

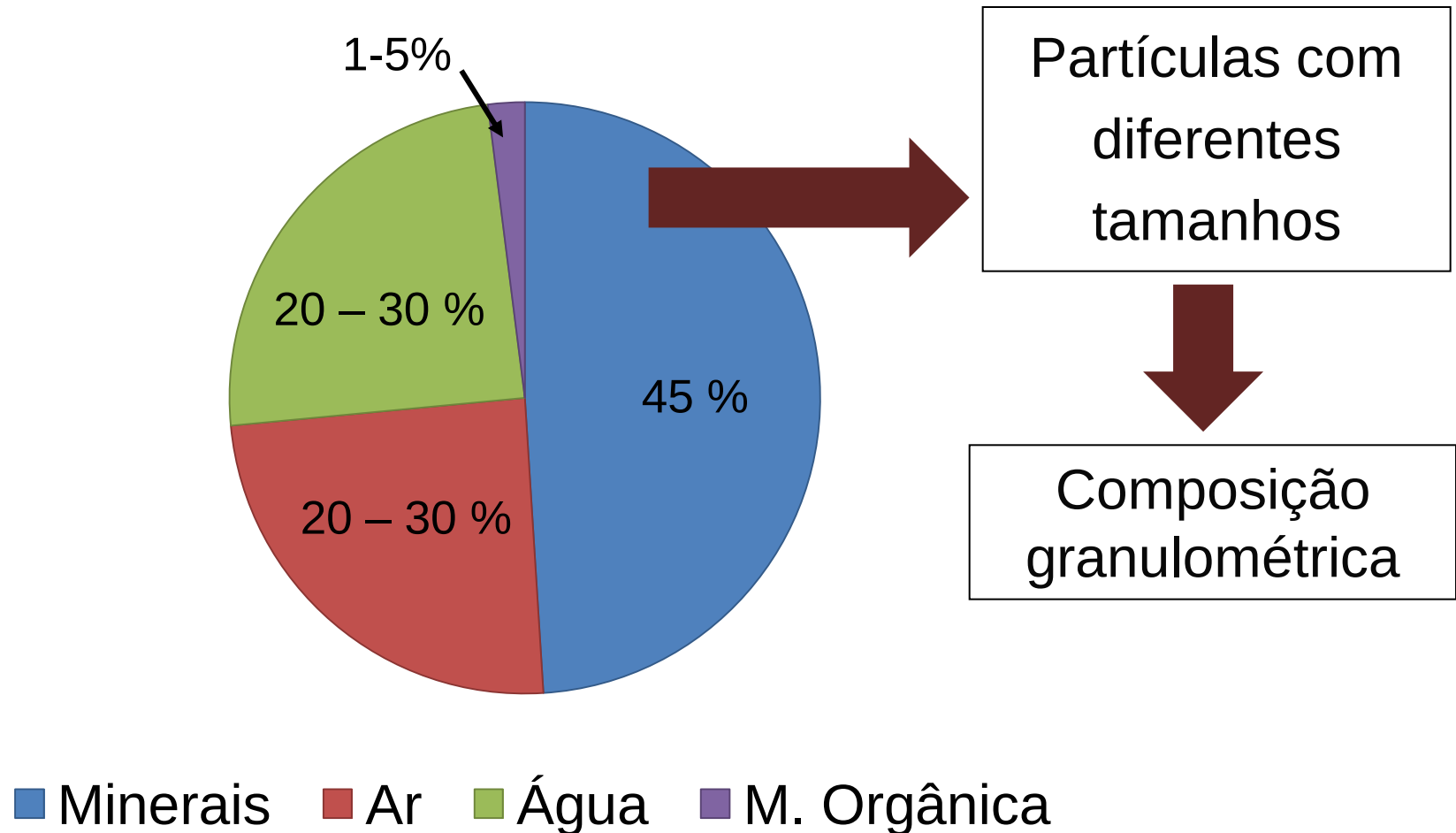


Física do Solo
CCR/UFSM

Aeração do solo

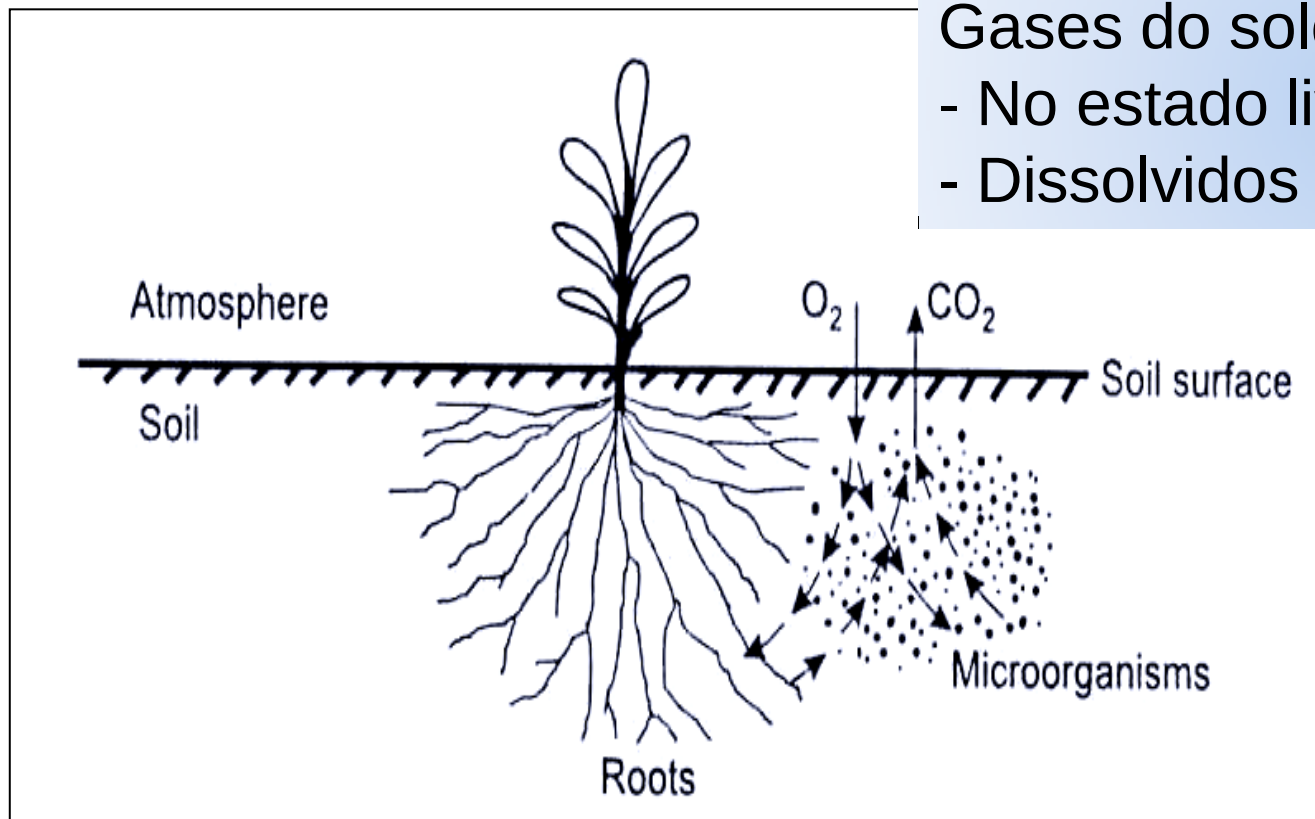
J. M. Reichert, PhD.
E. S. Vogelmann, MSc.

Composição do solo



AERAÇÃO DO SOLO

Processo de troca de O_2 e CO_2 , bem como de formas voláteis de N, S e hidrocarbonetos com a atmosfera.



Gases do solo:

- No estado livre - poros
- Dissolvidos na fase gasosa

AERAÇÃO DO SOLO E AS PLANTAS

Soja – amarelecimento e pouco crescimento em condições de aeração insuficiente. Pq?

Milho – exige valores de aeração mínimos de 12 a 15%.

Trigo – no RS pode ter problemas de falta de oxigênio.

Arroz – produção não tem correlação com a aeração do solo.

Composição do Ar

TABLE 10.1 Components of atmospheric air (exclusive of water vapor) (numbers come from Weast, 1964, p. F-88)

Constituents	Percent	Parts per million*
N ₂ (nitrogen)	78.084	
O ₂ (oxygen)	20.946	
CO ₂ (carbon dioxide) ⁺	0.033	
Ar (argon) [#]	0.934	
Ne (neon)		18.18
He (helium)		5.24
Kr (krypton)		1.14
Xe (xenon)		0.087
H ₂ (hydrogen)		0.5
CH ₄ (methane)		2
N ₂ O (nitrous oxide)		0.5

Fonte: KIRKHAM (2005).

COMPOSIÇÃO DO AR

Atmosfera	78% N ₂	21% O ₂	0,03% CO ₂	1% Ar
Solo	78% N₂	20,8% O₂	0,25% CO₂	1% Ar

COMPOSIÇÃO DO AR DO SOLO

- Composto por = O_2 , CO_2 , N_2 , NH_3 , NO , NO_2
- Difere do ar atmosférico
- Varia em composição e concentração tanto no espaço como no tempo

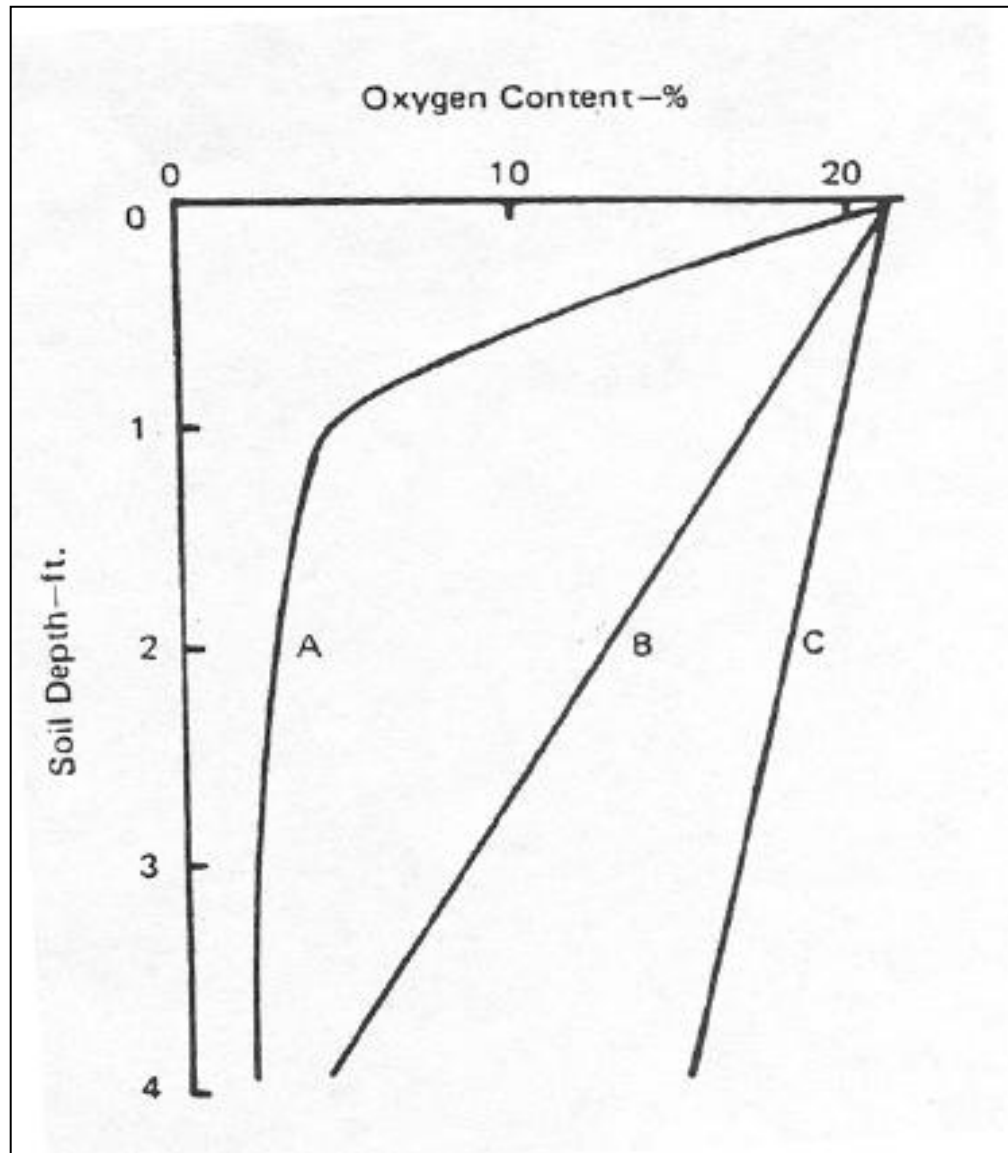
U. Relativa = 100 %	N_2 = 79 %	$O_2 + CO_2$ = 21 %
CO_2 Atmosfera = 0,036 %		solo úmido = 0,30 %
O_2 Atmosfera = 21 %		solo saturado = 0 -17 %

Quando CO_2 for $> 5 \%$ ou $O_2 < 15 \%$
reduz o crescimento das raízes e parte área
O limite superior crítico é 10 % de CO_2

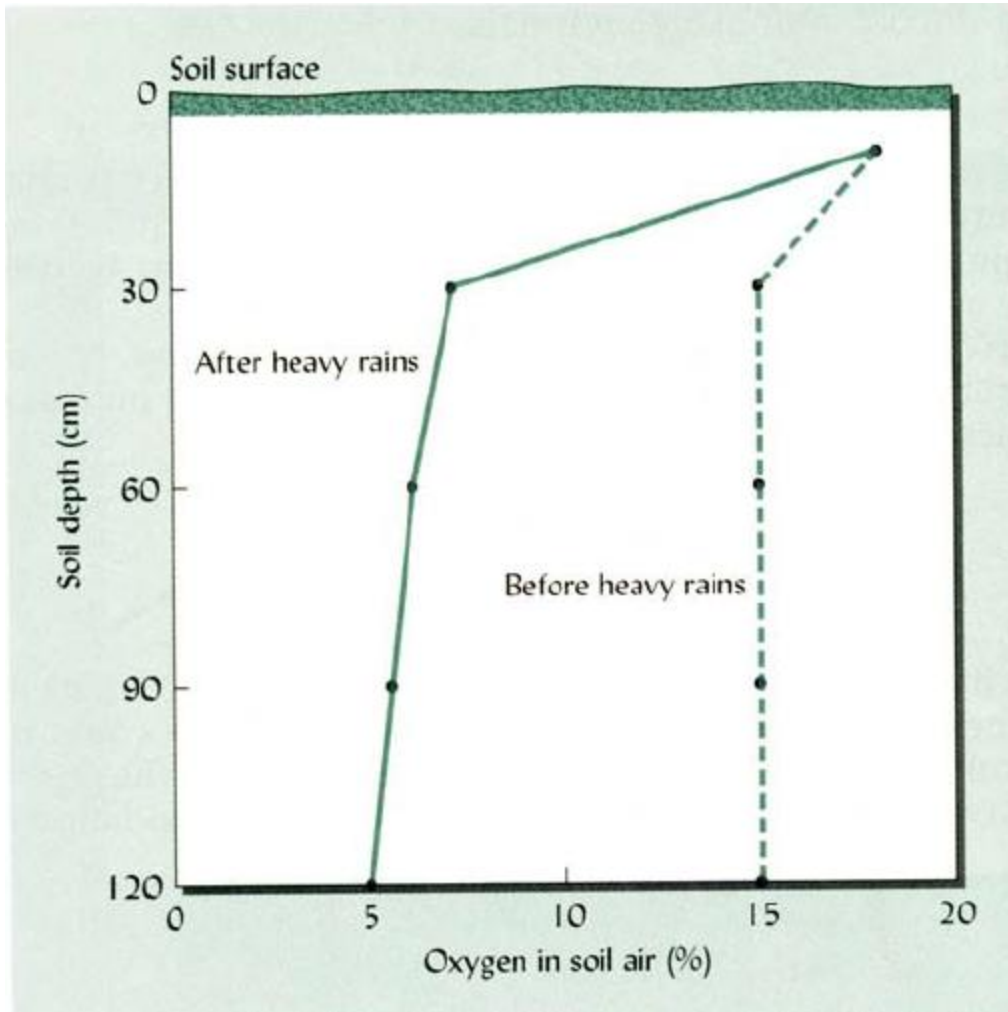
Fatores que afetam a aeração



Profundidade

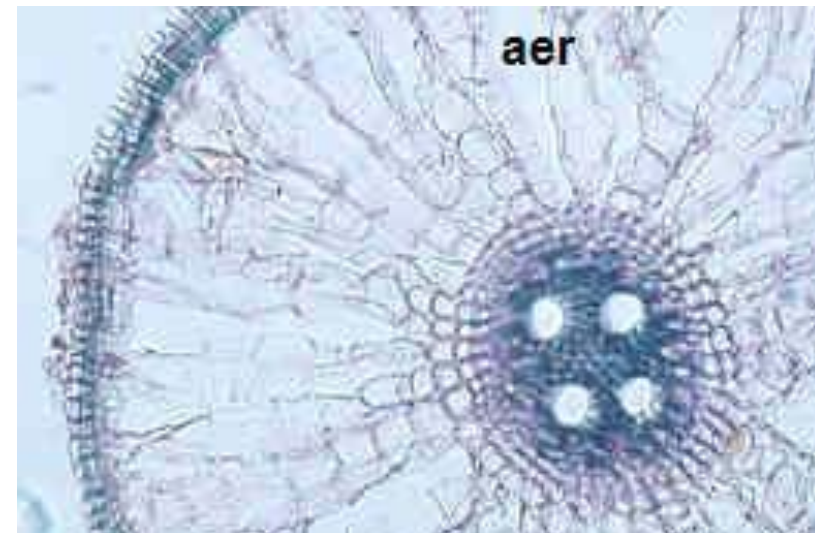


Profundidade vs. umidade



Fonte: HILLEL (1998).

Plantas adaptadas!



