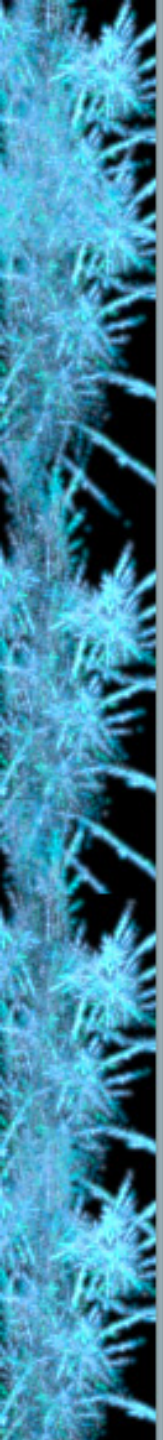


# Perfil de Sucção e a Variações Sazonais de Parâmetros Geotécnicos

Fernando A. M. Marinho  
Escola Politécnica da USP



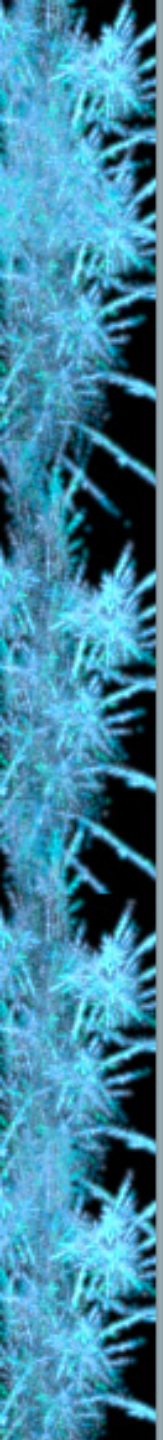
Be far the most terrifying film  
you will ever see.

# an inconvenient truth

A GLOBAL WARNING

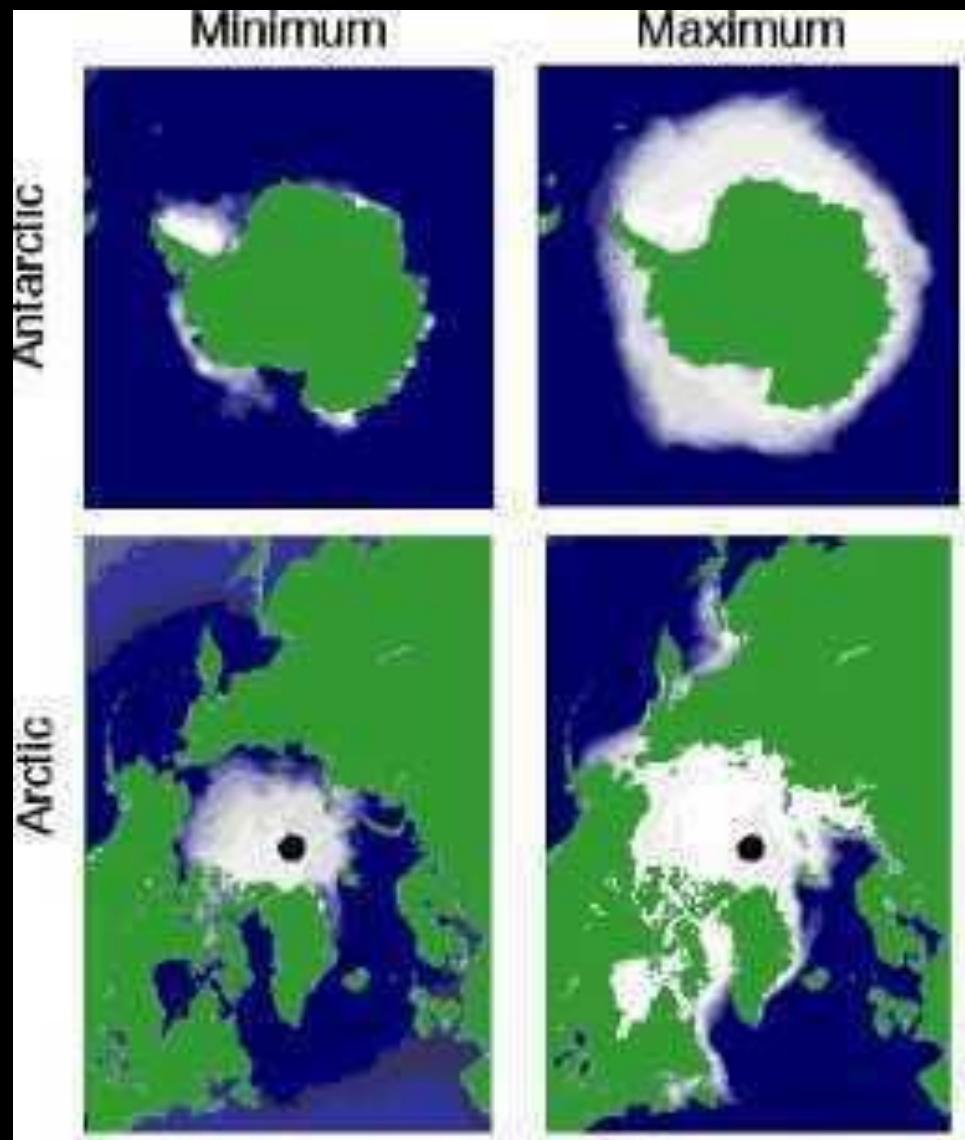
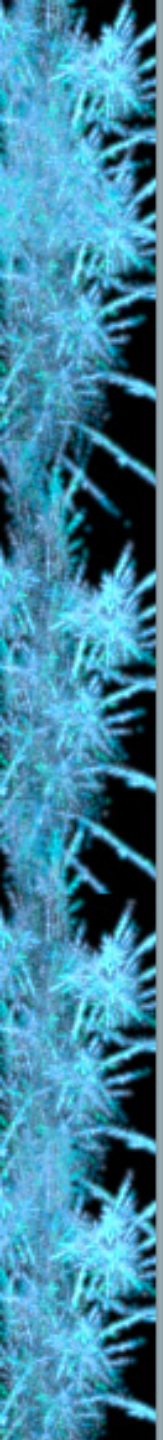
Produced by Mark Wahlberg and Alcon Entertainment. Directed by Roland Emmerich. Starring Al Pacino, Morgan Freeman, and others. [www.convenienttruth.com](http://www.convenienttruth.com)



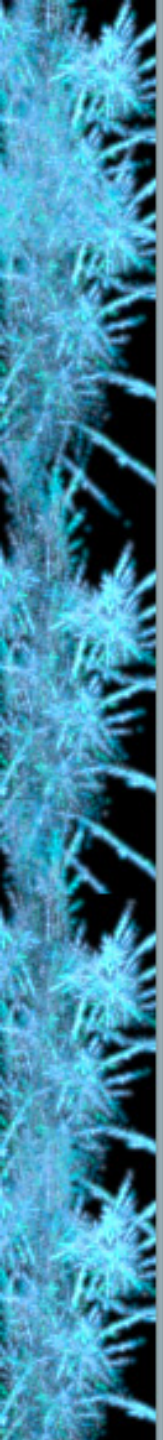


Gore (2006)





O gelo no Ártico varia sazonalmente de 7 milhões de km<sup>2</sup> (verão) a 14 milhões de km<sup>2</sup> (Inverno)



Abril 2003



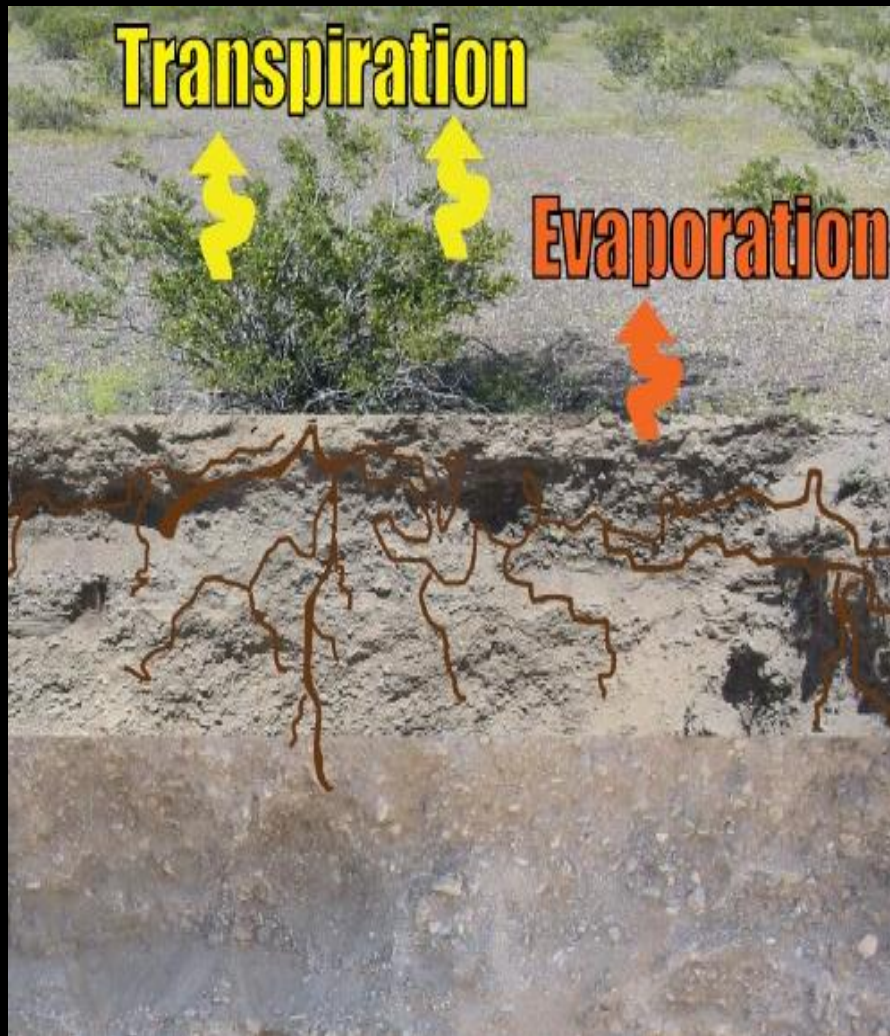
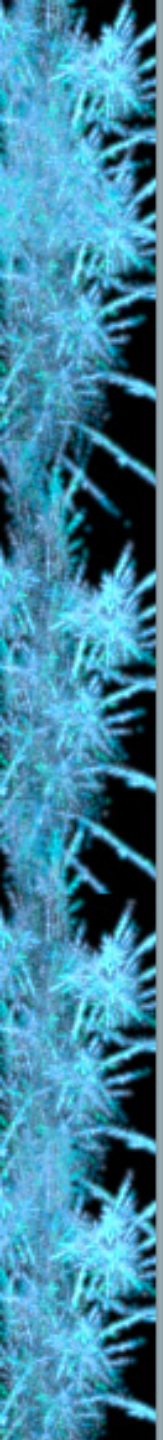
Low Water, Coniston, UK

Julho 2002



Abril 2006





a **convenient** truth

A GLOBAL **WARNING**

Produced by the Center for Global Change Science, Harvard University. © 2007. All rights reserved. For more information, visit [www.chgs.harvard.edu](http://www.chgs.harvard.edu).

# Umidade relativa do ar e Temperatura

Vento

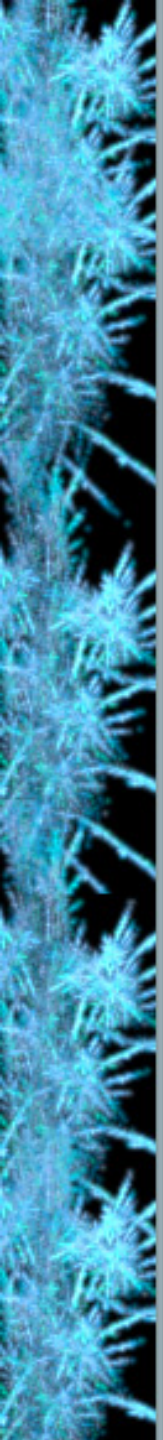
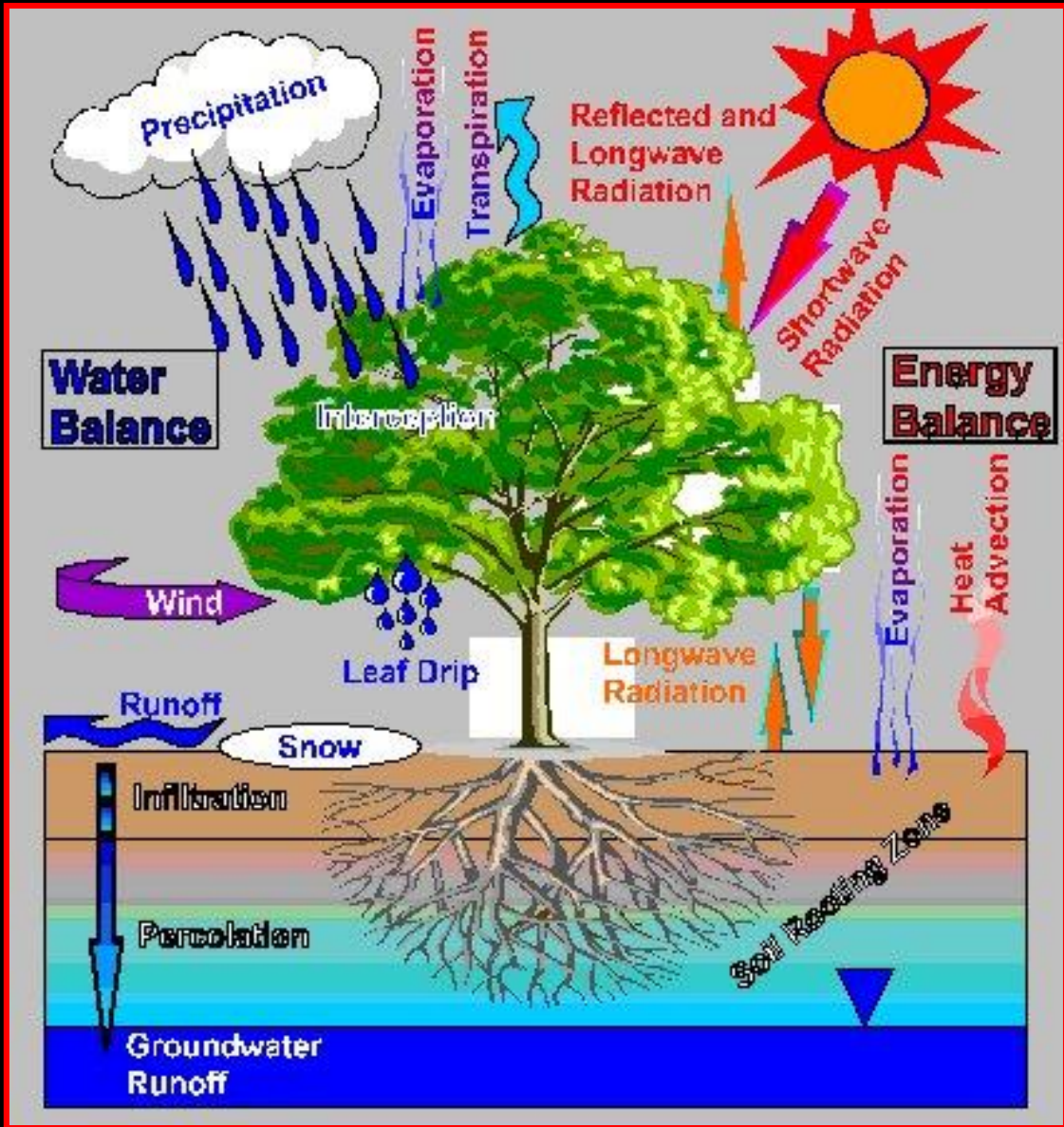
Capacidade de retenção de água

Características geométricas

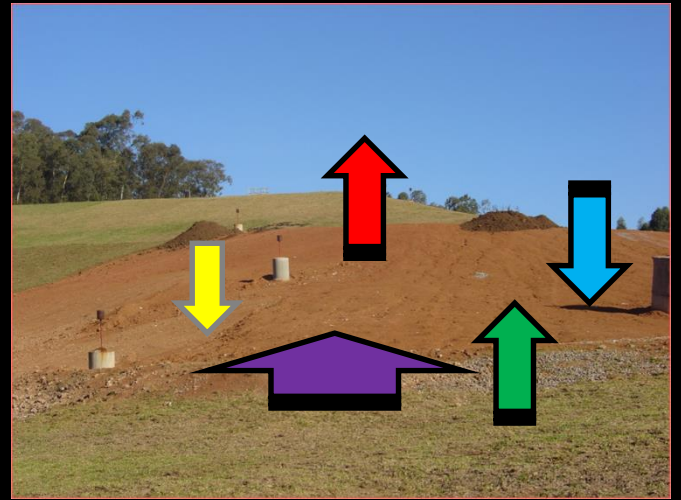
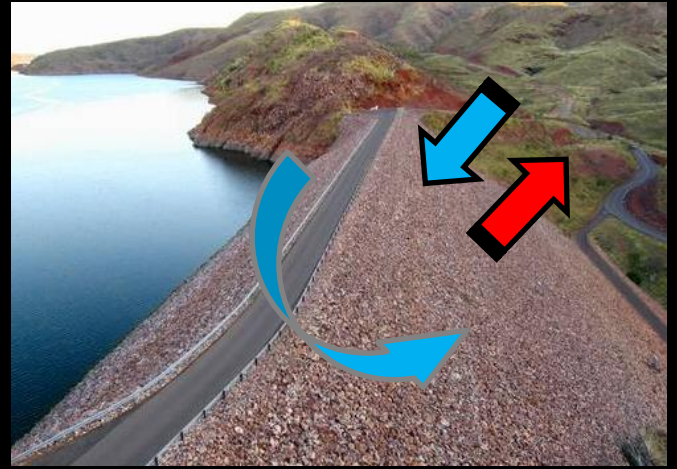
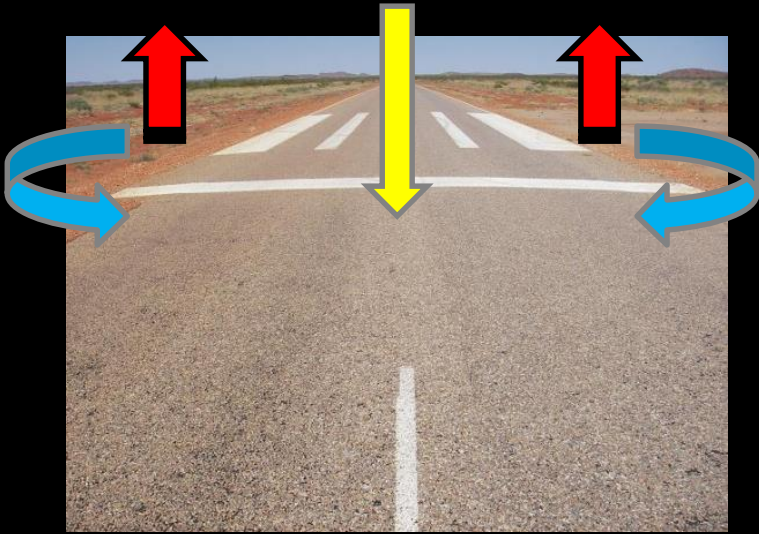
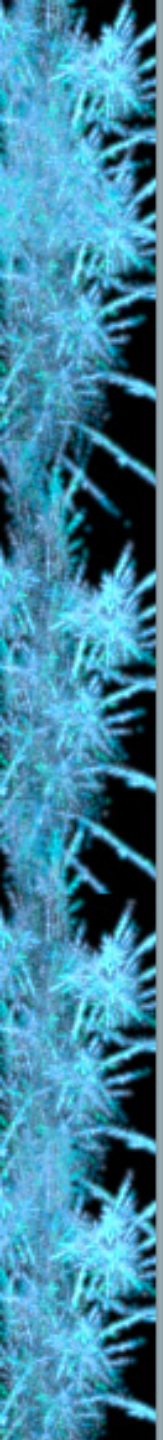


