Curva de Retenção

Modelos de Ajuste

Gardner (1958)
Brooks & Corey (1966)
Van Genutchen (1980)
Fredlund & Xing (1994)

Fernando A. M. Marinho

Objetivo

- A curva de retenção é utilizada nas análises de fluxo em meio não saturado e a sua forma matemática (equações de ajuste) facilitam este uso.
- A curva de retenção é usada para a obtenção da função de permeabilidade dos solos não saturados.
- Tratando-se das funções de permeabilidade, tanto as equações empíricas como os modelos estatísticos fazem uso dos parâmetros das equações de ajuste das curvas de retenção.

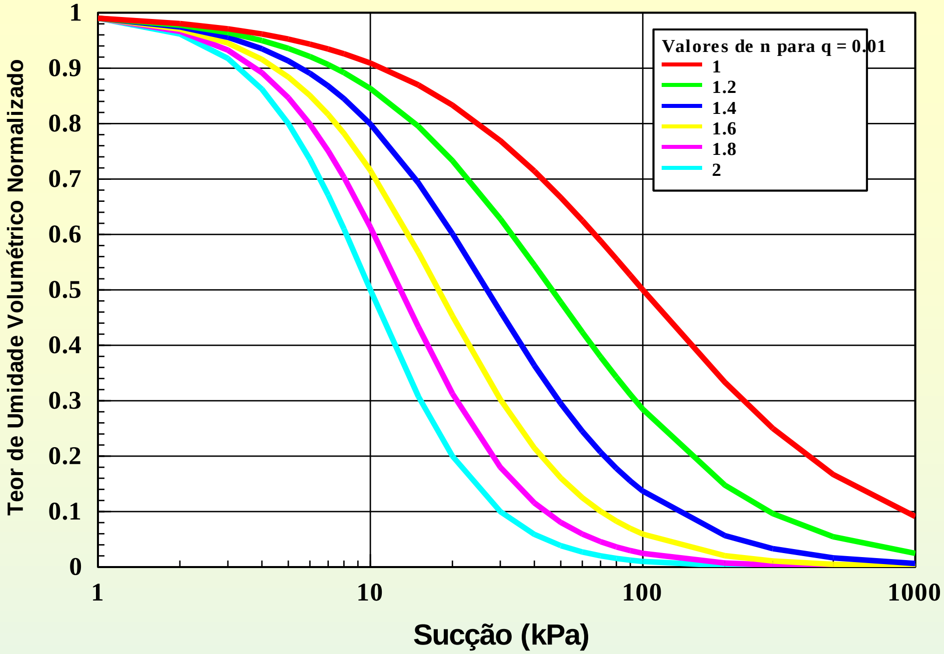
Gardner (1958)

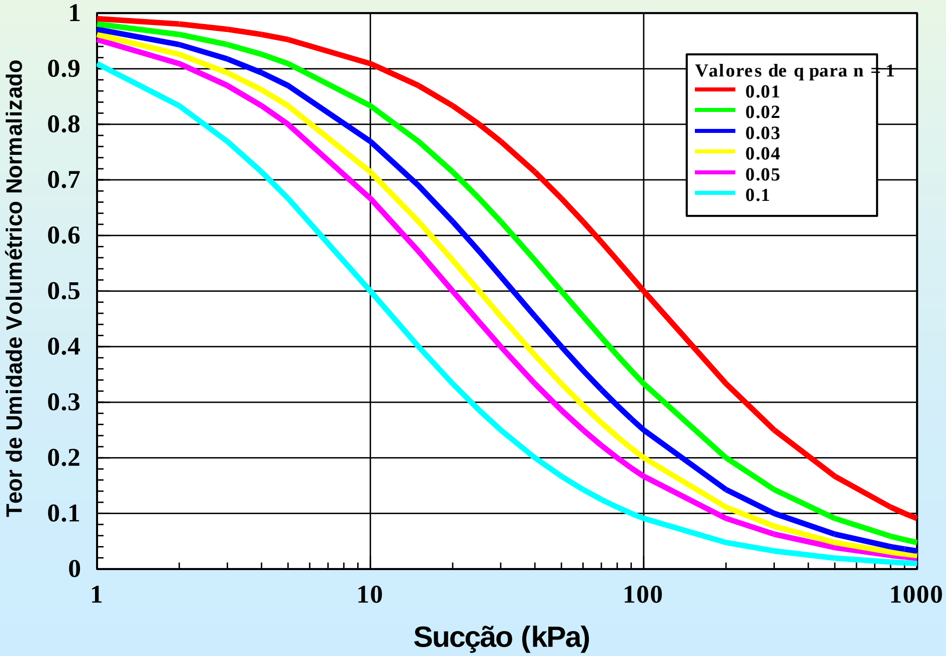
$$\Theta = \frac{1}{1 + q\psi^{n}}$$

q – parâmetro de ajuste relacionado com sucção de entrada de ar
n - parâmetro de ajuste relacionado com a inclinação no ponto de inflecção da curva de retenção

Gardner (1958)

