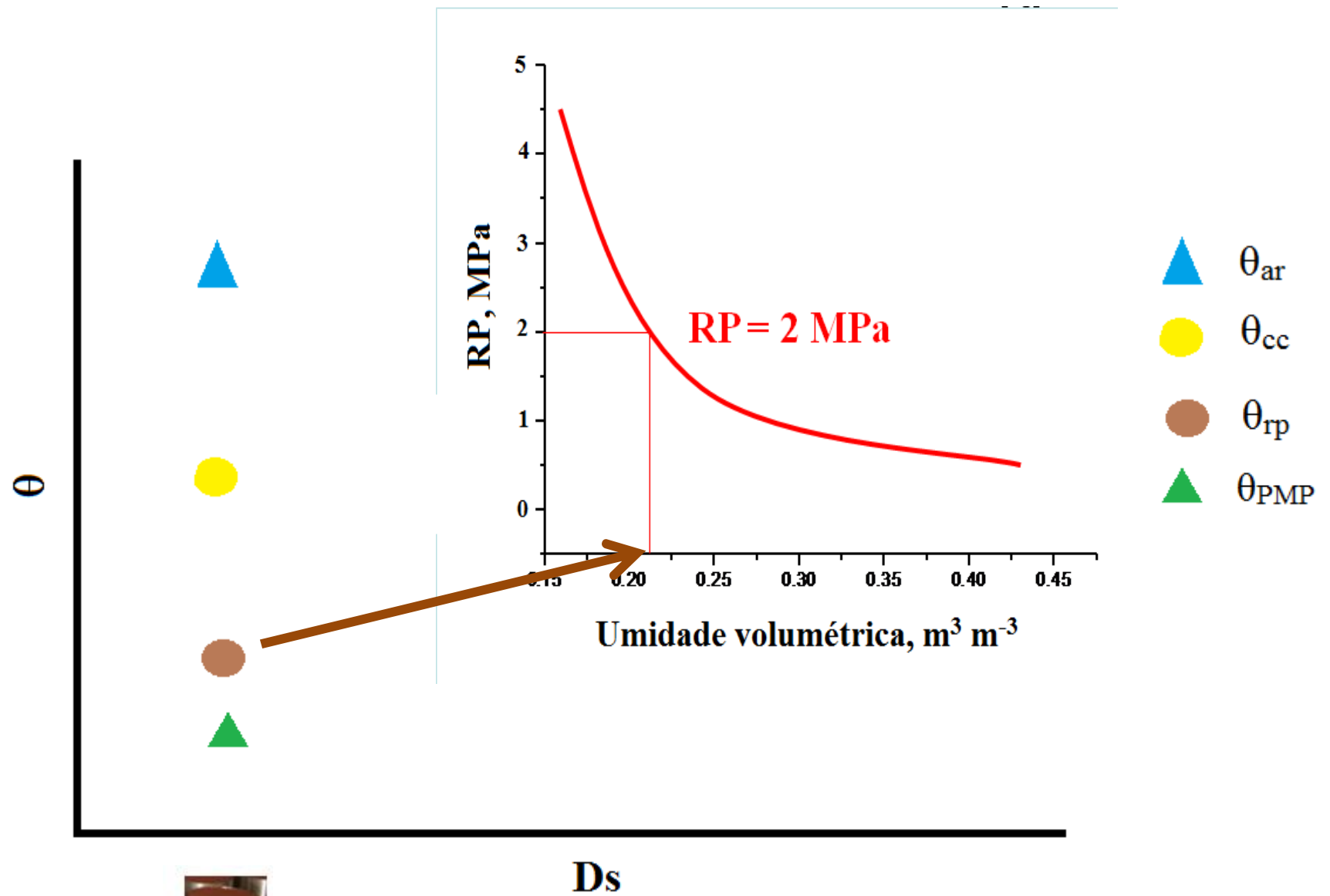
IHO





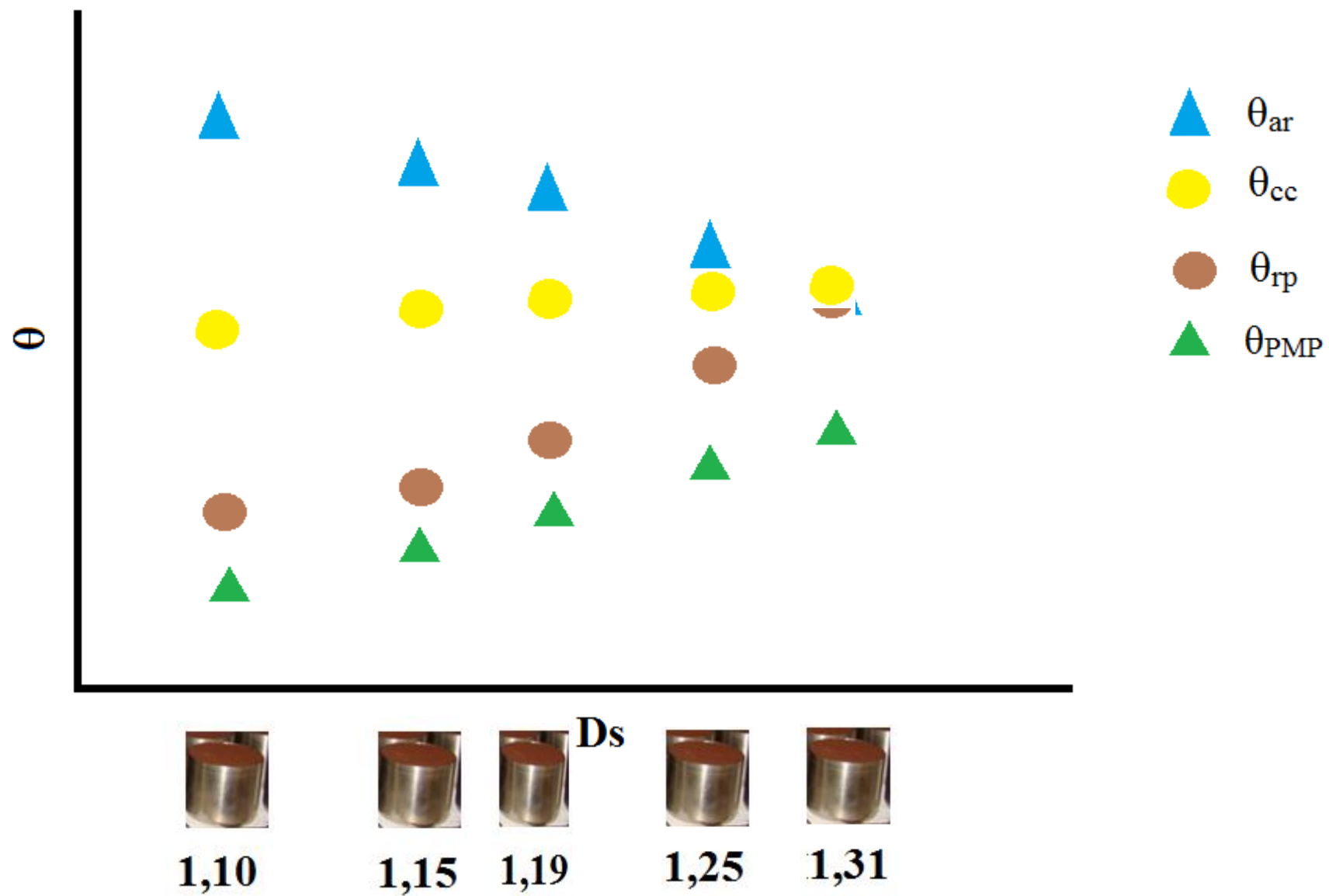
1,10

Ds

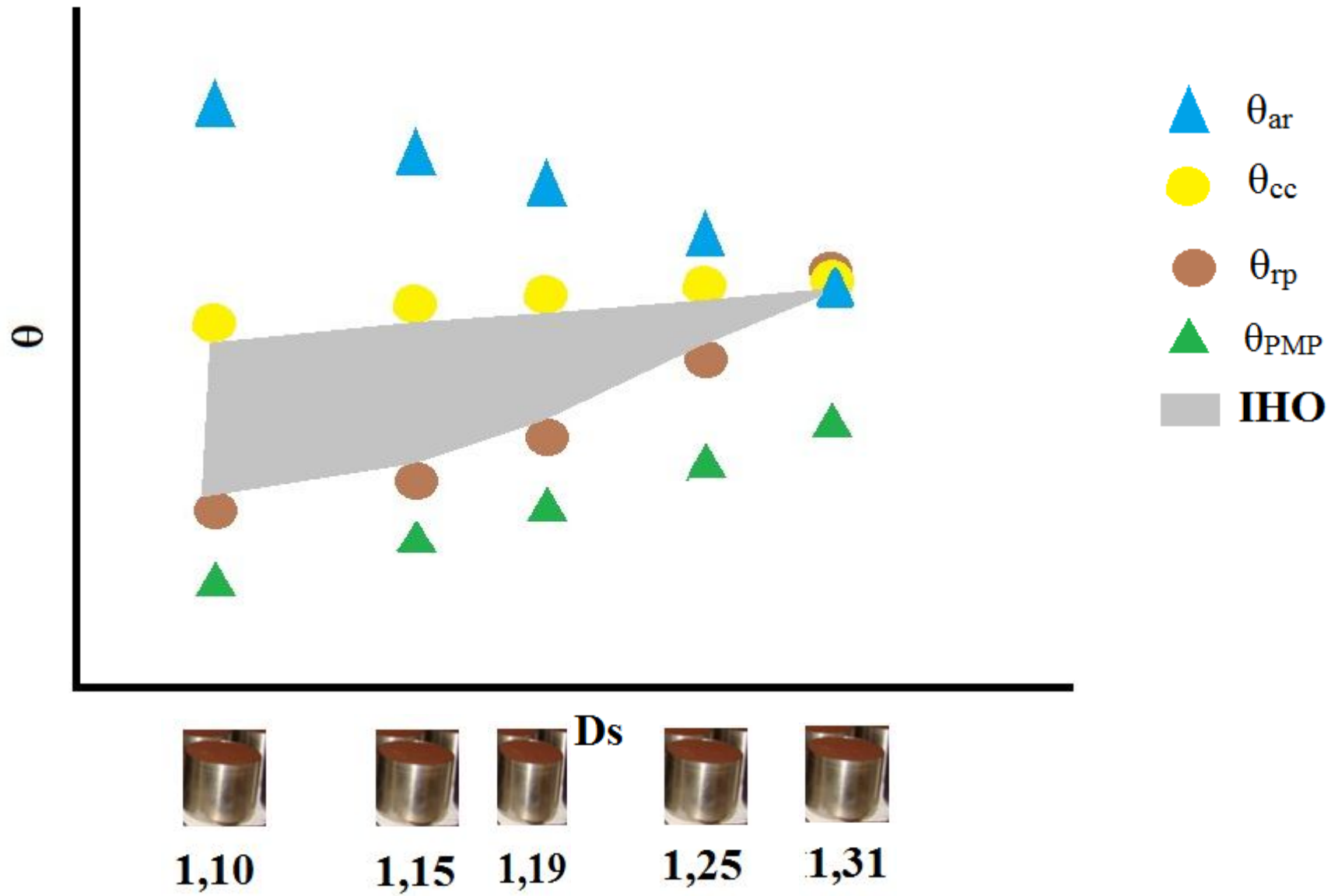


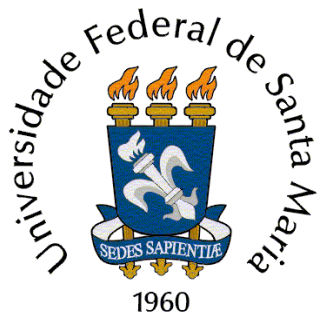
1,10

IHO



IHO





Universidade Federal de Santa Maria
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo
Física do Solo



Penetrômetros & Intervalo Hídrico Ótimo

OBRIGADO PELA ATENÇÃO!



Fonte: Sá et al., 2005

Moacir Tuzzin de Moraes

Professor: Dr. José Miguel Reichert
Santa Maria, 29 de setembro de 2011



Fonte: Sá et al., 2005