Laboratório de evaporação

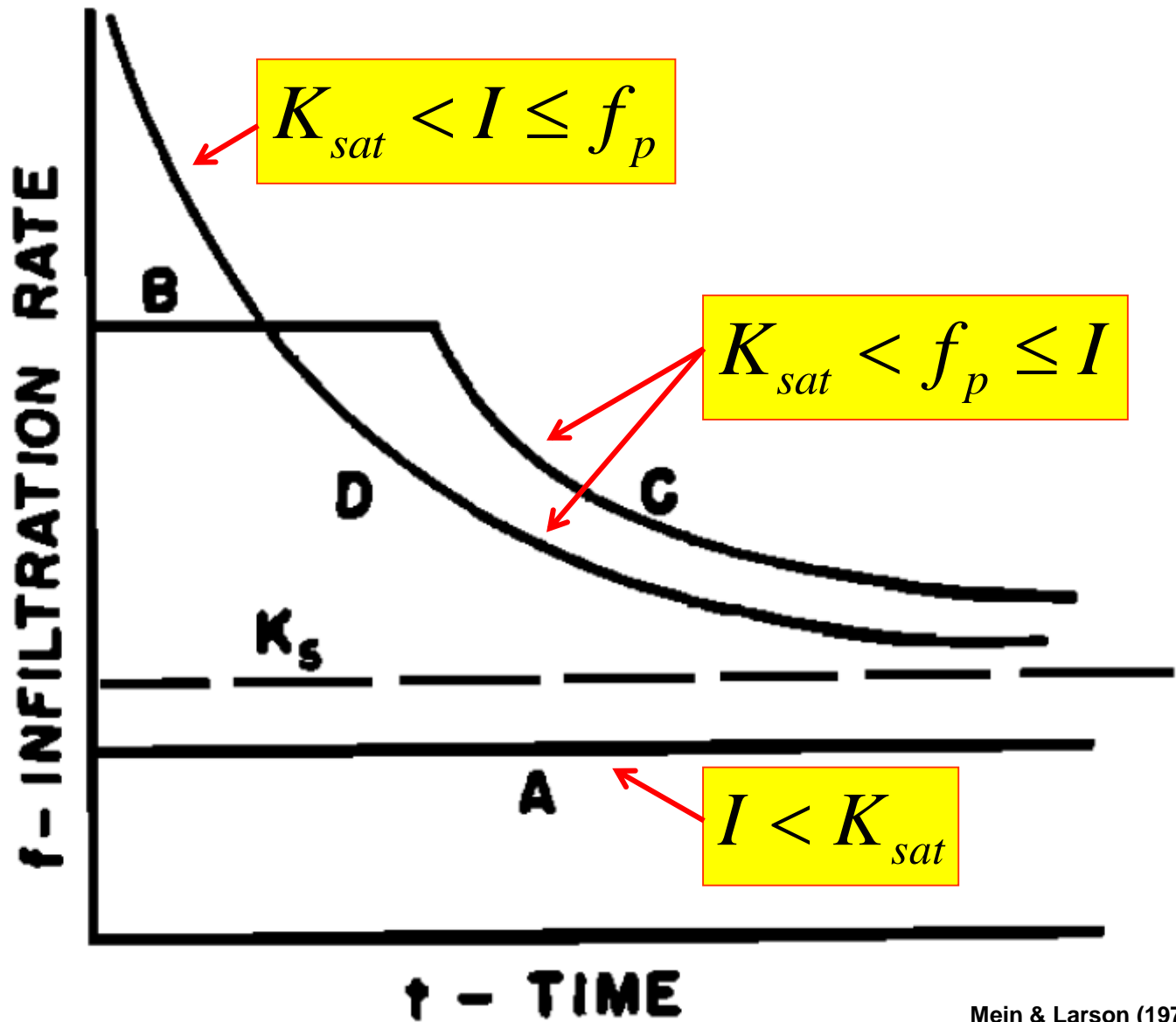






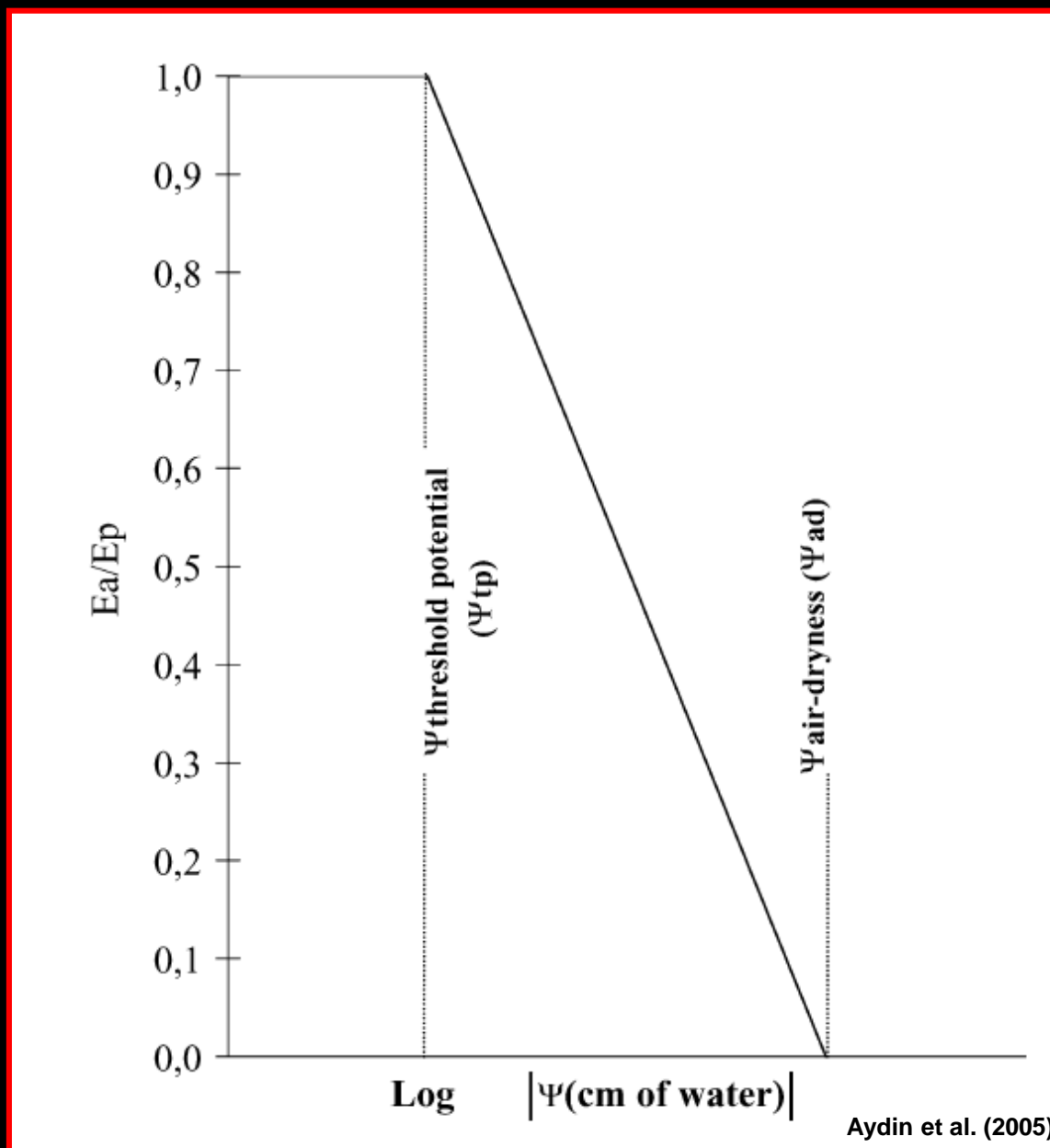


# Diferentes casos de infiltração

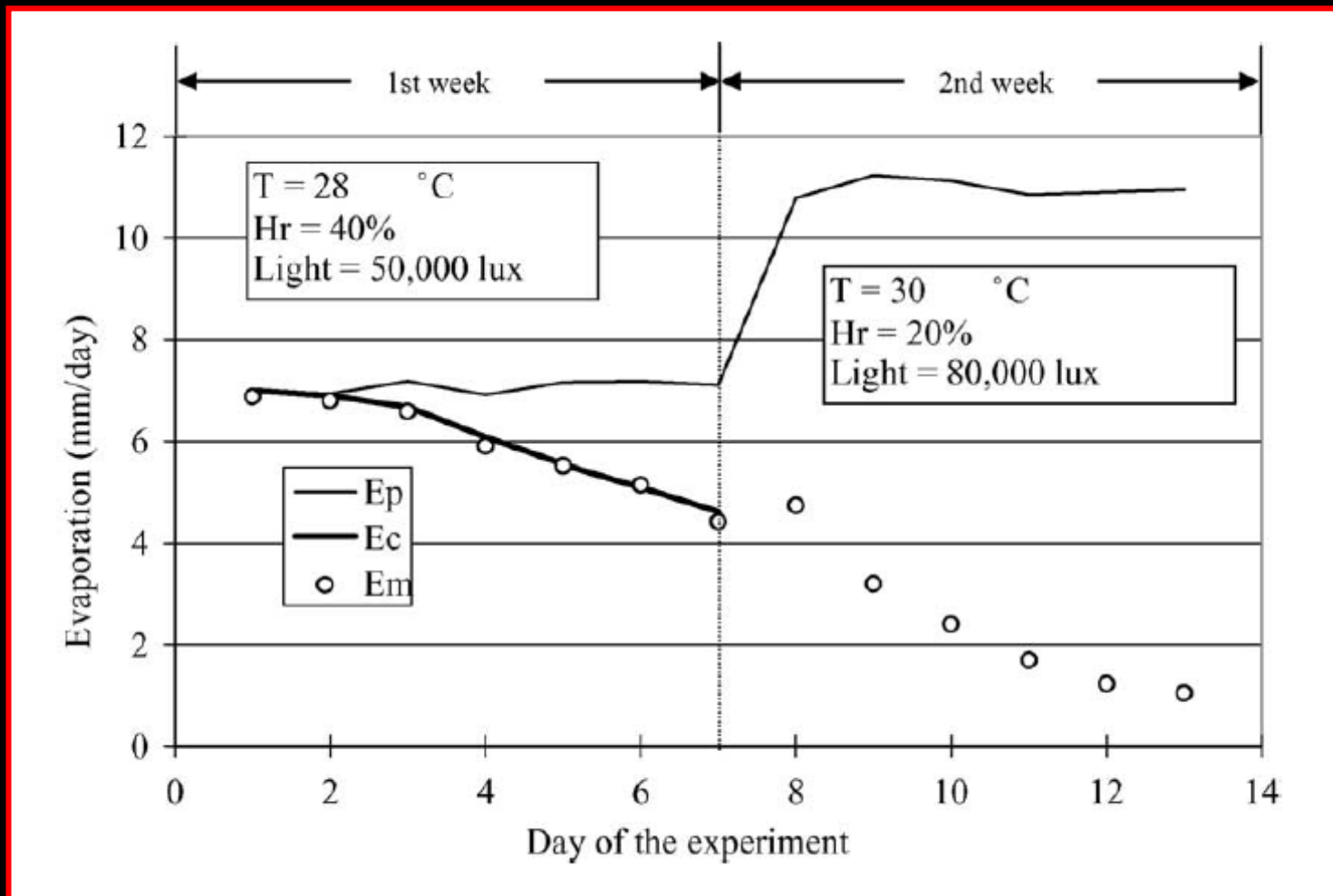




# Representação esquemática da razão entre a evaporação real e a potencial com a sucção matricial.



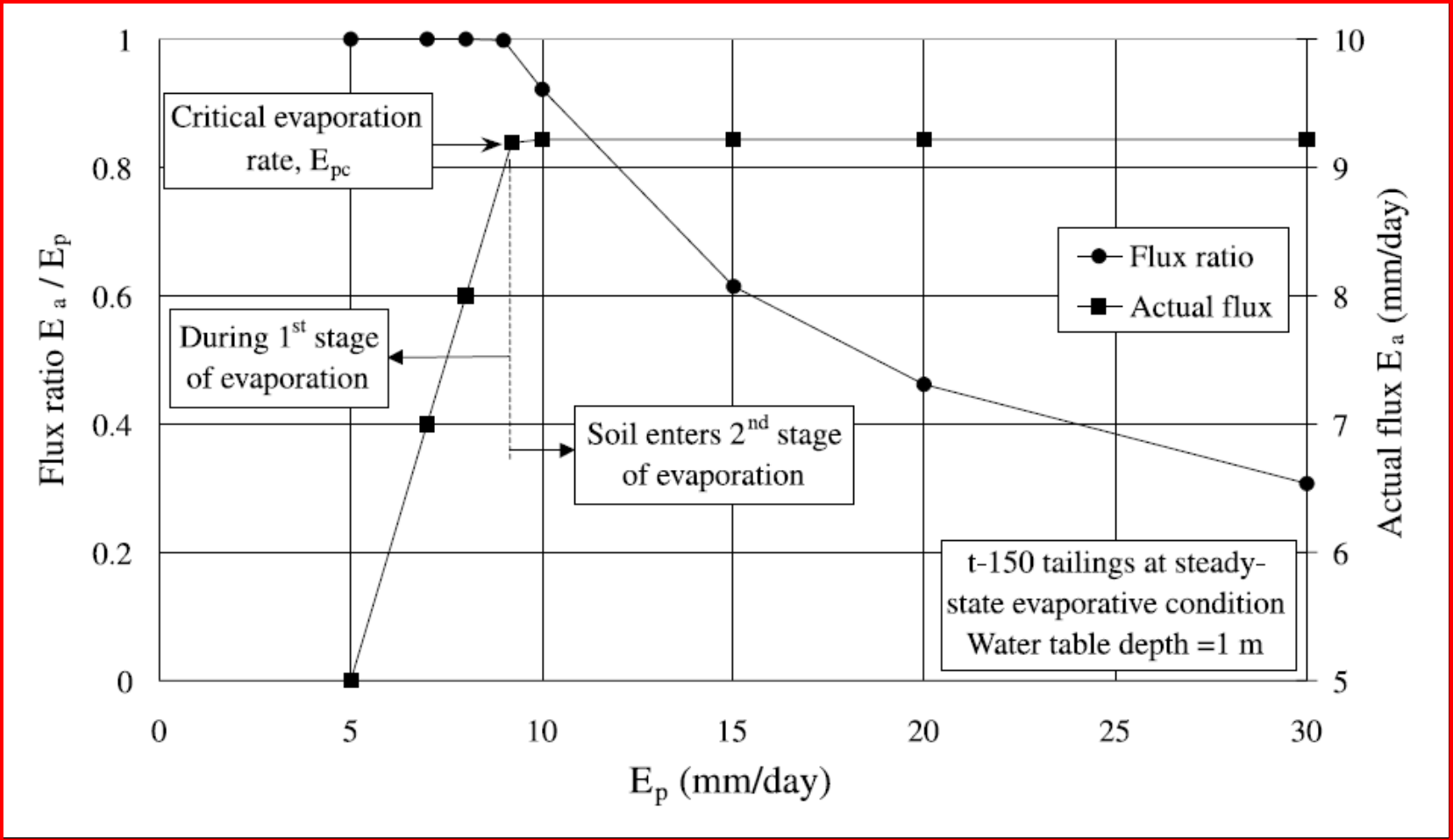
# Comparação entre a evaporação medida (Em), potencial (Ep) e calculada (Ec) em uma coluna de areia.