$$\Theta = \frac{1}{1 + q\psi^{n}}$$



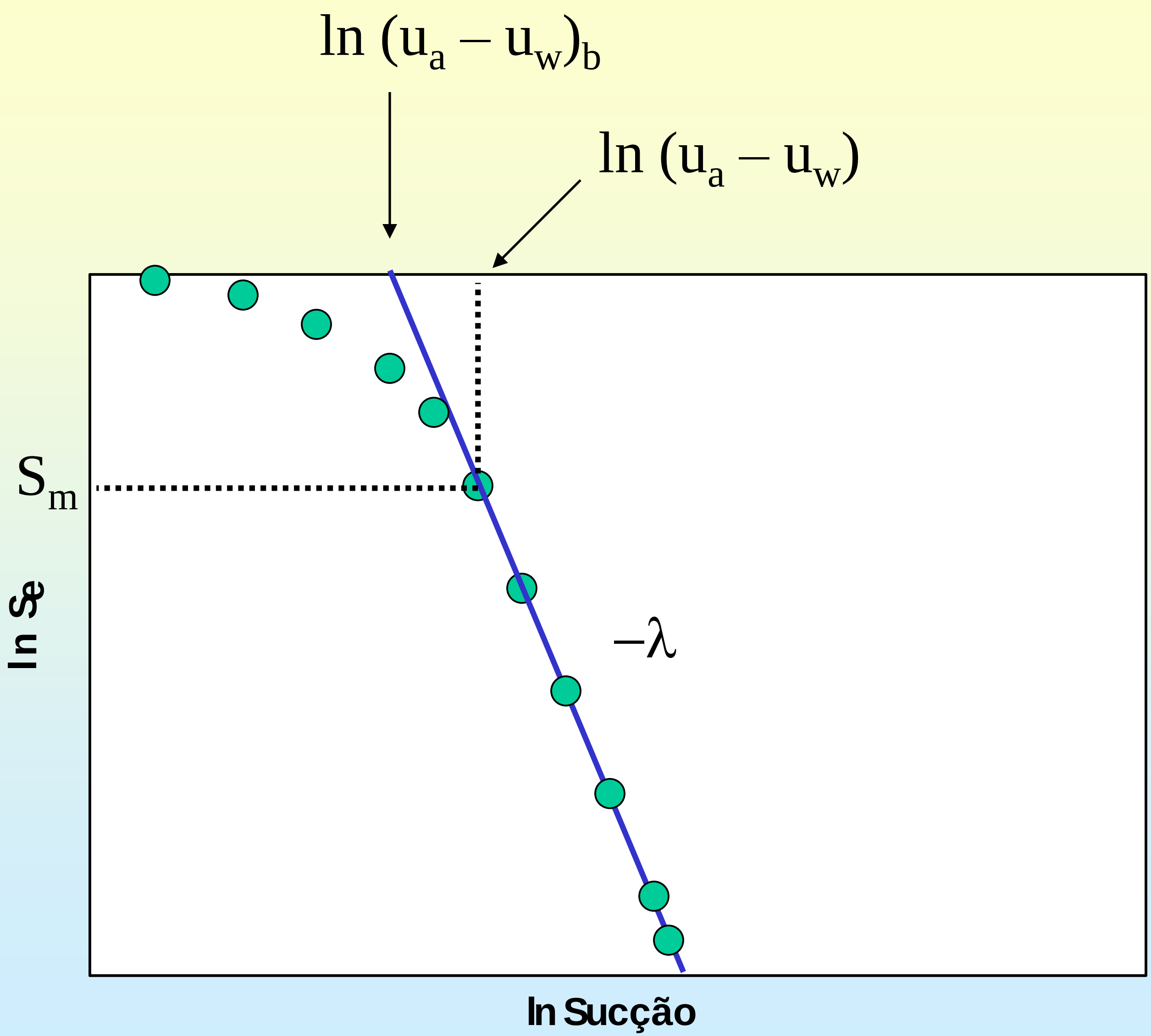


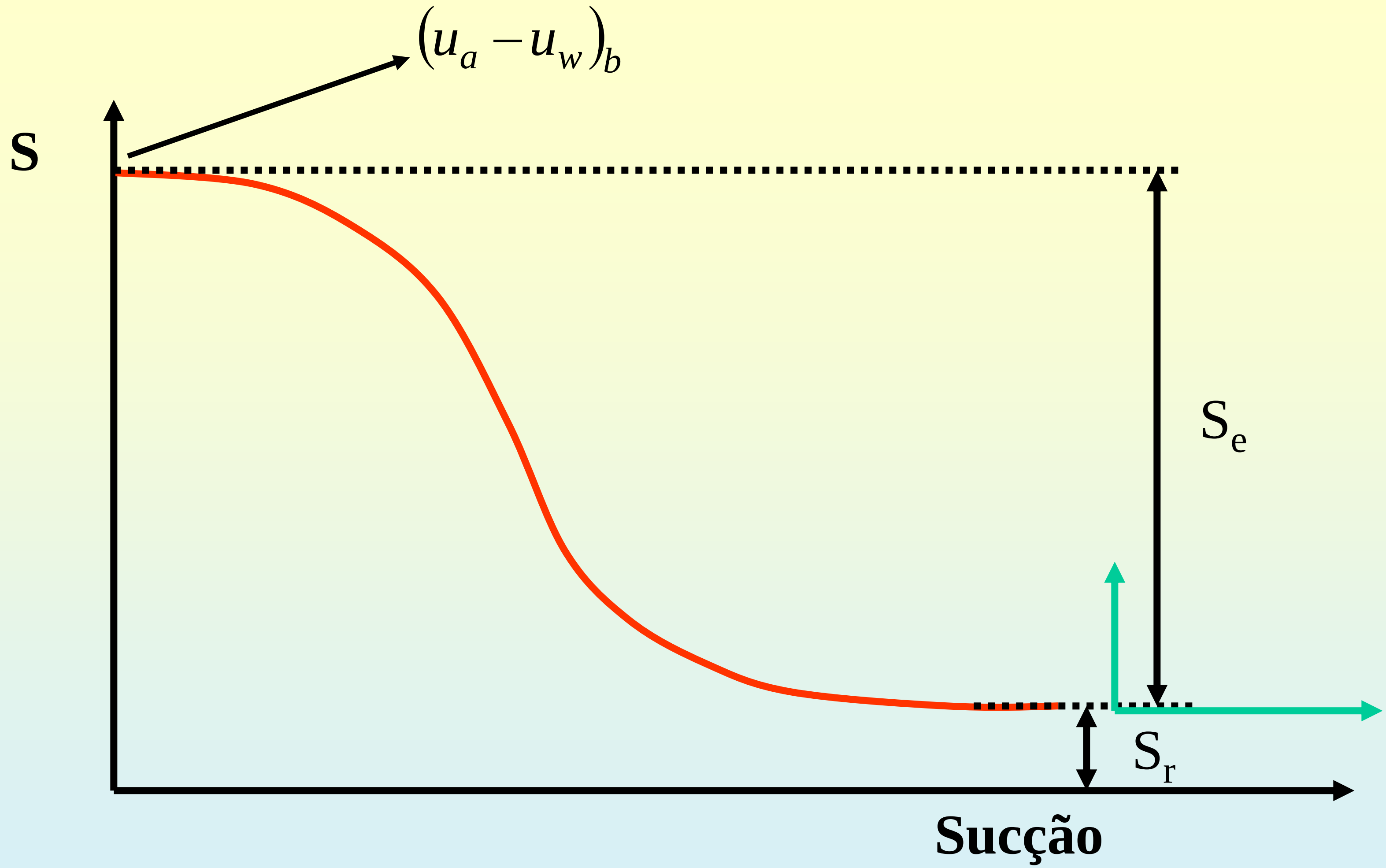
Brooks & Corey (1966)

$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r} = \left(\frac{(u_a - u_w)_b}{(u_a - u_w)} \right)^{\lambda} \text{ para } (u_a - u_w) \geq (u_a - u_w)_b$$

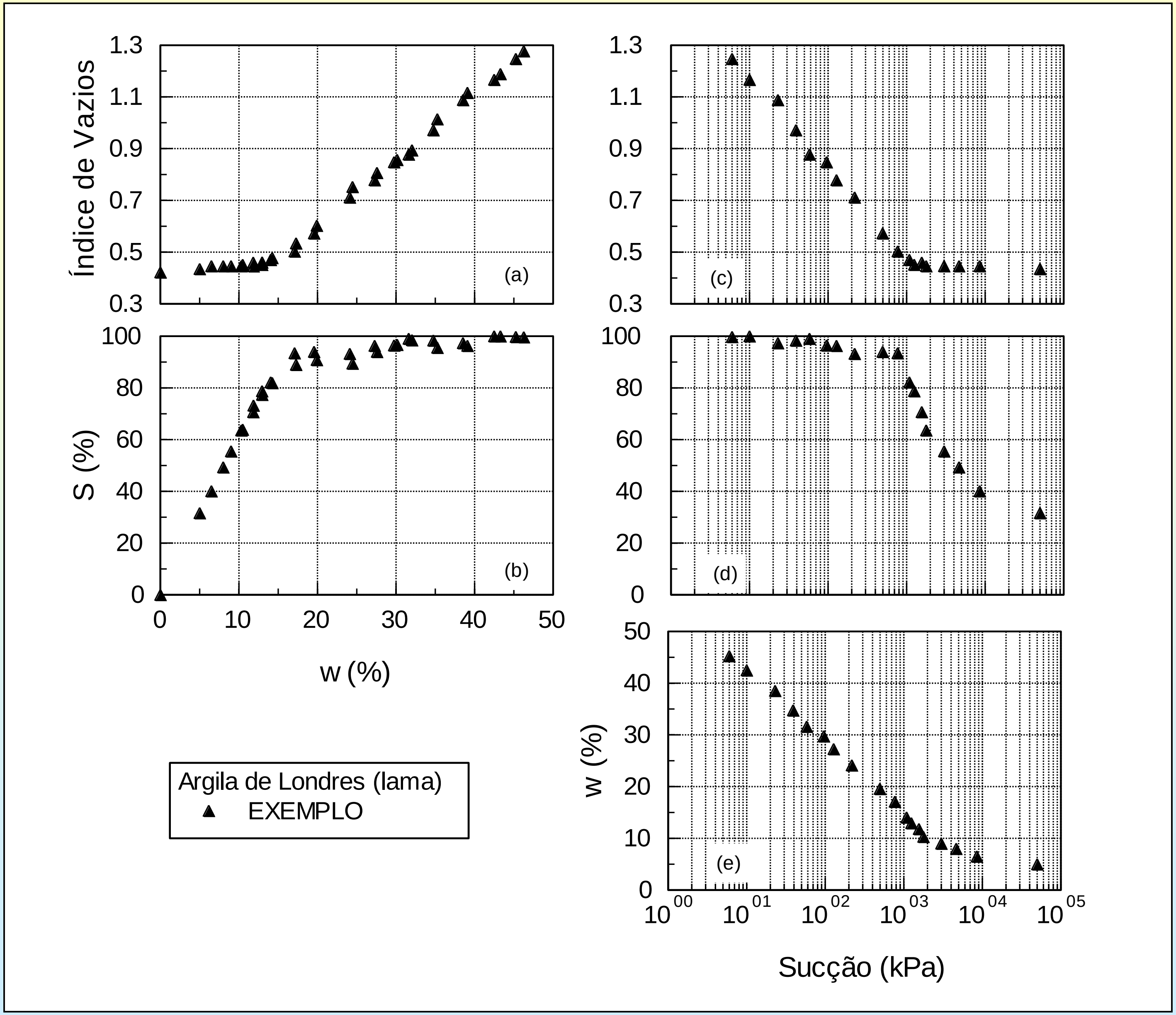
- **Brooks & Corey observaram que se fossem omitidos os dados para graus de saturação maiores que aproximadamente 85% os dados se apresentavam alinhados em uma reta, quando plotados em termos de logS_e e log da sucção.**
- **O valor de S_r tem papel importante no ajuste. Em geral este valor é determinado de modo a fornecer o melhor ajuste.**
- **Inicialmente obtida para rochas porosas**
- **Aplicável a solos homogêneos**
- **Os parâmetros são obtidos por ajuste ao dados de sucção e saturação.**

$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r} = \left(\frac{(u_a - u_w)_b}{(u_a - u_w)} \right)^{\lambda} \text{ para } (u_a - u_w) \geq (u_a - u_w)_b$$

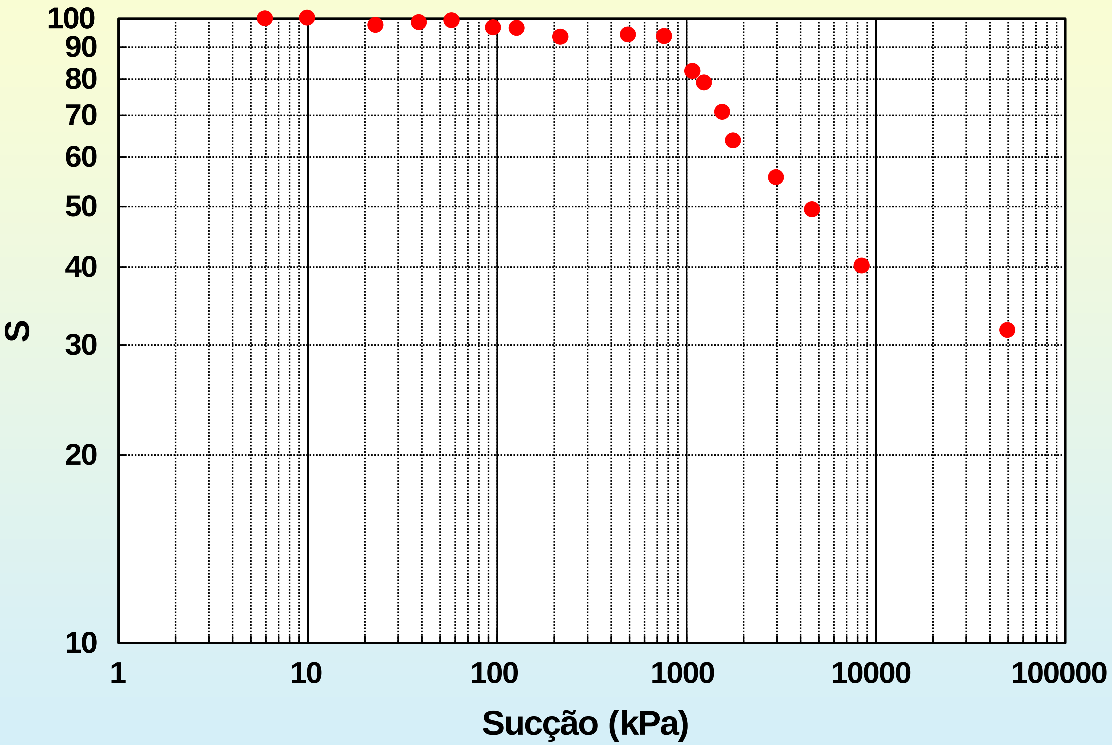




$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r} = \left(\frac{(u_a - u_w)_b}{(u_a - u_w)} \right)^{\lambda}$$