Profundidade vs. estações do ano

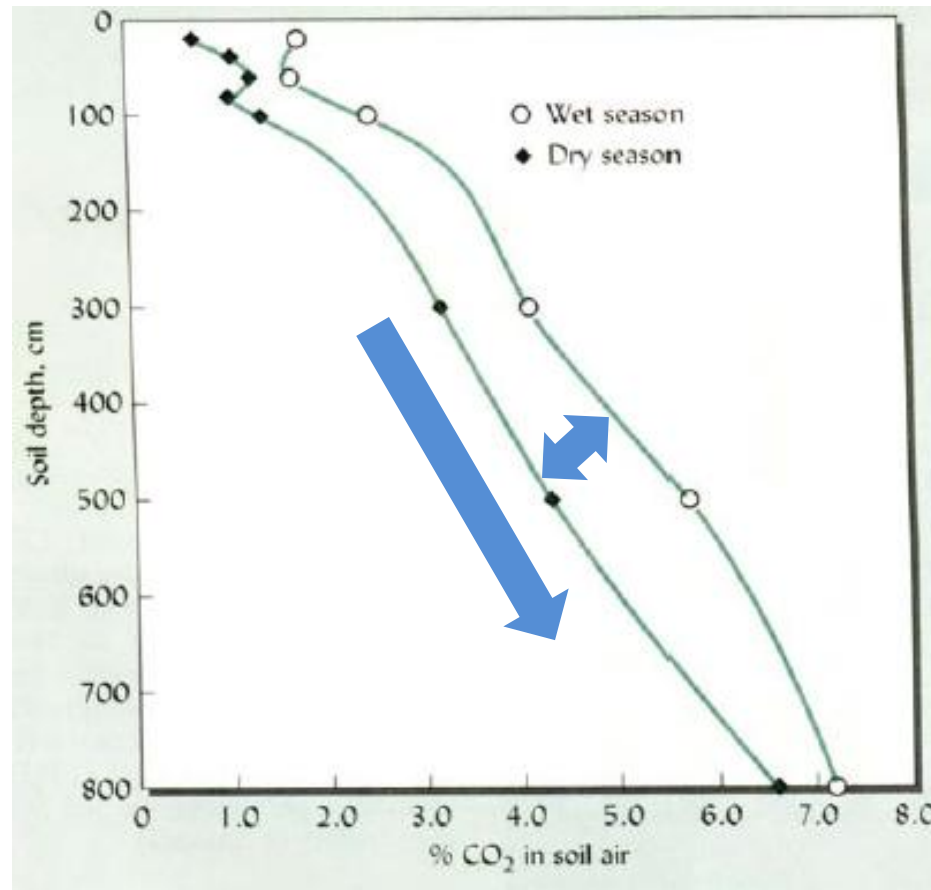
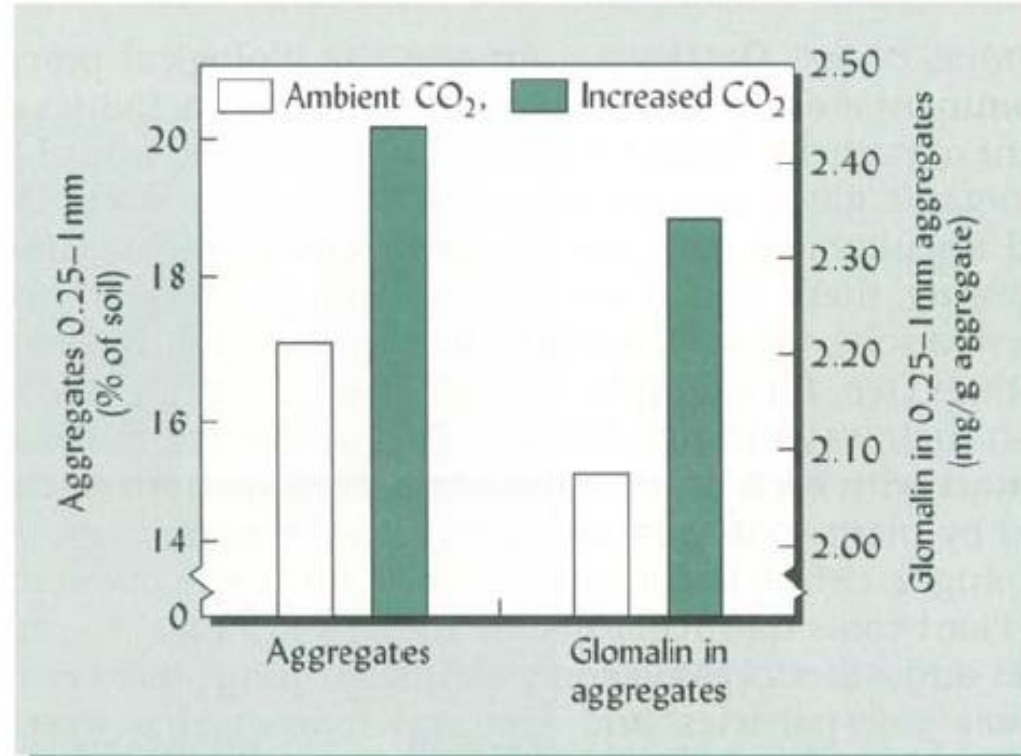


FIGURA 3.6 Mudanças na concentração de ar em profundidade no perfil de um solo Haplustox sob floresta tropical na região Amazônica Brasileira. A fonte de CO₂ foi uma combinação da respiração radicular e microbiana. Apesar das camadas superiores possuírem maiores taxas de produção de CO₂, os gases produzidos tem uma menor distância para percorrer até a atmosfera e muitos macroporos neste caminho. A concentração de CO₂ aumenta com a profundidade devido ao aumento da distância a ser percorrida pelos gases até a atmosfera e redução da macroporosidade causando acúmulo de CO₂ [Data from Davidson e Trumbore (1995)].

Agregação do solo vs. [CO₂]



Aparentemente, alto teor de CO₂ atmosférico estimula o desenvolvimento das raízes das plantas, que, por seu turno, aumentam o incremento de associações com fungos micorízicos que produzem glomalina. Aumento no conteúdo de dióxido de carbono na atmosfera nas últimas décadas pode ter tido alguma influência sobre a formação de agregados nos solos. Fontes dos gráficos: Superior, Wright et al. (1999).

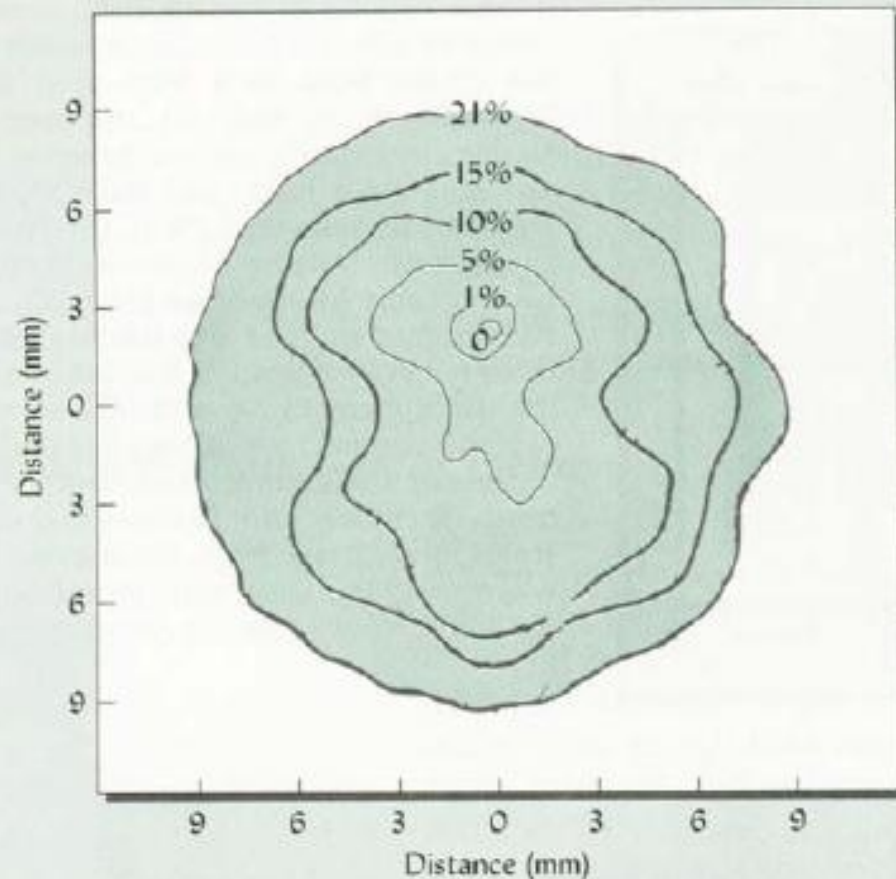


FIGURA 3.7 Um diagrama mostrando o conteúdo de oxigênio do ar do solo de um agregado úmido de um Aquic Hapludoll (mosqueado franco argilo siltoso) do Iowa. As medidas foram feitas com um único micro eletrodo. Note que o conteúdo de oxigênio próximo do centro do agregado é zero, enquanto que próximo a borda é de 21%. Assim, bolsões com deficiência de oxigênio podem ser encontrados num solo, em que o conteúdo total de oxigênio possa não ser baixo. (De Sextone, et al.(1985))

Época do ano vs. [CO₂]

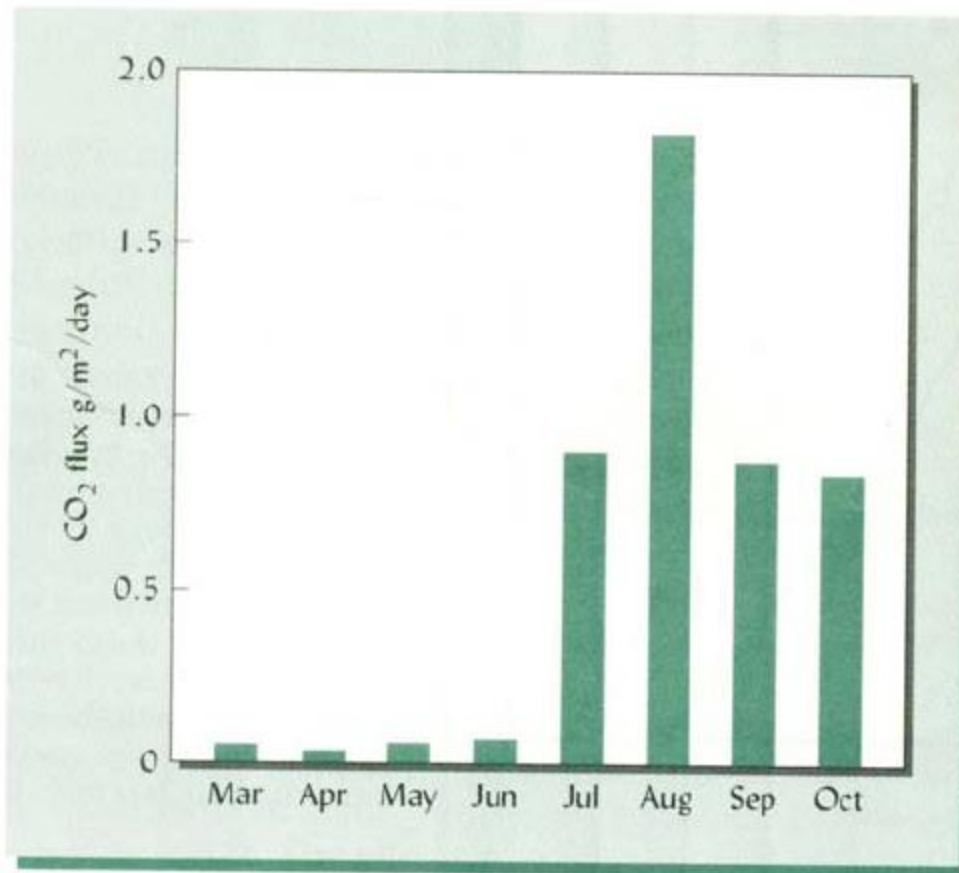
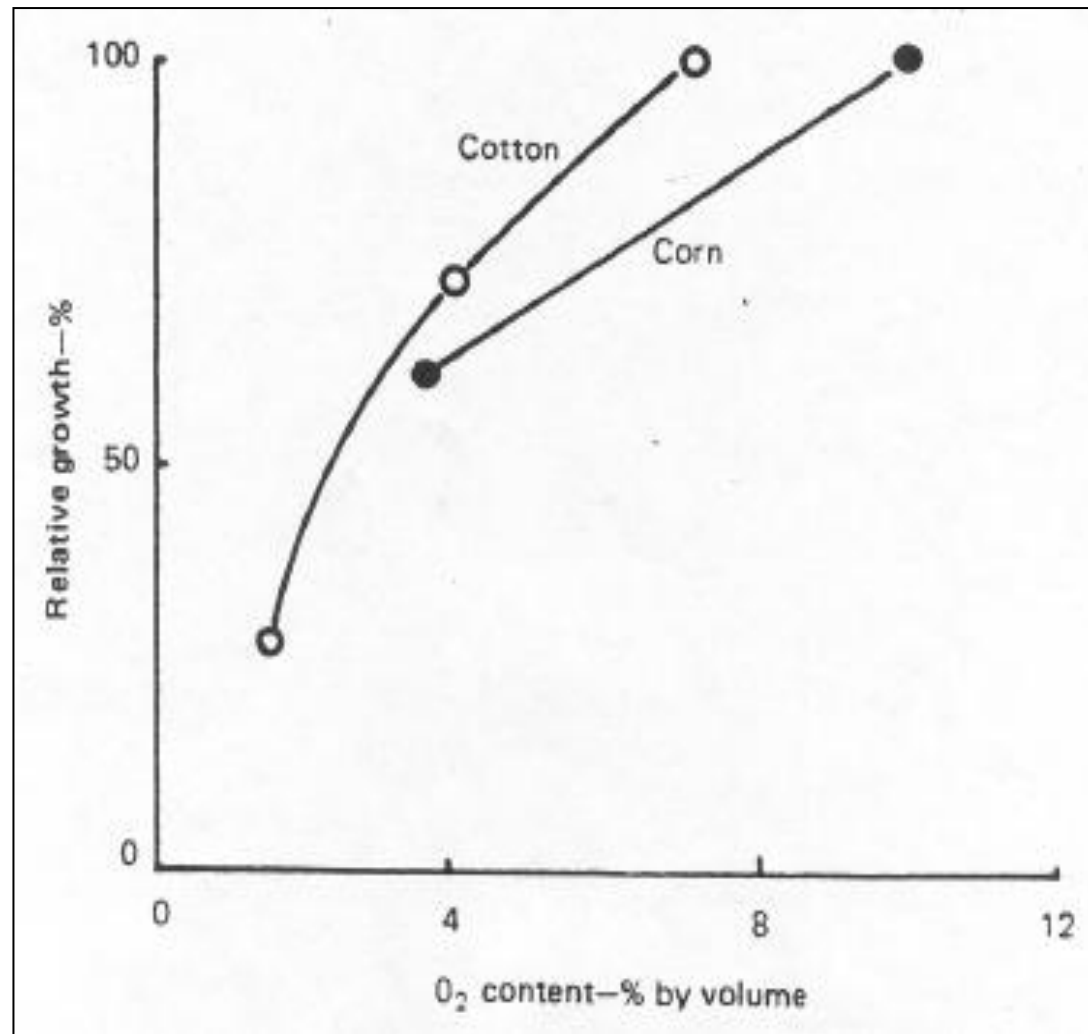


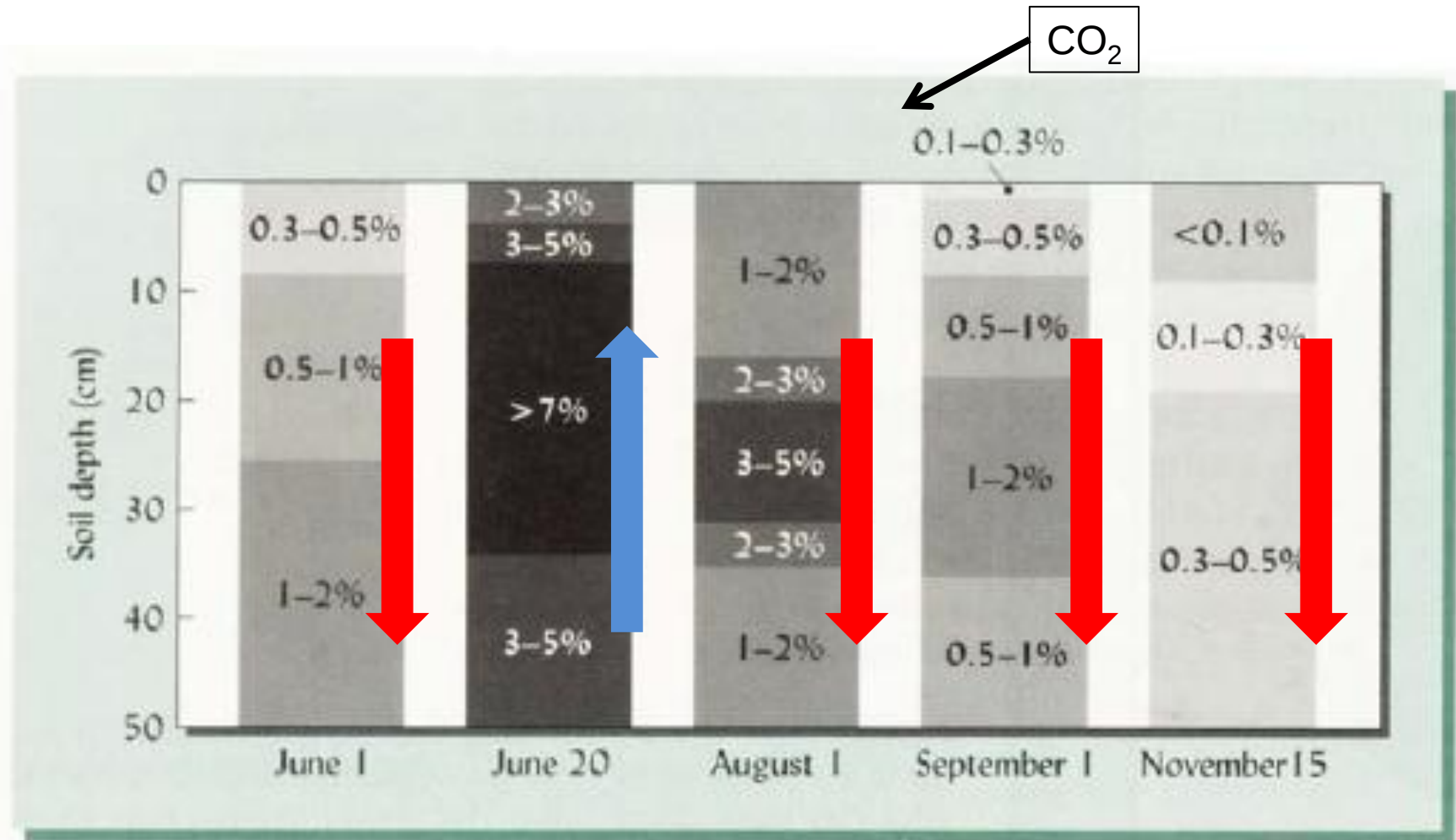
FIGURA 3.5 Taxa do movimento de CO₂ (fluxo) da superfície de um solo em um ecossistema florestal no Estado de New York. Note as altas taxas de julho a outubro quando o crescimento vegetal e a atividade microbiana eram maiores.

Fonte: HILLEL (1998).

Crescimento vs. $[O_2]$



Crescimento das plantas vs. [CO₂]



O que aconteceu?