Aydin et al. (2005)



# Conceito de razão de evaporação crítica



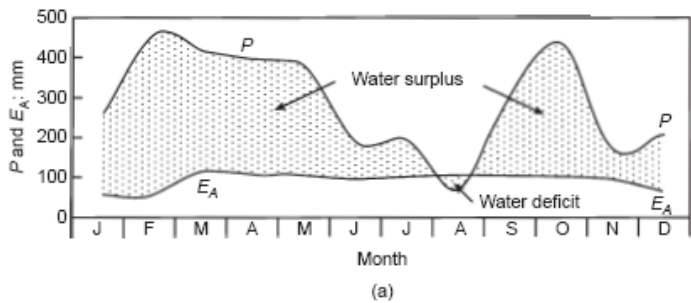


# Objetivo

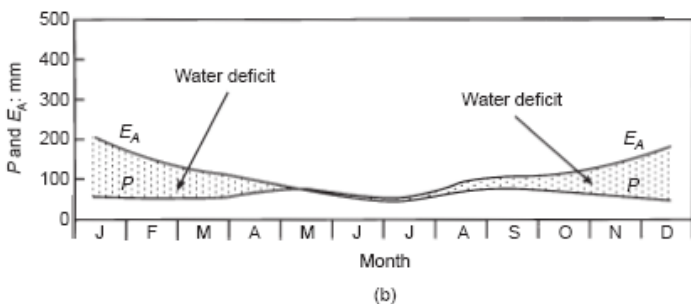
- Discutir as razões da sazonalidade de alguns parâmetros geotécnicos
- Discutir alguns dos efeitos da sazonalidade



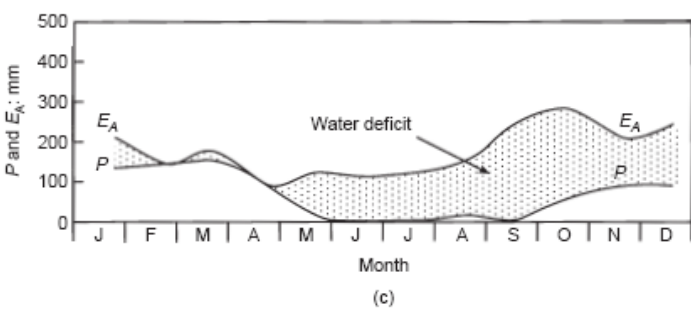
# Diferentes tipos de balanços atmosféricos:



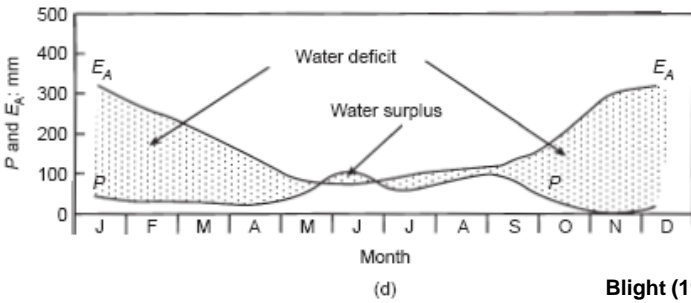
Kuala Tahan, Malásia, 1984;



Melbourne, Austrália, média de 30 anos



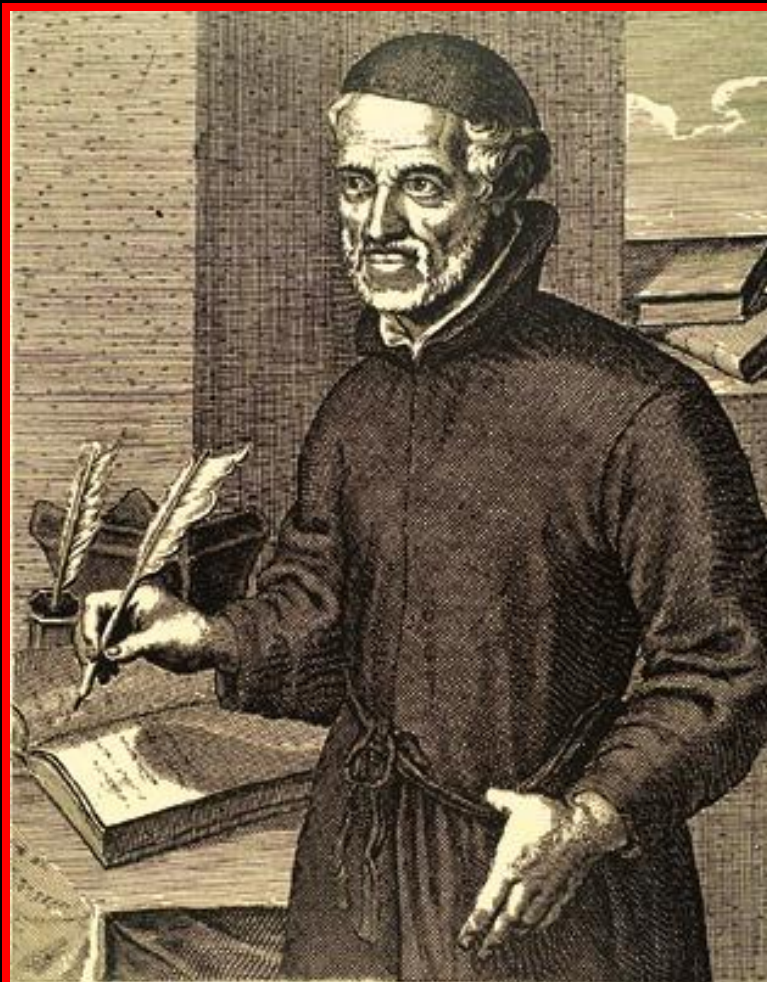
Johannesburg, Africa do Sul, 1987



Cape Town, Africa do Sul, 1992

$E_A$  - Evaporação do tanque classe "A"  
P - Precipitação

# Padre António Vieira



VERA EFFIGIES CELEBERRIMI,  
P. ANTONII VIEYRA,  
e Societ. Jesu, Lusitanicorum Regum Concionatoris, et Concionatorum Principis,  
quem dedit Lusitania mundo Ulyssipo Lusitania, Societati Brasilia Obijt Bahía  
Prope nonagenarius Die 18 July Ann. 1697. Quiescit in regio Collegij Bahy-  
ensis templo, ubi sepultus frequentissimo urbis concursu, aeterno orbis desiderio ~  
Arnoldi VanWesterhout Sculp. Rom. Sup. parva.

1608 - Nasce em Lisboa, Portugal, à 6 de fevereiro.

1614 - Aos 6 anos vem para o Brasil (Bahia).

1641 - Aos 33 anos voltou a Portugal.

1643 - Foi designado pelo rei Dom João IV para negociar a reconquista das colônias ( Maranhão).

1661 - É obrigado a deixar o Maranhão

1697 - Morre em 18 de Julho aos 89 anos, na Bahia.



# *A influência do Clima no Nascimento de Vícios e Virtudes*

## § III

A influência do clima no nascimento de vícios e virtudes. Os dois vícios dos cretenses: mentira e preguiça. As mais desfechadas mentiras que nunca se ouviram nem imaginaram. A mentira, filha primogênita do ócio. A proposição de Davi. O juízo temerário. A língua, a fera mais difícil de enfrear.

319 Ora, eu me pus a especular a causa por que o clima e o céu desta terra influi tanta mentira, e parece-me que achei a causa verdadeira e natural. Assim como o céu com uma virtude influi outra virtude, assim o clima, que também se chama céu, com um vício influi outro vício. Ponhamos o exemplo na verdade, que é a virtude contrária da mentira: *Veritas de terra orta est* (Sl 8, 12), diz Davi: A verdade nasceu da terra. — E logo advertiu que a terra de que falava não era toda a terra, senão a sua: *Et terra nostra dabit fructum suum* (11). Mas donde lhe veio aquela terra — que era a de Promissão — donde veio uma virtude tão singular no mundo, que nascesse dela a verdade? O mesmo profeta o disse: *Veritas de terra orta est, et justitia de coelo prospexit* (12).

(11) E a nossa terra produzirá o seu fruto (Sl 84, 13).

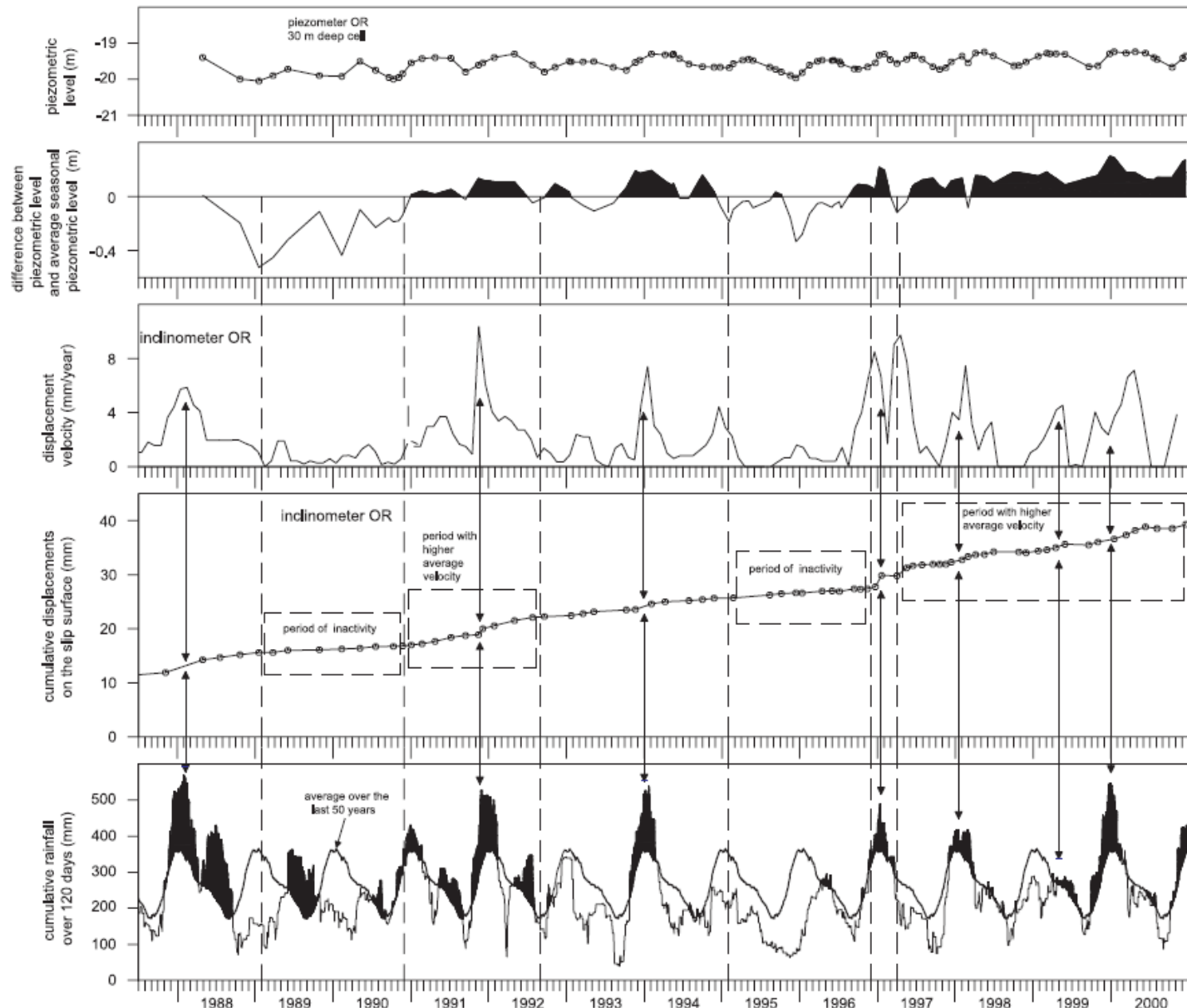
(12) A verdade nasceu da terra, e a justiça olhou desde o céu (Sl 84, 12).

*Sermão da Quinta Domingo da Quaresma*

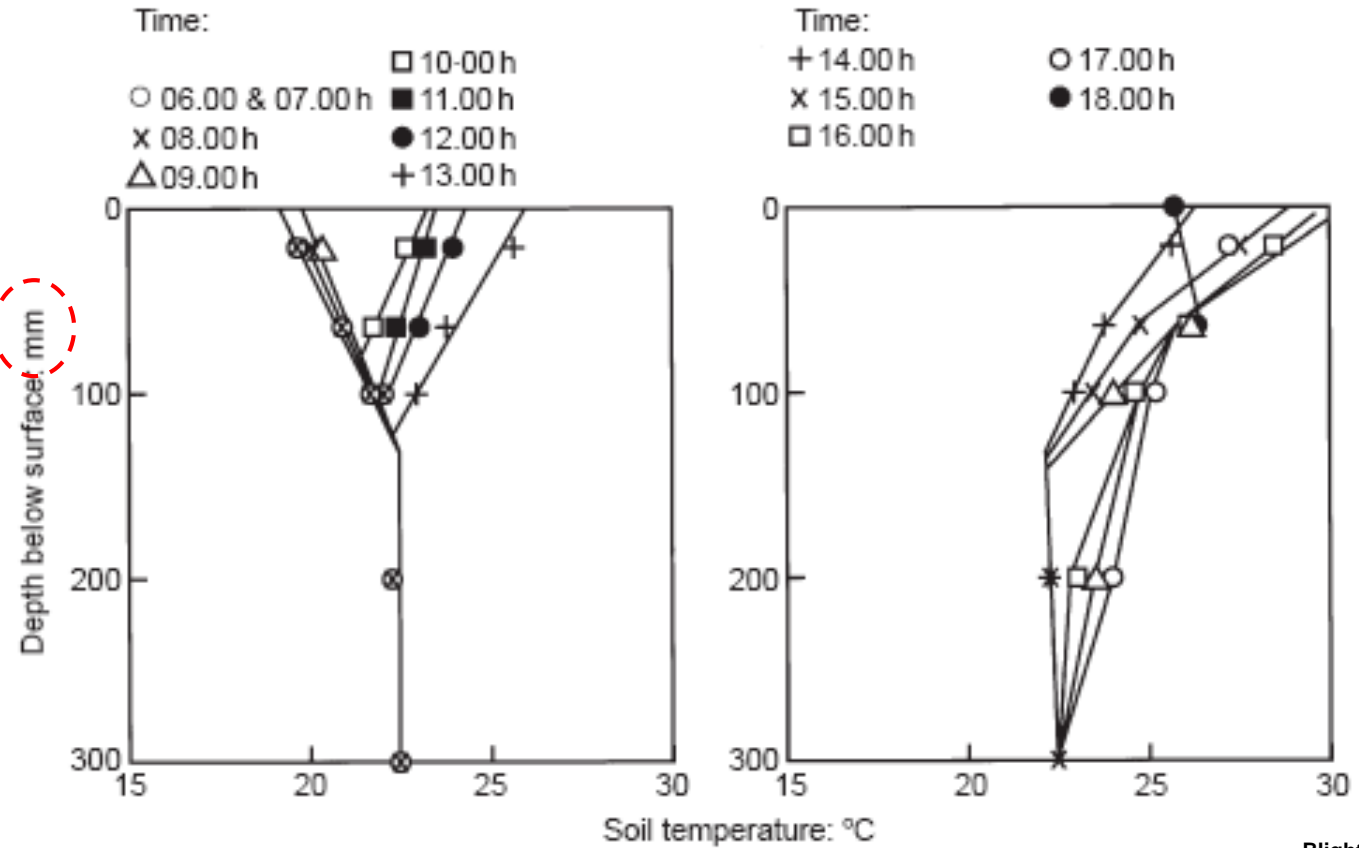
*Na Igreja Maior da Cidade de São Luís no Maranhão. Ano de 1654*



# Regime de chuva, níveis piezométricos e deslocamentos Cidade de Orvieto - Argila pré-adensada

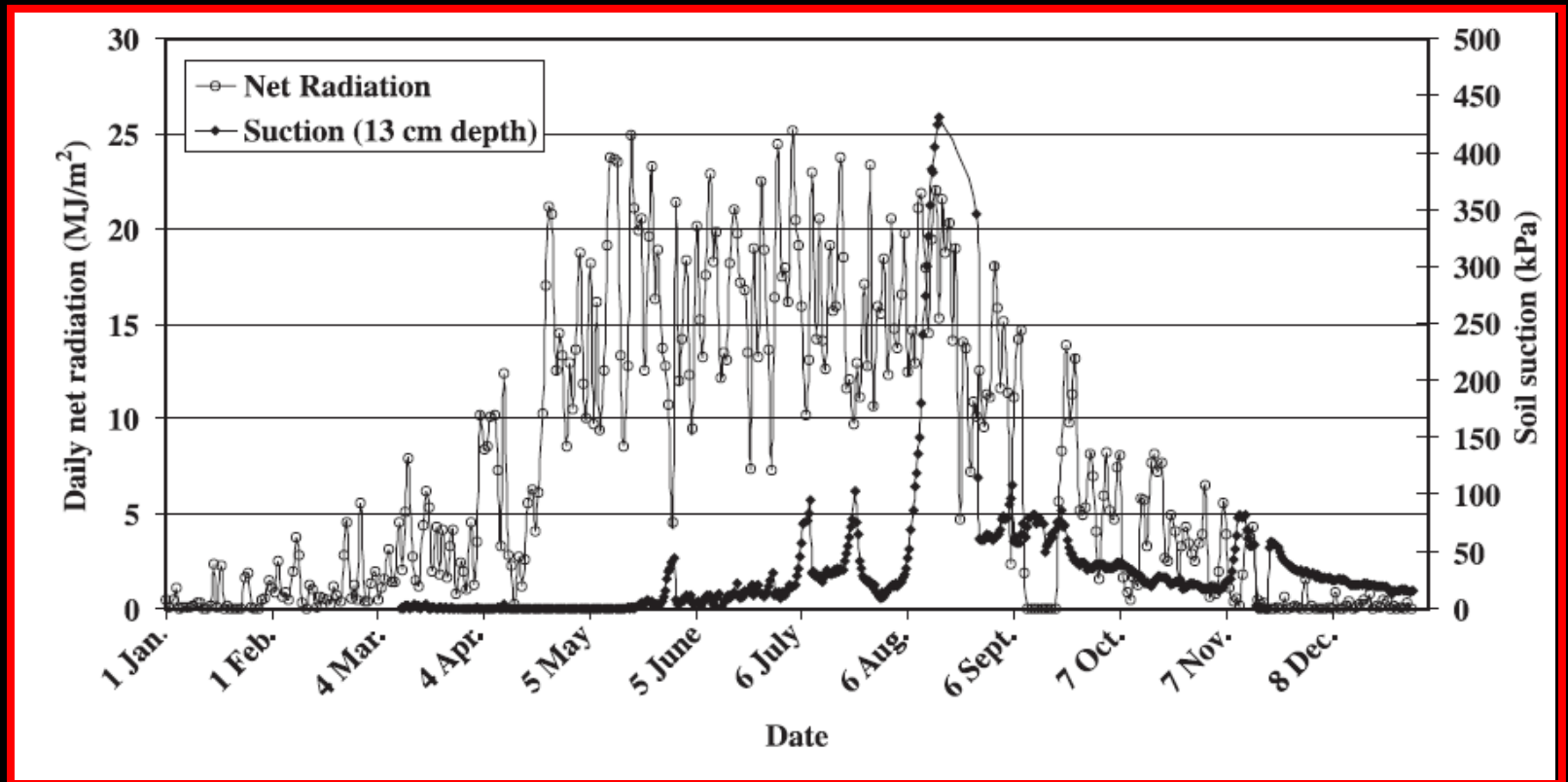


# Perfis de temperatura em solo até 30cm de profundidade



Blight (1997)