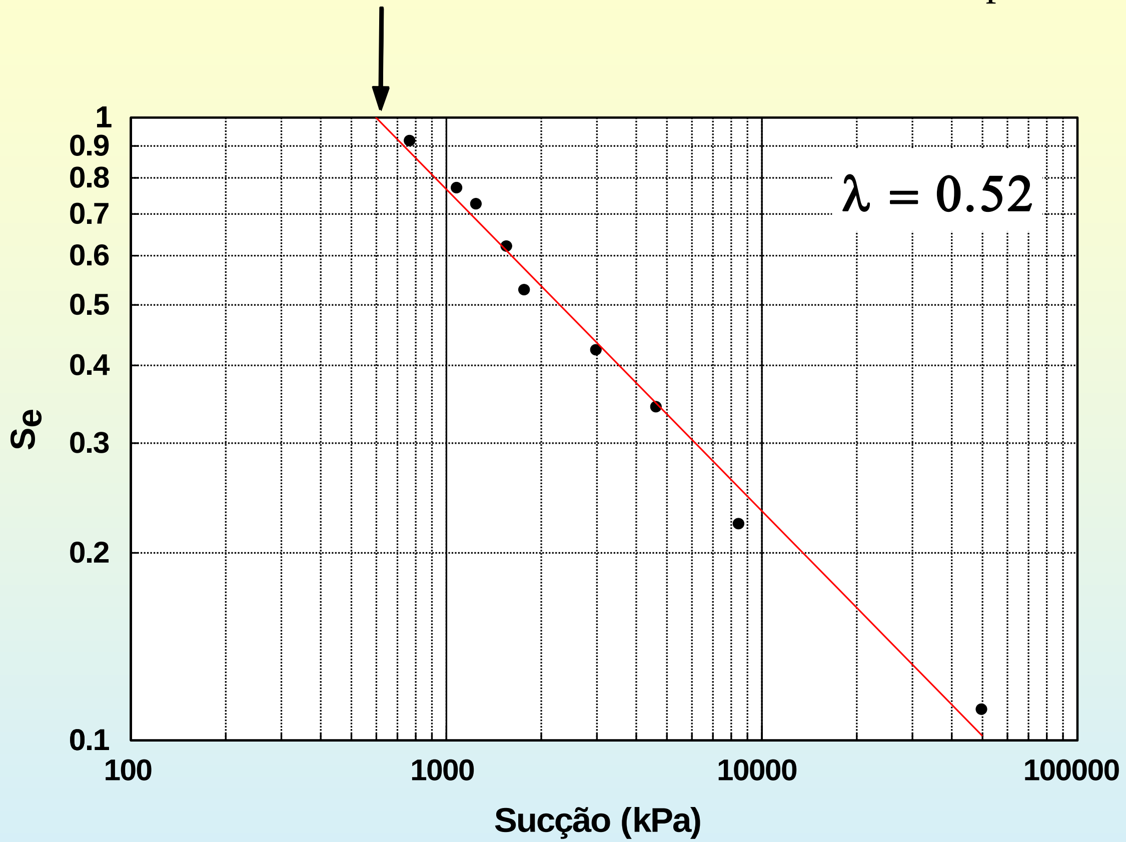
Índice de Vazios
1.3
1.1
0.9
0.7
0.5
0.3
(a)
(c)
S (%)
100
80
60
40
20
0
(b)
(d)
0
10
20
30
40
50
w (%)
Argila de Londres (lama)
EXEMPLO
w (%)
(e)
10^{00}
10^{01}
10^{02}
10^{03}
10^{04}
10^{05}
Sucção (kPa)



100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
S
1
10
100
1000
10000
100000
Sucção (kPa)