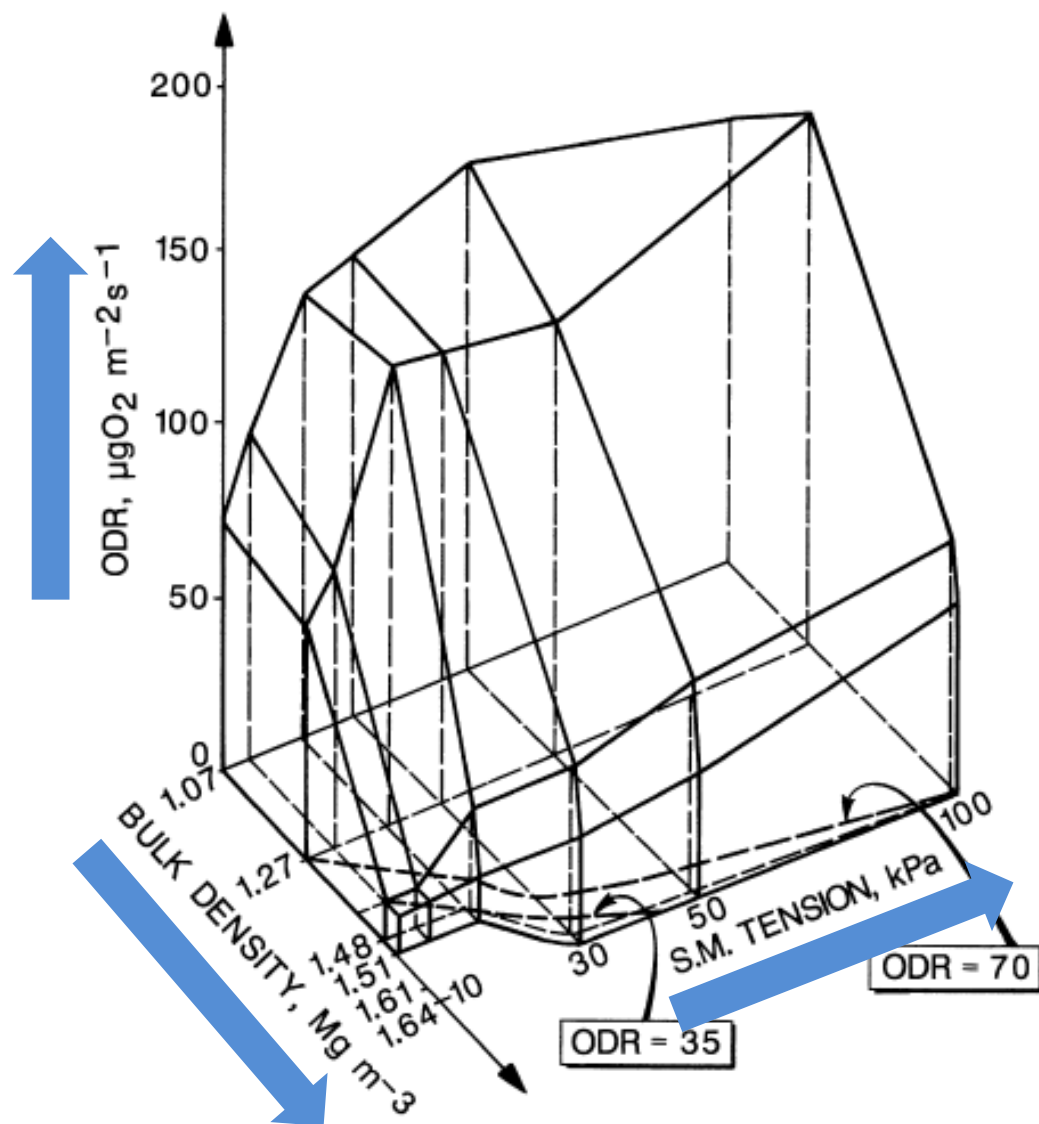


FIG. 10.8 Oxygen diffusion rate versus bulk density and soil moisture tension in a loamy textured black earth. (From Gliński, J., and Stępniewski, W., *Soil Aeration and Its Role for Plants*, p. 80, ©1985, CRC Press: Boca Raton, Florida. Reprinted by permission of CRC Press.)

**Quais outros fatores em
potencial podem estar
relacionados com a aeração?**

(Brainstorm)



Movimentação dos gases no solo

MOVIMENTO E TROCA DE GASES NO SOLO

PROCESSOS

→ ADVECCÃO (Fluxo de massa)

- gradiente de pressão

→ DIFUSÃO

- gradiente de pressão parcial

Soil-gas exchange

Which Dominates?

Advection



Diffusion



ADVECÇÃO

- Diferença de pressão atmosférica
- Gradiente de temperatura
- Rajadas de vento
- Penetração da água
- Flutuação do lençol freático
- Extração de água pelas plantas

FLUXO ADVECTIVO

$$qv = -\left(\frac{\kappa}{\eta}\right) \cdot \left(\frac{dP}{dx}\right)$$

Considerando:
 $PV = nRT$
 $\rho = M/V$
 $M = n.m$ então:

$$\rho = \left(\frac{m}{R.T}\right) \cdot P$$

•Equação para fluxo convectivo no estado transiente

$$\frac{dP}{dt} = \alpha \cdot \frac{d^2 P}{dx^2}$$

com

$$\alpha = RT \frac{\kappa}{m}$$

qv = volume de fluxo advectivo;

ρ = densidade do ar;

M = massa;

n = número de moles do gás;

R = constante universal dos gases; T = Temp.; P = pressão; V = volume

qm = massa de fluxo convectivo;

k = permeabilidade do solo;

η = viscosidade do ar;

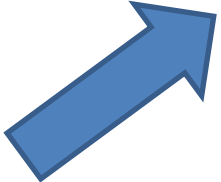
m = peso molecular

Advection

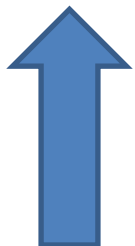
Darcy's law is about advection (or mass flow):

$$Q = K_s \frac{d\psi}{dx}$$

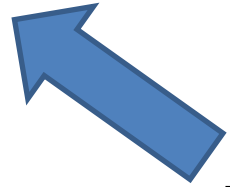
**Mass
moved
(flux
density)**



**Proportionality
coefficient**



**Potential
gradient**



Now replace the water with molasses
(keep the same soil, same potential gradient)

The diagram shows the equation $Q = K_s \frac{d\psi}{dx}$ centered at the top. Three blue arrows point towards the equation from below. The left arrow points to Q and is accompanied by the text "Same flux?". The middle arrow points to K_s and is accompanied by the text "Same proportionality coefficient?". The right arrow points to $\frac{d\psi}{dx}$ and is accompanied by the text "Same potential gradient".

$$Q = K_s \frac{d\psi}{dx}$$

Same flux?

Same proportionality coefficient?

Same potential gradient

K_s has 2 parts:

- **Soil properties**
- **Fluid properties**

Parts of Darcy's K_s

$$Q = K_s \frac{d\psi}{dx} = k \frac{\rho g}{\eta} \frac{d\psi}{dx}$$

Soil property: **Permeability** k L^2

Fluid property: **Fluidity** f $L^{-1} T^{-1}$

Fluidity is often given as $\rho g / \eta$:

ρ **fluid density**

g **gravitational acceleration**

η **fluid viscosity**

What's with the **L²**?

$$Q = \textcircled{k} \frac{\rho g}{\eta} \frac{d\psi}{dx}$$

Permeability k L^2

The actual length **L** that is squared for a soil's permeability is quite small.

It is usually interpreted as the soil's **effective pore diameter**.

Back to water, molasses, etc.

$$Q = k \frac{\rho g}{\eta} \frac{d\psi}{dx}$$

**Soil
permeability**

fluidity

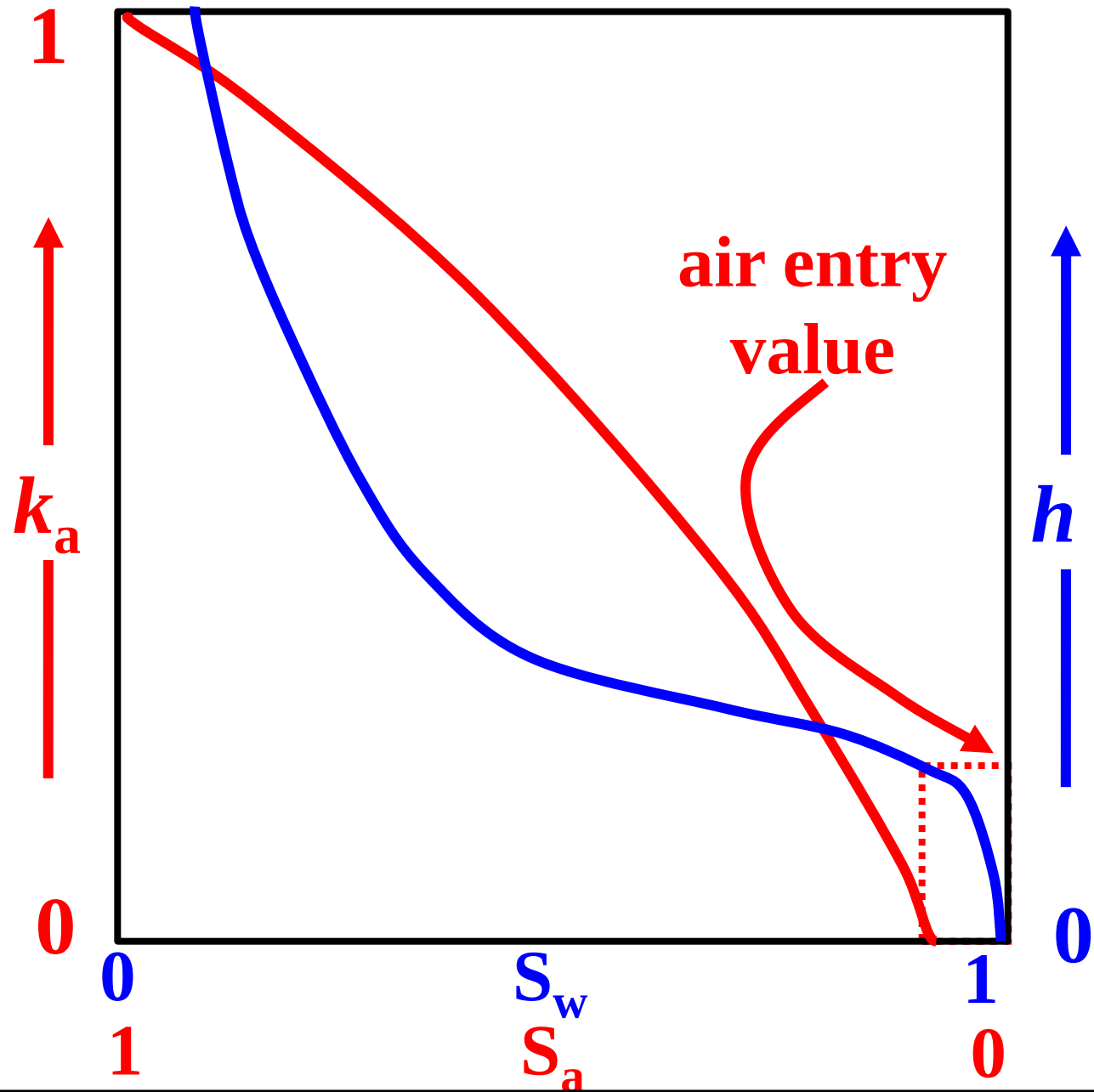
**The soil's permeability does not
depend on the fluid's properties.**

**So permeability can also describe the
flow of air**

Air permeability k_a

No air flow
until soil has
dried to the
air entry
value.

This is like θ_r
for hydraulic
conductivity:
 $K(\theta_r) = 0$



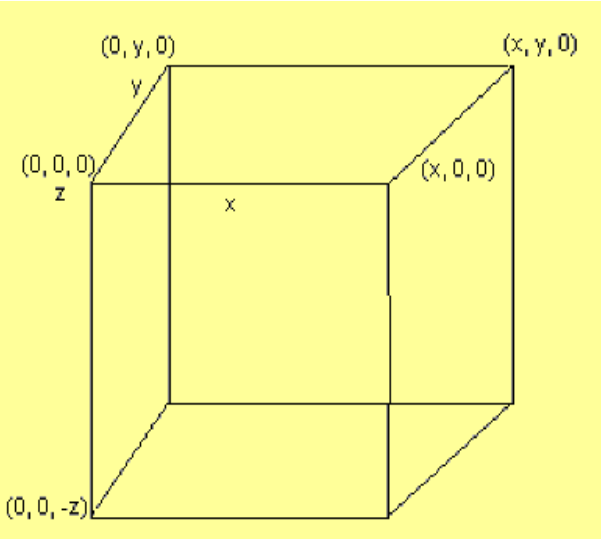
DIFUSÃO

- ↓ É maior para gases de menor peso molecular
- ↓ Varia com a temperatura e pressão = **0,05 a 0,28 cm²/s**
- ↓ É pouco afetado pelo tamanho dos poros pois as moléculas são pequenas
- ↓ É afetada pela tortuosidade
- ↓ A difusividade no solo (D_s) é menor do que no ar atmosférico (D_o), devido à pequena porosidade de aeração (volume e continuidade)

Soil Gas Exchange

- *Diffusion:* Higher concentration of O_2 in the atmosphere results in a net movement of O_2 into the soil.
- *Diffusion of O_2 in the soil:* 10,000 times faster in a pore filled with air than filled with water.

Mass of a gaseous chemical entering volume through area $\Delta x, \Delta y$ at z during Δt :

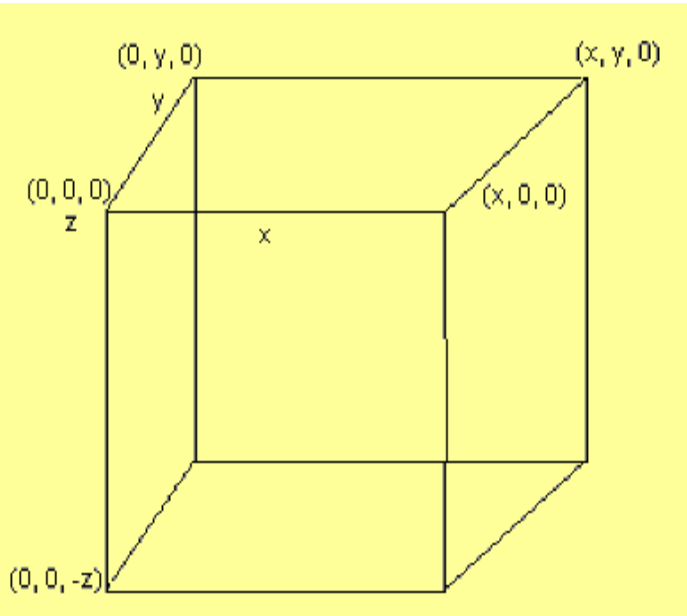


= mass of chemical leaving volume through area $\Delta x, \Delta y$ at $z + \Delta z$ during Δt

+ increase of chemical mass stored in volume during Δt

+ loss of chemical mass from volume during Δt by biological or chemical reactions

Mass of gas entering volume at z
during Δt



$$= \text{flux} * \text{area} * \text{time}$$

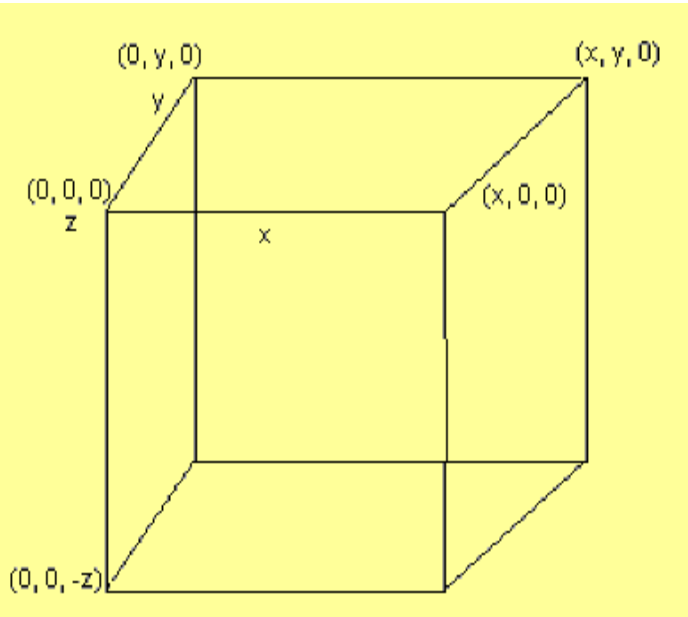
$$= q_g(z, t + 1/2 \Delta t) (\Delta x \Delta y) \Delta t$$

Where: q_g = flux of gas

Mass of gas leaving volume at $z + \Delta z$
during Δt

$$= q_g(z + \Delta z, t + 1/2 \Delta t) \Delta x \Delta y \Delta t$$

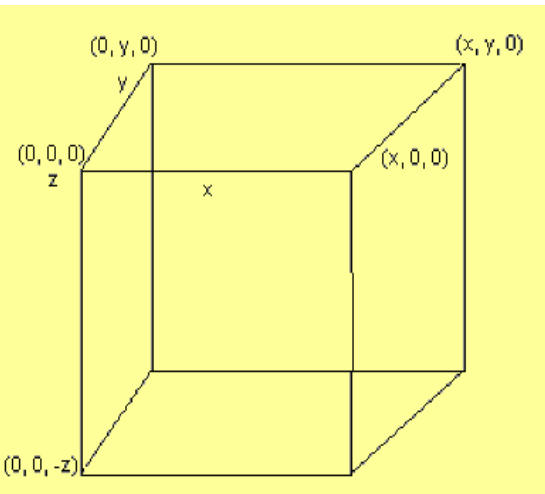
Increase of mass stored in volume
during Δt



$$[(\text{final mass} / \text{volume}) - (\text{initial mass} / \text{volume})] * \text{volume}$$

$$= [C_T (z + 1/2 \Delta z, t + \Delta t) - C_T (z + 1/2 \Delta z, t)] \Delta x \Delta y \Delta z$$

Where C_T = the total chemical or solute concentration



Loss of mass from volume during Δt by reactions

$$= [\text{loss} / (\text{volume} / \text{time})] * \text{volume} * \text{time}$$

$$= r_g (z + 1/2 \Delta z, t + 1/2 \Delta t) (\Delta x \Delta y \Delta z) \Delta t$$

Where: r_g = gas reaction loss rate

$$[C_T(\bar{z}, t + \Delta t) - C_T(\bar{z}, t)] / \Delta t + [q_g(z + \Delta z, t) - q_g(z, t)] / \Delta z + r_g(\bar{z}, \bar{t})$$

$\bar{z}$ and $\bar{t}$ = are the average values of z and t

$$\partial C_T / \partial t + \partial q_g / \partial z + r_g = 0$$

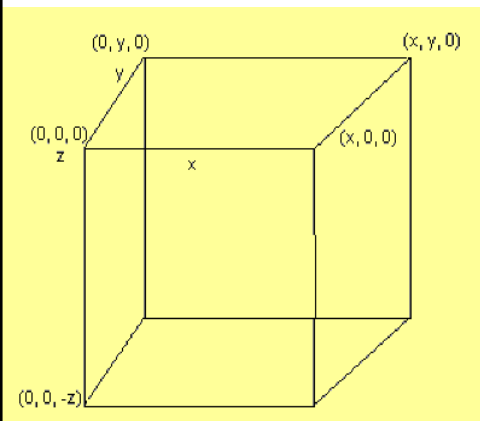
$$C_T = aC_g \text{ (for an insoluble gas)}$$

$$\partial (aC_g) / \partial t + \partial q_g / \partial z + r_s = 0$$

Where:

a = is the volumetric air content (volume of soil air per volume of soil)

C_g = is the soil gas concentration (mass of gas per volume of soil air)



FLUXO DIFUSIVO

↓ Gradiente de pressão parcial dos gases nas fases gasosa e líquida

LEI DE FICK

$$J_g = -D \frac{dc}{dx}$$

J_g = fluxo difusivo ($\text{kg/m}^2\text{s}$)

D = coef de difusão (m^2/s)

c = concentração (kg/m^3)

Considerando a pressão parcial (P) ao invés da concentração

$$J_g = -\frac{D}{B} \cdot \frac{dP}{dx}$$

B = Relação da pressão parcial com a concentração

LEI DE FICK

$$q = -0,66\beta D_o \text{ grad C} \quad (10.2)$$

sendo: q = fluxo de gás, isto é, quantidade de gás (g) que passa pela unidade de área de solo (cm^2) por unidade de tempo (s).