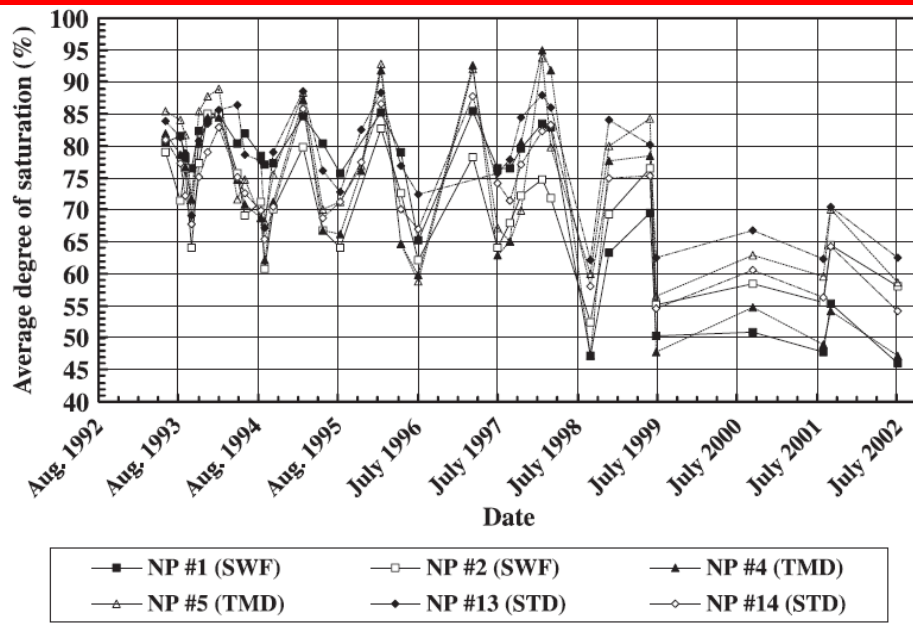
# Cobertura para prevenção de geração de drenagem ácida



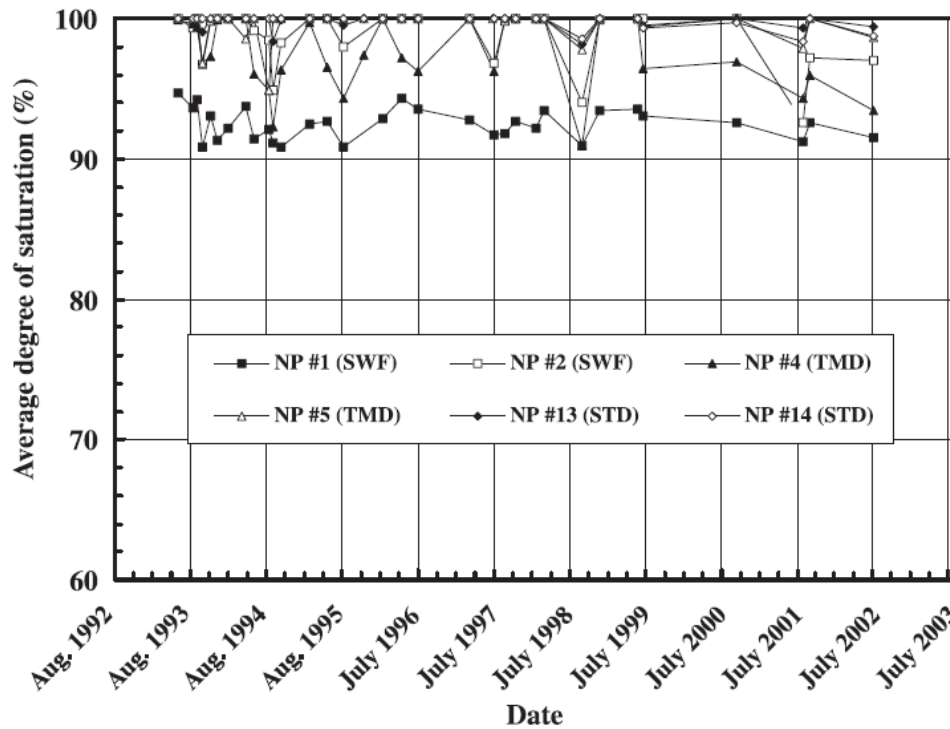
Sucção a 18 cm de profundidade (TMD) e radiação líquida 2002.

Weeks and Wilson (2003)

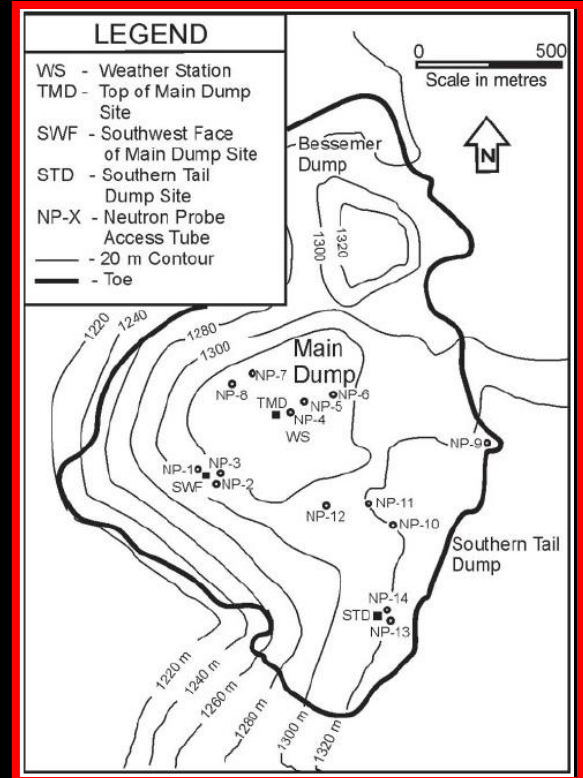


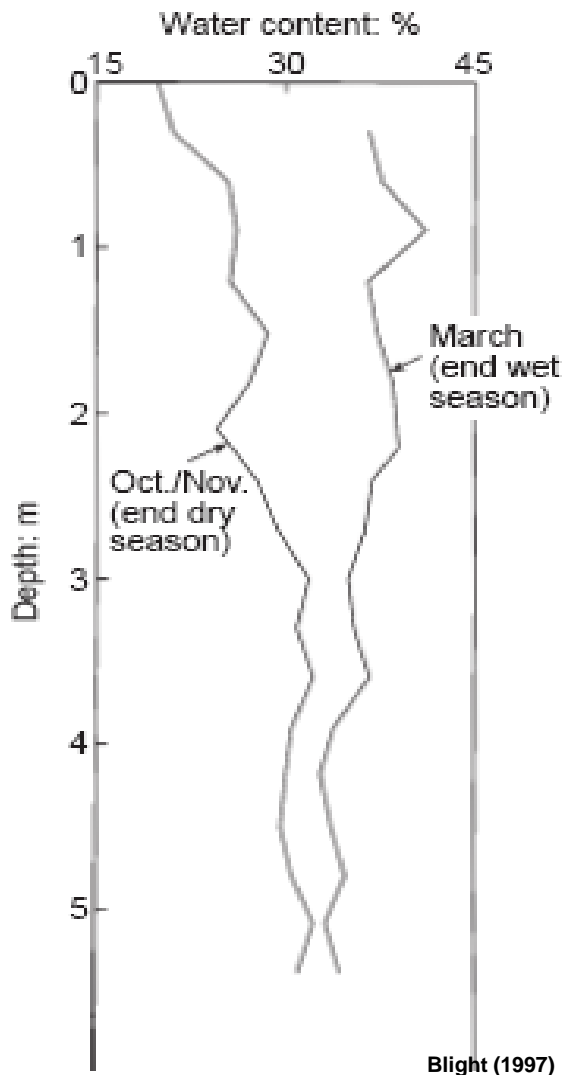
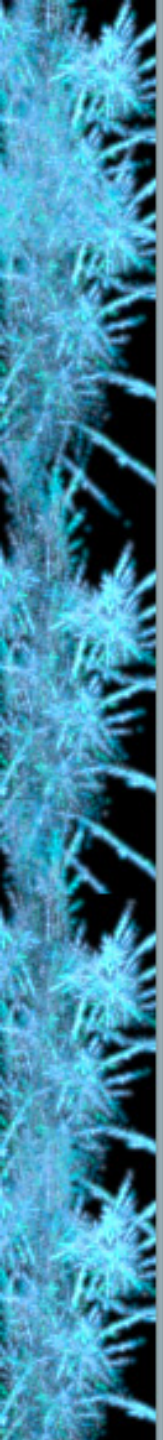


Camada superior da cobertura de um aterro de resíduo (30cm).  
Sonda de nêutrons



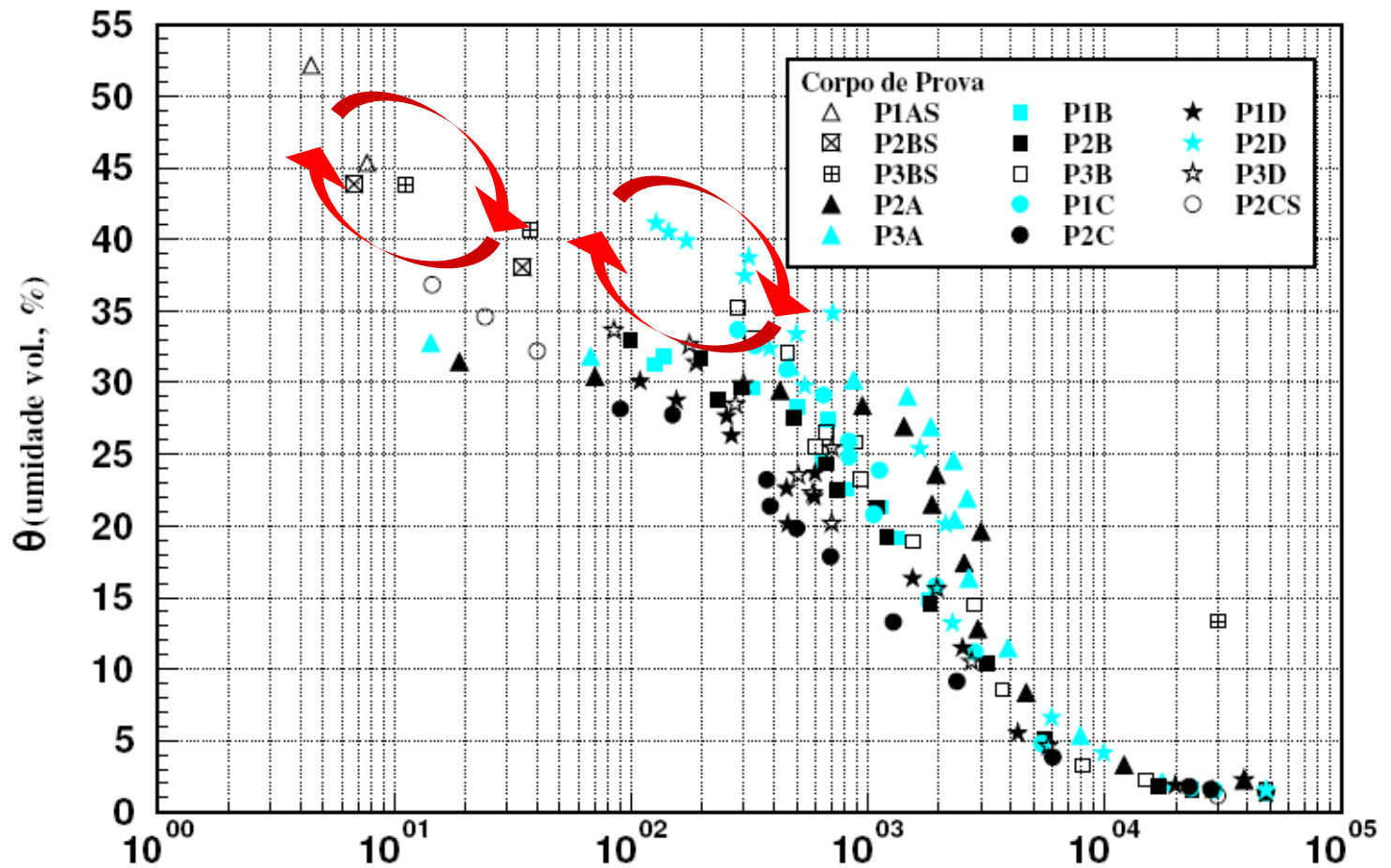
Camada inferior da cobertura de um aterro de resíduo (50cm).  
Sonda de nêutrons





Variação sazonal de teor de umidade nas laterais do pavimento de um aeroporto em Israel

# Curvas de Retenção de Água - solo Residual do Campo Experimental da EPUSP



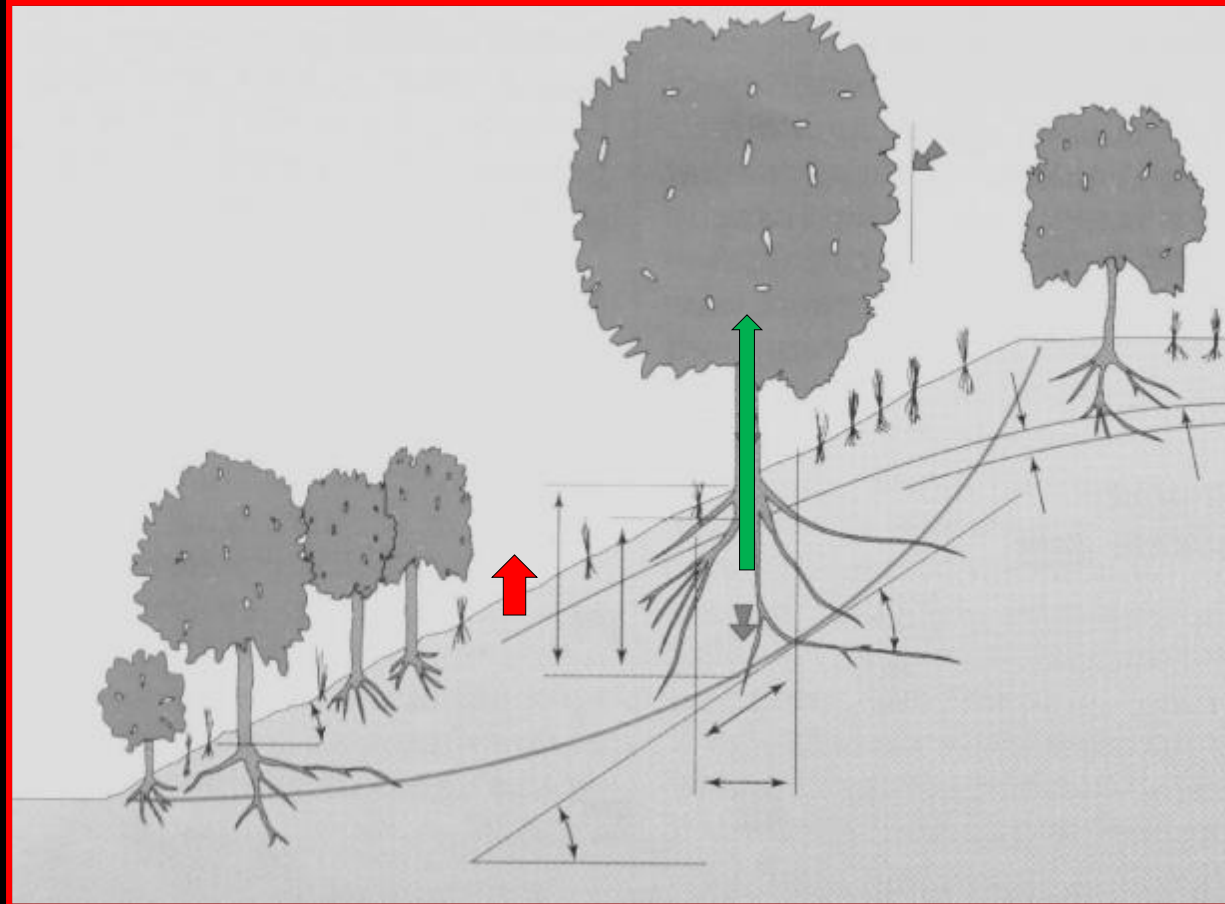
Vieira & Marinho (2001)

$$w = \theta \frac{\gamma_w}{\gamma_d}$$

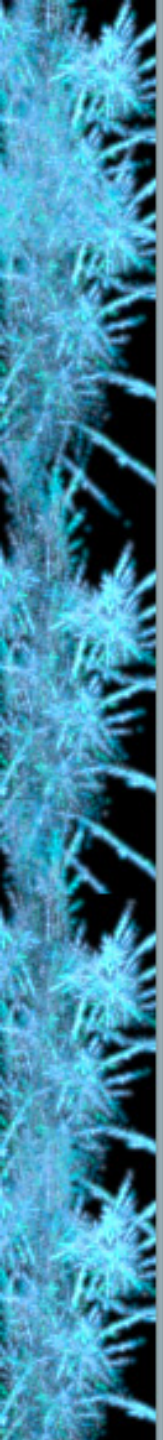


# Influência da Vegetação na Estabilidade de taludes

resistência propriamente dita  
e  
evapo-transpiração



Greenwood et. (2004)