$(u_a - u_w)_b = 595kPa$

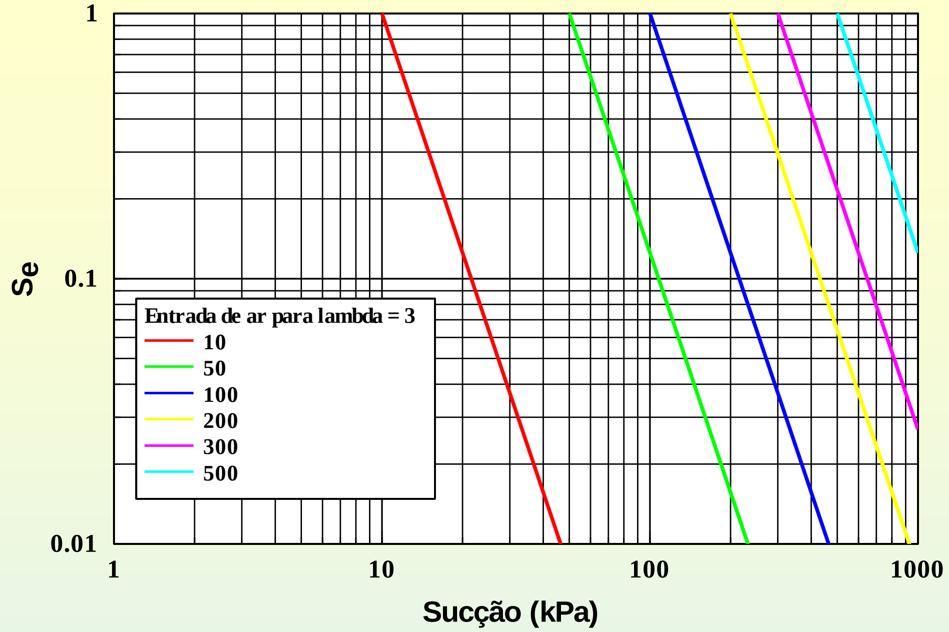
$S_r = 23\%$

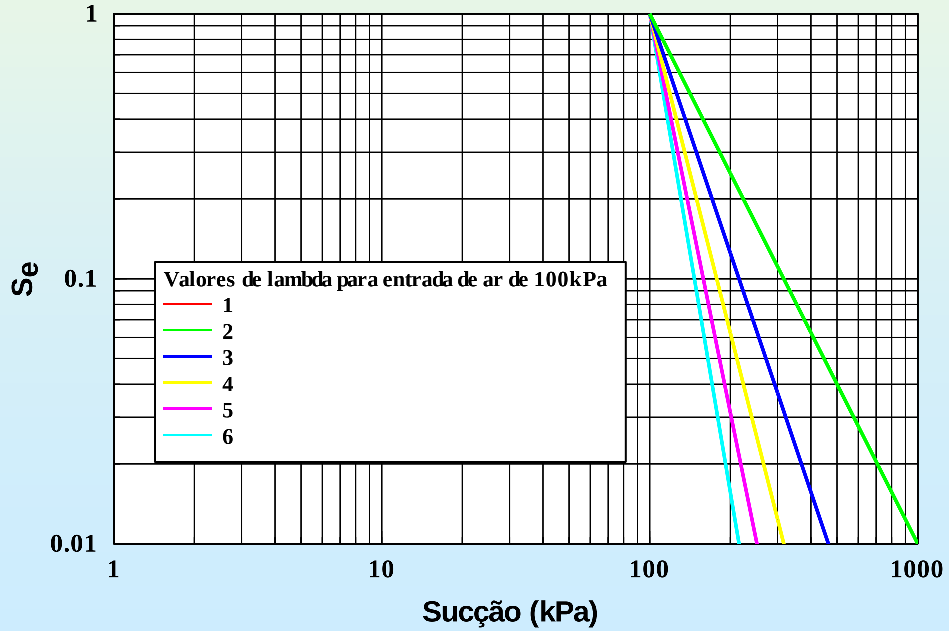


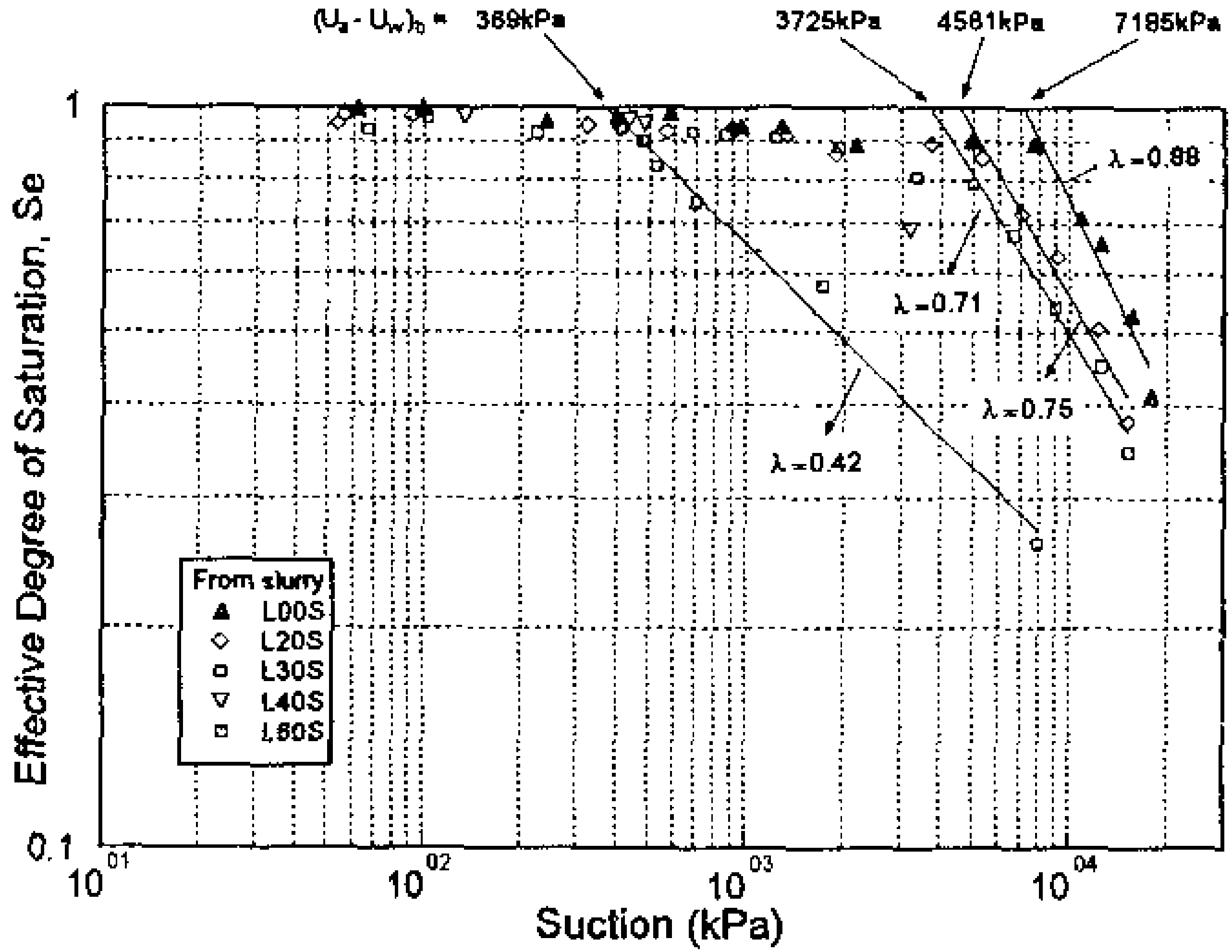
$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r} = \left(\frac{(u_a - u_w)_b}{(u_a - u_w)} \right)^{\lambda}$$

Brooks & Corey (1966)

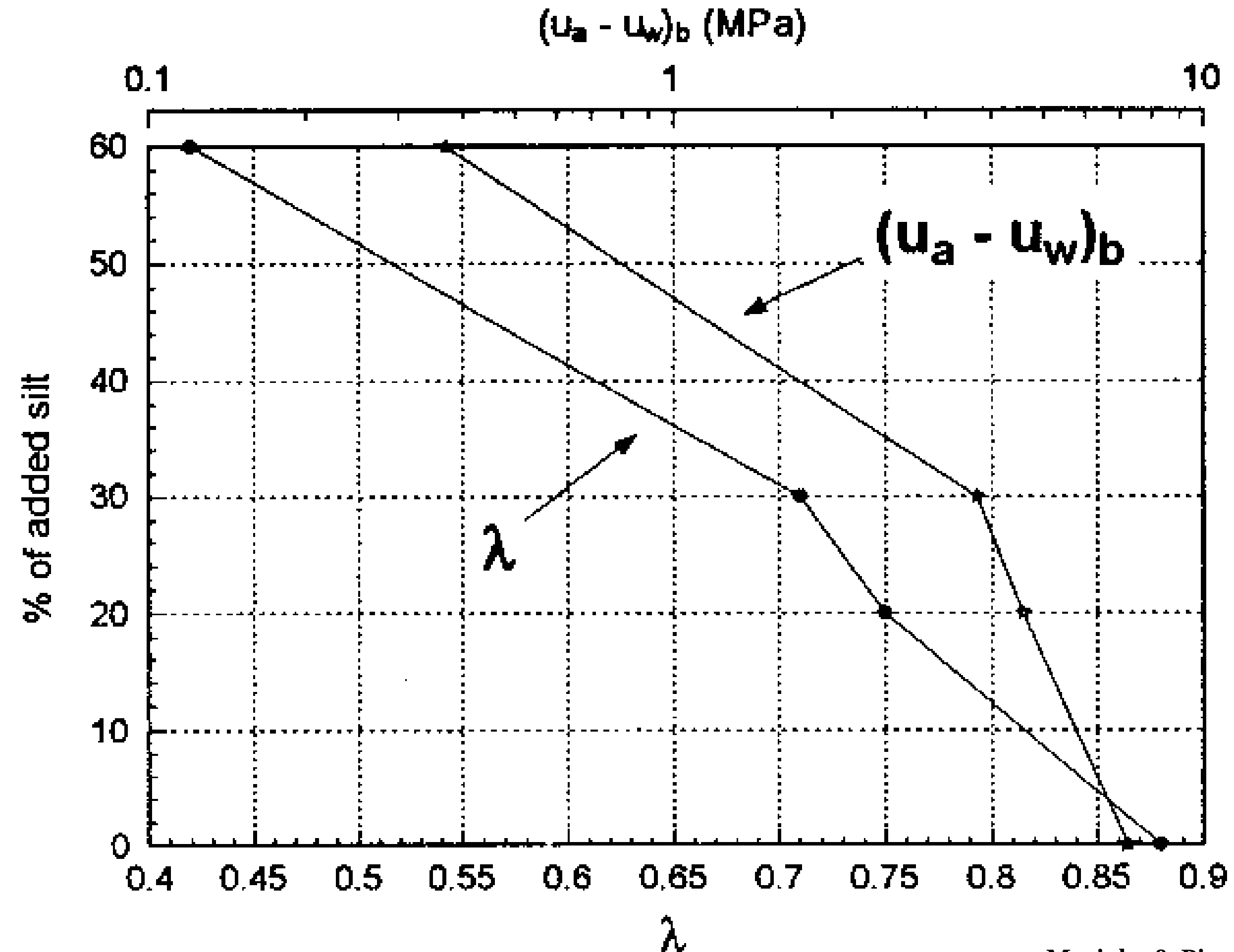
$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r} = \left(\frac{(u_a - u_w)_b}{(u_a - u_w)} \right)^{\lambda}$$







Marinho & Pinto (1997)



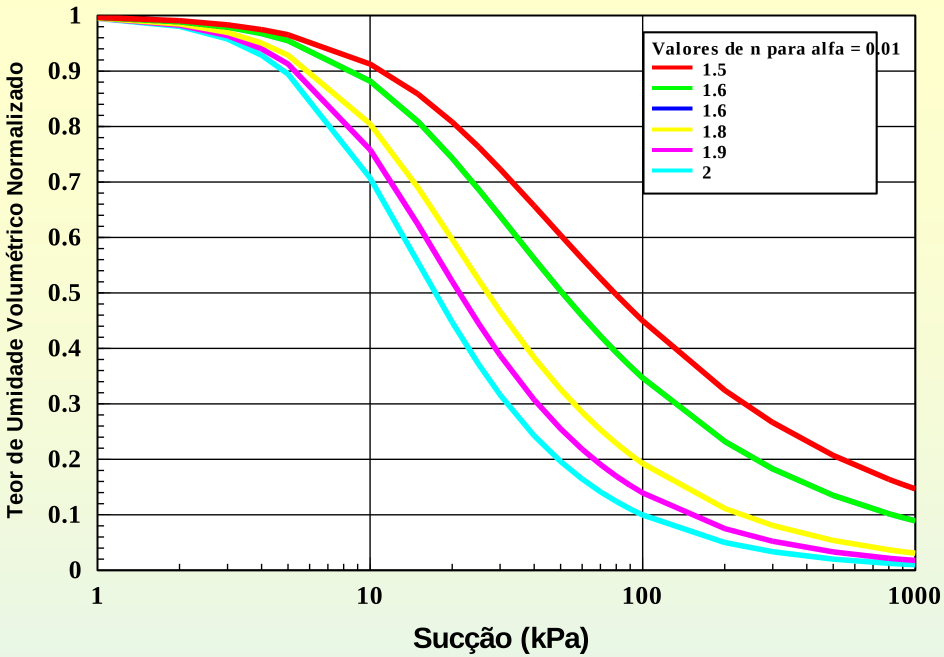
Marinho & Pinto (1997)

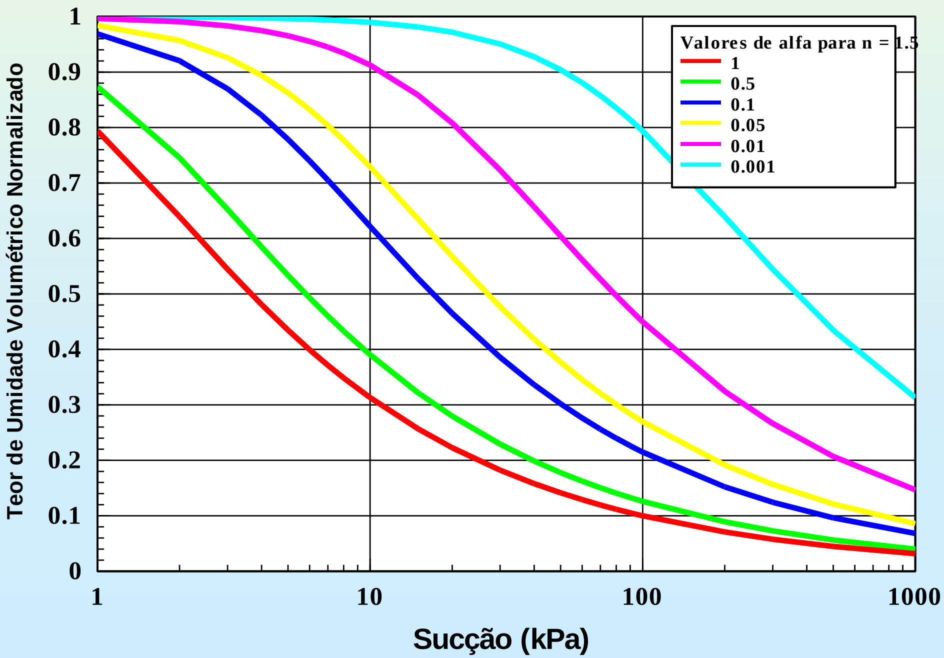
Van Genutchen (1980)