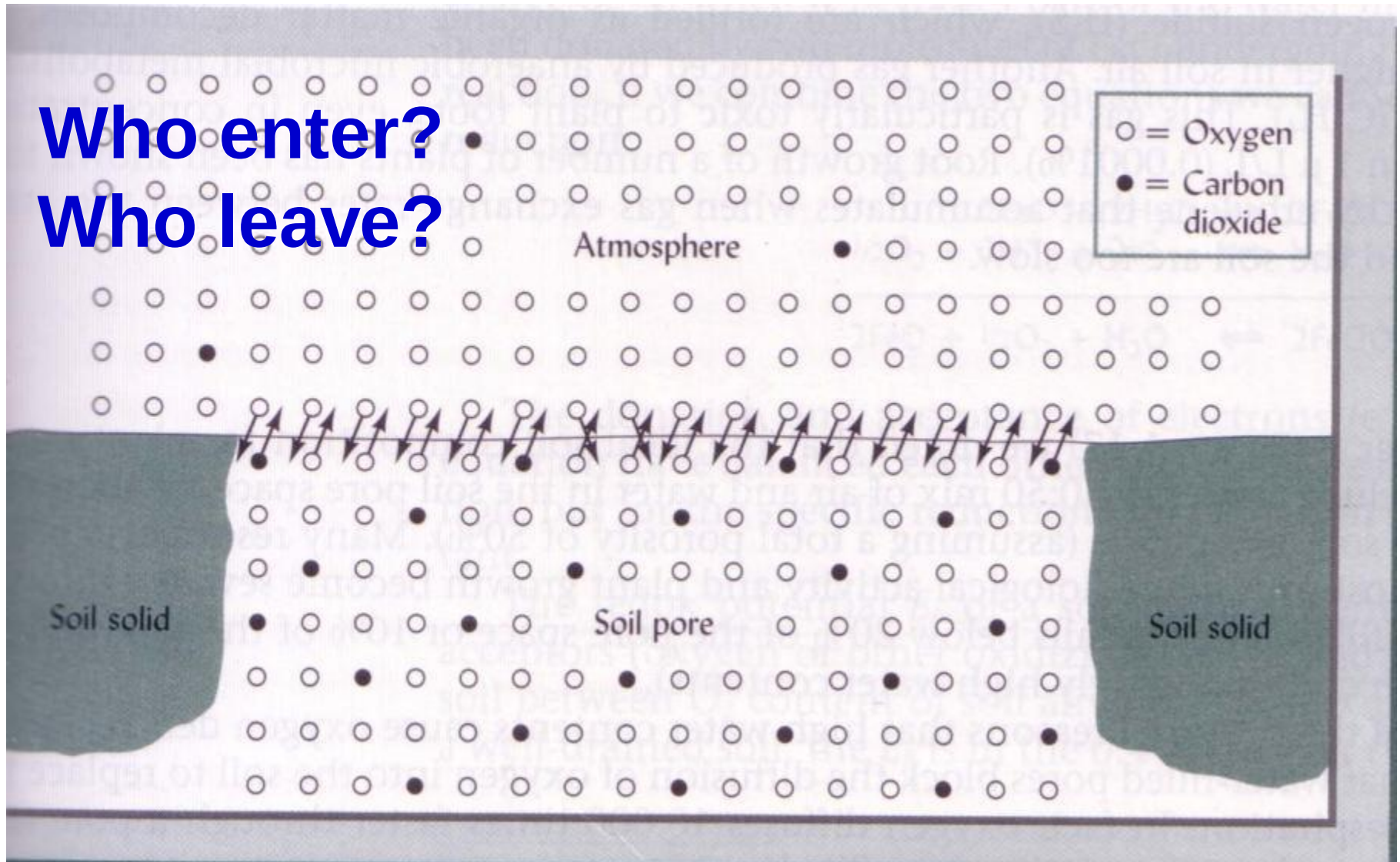
β = porosidade livre de água, em cm^3 de ar/ cm^3 solo.

D_o = coeficiente de difusão do gás em questão no ar ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).

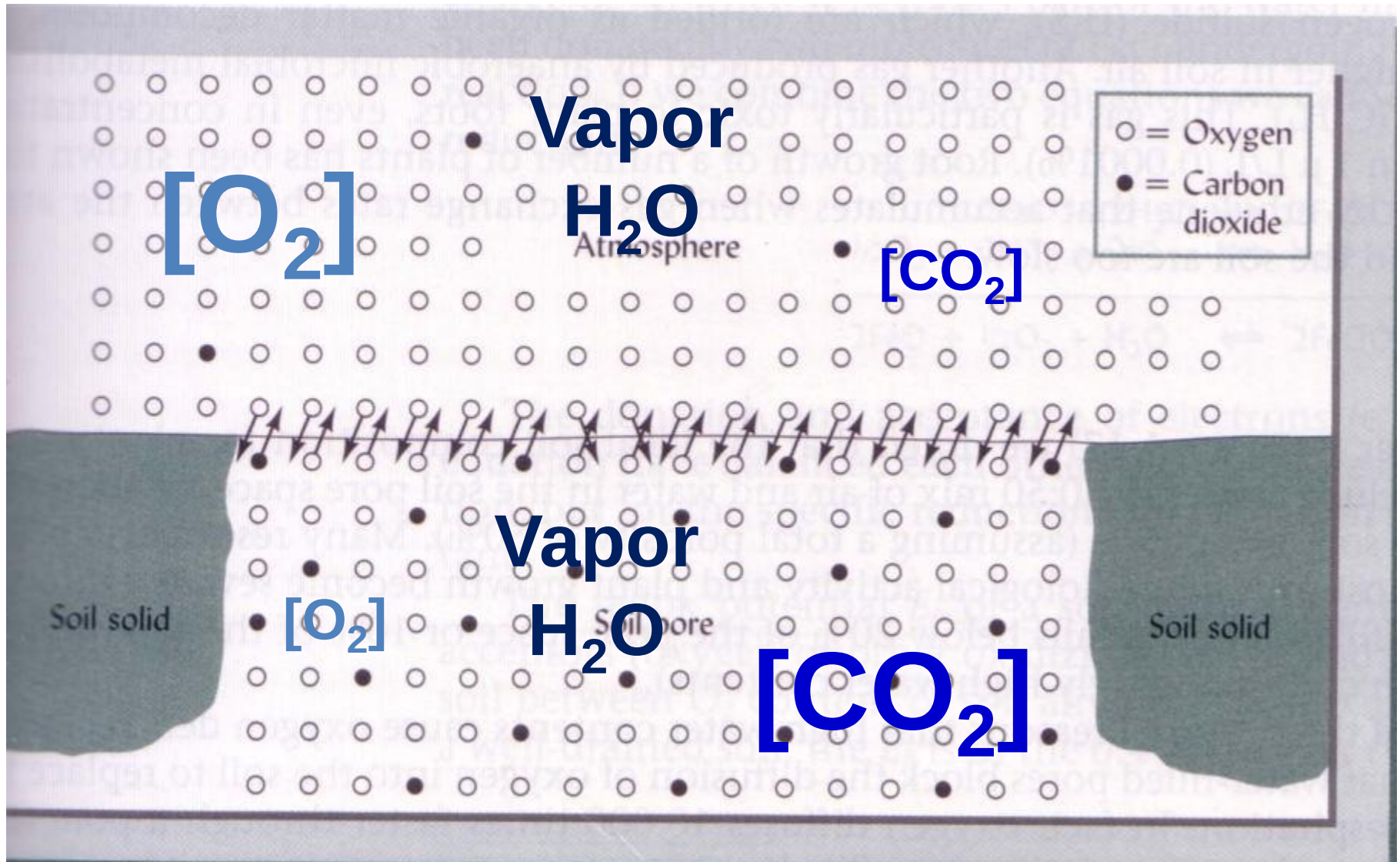
grad C = gradiente de concentração dado em (g/cm^3) por um cm de solo.

Soil gases diffusion

Who enter?
Who leave?



Soil gases diffusion



DIFUSIVIDADE RELATIVA

BUCKINGHAN (1904)

$$\frac{D_s}{D_o} = \kappa \cdot fa^2$$

PENMAN (1940)

$$\frac{D_s}{D_o} = 0,66 \cdot fa$$

BLAKE & PAGE (1948) entre 0,62 e 0,80 é 0 quando $fa < 0,1$

Van BAVEL (1952)

$$\frac{D_s}{D_o} = 0,61 \cdot fa$$

WESSELING (1962)

$$\frac{D_s}{D_o} = 0,9 \cdot fa - 0,1$$

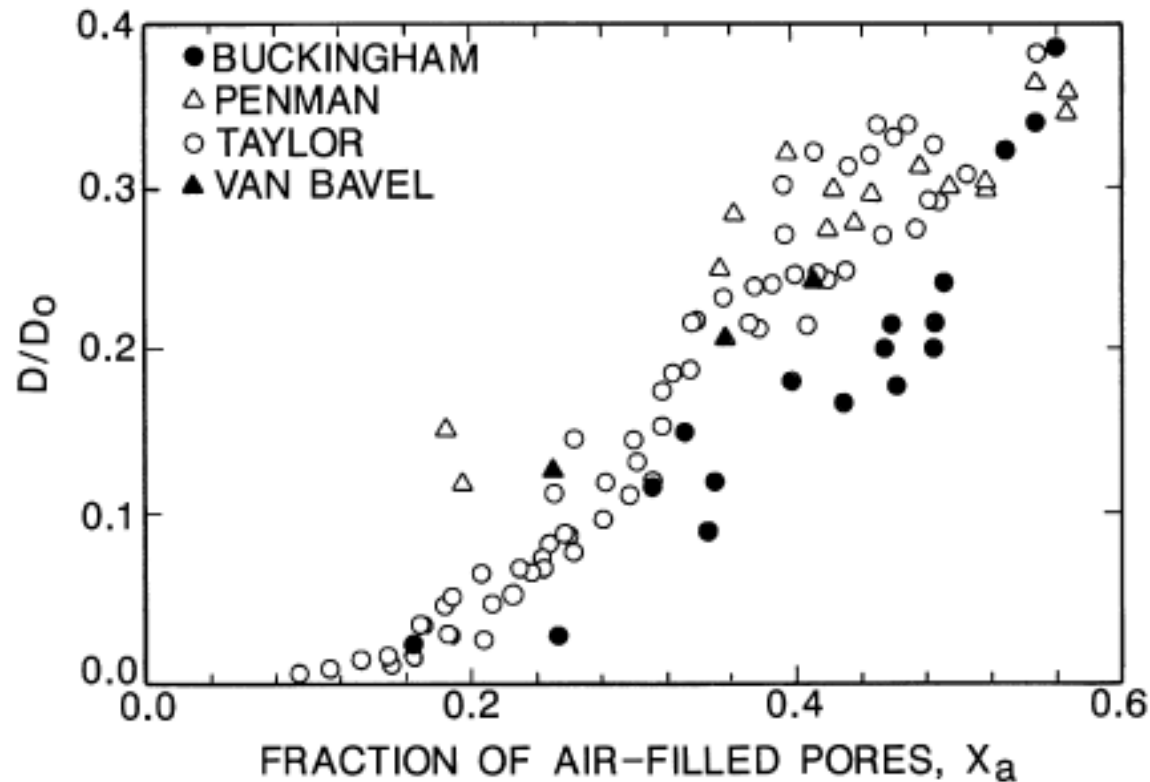
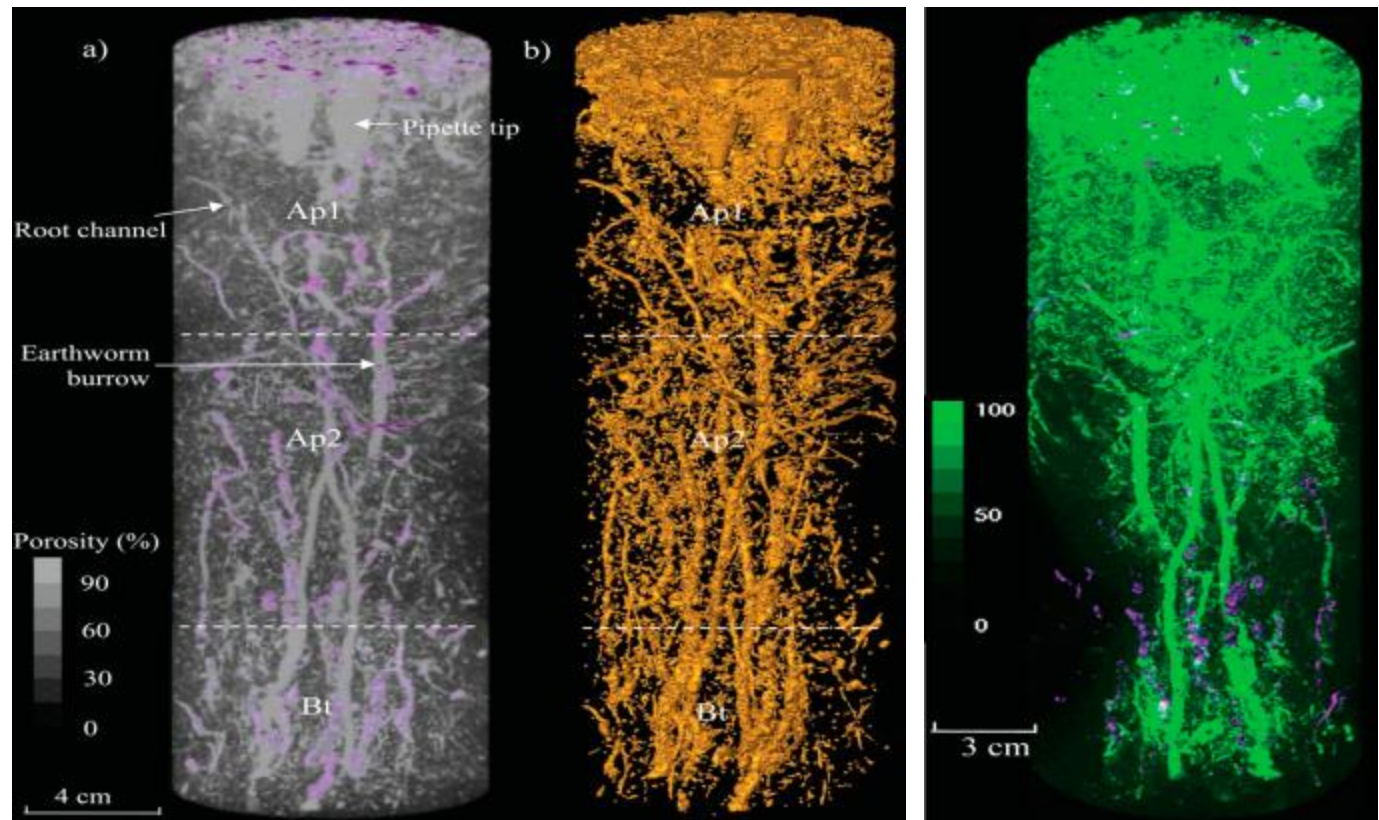


FIG. 10.2 Scatter diagram of the relation between the ratio D/D_0 and the fraction of air-filled pores x_a calculated from data of Buckingham (1904) (closed circles), Penman (1940) (open triangles), Taylor (1949) (open circles), and van Bavel (1952) (closed triangles). D_0 is the coefficient of diffusion of CO_2 in still air. D is the coefficient of diffusion of CO_2 in the soil. If x_a decreases to 0.1 to 0.2, D appears to become zero. (From Wesseling, J., and van Wijk, W.R., ©1957, American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin. Reprinted by permission of the American Society of Agronomy.)

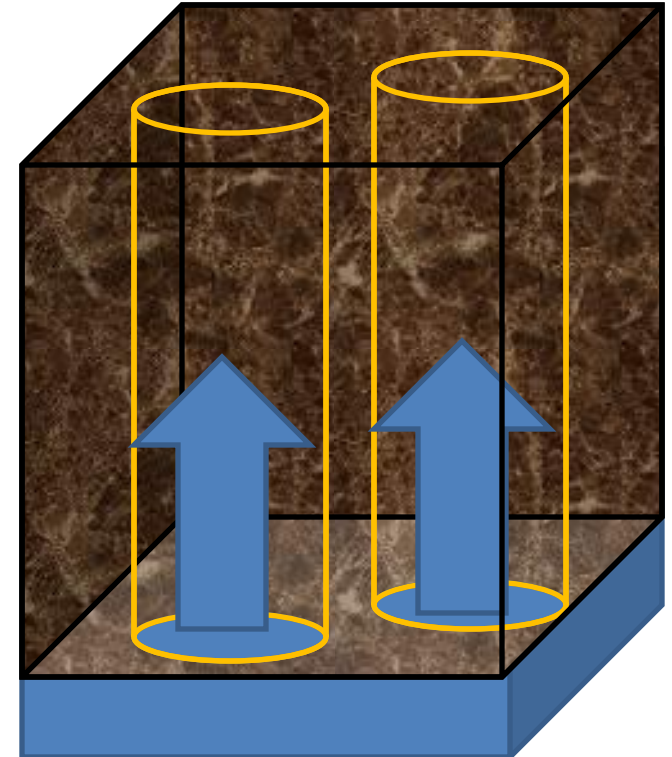
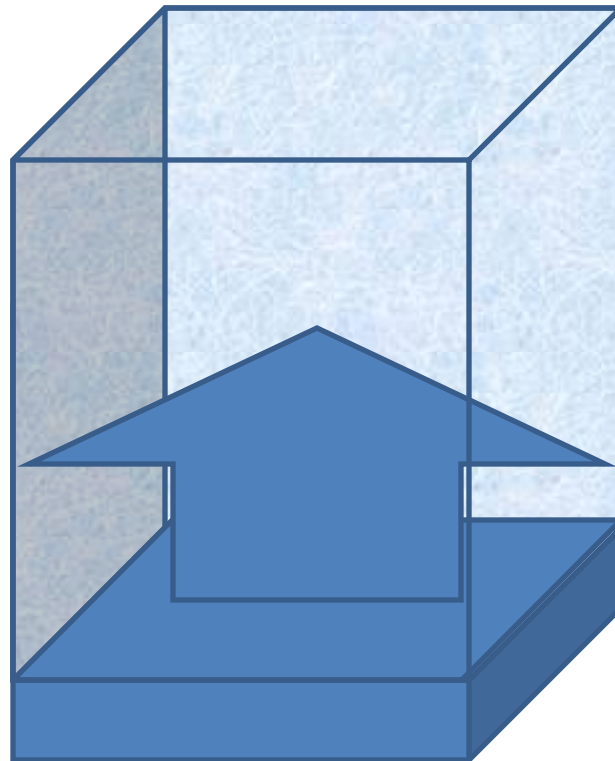
But..... tortuosity is hard to determine



Luo et al. SSSJ. 2008. No-till silt loam soil in Pennsylvania under corn, soybean, and alfalfa rotation