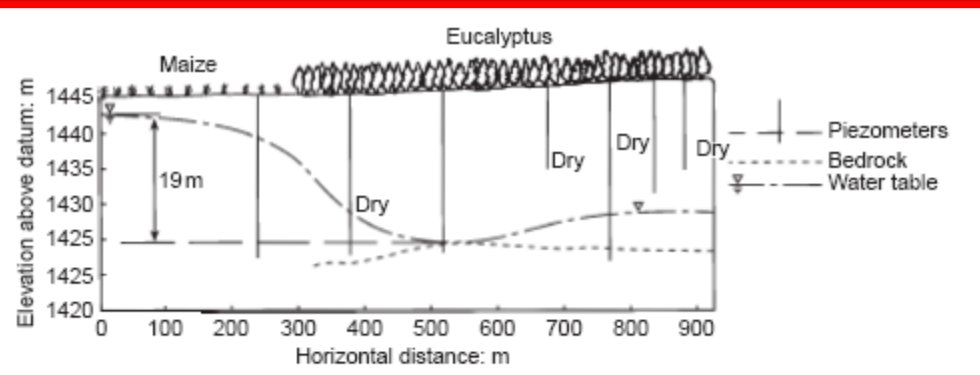


# “Bio” Rebaixamento do Nível d’água

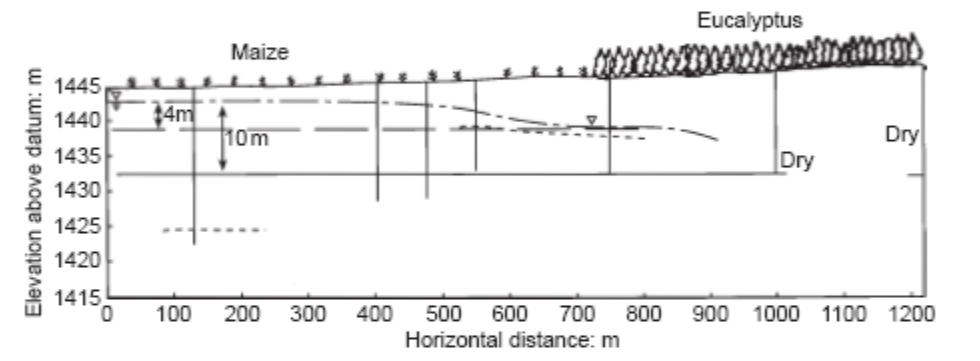
Próximo a Johannesburg

Próximo a Johannesburg

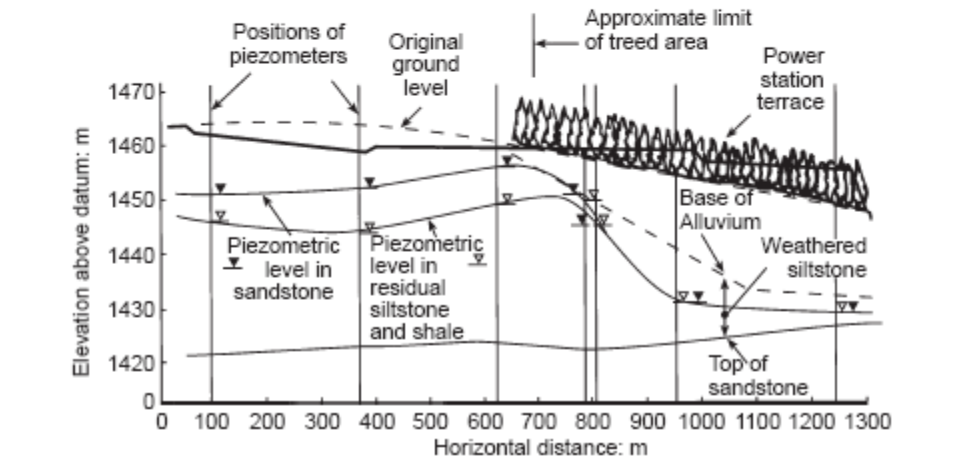
Área de uma estação de energia próximo a Johannesburg



(a)

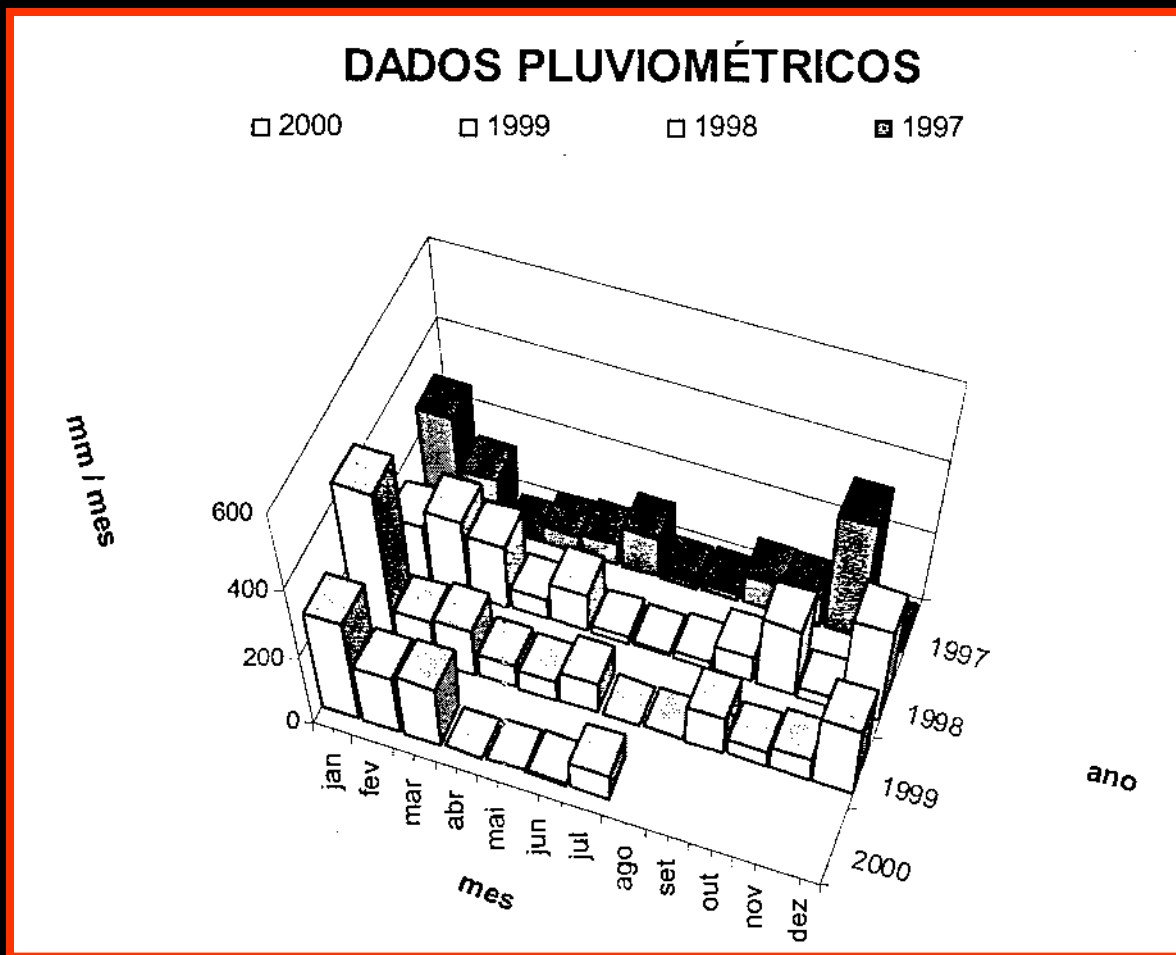


(b)



(c)

# Relevância da época de execução da investigação no projeto de fundação em solo não saturado

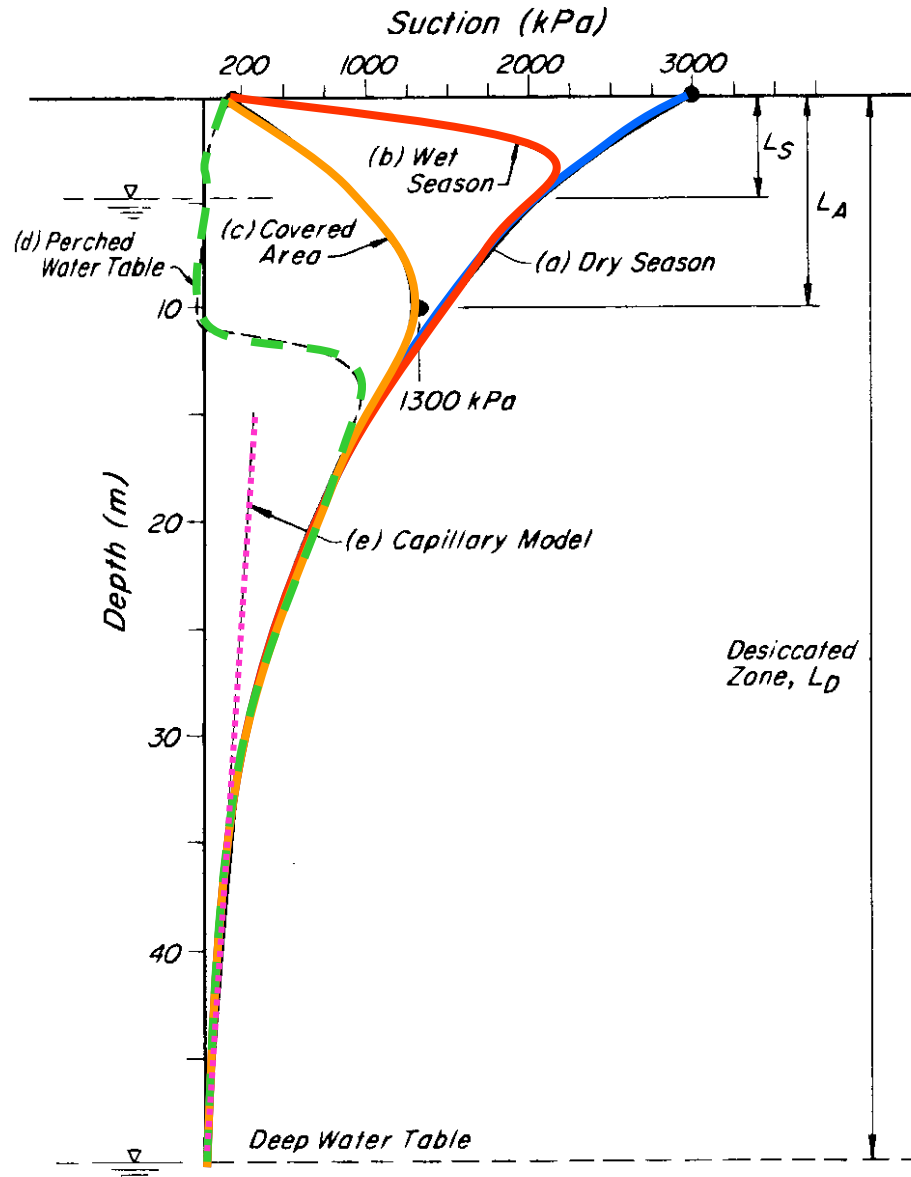


Precipitação Pluviométrica Mensal

Aoki (2004)



# Exemplos de perfis de sucções

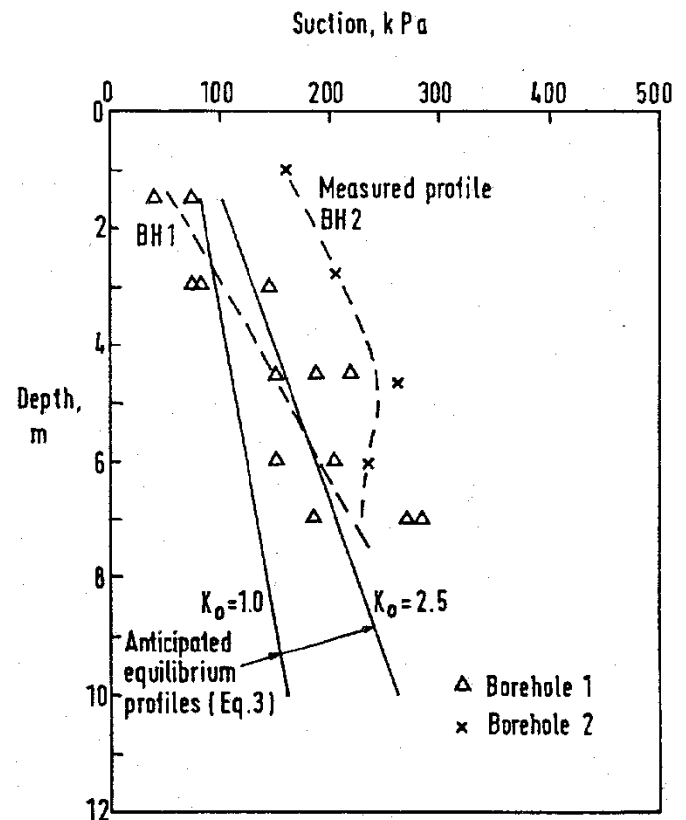
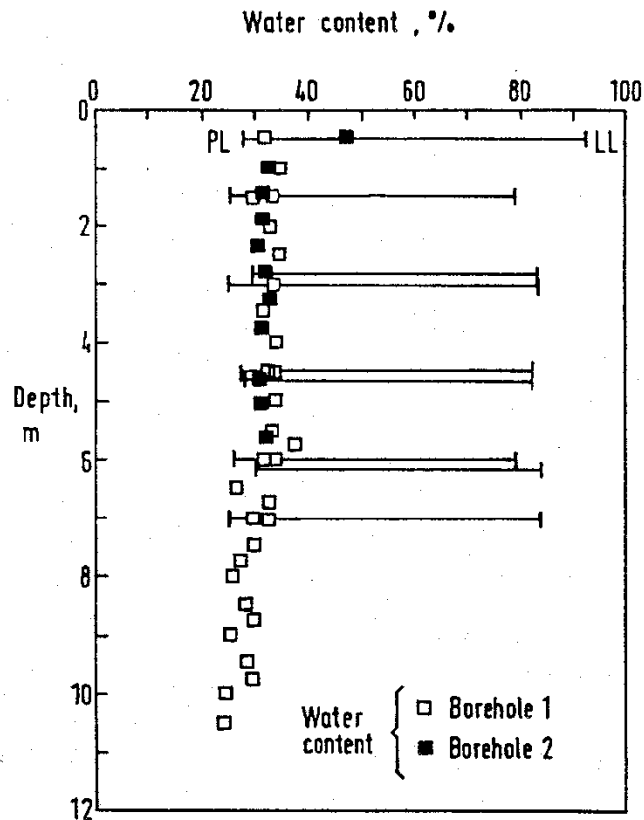


- a. Pré-construção em época seca
- b. Pré-construção em época úmida
- c. Pós-construção sob área coberta
- d. Pós-construção acima de nível d'água suspenso
- e. Perfil de Equilíbrio



# Variação sazonal associada com a presença de vegetação

wembley



Determinação da média das tensões efetivas ( $s = 100\%$ )

$$sucção = \sigma_v' [K_o - A_s (K_o - 1)]$$

*Skempton (1961)*

Efeito da cravação do tubo

$$sucção = \sigma_v' [K_o - A_s (K_o - 1)] + \lambda$$

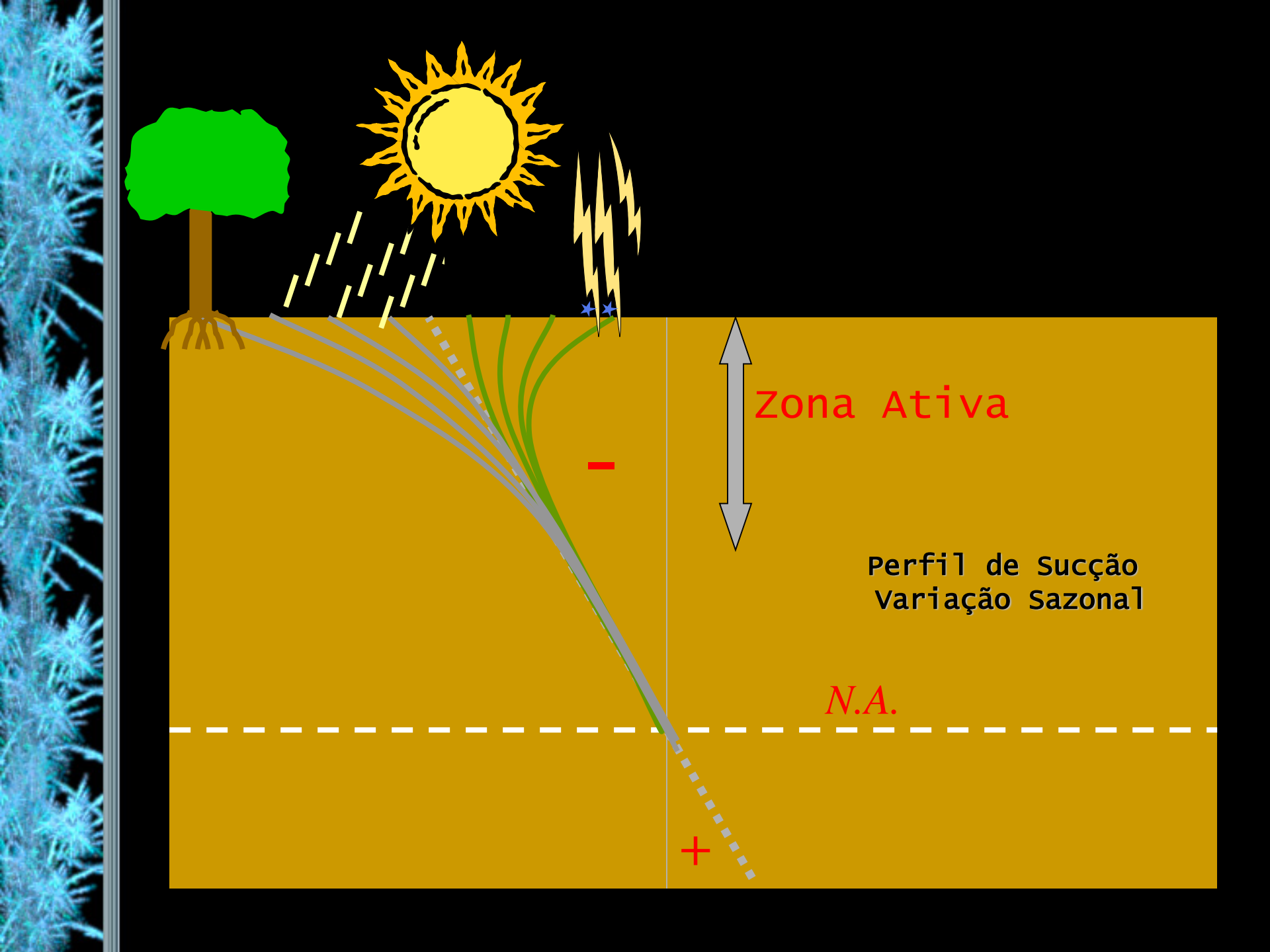
Na argila de Londres  $\lambda = 50$  kPa

Média das tensões efetivas

$$p' = \sigma_v' \left[ \frac{1 + 2K_o}{3} \right]$$

$$p' = sucção - \lambda$$





Zona Ativa

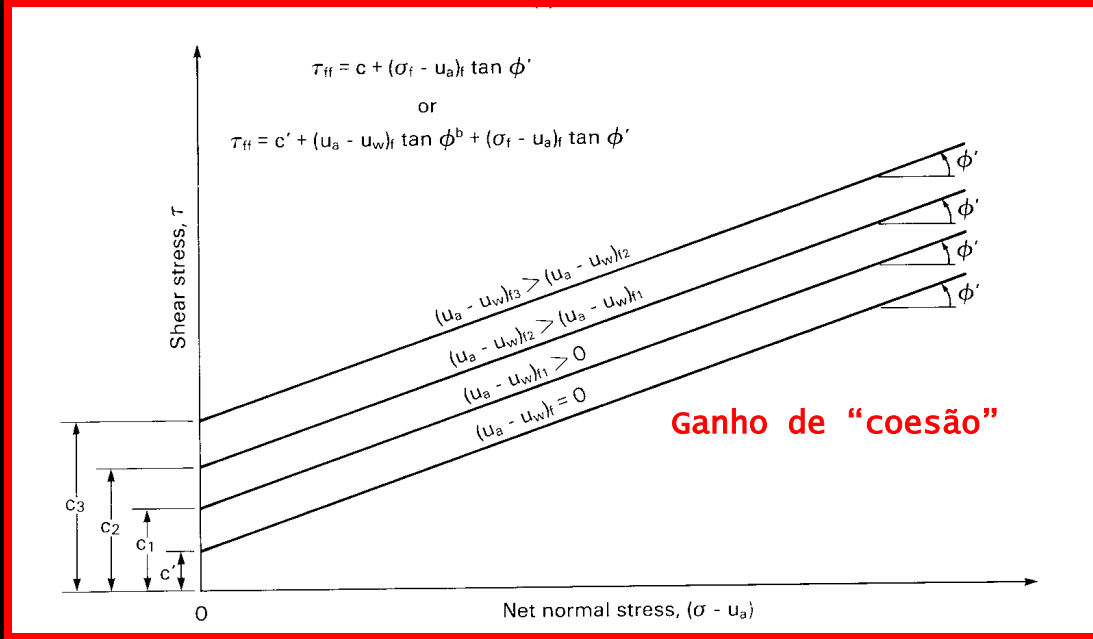
Perfil de Sucção  
Variação Sazonal

N.A.