$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r} = \left(\frac{1}{1 + \alpha (u_a - u_w)^n} \right)^m$$

Van Genutchen (1980)

$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r} = \left(\frac{1}{1 + \alpha (u_a - u_w)^n} \right)^m$$

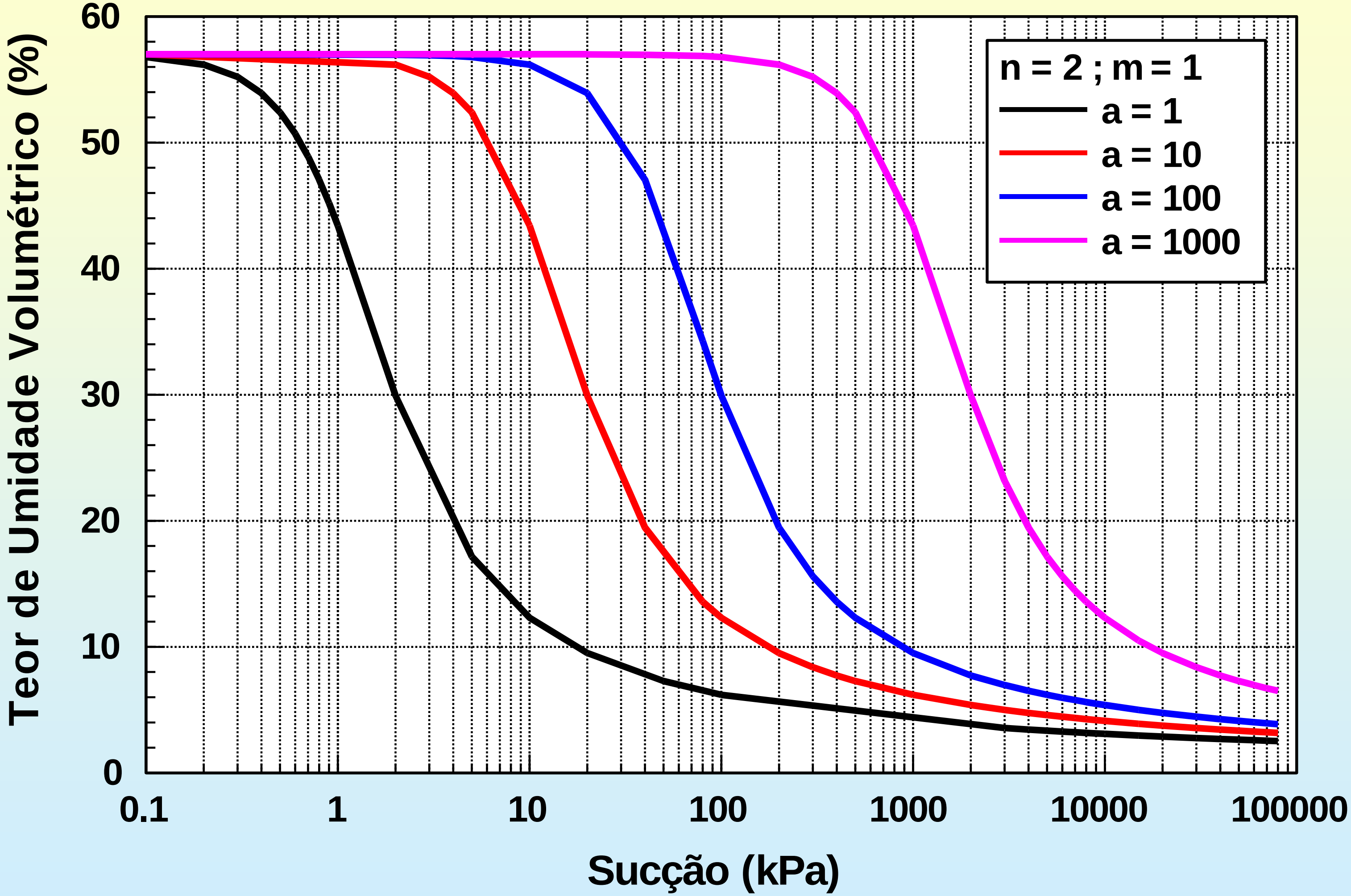




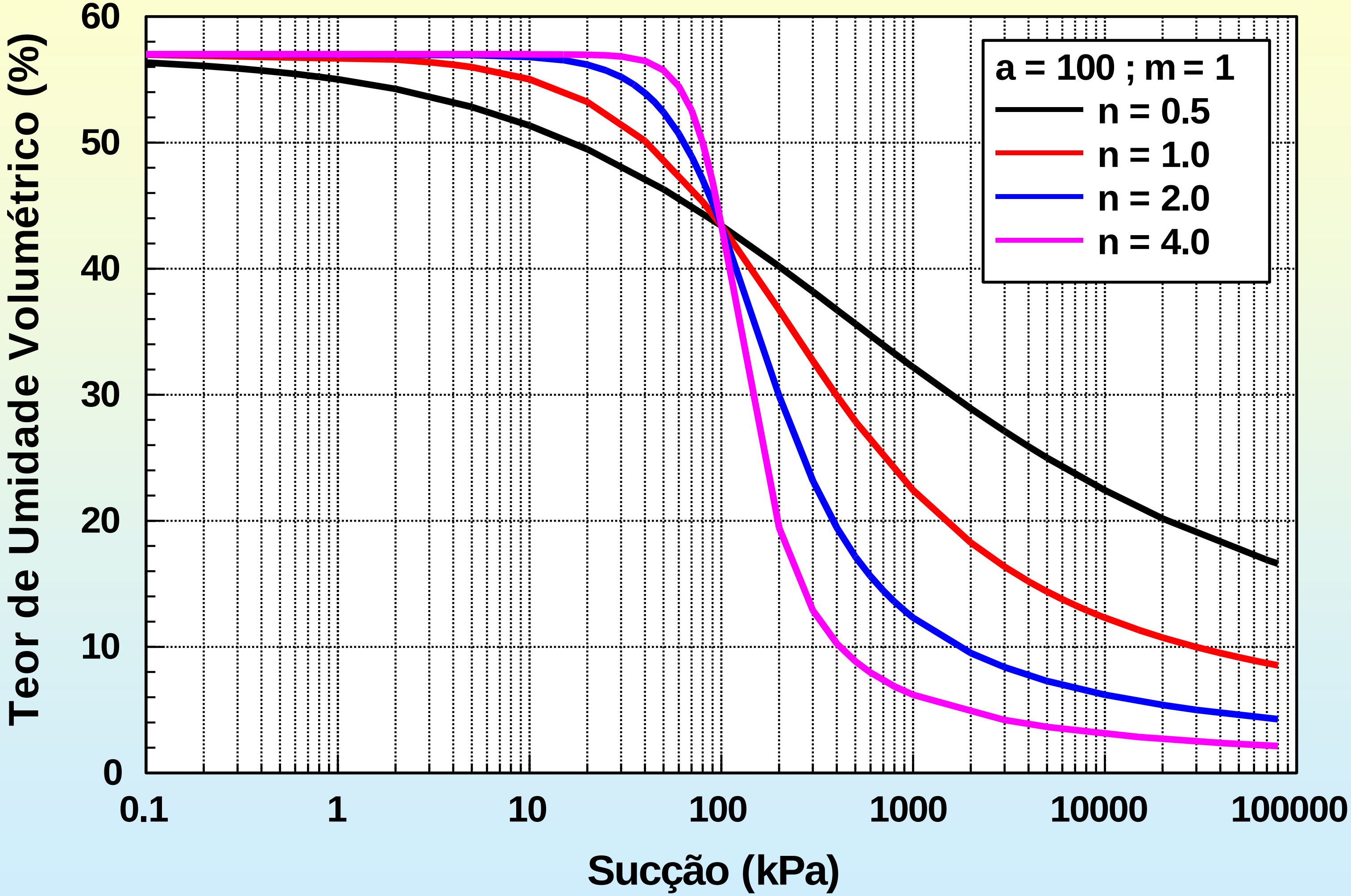
Fredlund & Xing (1994)

$$\theta = C(\psi)\frac{\theta_s}{\left\{\ln\left[e+\left(\frac{\psi}{a}\right)^n\right]\right\}^m}$$