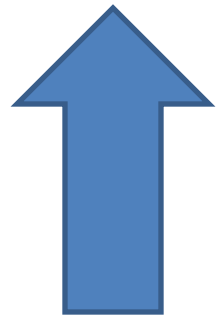
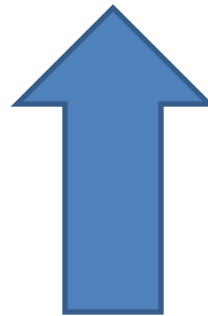
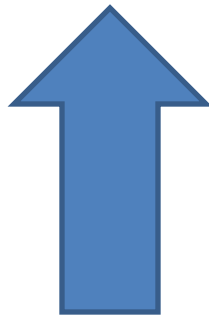
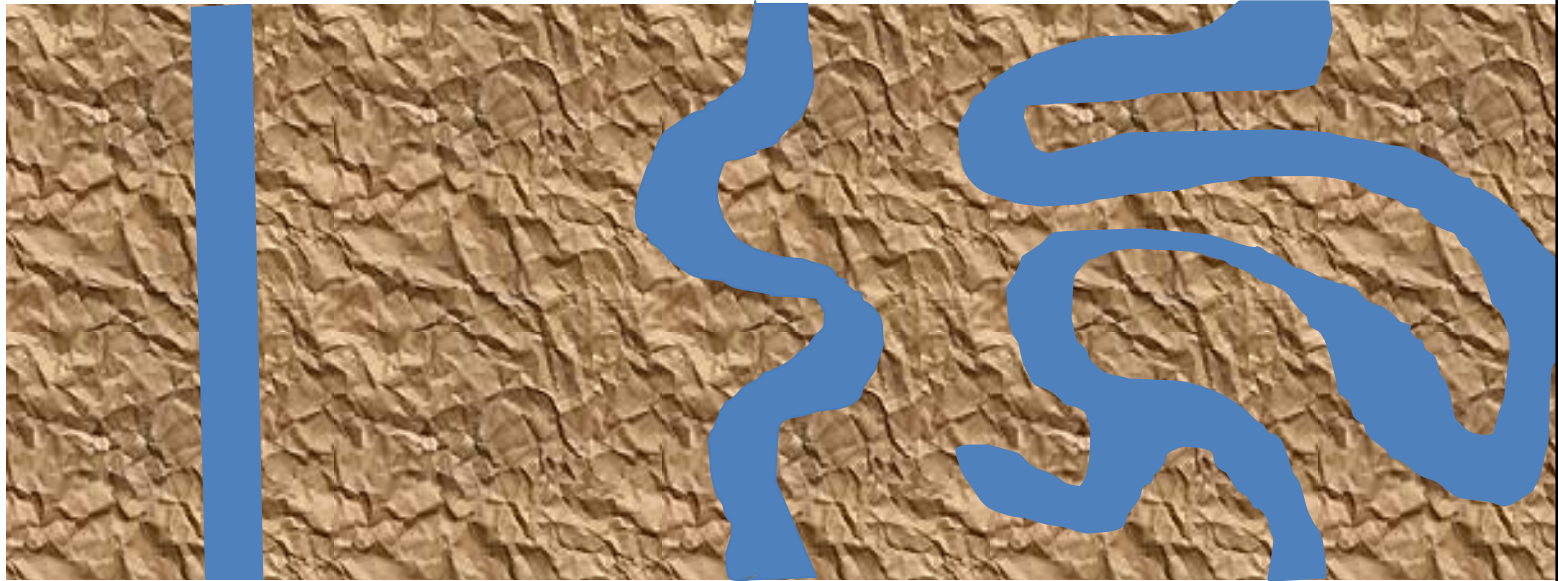
Effective Diffusivity

Fractional volume for transport



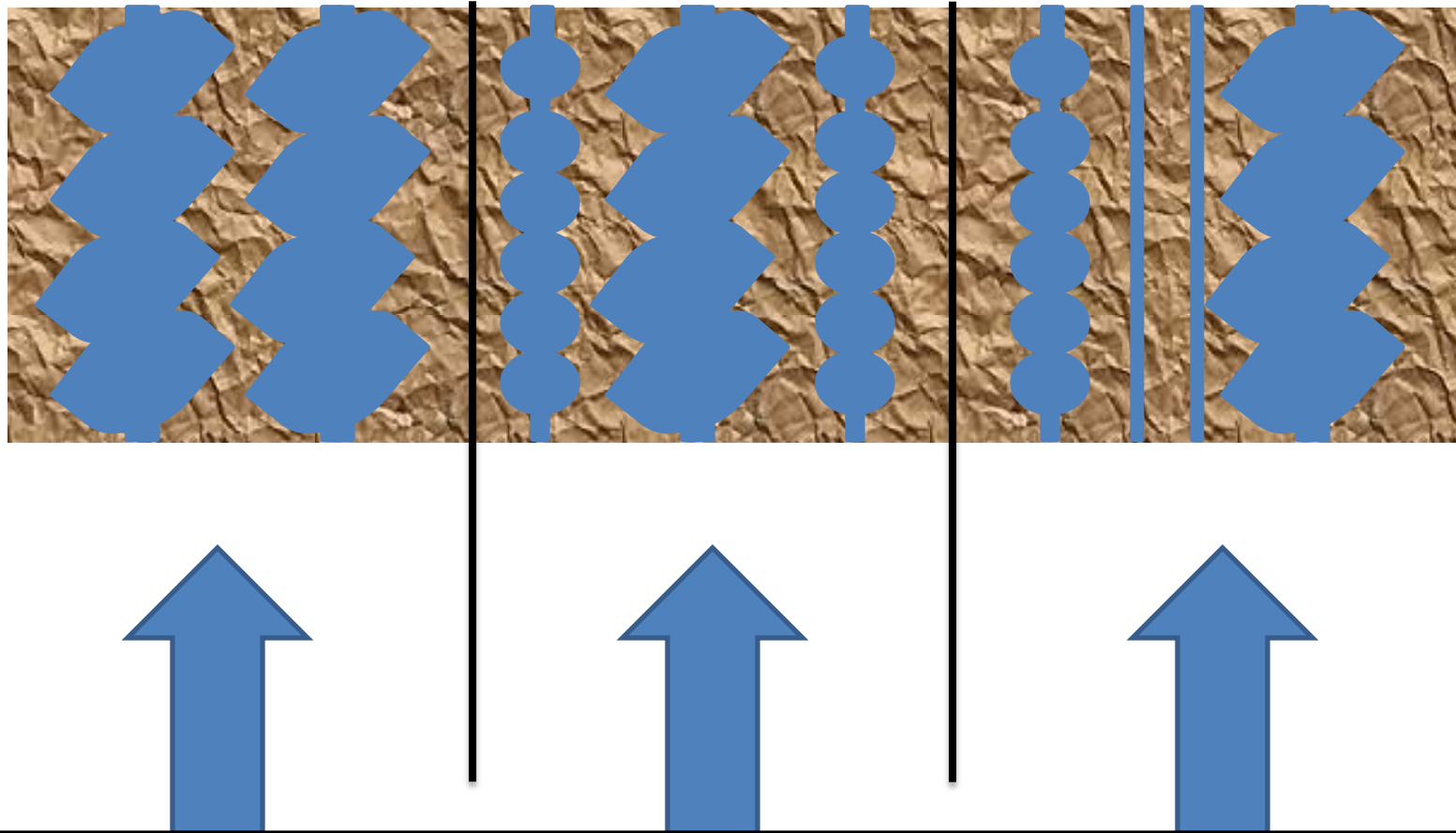
Effective Diffusivity in Soil

Tortuosity



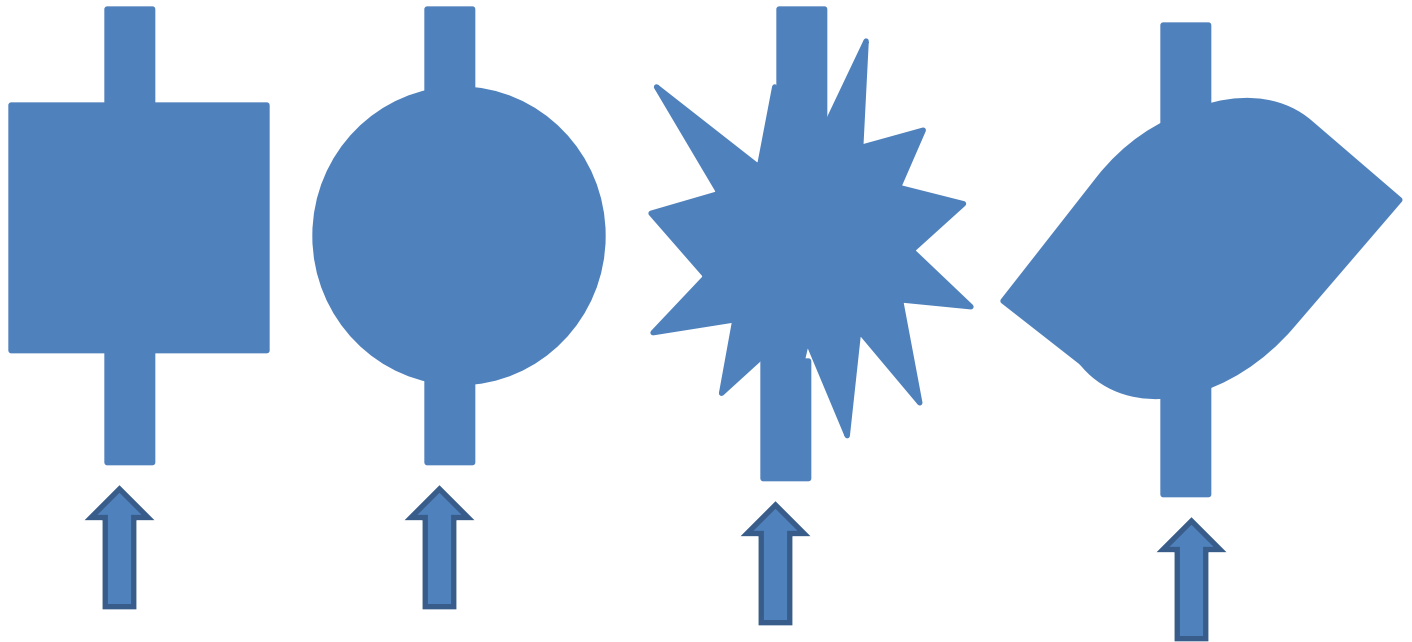
Effective Diffusivity in Soil

Pore-Size Distribution



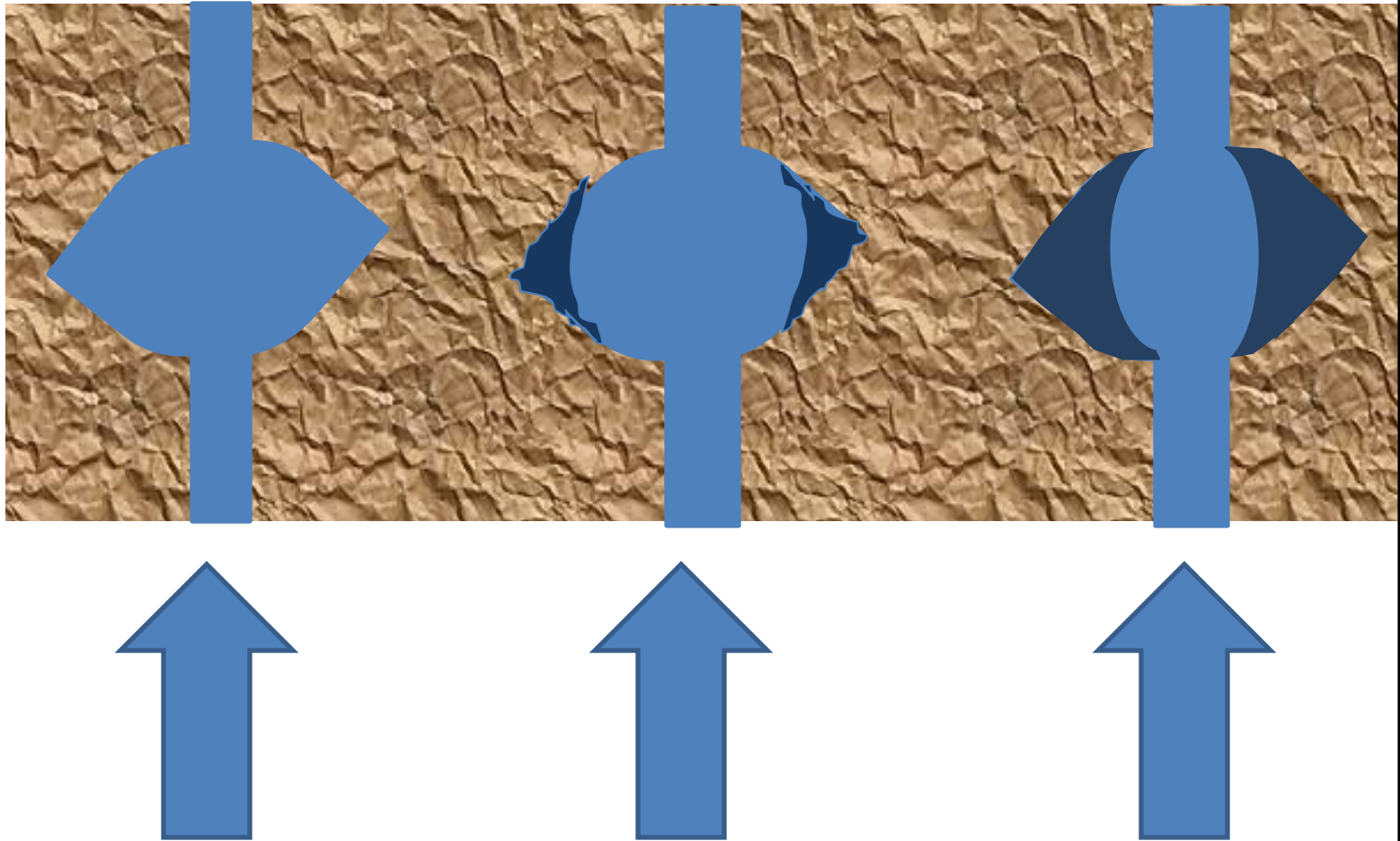
Effective Diffusivity in Soil

Pore Shape



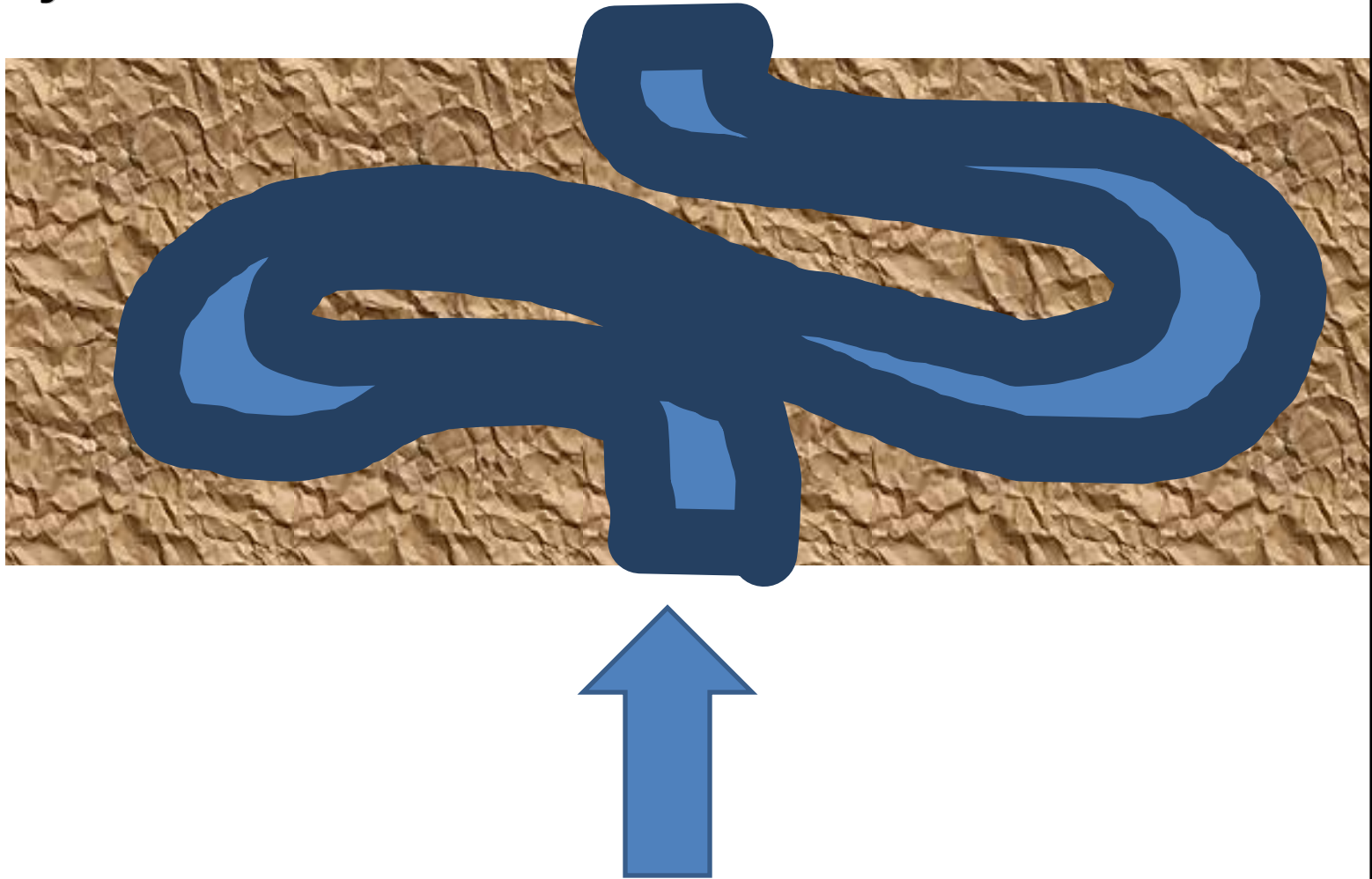
Effective Diffusivity in Soil

Air-filled porosity



Effective Diffusivity in Soil

Tortuosity



Métodos para avaliar a aeração do solo

COMO AVALIAR A AERAÇÃO

- 1. Porosidade de Aeração**
- 2. Concentração de Gás**
- 3. Composição do Ar do Solo**
- 4. Potencial Redox, Eh**
- 5. Medição da Respiração do Solo**
- 6. Difusão de Gases**

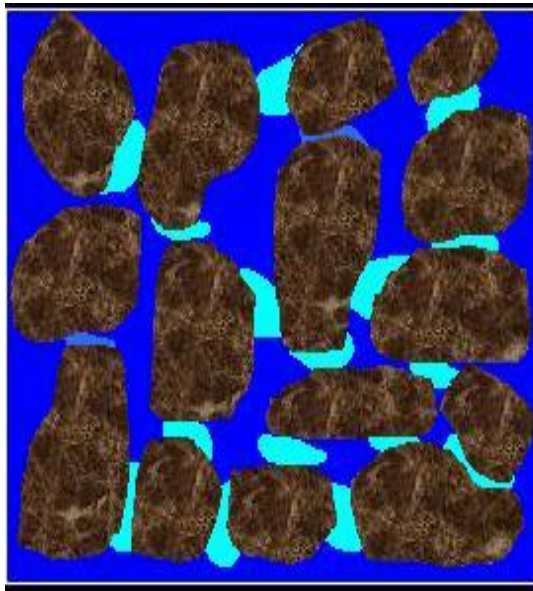
POROSIDADE DE AERAÇÃO

$$EA = PT - Uv$$

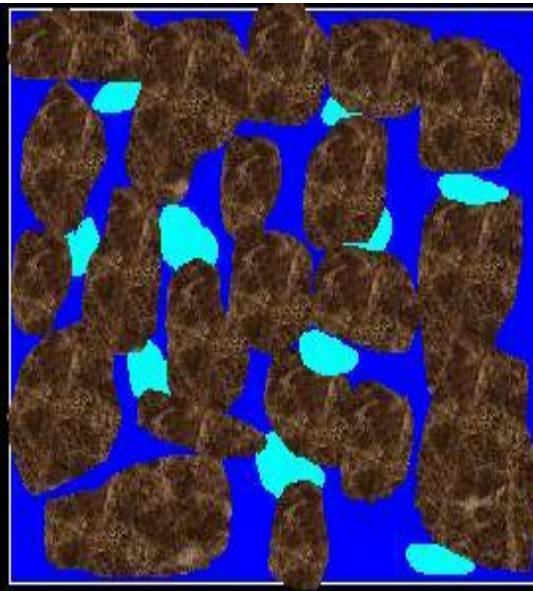
Por que a fração com ar muda?