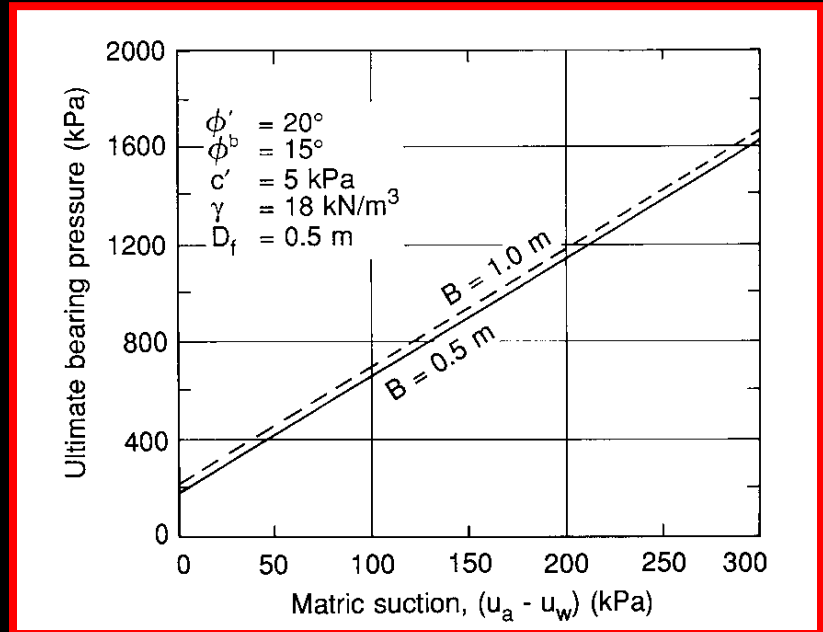
-

+

# Envoltórias de ruptura para diversas sucções

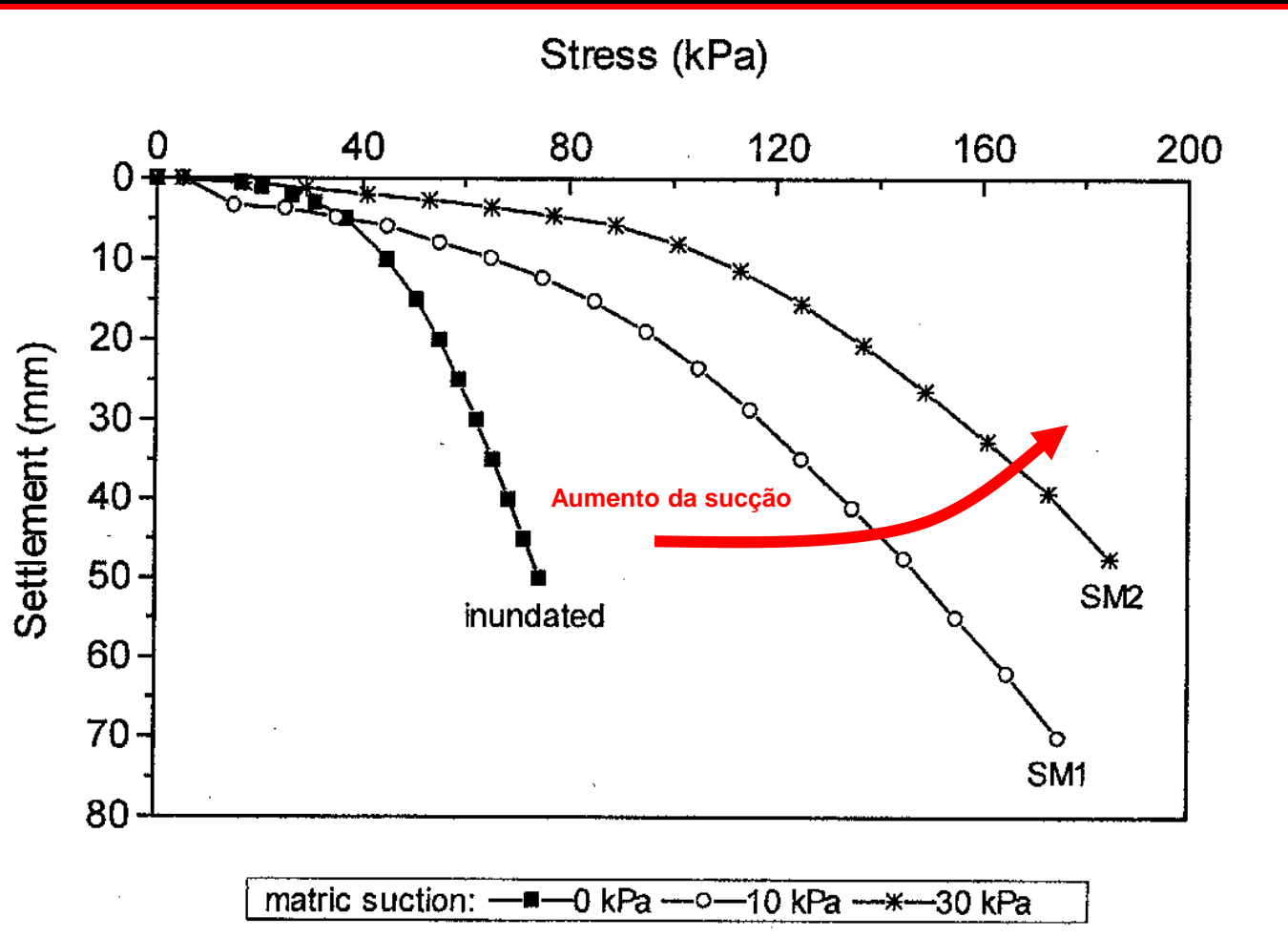


Fredlund & Rahardjo. (2003)



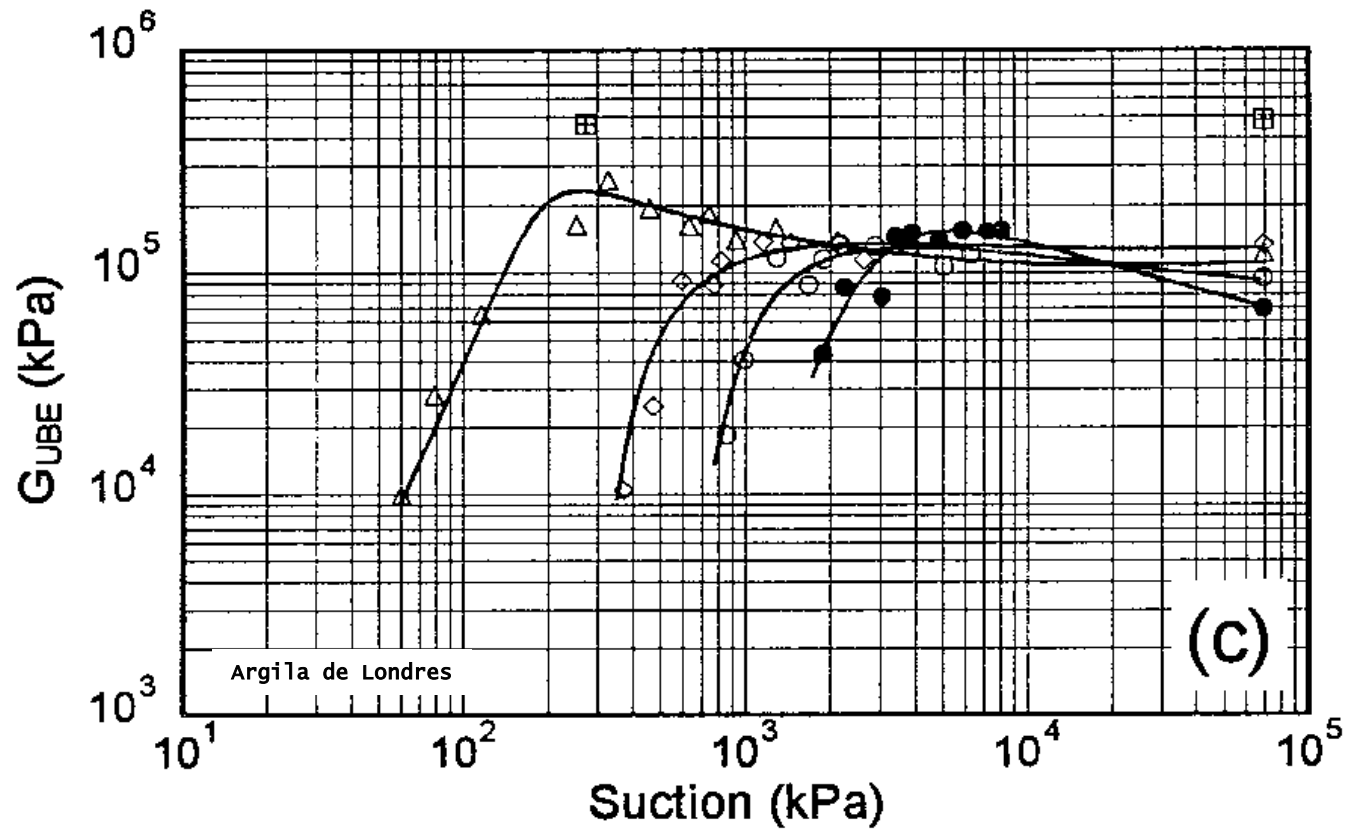
Capacidade suporte em sapata corrida em função da sucção

# Curva tensão versus recalque de ensaios realizados em areia argilosa com medição de sucção





## Variação do Módulo Cisalhante com a Sucção



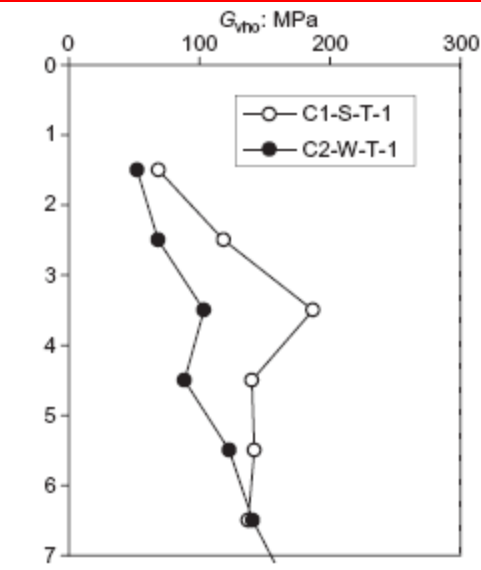
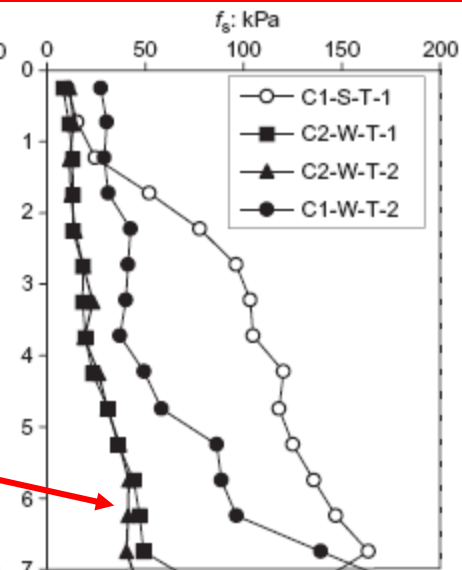
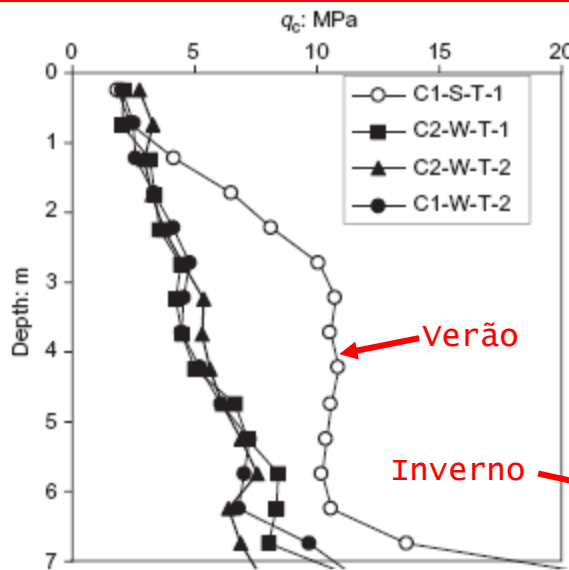
Ensaio CPT.  
Efeitos da vegetação e clima.  
Austrália, Perth



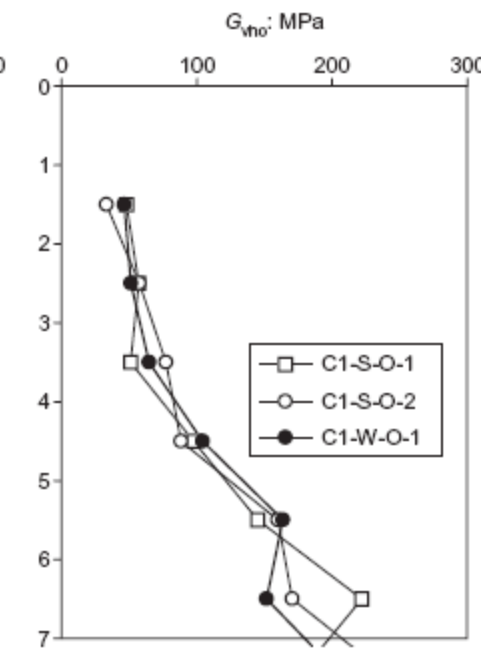
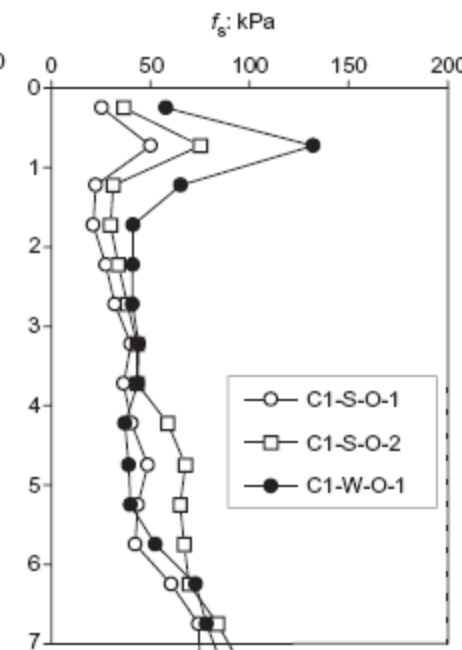
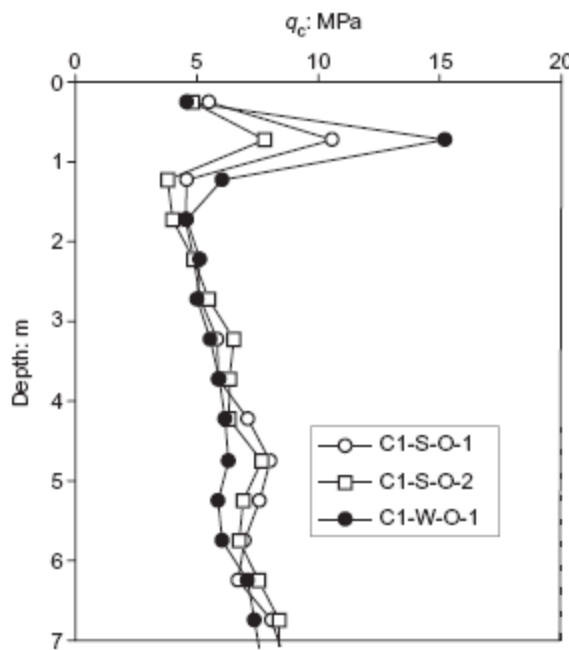
Lehane et al. (2004)