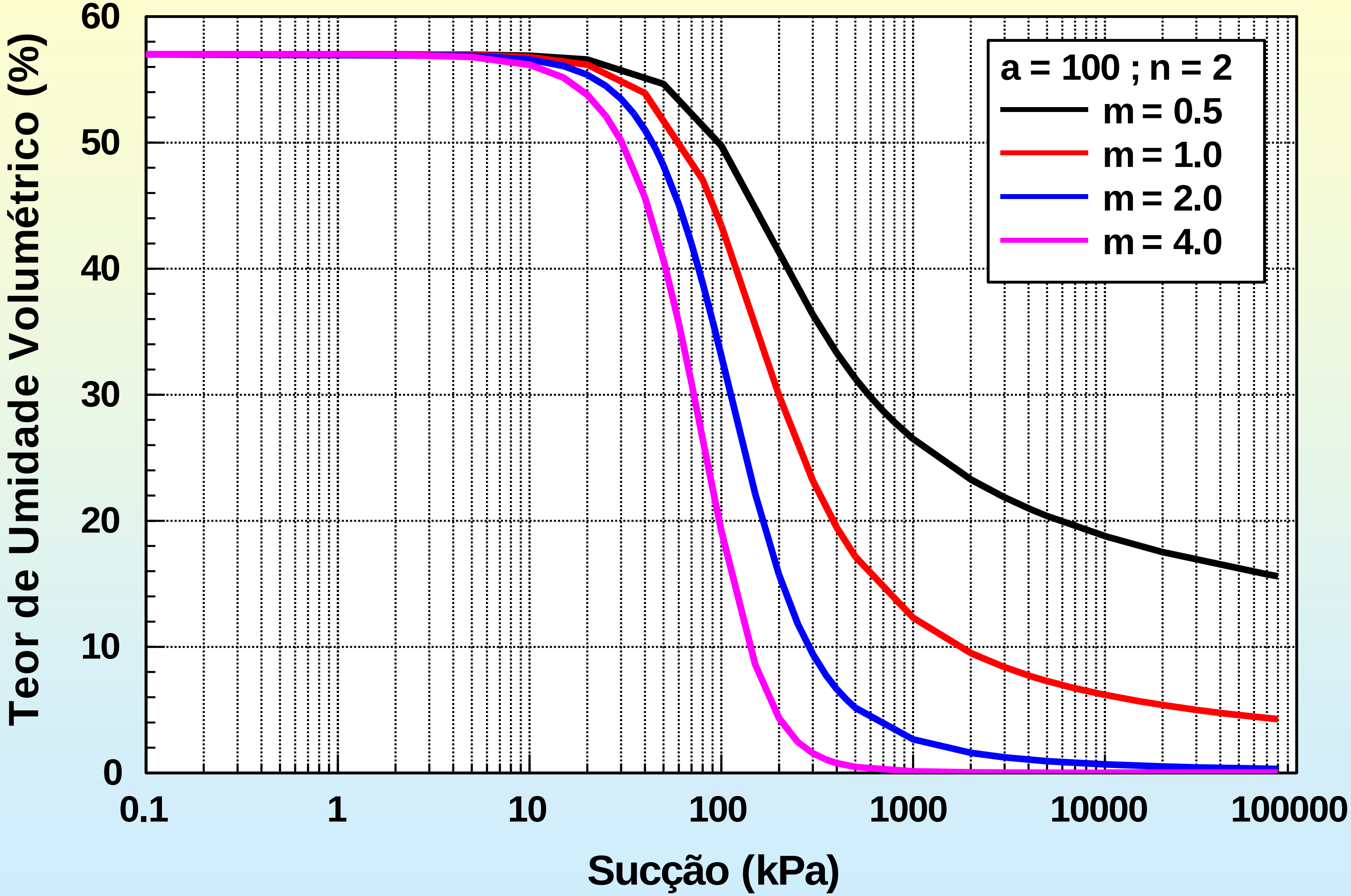
$$C(\psi) = 1 - \left[\frac{\ln(1+\frac{\psi}{\psi_r}}{\ln\left[1+\left(\frac{1000000}{\psi_r}\right)\right]}\right]$$



n = 2 ; m = 1
a = 1
a = 10
a = 100
a = 1000
Teor de Umidade Volumétrico (%)
60
50
40
30
20
10
0
0.1
1
10
100
1000
10000
100000
Sucção (kPa)

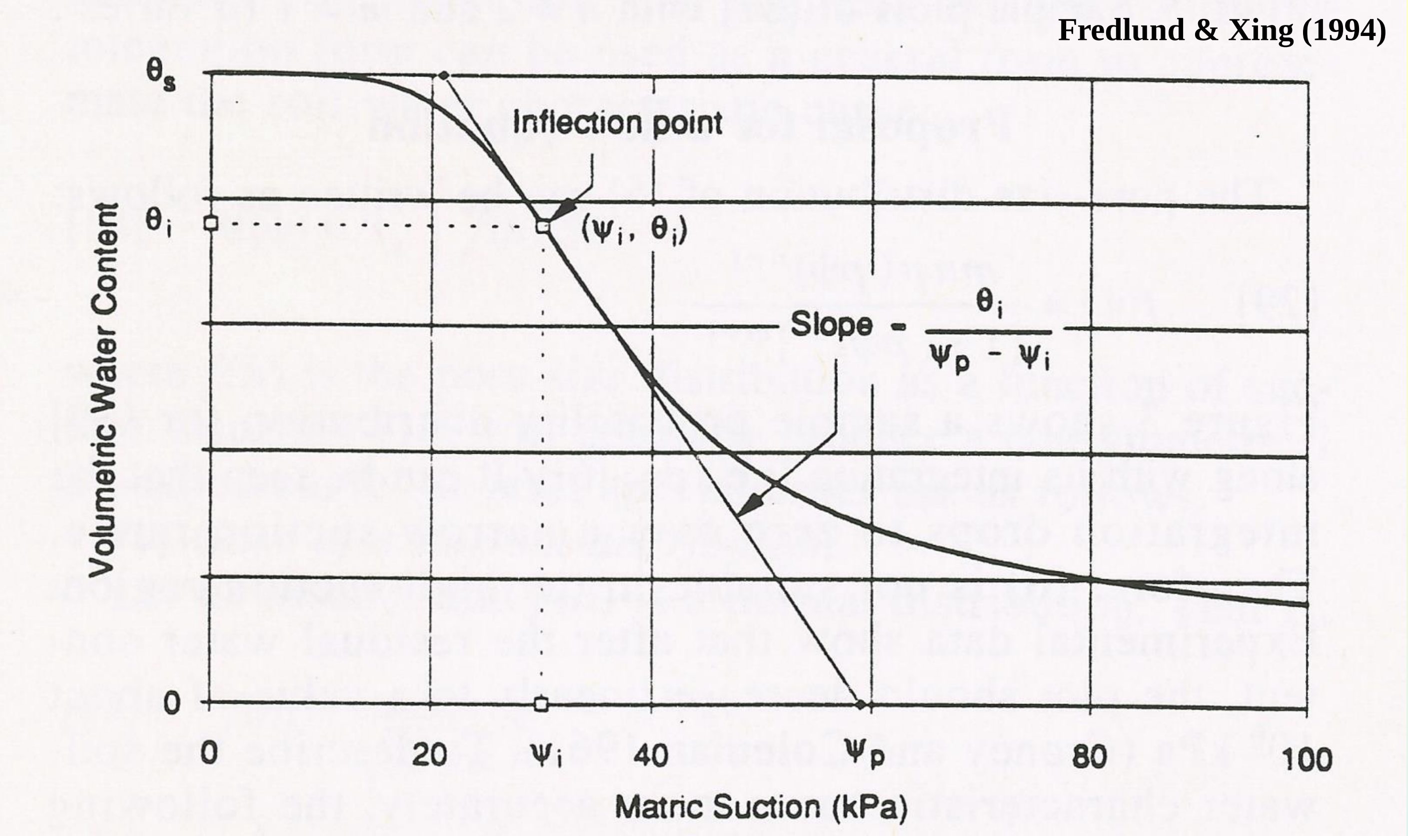


a = 100 ; m = 1
n = 0.5
n = 1.0
n = 2.0
n = 4.0
Teor de Umidade Volumétrico (%)
Sucção (kPa)
0
10
20
30
40
50
60
0.1
1
10
100
1000
10000
100000



a = 100 ; n = 2
m = 0.5
m = 1.0
m = 2.0
m = 4.0
Teor de Umidade Volumétrico (%)
Sucção (kPa)
0
10
20
30
40
50
60
0.1
1
10
100
1000
10000
100000

Fredlund & Xing (1994)



$$a = \psi_i$$

$$n = \frac{1.31^{m+1}}{m\theta_s} 3.72 s\psi_i$$

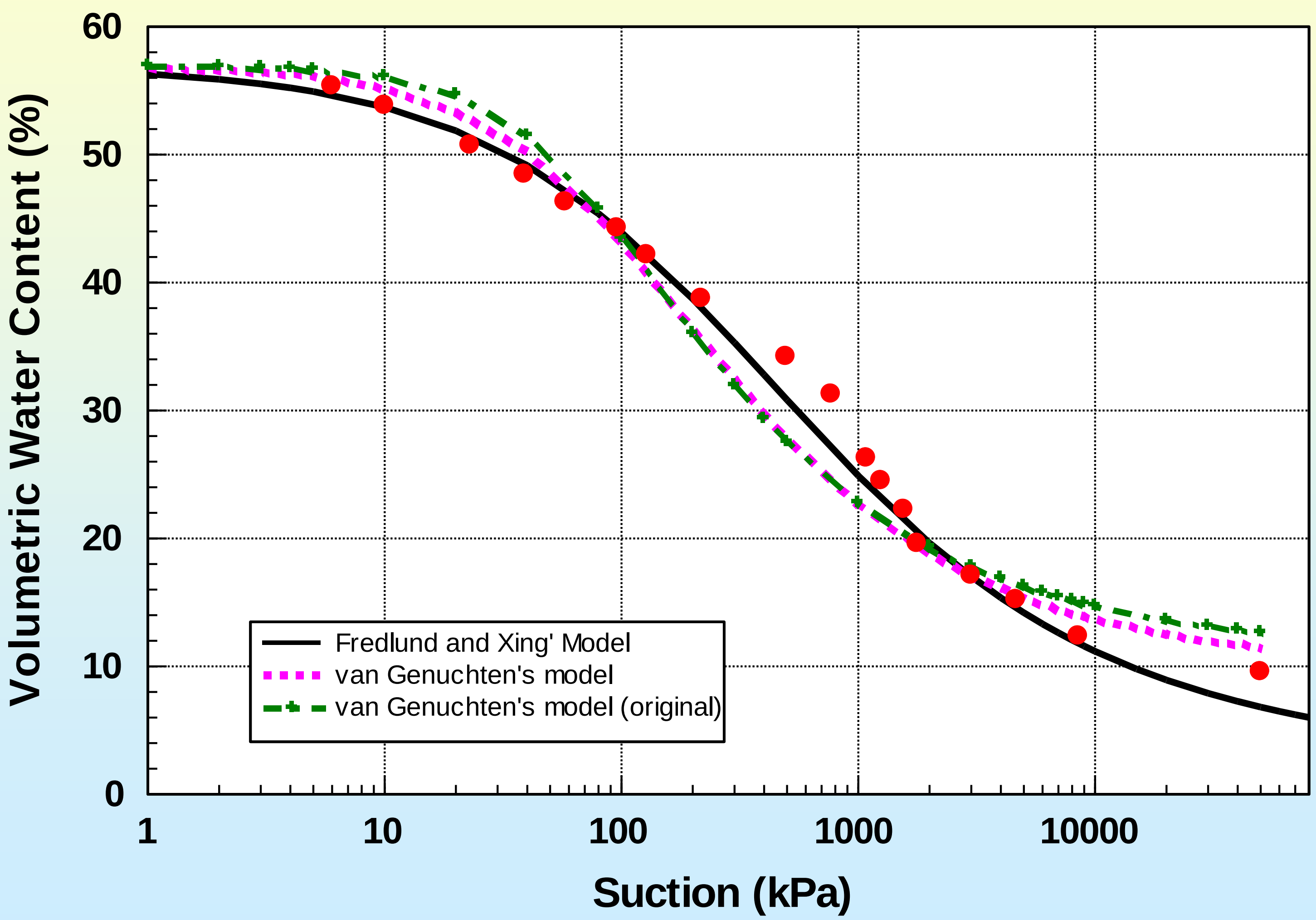
$$m = 3.67 \ln\left(\frac{\theta_s}{\theta_i}\right)$$