- * Umidade
- * Secagem
- * Contração
- * Expansão
- * Preparo
- * Compactação
- * Dispersão
- * Agregação

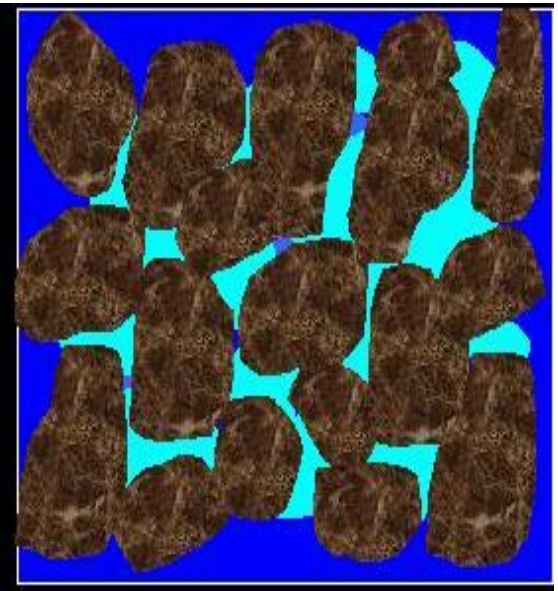
POROSIDADE DE AERAÇÃO



DS = 1.0

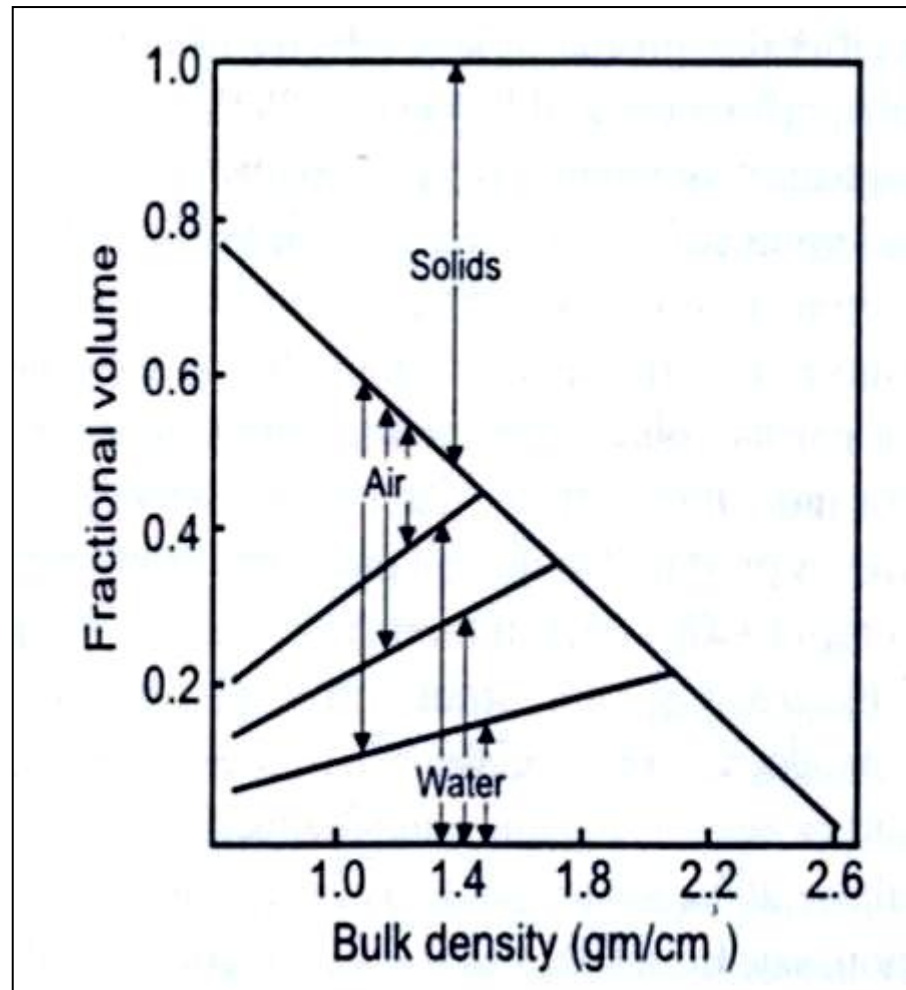


DS = 1.3



DS = 1.6

POROSIDADE DE AERAÇÃO



Volume de ar, água e poros relacionados a D_s , para diferentes umidade (0,1; 0,2 e 0,3 g/g)

Influence of soil moisture on aeration

$$f = f_a + q$$

Where:

f_a = air filled pores

f = total pore space

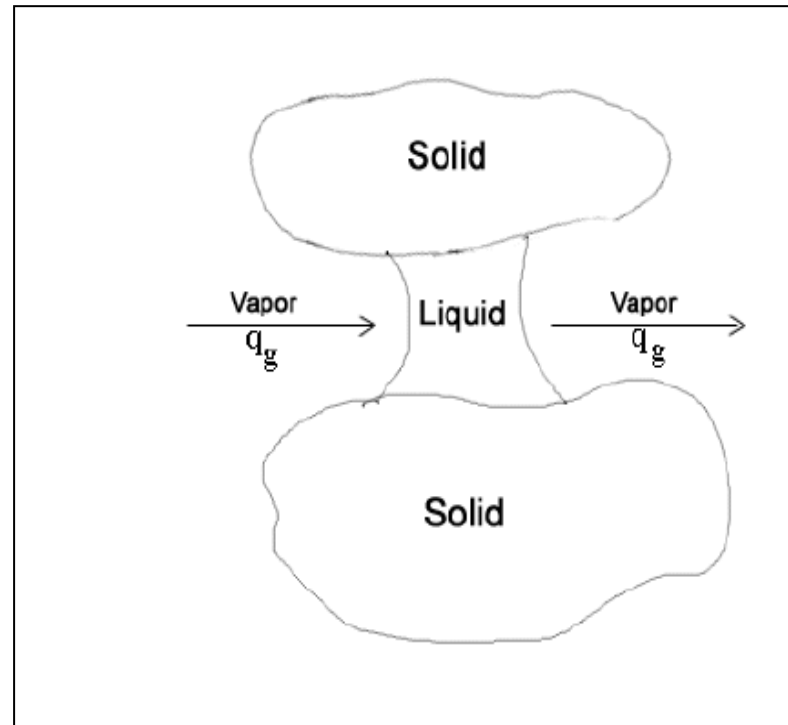
q = volumetric water content

$$f = f_e + f_i$$

Where:

f_e = exped porosity

f_i = inped porosity

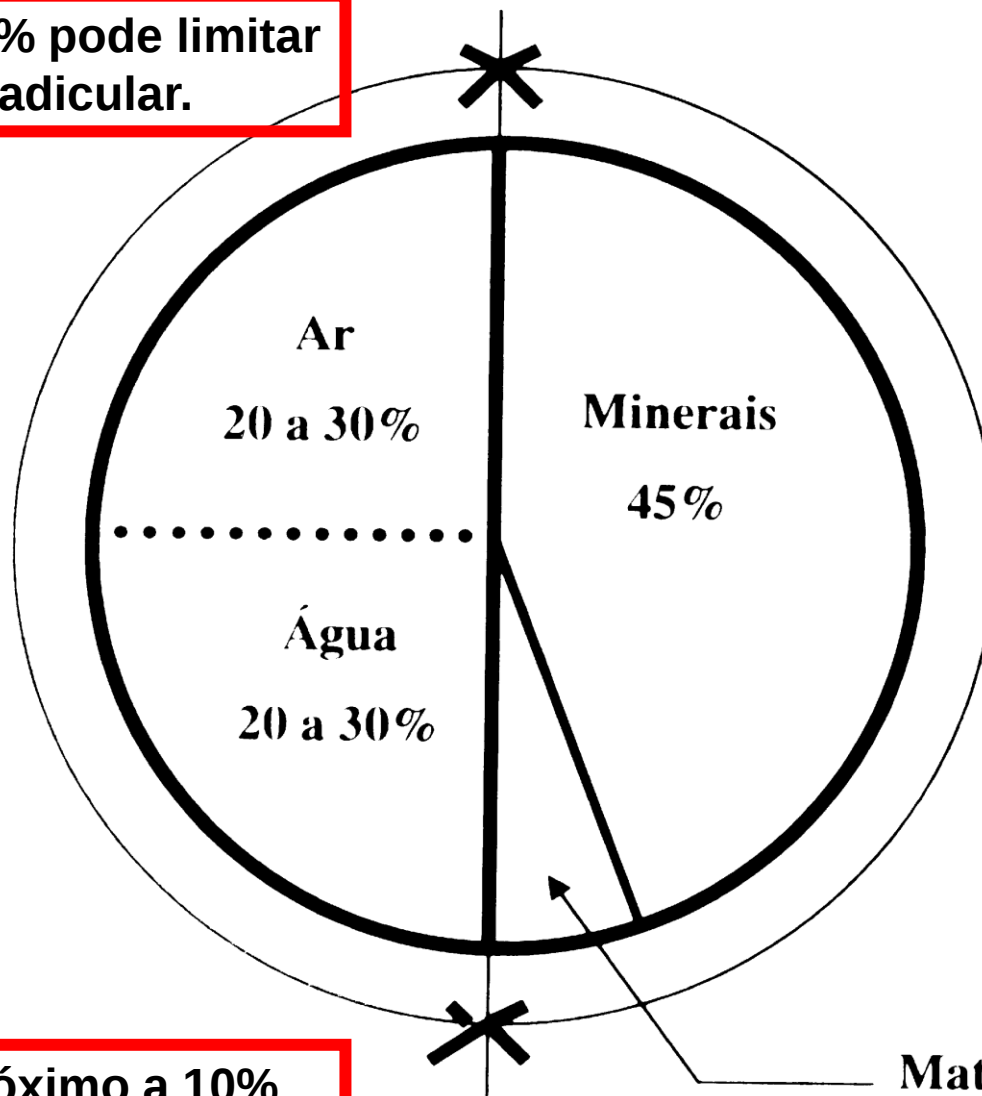


Soil	Total Porosity f , %	Exped f_e , %	Inped f_i , %
Quartz sand	37	30	7
Clyde Clay	63.5	31.5	32.0
Brookston Clay	68.0	31.0	37.0

POROSIDADE DE AERAÇÃO

Entre 5 e 20% pode limitar
respiração radicular.

Espaço
Poroso



Sólidos
do Solo

Na média próximo a 10%
após 3 dias de drenagem.

Matéria orgânica

CAPACIDADE DE AR

$$\text{Car} = \text{PT} - \text{CC}$$

Arenosos	> 25 %
Francos	15 - 20 %
Argilosos Agregados	20 - 30 %
Argilosos retém muita água	10 % ou <
Argilosos compactados	5 %

CONCENTRAÇÃO DE GÁS

$$C = \frac{M}{RT} p$$

C - concentração do gás

kg/m³

M - massa molar
O₂

0,032 kg para

R - constante dos gases

8,314 J/mol.K

T - temperatura absoluta

K

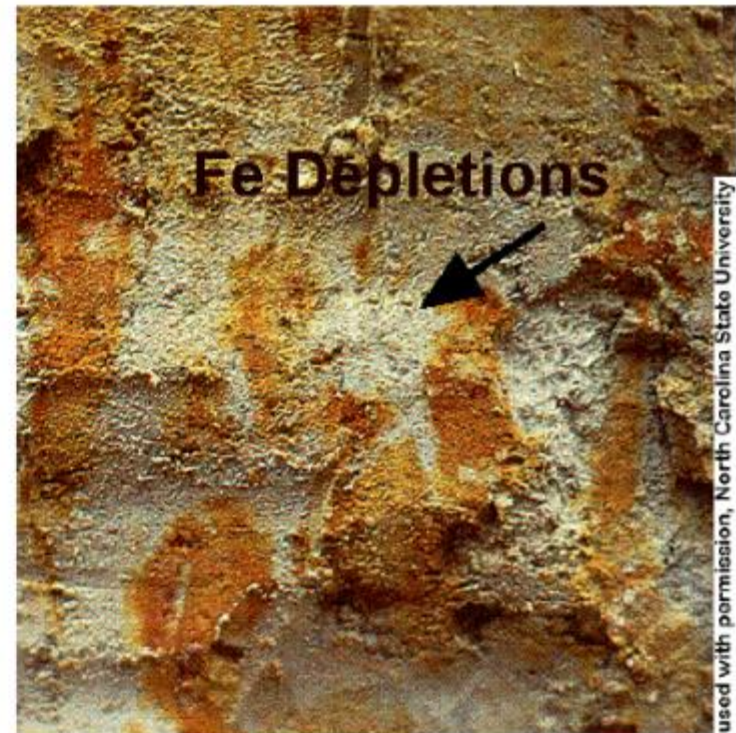
p - pressão parcial

Pa

Chemistry of Water in Soil

(Oxidation-Reduction (Redox) Potential)

- *Oxidation – loss of electron (e.g. Ferric Fe^{+3})*
- *Reduction – gain of an electron (e.g. Ferrous Fe^{+2})*
- *Redox Potential (Eh) – measures the “tendency” of a substance to accept or donate electrons.*
 - *Measured in volts or millivolts*
 - *“Tendency” is measured against a standard.*

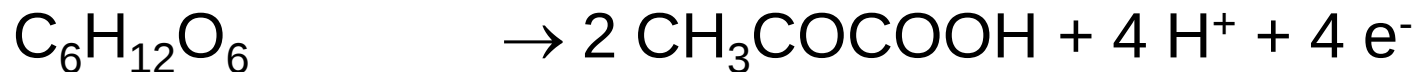


POTENCIAL REDOX, Eh

- Tendência de uma solução para doar elétrons para substâncias reduzíveis ou aceitar elétrons de substâncias oxidáveis
- Quanto mais fortemente redutora uma substância, menor é o seu potencial redox

AERÓBICO

Glucose → ácido pirúvico



ANAERÓBICO

Desnitrificação

Nitrato

Nitrito

Óx. Nitroso

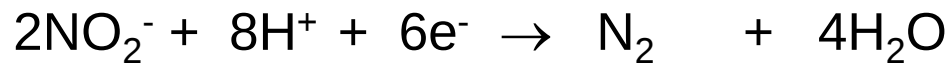
N elementar

NO_3

NO_2

N_2O

N_2



Redução Mn

Mangânica

Manganoso



Redução Fe

Férrica

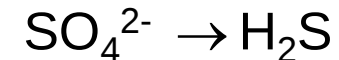
Ferroso



Redução S

Sulfato

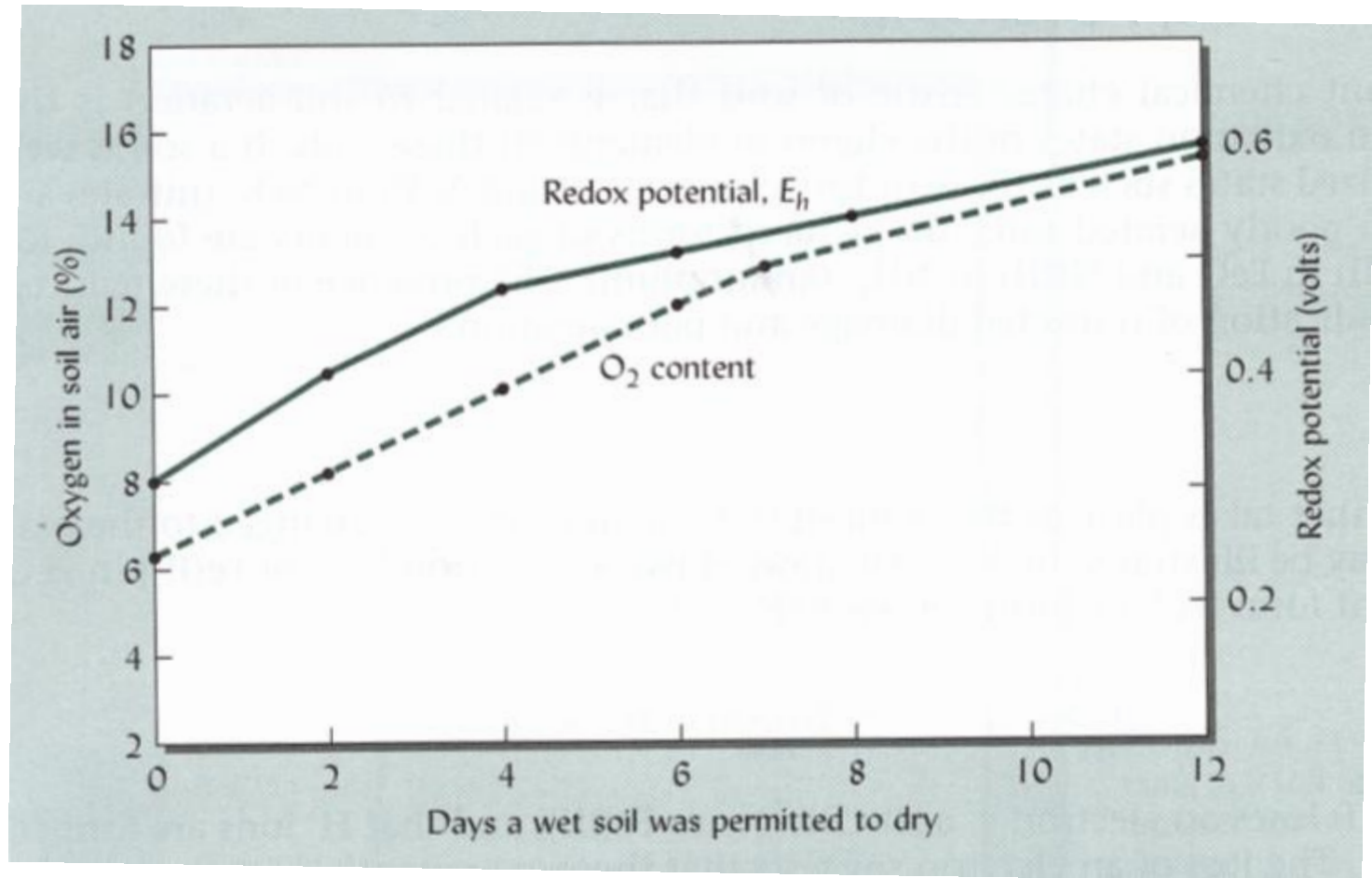
Sulfídrico



Oxidized and reduced forms of certain elements in soils and the redox potentials.