# CPT - Efeito da sazonal do clima

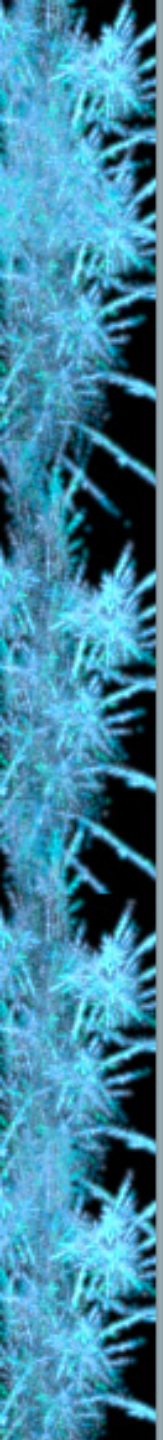
Com vegetação



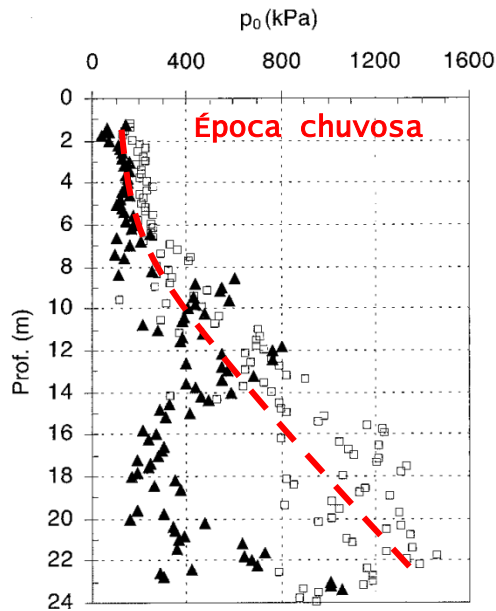
Sem vegetação



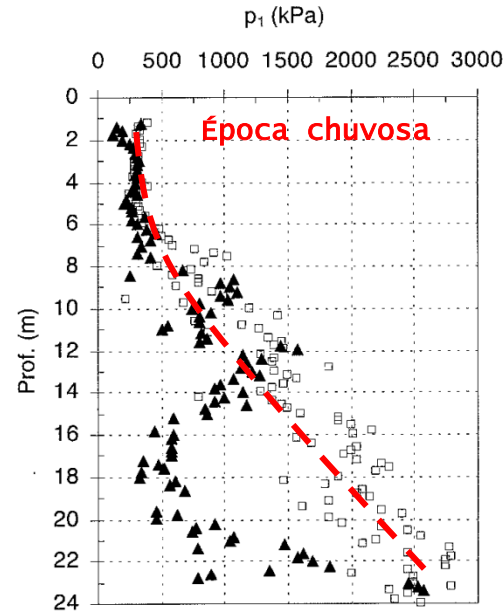




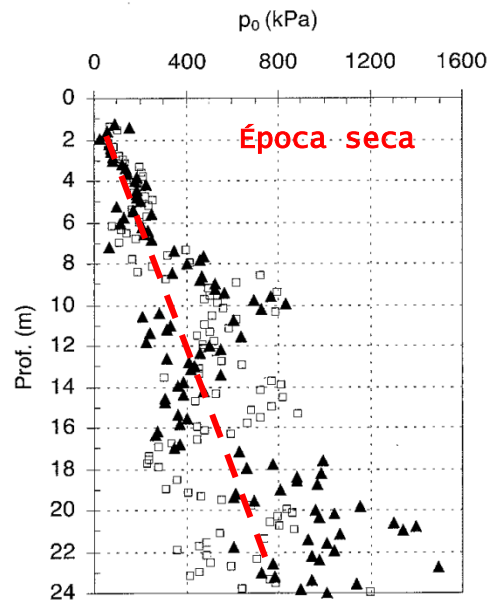
# DMT - Efeito da sazonal do clima Brasília - DF



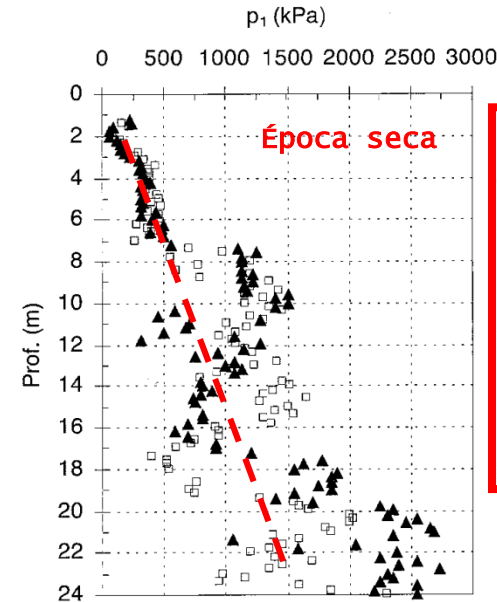
(a)



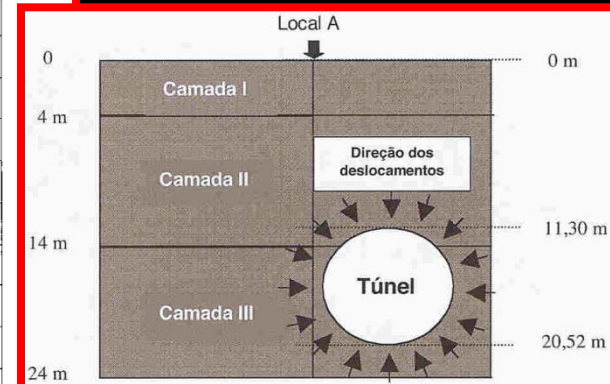
▲ Local A □ Local B



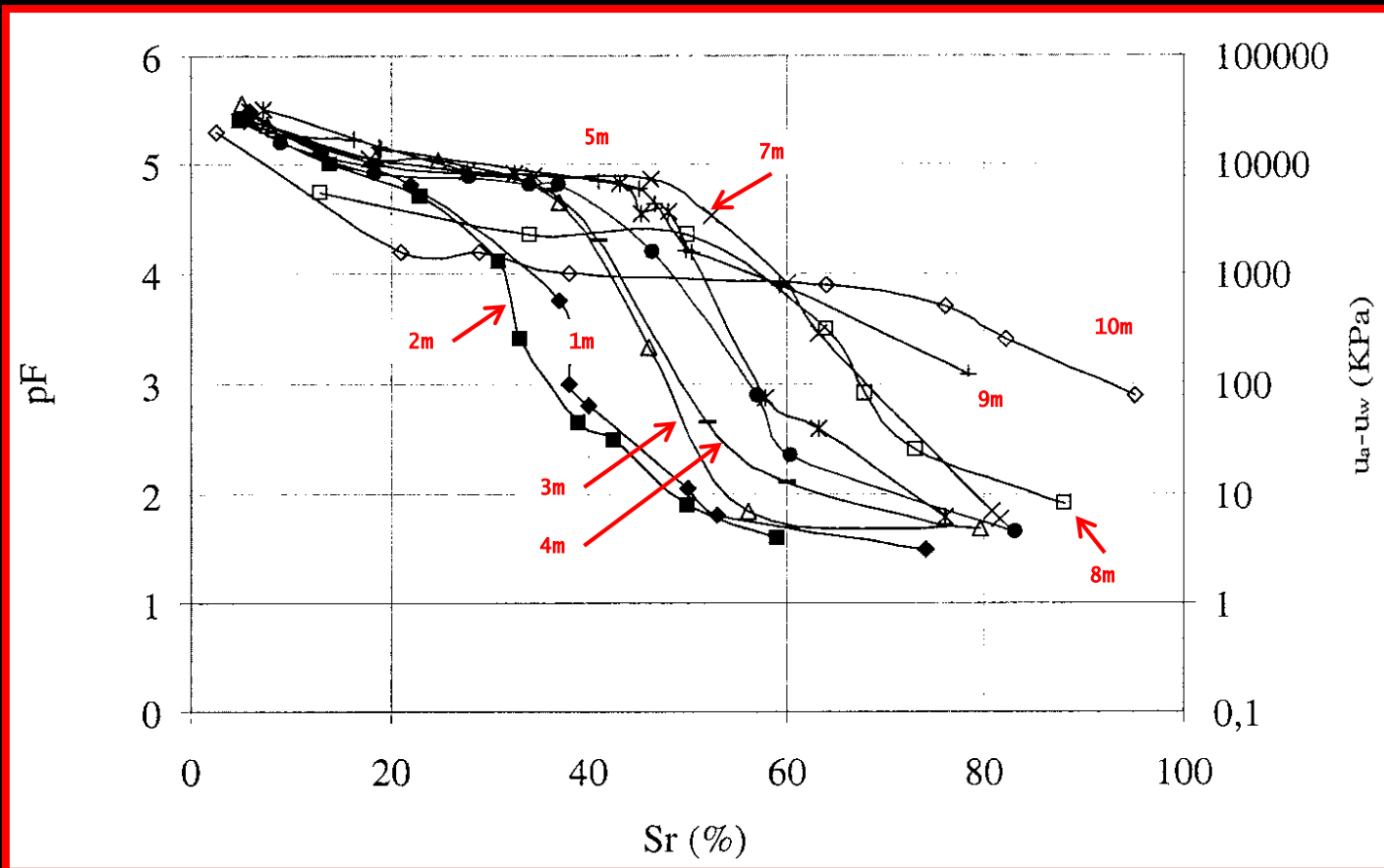
(b)



▲ Local A □ Local B



# curvas de retenção - solo do campo experimental da UNB

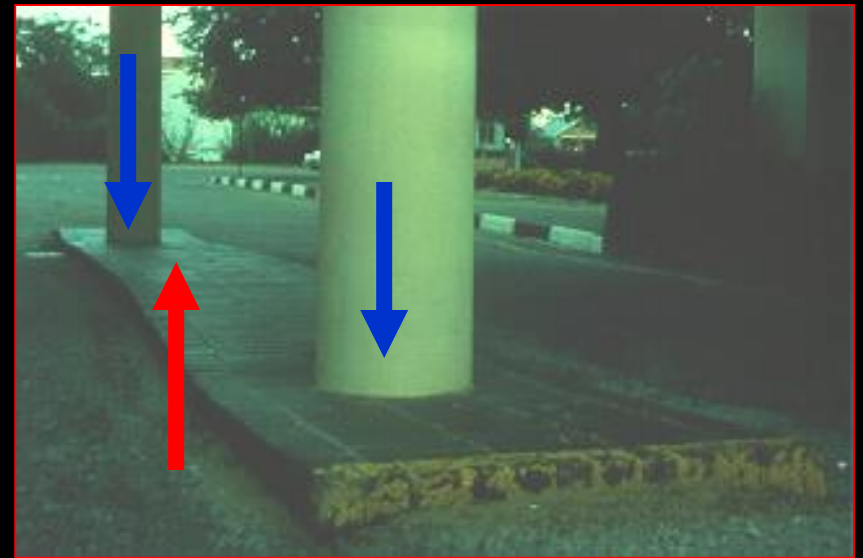


# Efeito das Condições Iniciais





# Efeito das Cargas



# Solução para Evitar a Sazonalidade



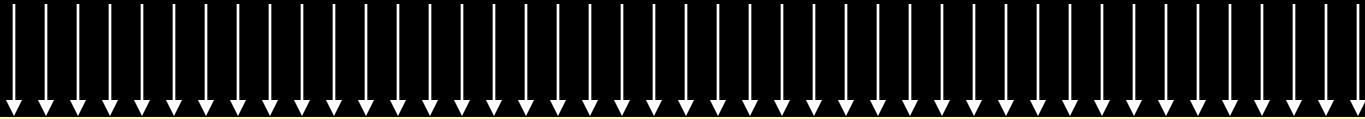
# Efeito da Remoção e Plantio de vegetação





# Exemplo de Análise de Infiltração (numérica)

Precipitação de 40mm em 1 hora

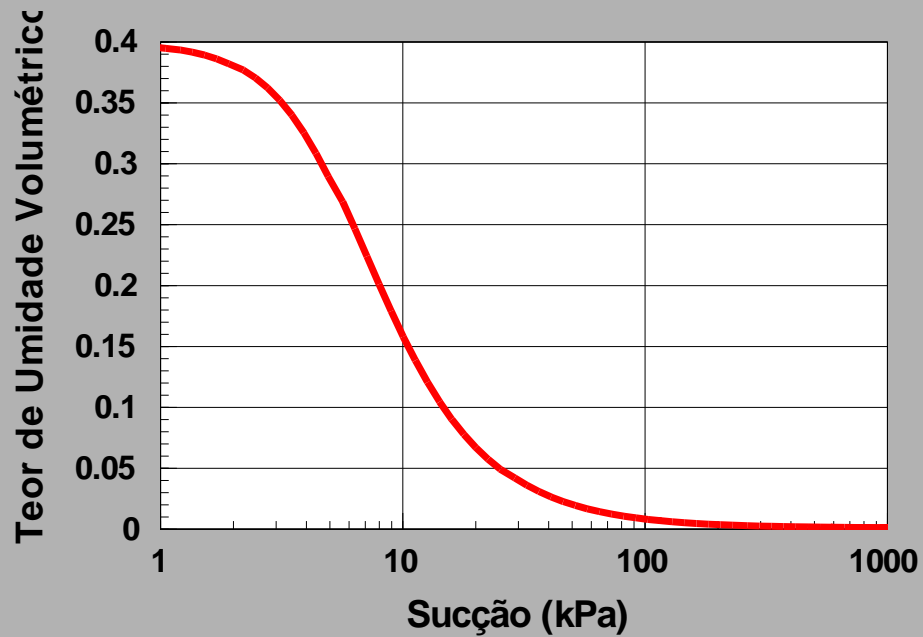
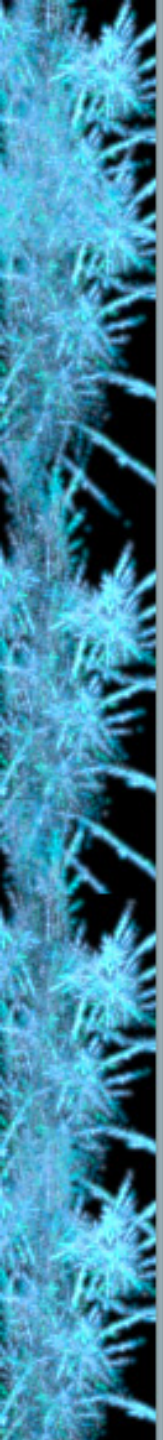