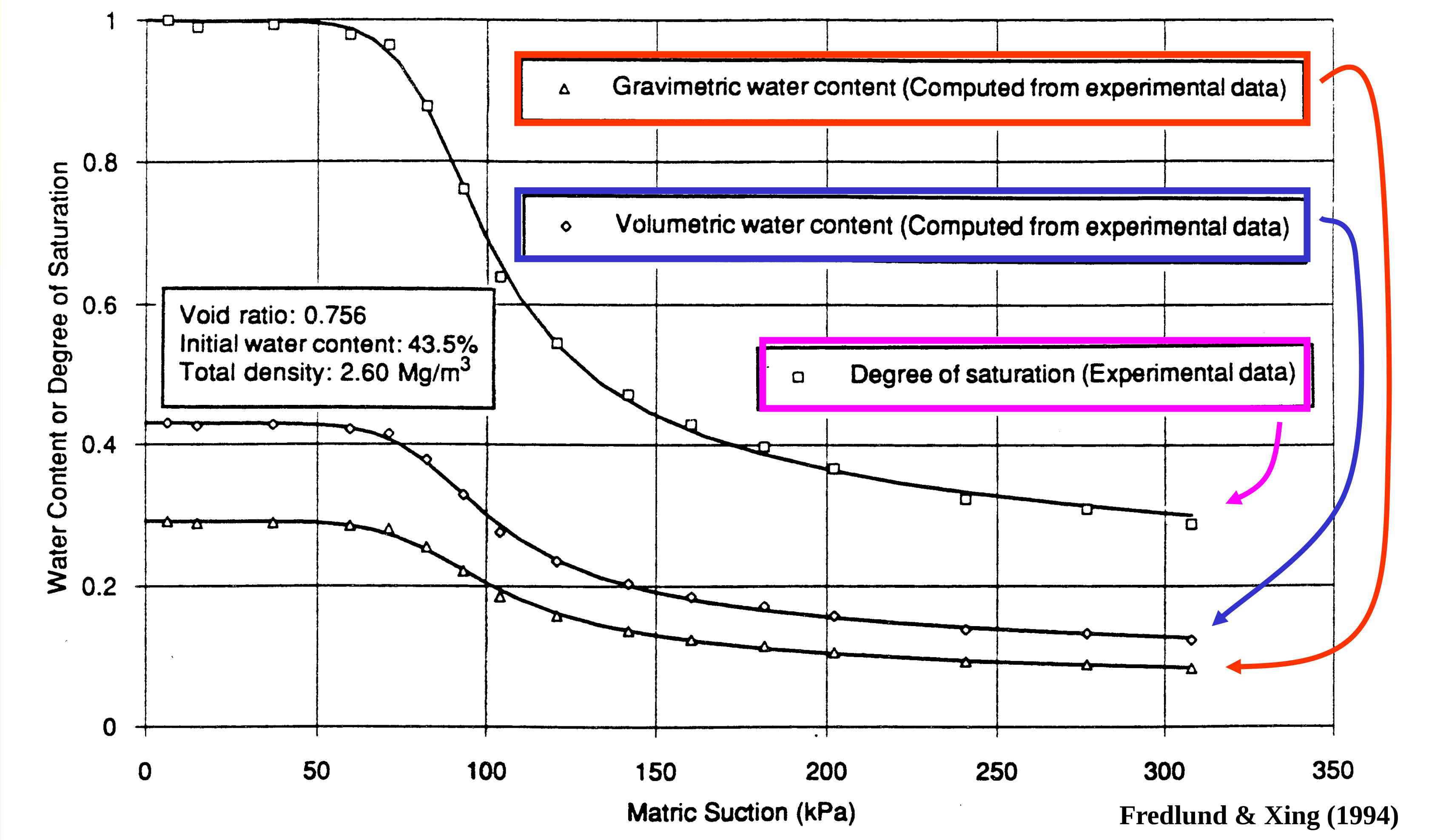
$$s = \frac{\theta_i}{\psi_p - \psi_i}$$

Fredlund and Xing' Model	
Saturated vol. water content (%)	57
a =	250
m =	1.6
n =	0.7

van Genuchten's model	
Teta r =	10
Teta m =	57
alfa =	0.01
m =	0.5
n =	1.1

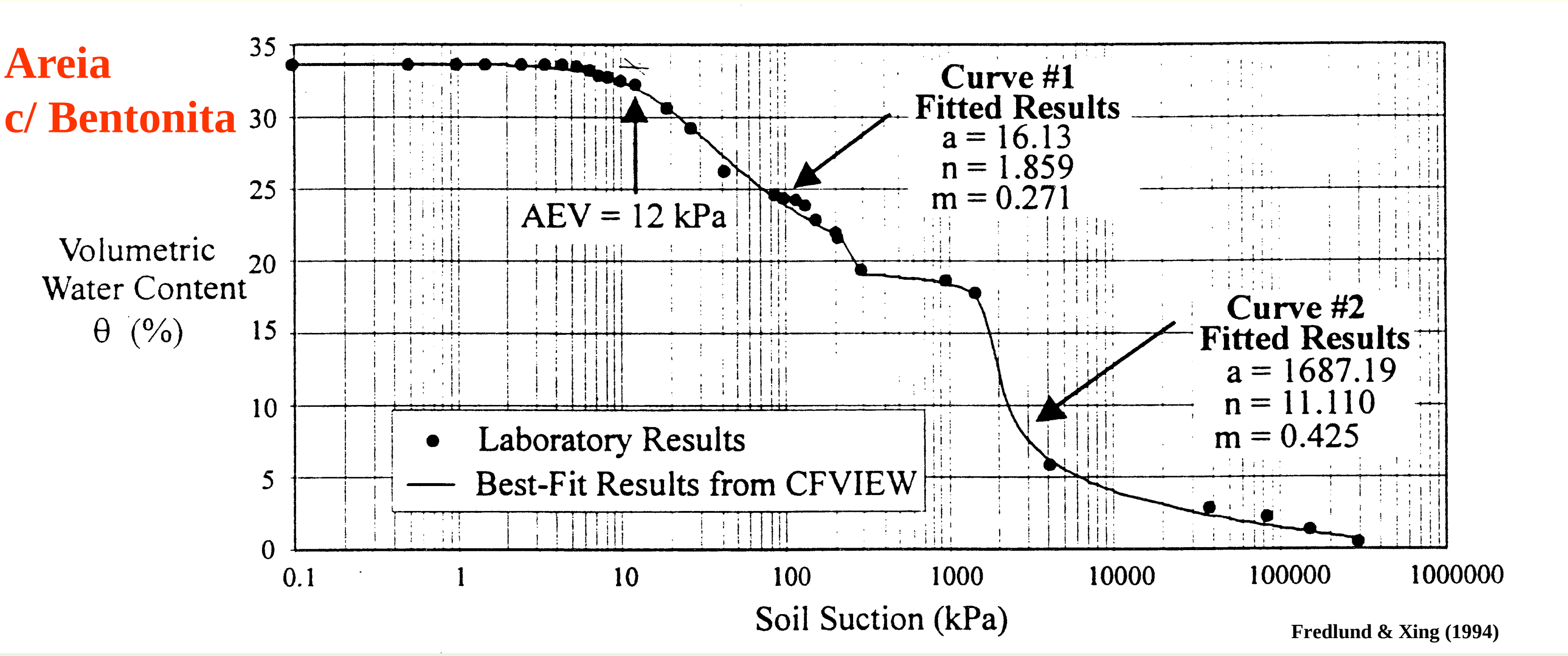
van Genuchten's model (original)	
Teta r =	11
Teta m =	57
alfa =	0.015
m = 1-1/n	0.333333
n =	1.5