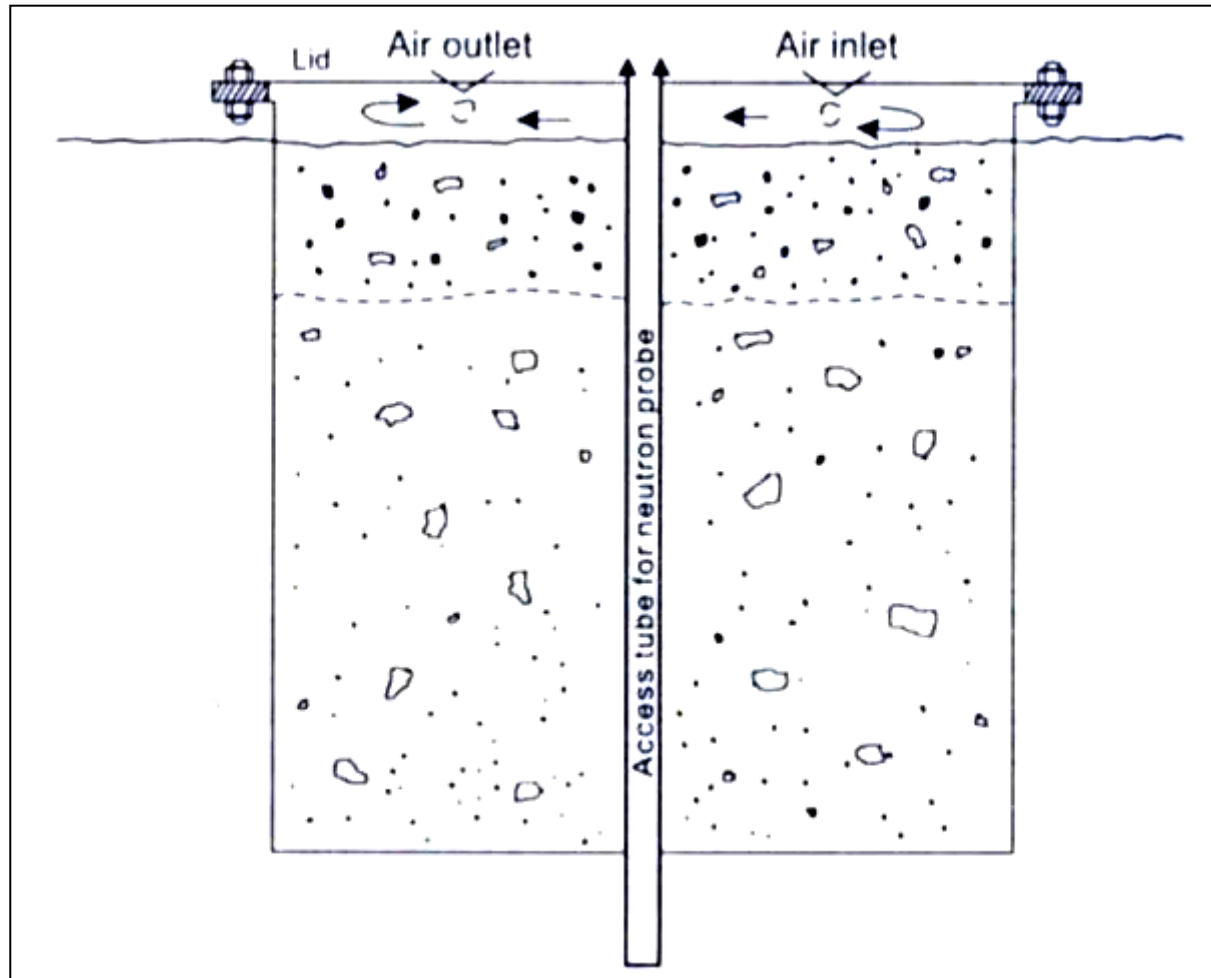
Oxidized form	Reduced form	E_h at which change of form occurs (V)
O_2	H_2O	0.38 to 0.32
NO_3^-	N_2	0.28 to 0.22
Mn^{+4}	Mn^{+2}	0.22 to 0.18
Fe^{+3}	Fe^{+2}	0.11 to 0.08
SO_2^{-2}	S^{-2}	-0.14 to -0.17
CO_2	CH_4	-0.2 to -0.28

Fonte: PATRICK & JUGSUJINDA (1992).

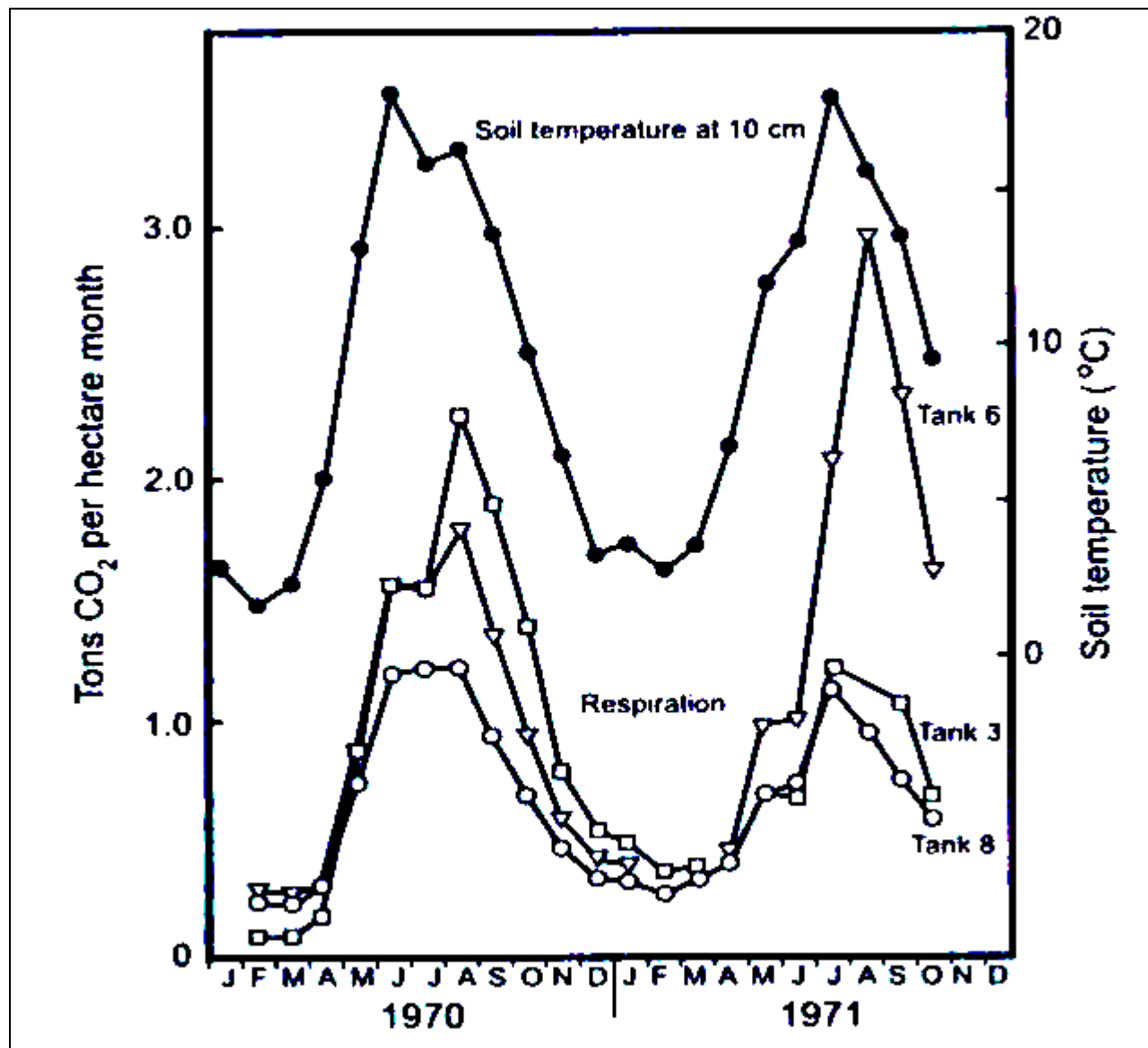


Fonte: HILLEL (1998).

MEDIDA DA RESPIRAÇÃO DO SOLO



Respirômetro de solo em Rothamsted (Curi, 1975)



Variação sazonal da respiração e temperatura do solo em Rothamsted (Curi, 1975)

MEDIÇÃO DA CONVECÇÃO E DIFUSÃO

Devido à dificuldade é medida a permeabilidade ao ar, ou seja, um coeficiente que “governa” a convecção.

- **PERMEABILIDADE** - Depende da distribuição e tamanho dos poros e obedece a **Lei de Poiseville**:

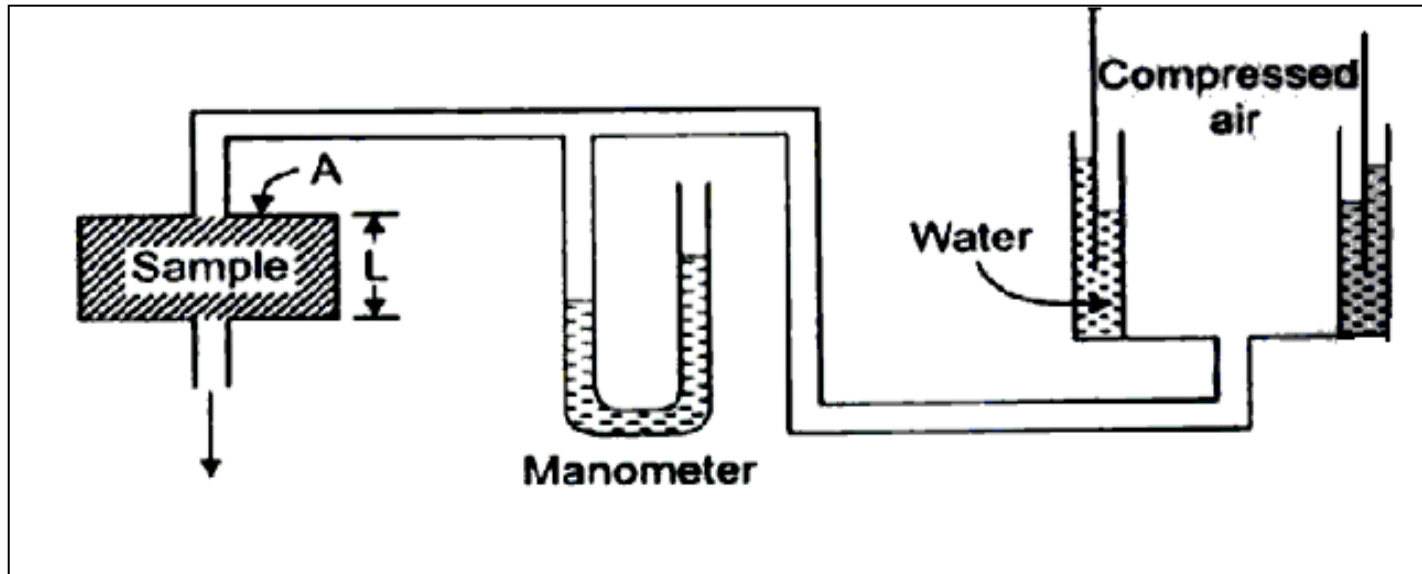
Fluxo varia com a **quarta potência** do raio dos poros

Fornece informações úteis sobre poros como:

- Tamanho efetivo
- Continuidade

- **DIFUSÃO**- É afetada pelo volume e tortuosidade poros

MEDIÇÃO DA PERMEABILIDADE



Permeômetro com volume variável e pressão constante

$$k = (L\eta / Af) (\Delta V / t)$$

k = permeabilidade ao ar

L = Comprimento da amostra

A = Área da seção transversal

V = Volume da célula de ar

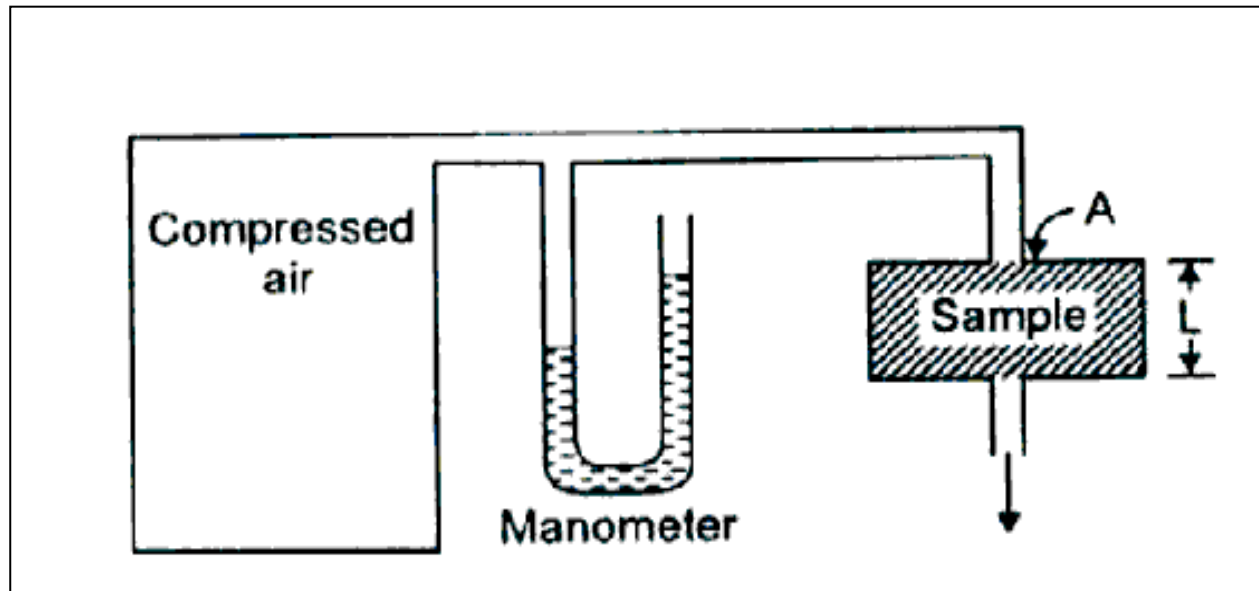
P_a = Pressão barométrica

p = Pressão na célula de ar

t = tempo

p_1 e p_2 = pressão no início e final do processo após transcorrido tempo ΔT

MEDIÇÃO DA PERMEABILIDADE



Permeômetro com pressão variável e volume constante

$$k = (2.3 L \eta V / A P_a) (\log [p_1 / p_2] / \Delta t)$$

k = permeabilidade ao ar

L = Comprimento da amostra

A = Área da seção transversal

V = Volume da célula de ar

P_a = Pressão barométrica

p = Pressão na célula de ar

t = tempo

p_1 e p_2 = pressão no início e final do processo após transcorrido tempo ΔT

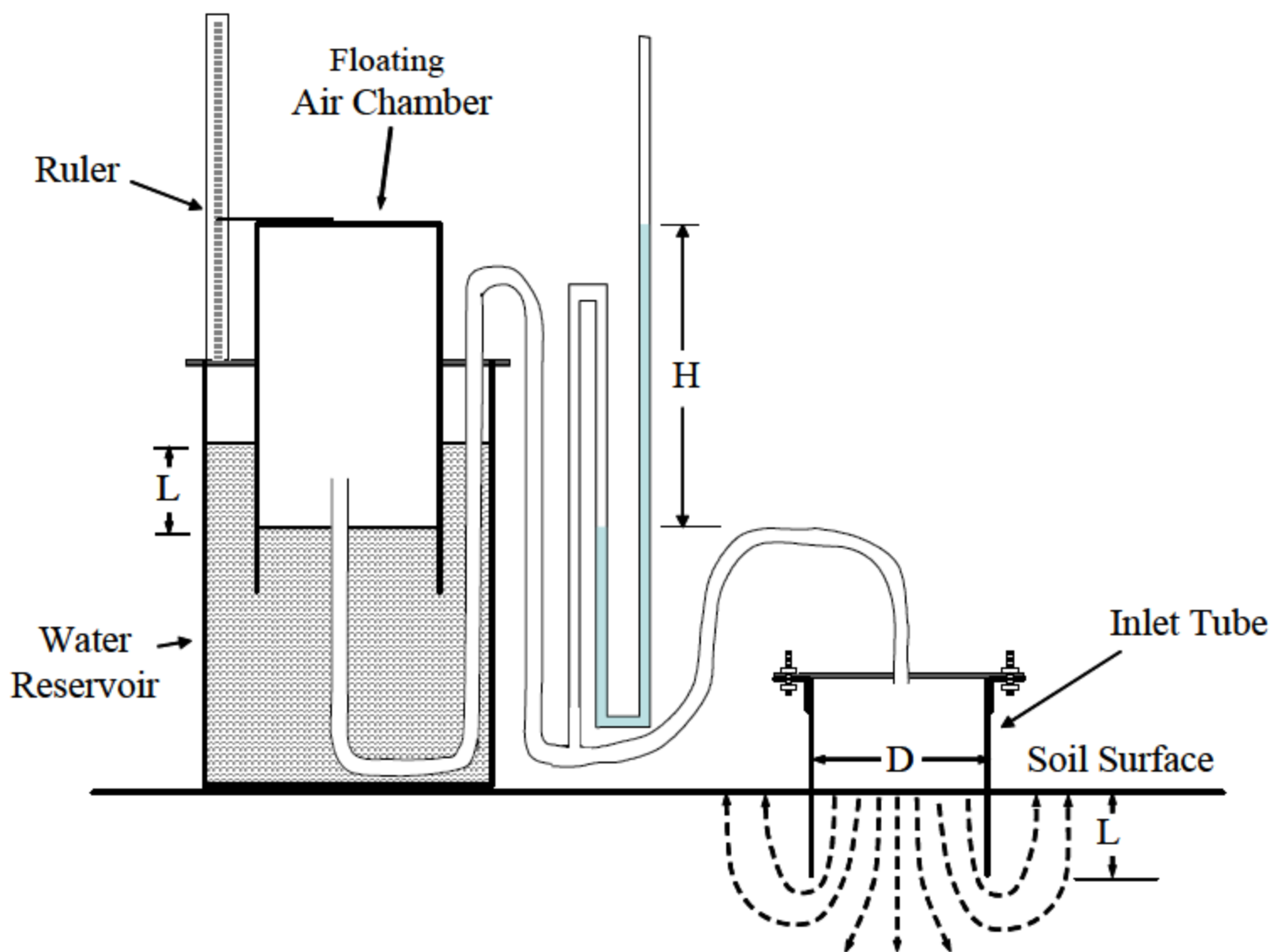
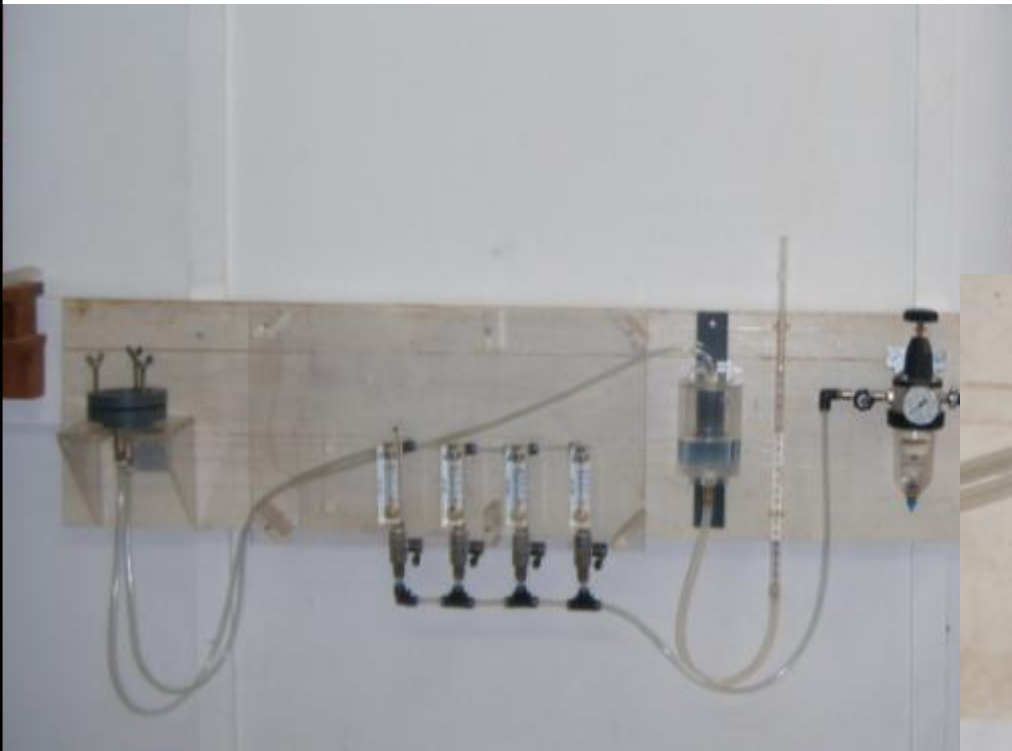
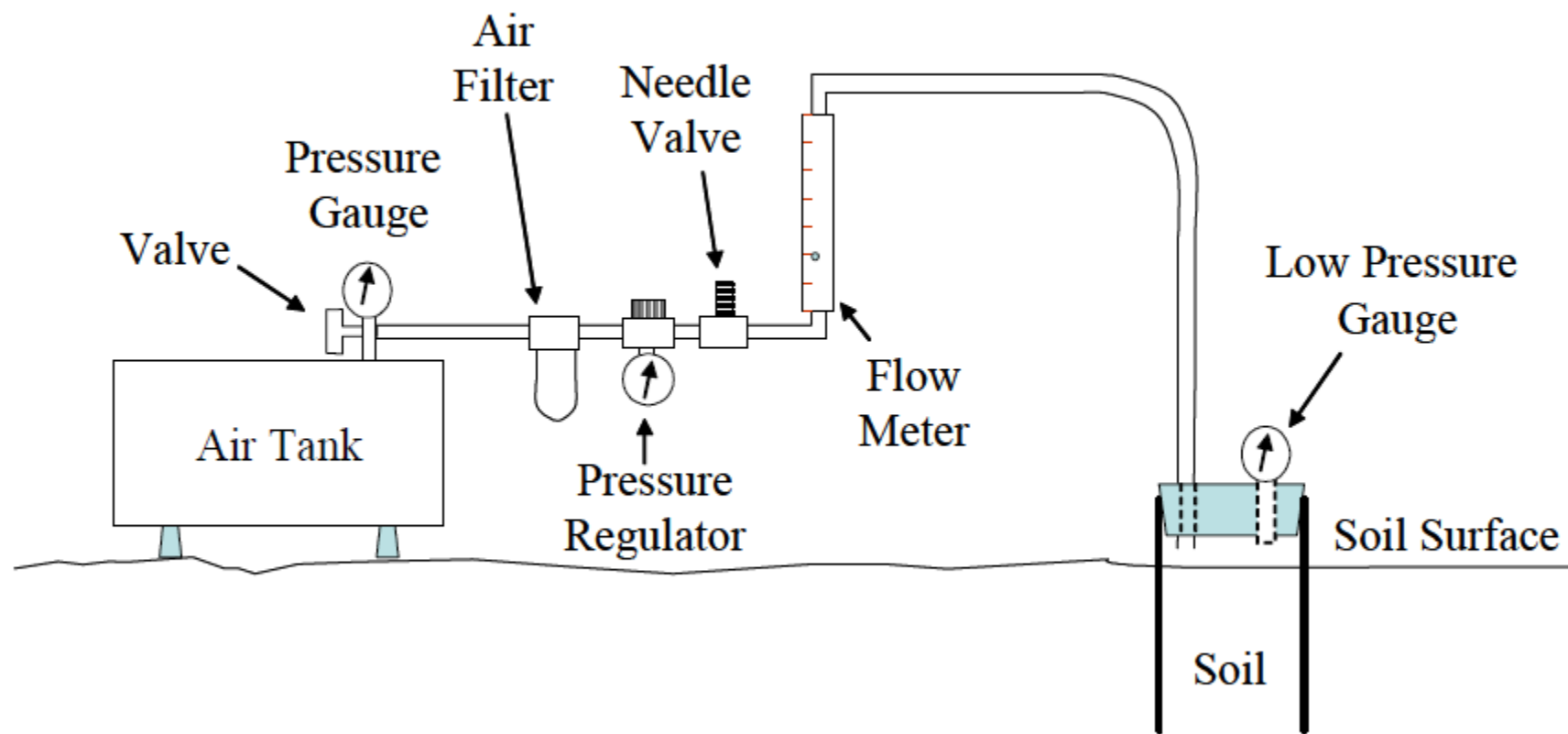
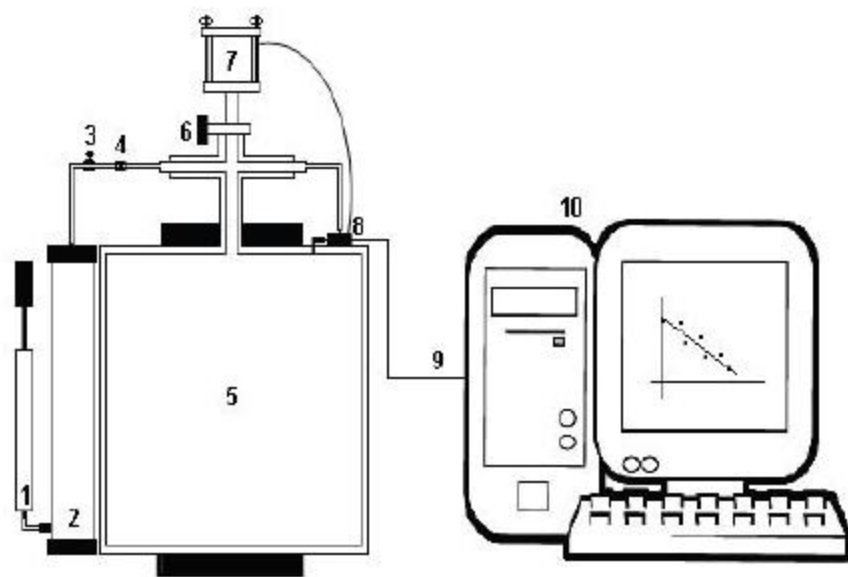