$$\theta_i = 20\%$$

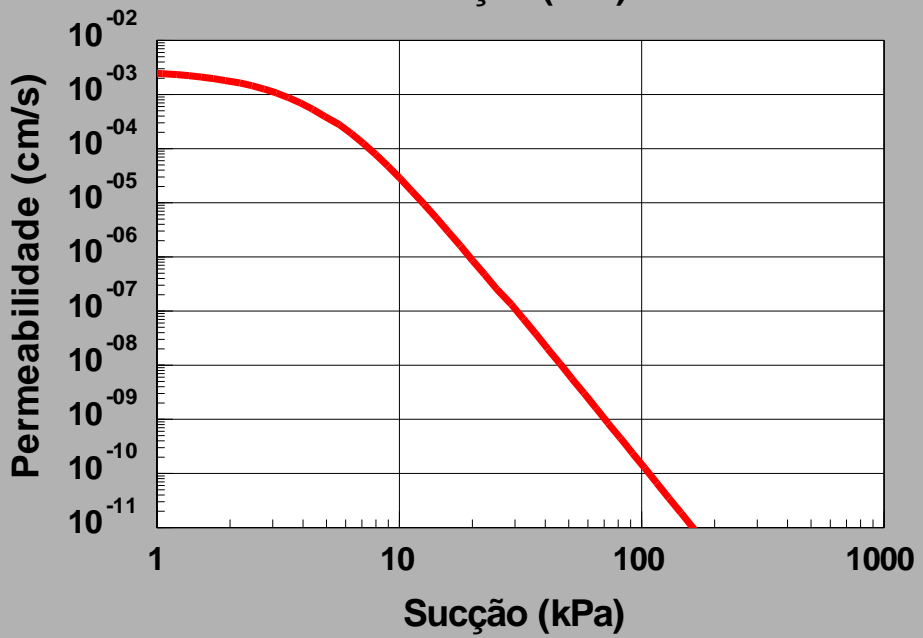
$$\theta_{sat} = 40\%$$

$$S_i = 50\%$$

$$K_{sat} = 3 * 10^{-3} \text{ cm / s}$$



Curva de retenção

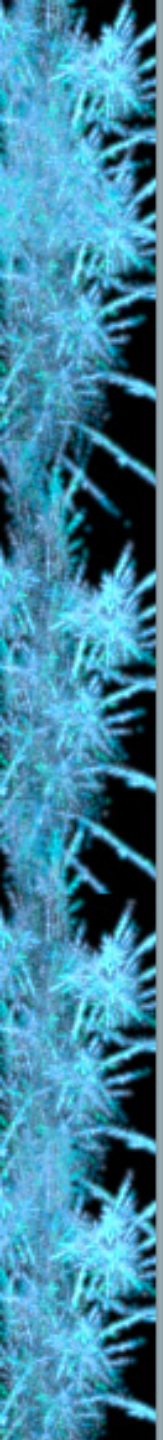


Função de permeabilidade







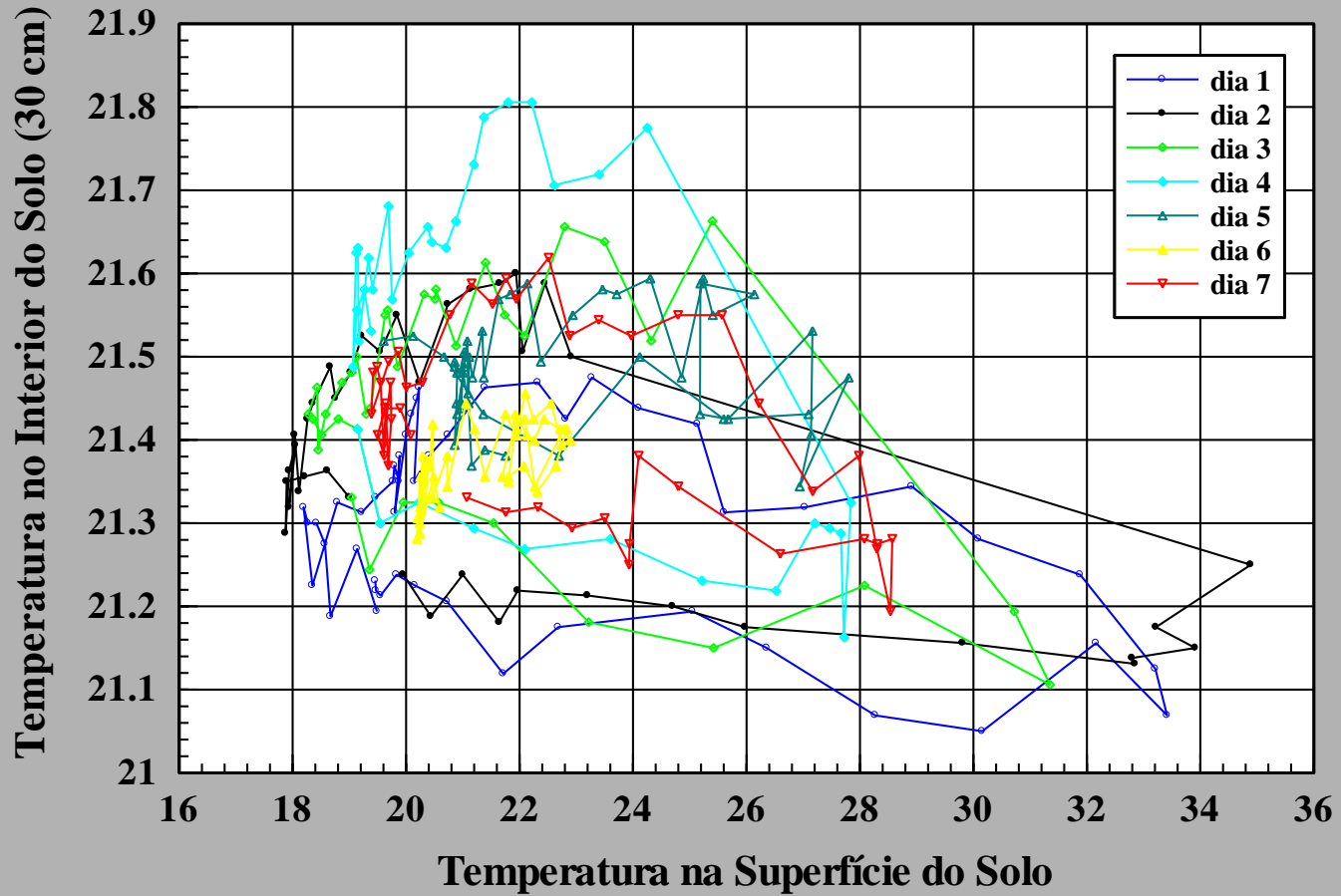




# Variações Sazonais no Campo Experimental da EPUSP

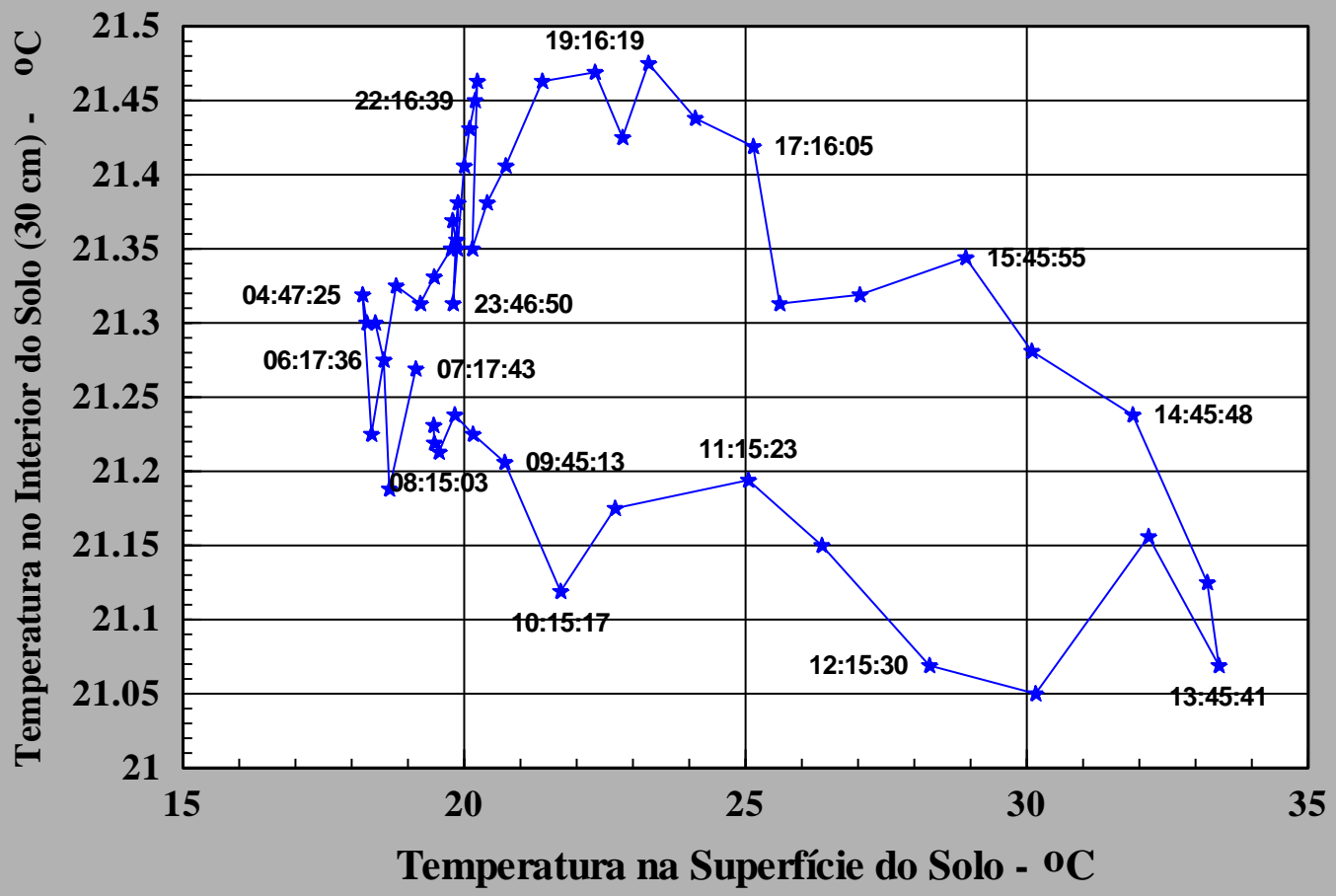
Uma semana de variação da temperatura.

Na superfície e a 30cm de profundidade (CE EPUSP)

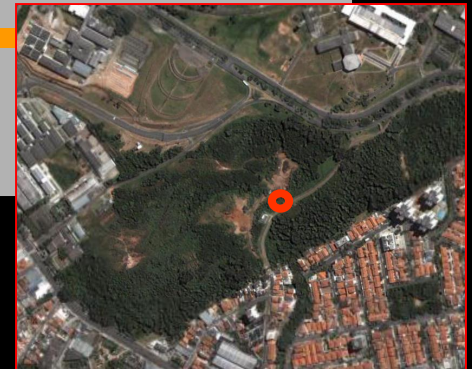
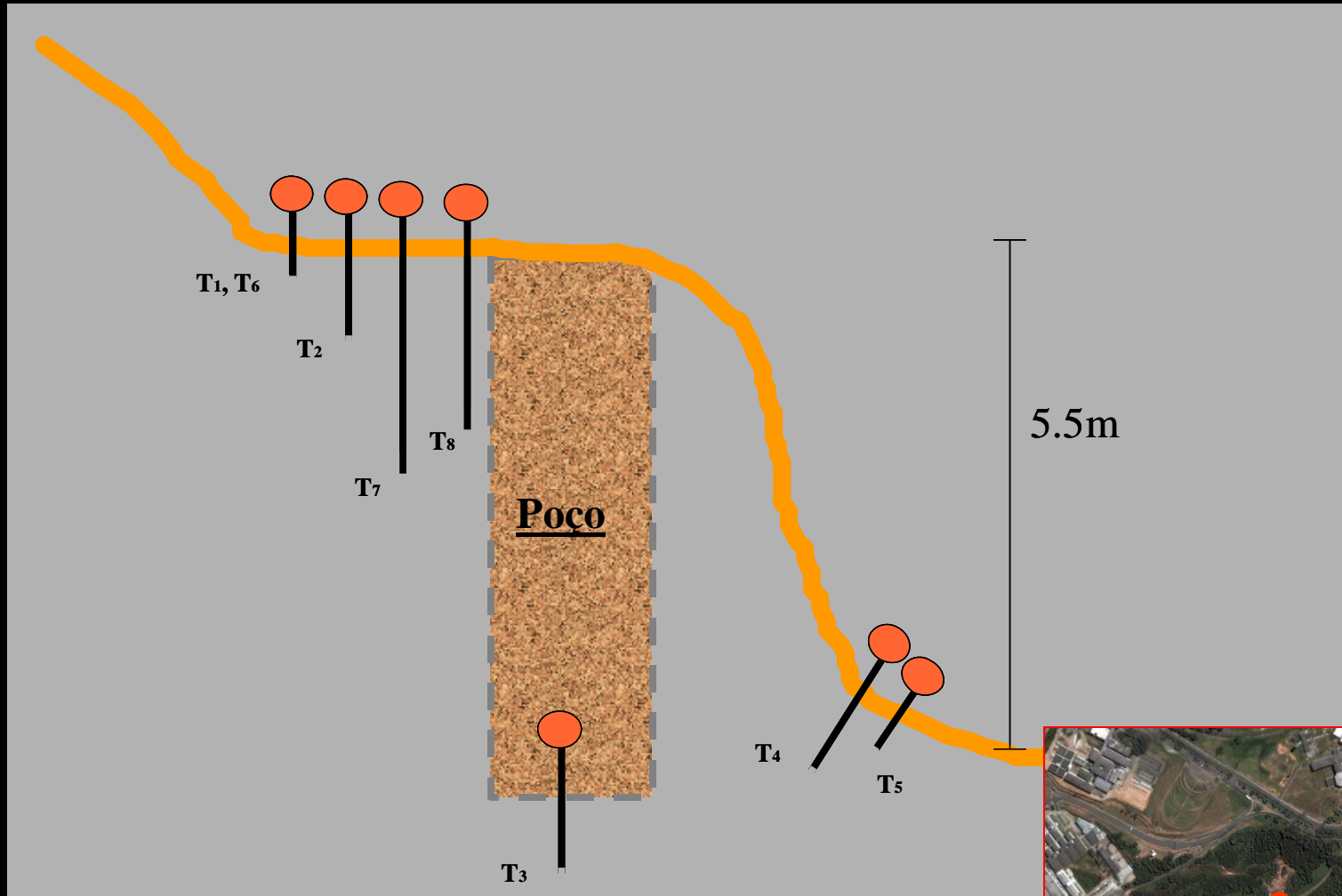




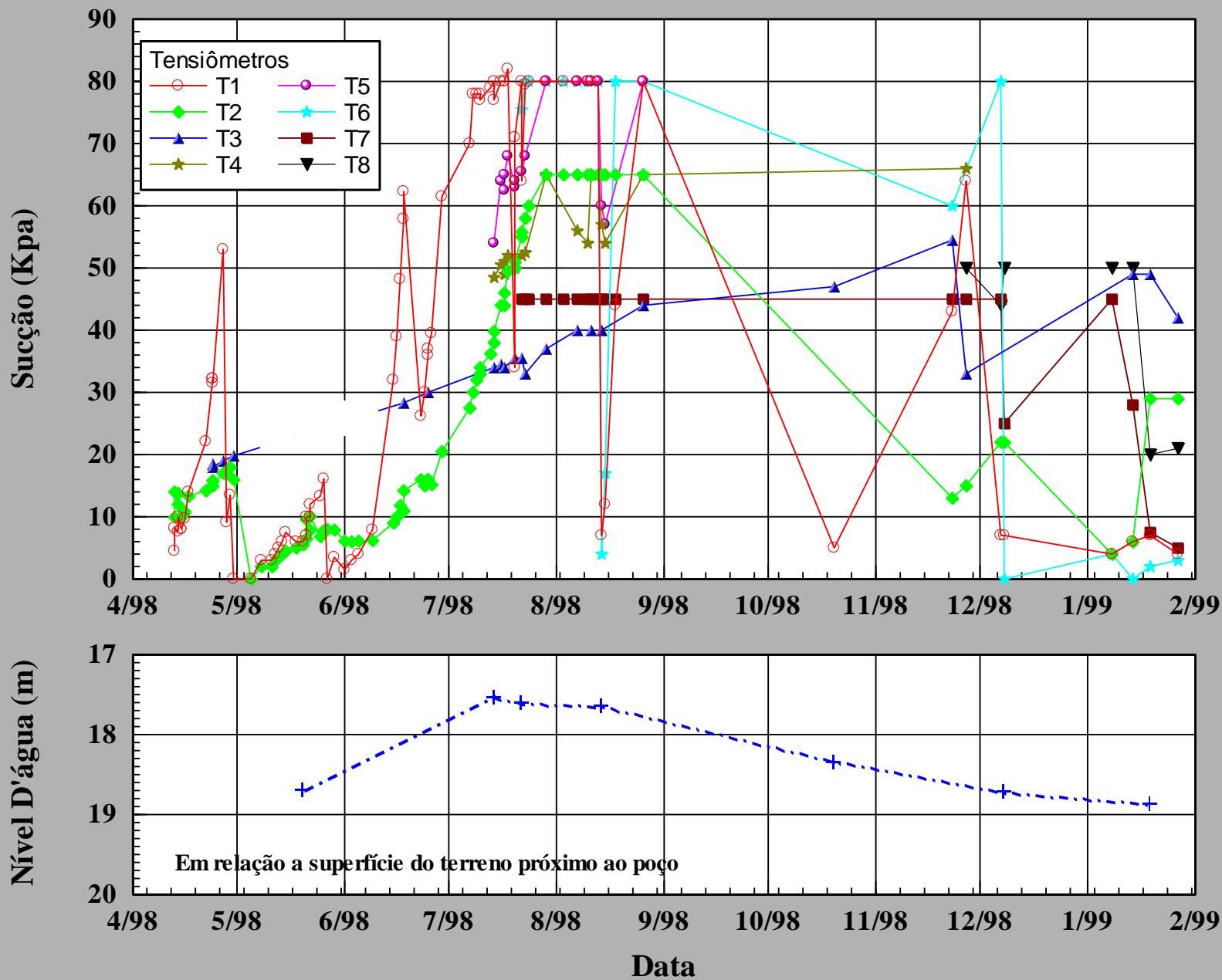
Um dia de variação da temperatura  
Na superfície e a 30cm de profundidade (CE EPUSP)



# Posições dos tensiômetros no talude do campo experimental



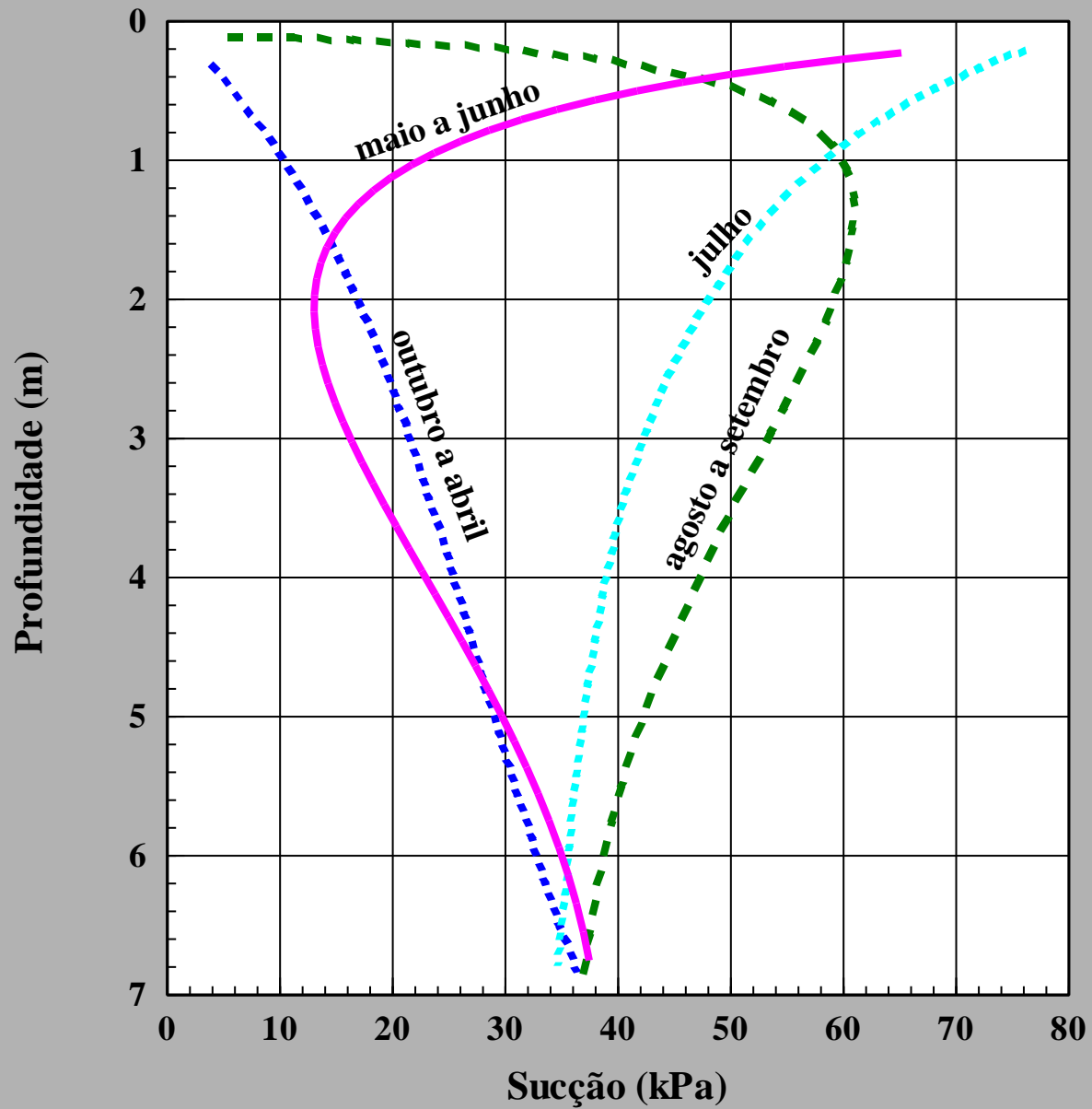
# Medições de sucção e nível de água no campo experimental







# perfis de sucção no campo experimental





**Van Gogh (1890)**