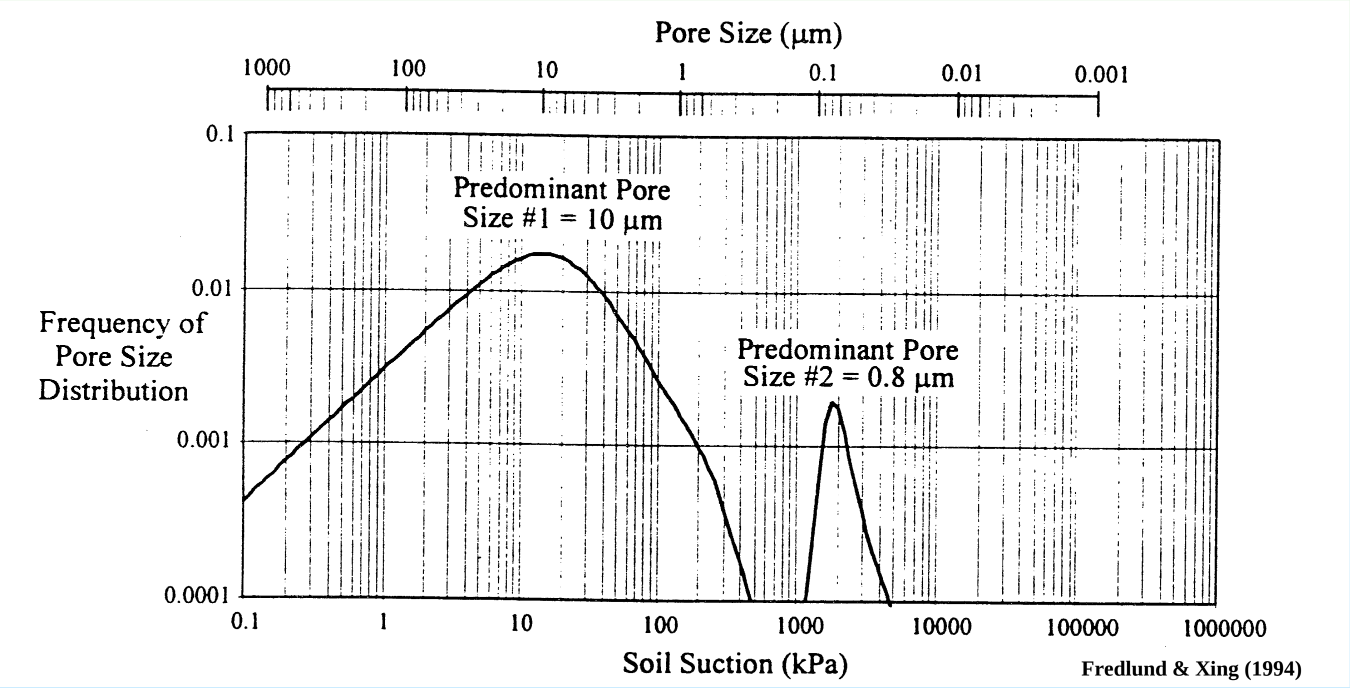


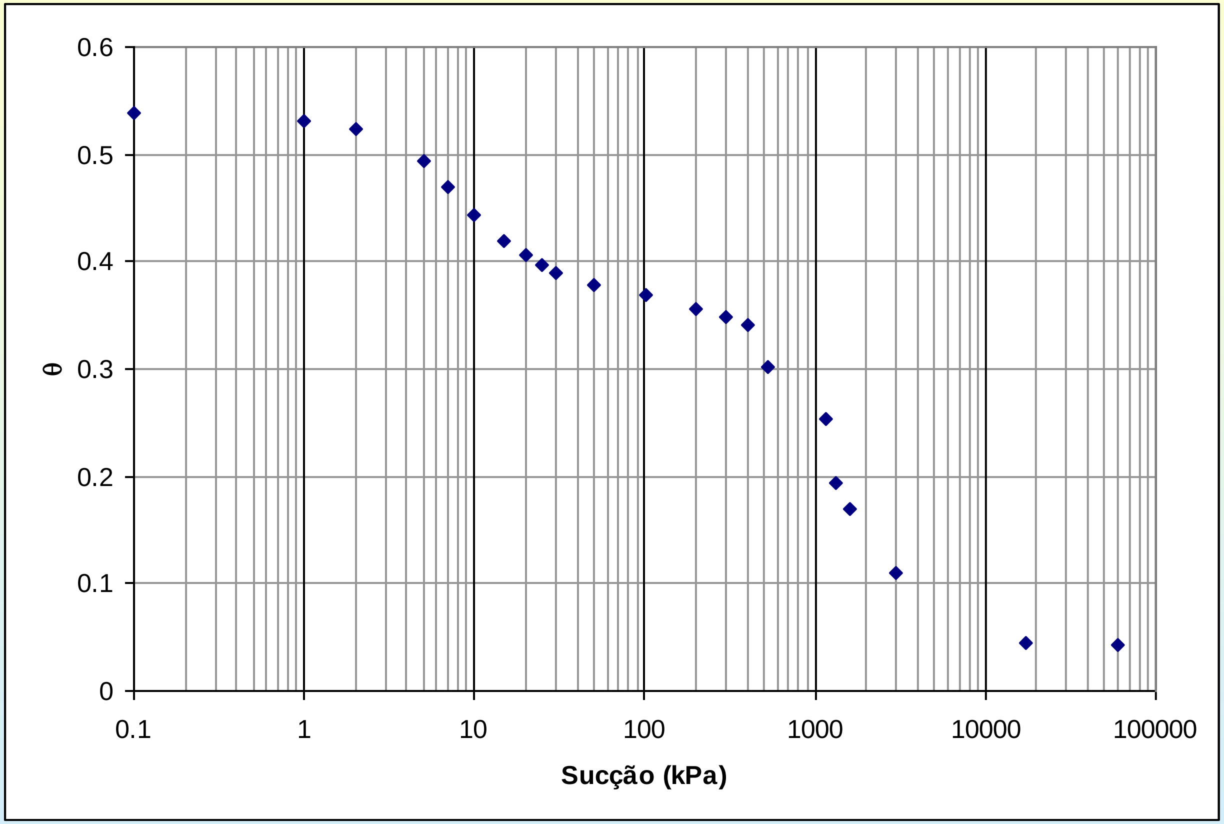


Dados de Brooks & Corey (1964)

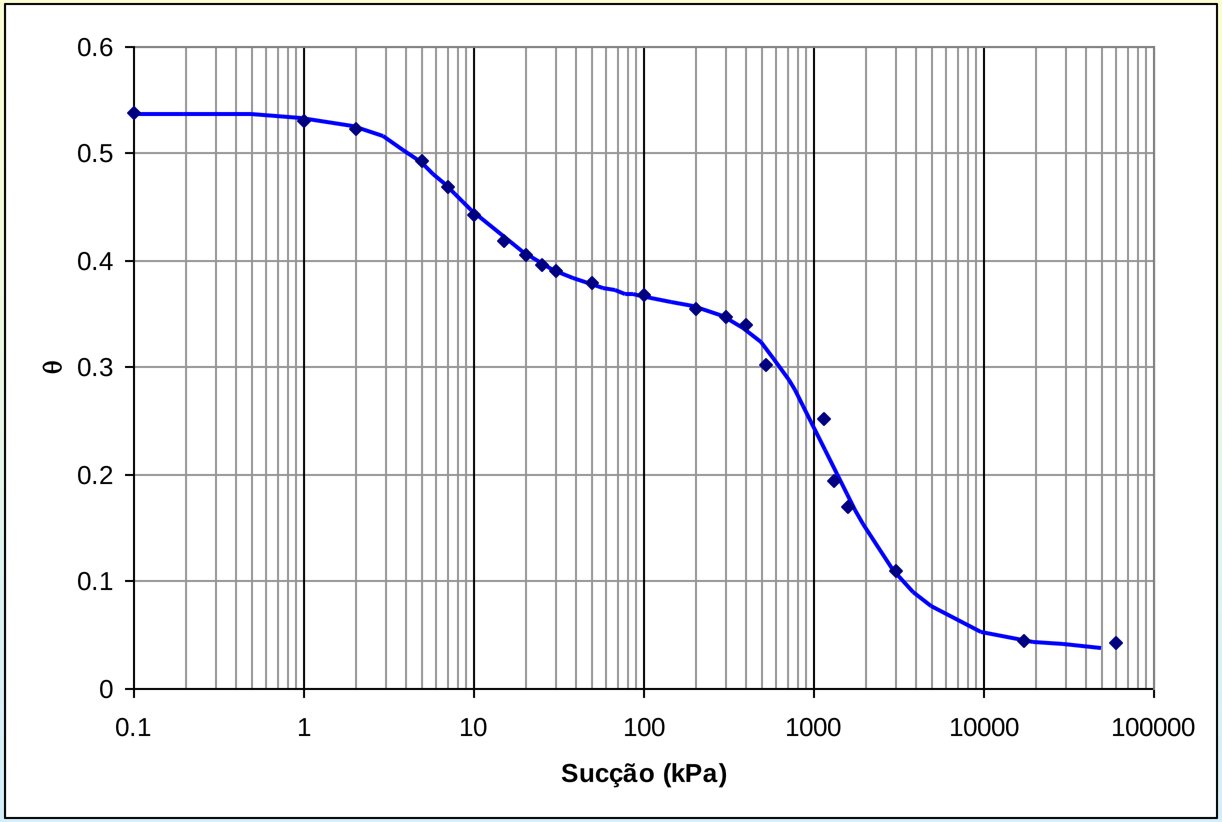
Areia c/ Bentonita







0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
θ
0.1
1
10
100
1000
10000
100000
Sucção (kPa)



0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
θ
0.1
1
10
100
1000
10000
100000
Sucção (kPa)

Parâmetros de Ajuste

α_1	0.17699	1/kPa
n_1	1.95854	

α_2	0.00105	1/kPa
n_2	2.24122	

m_1	0.48942
w_1	0.36118

m_2	0.55381
w_2	0.63882

θ_S	0.53636
θ_R	0.03584