Figure 2. Schematic diagram of air permeameter number 1.

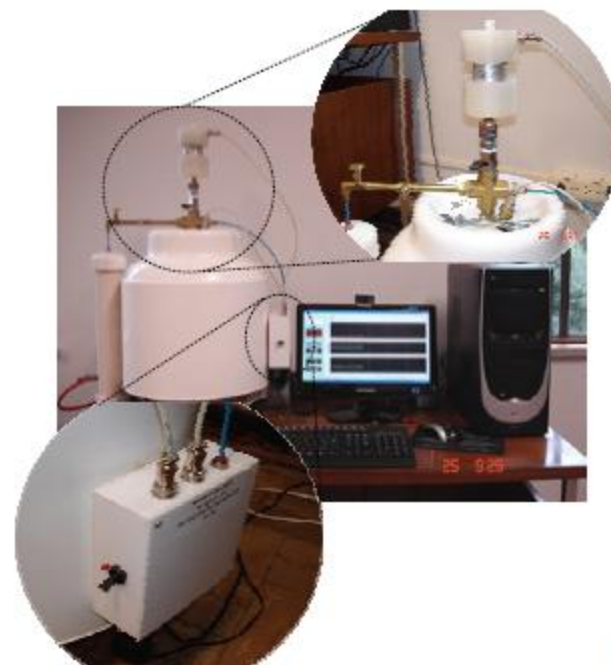
Permeâmetro ao ar







A



B

Figura 9 – Diagrama esquemático (A) constituído por: 1 – bomba de ar; 2 – cilindro de desumidificação do ar preenchido com sílica gel; 3 – válvula de controle de fluxo; 4 – válvula de escape para ajuste fino da pressão interna; 5 – cilindro de ar; 6 – válvula de controle de fluxo; 7 – compartimento de alocação da amostra indeformada de solo; 8 – sistema de aquisição de dados constituído por transdutor de pressão e sensores de temperatura e umidade; 9 – cabo de transmissão de dados (DB 9); 10 – microcomputador para processamento dos dados; e fotografia do equipamento para medição da permeabilidade do solo ao ar (B)

Fonte: BRITO (2010).

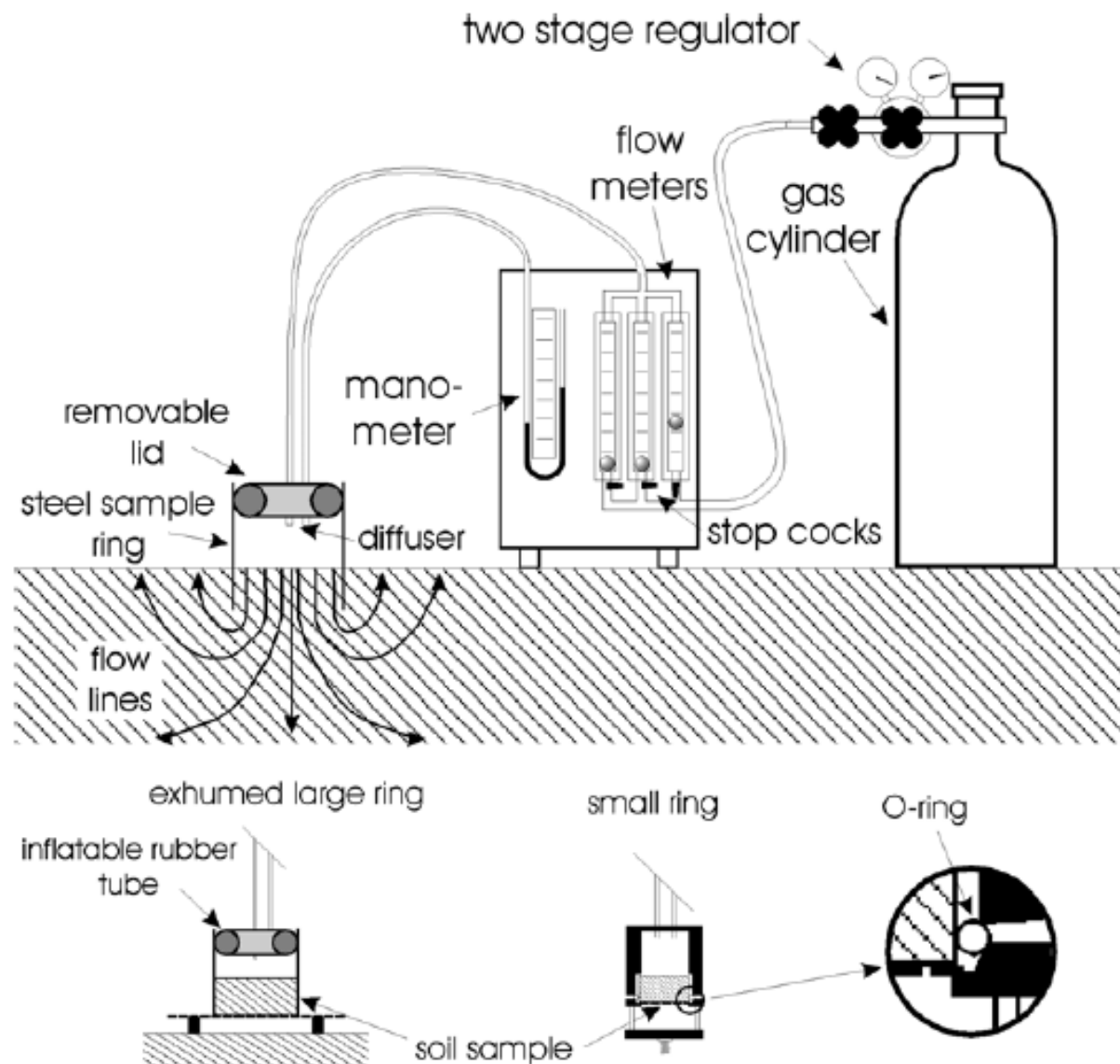
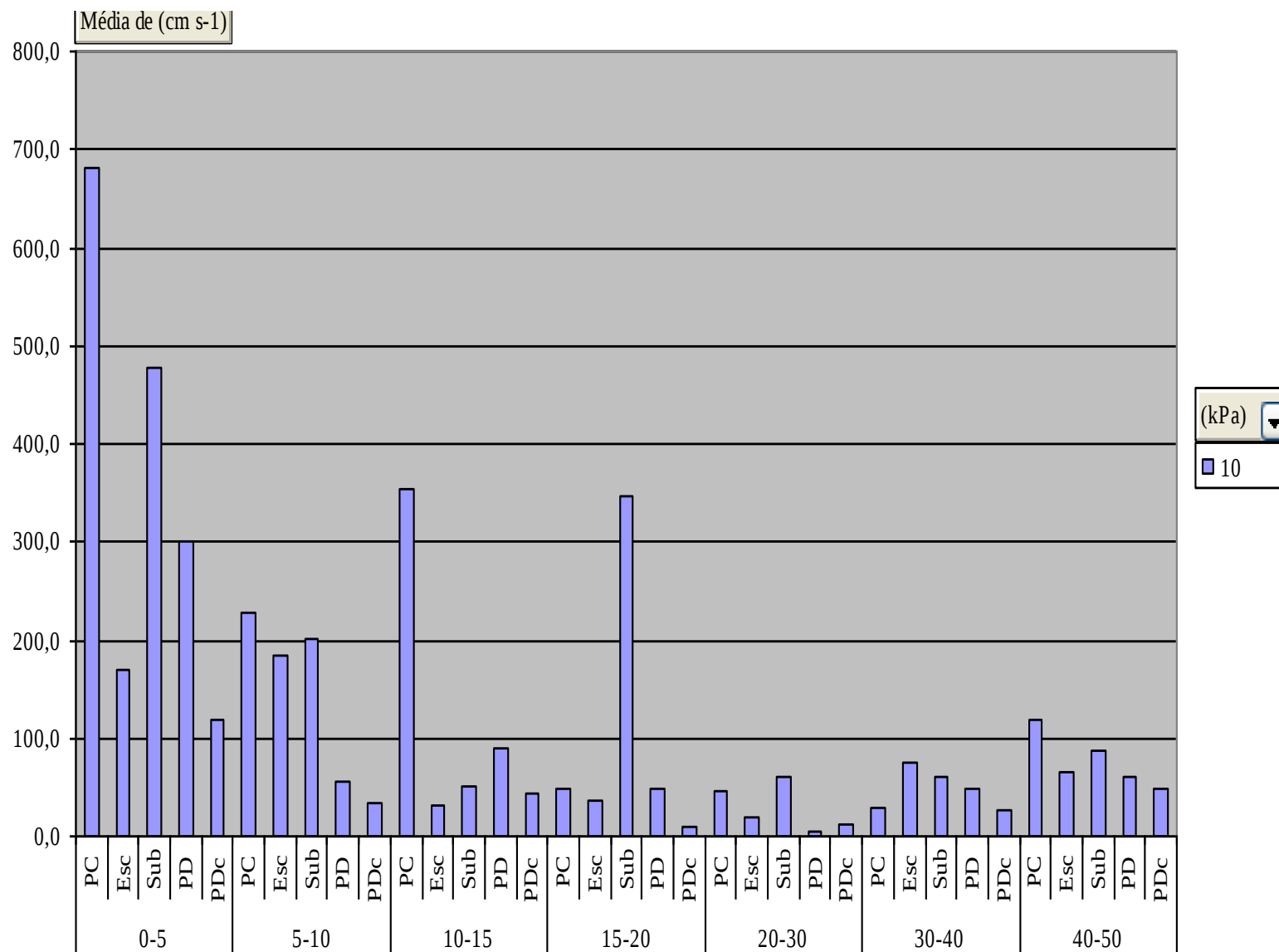
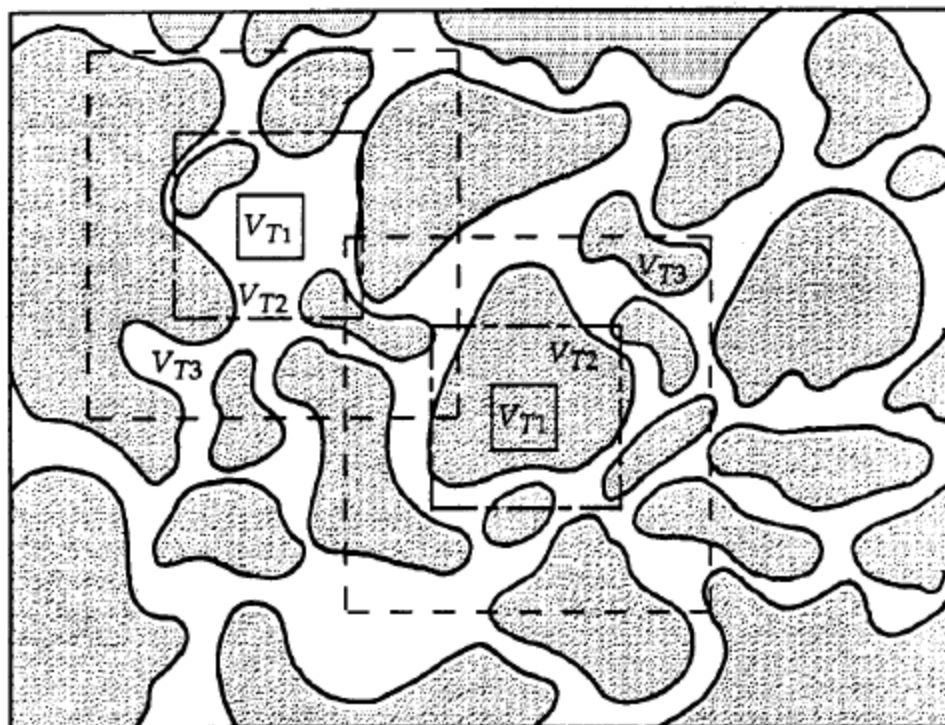


Figure 2.1. Apparatus for measuring soil air permeability in situ, on-site, and in the laboratory using two ring sizes (100 cm^3 and 3140 cm^3 , figure from Paper I).

Permeabilidade ao ar



Variabilidade e representatividade amostral



CENTER OF V_T IS IN:	PORE	SOLID
V_{T1} 	$P = 1$	$P = 0$
V_{T2} 	$P = 0.72$	$P = 0.33$
V_{T3} 	$P = 0.49$	$P = 0.40$

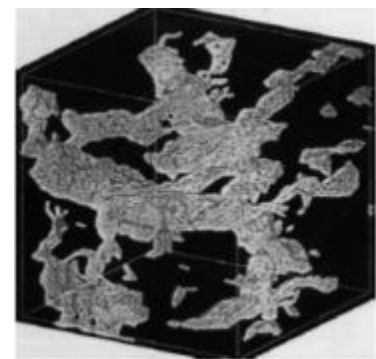
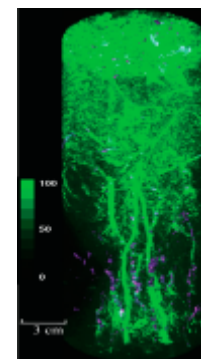


TABELA 1 Classificação dos poros do solo e algumas funções de cada classe

<i>Classes simplificadas</i>	<i>Classes¹</i>	<i>Diâmetro efetivo, mm</i>	<i>Características e funções</i>
Macroporos	Macroporos	0,08 – +5	Geralmente encontrados entre unidades estruturais; drenagem da água gravitacional; difusão de gases; tamanho suficiente para acomodar raízes e habitat de certos animais do solo.
Microporos ↓	Mesoporos	0,03-0,08	Retenção de água; movimento de água por capilaridade; habitat de fungos e raízes mais finas.
	Microporos	0,005-0,03	Geralmente encontrados dentro das unidades estruturais; retenção de água disponível às plantas e habitat da maioria das bactérias.
	Ultramicroporos	0,0001-0,005	Presentes em solos argilosos; retenção de água não disponível às plantas; seu tamanho exclui a maioria dos microrganismos.
	Criptoporos	< 0,0001	Seu tamanho exclui todos os microrganismos e moléculas de maior tamanho.

¹Classes e diâmetro de poros, citados por Brewer (1964), Soil Science Society of America (1996).

Dinâmica da aeração no solo

Tabela 2. Porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e densidade do solo (Ds) e condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) do horizonte A de um Argissolo, Santa Maria, 2010.

Horizonte	Pt	Macro cm ³ cm ⁻³	Micro cm ³ cm ⁻³	Ds g cm ⁻³	Ksat mm h ⁻¹
A	0,45	0,12	0,33	1,7	17,1

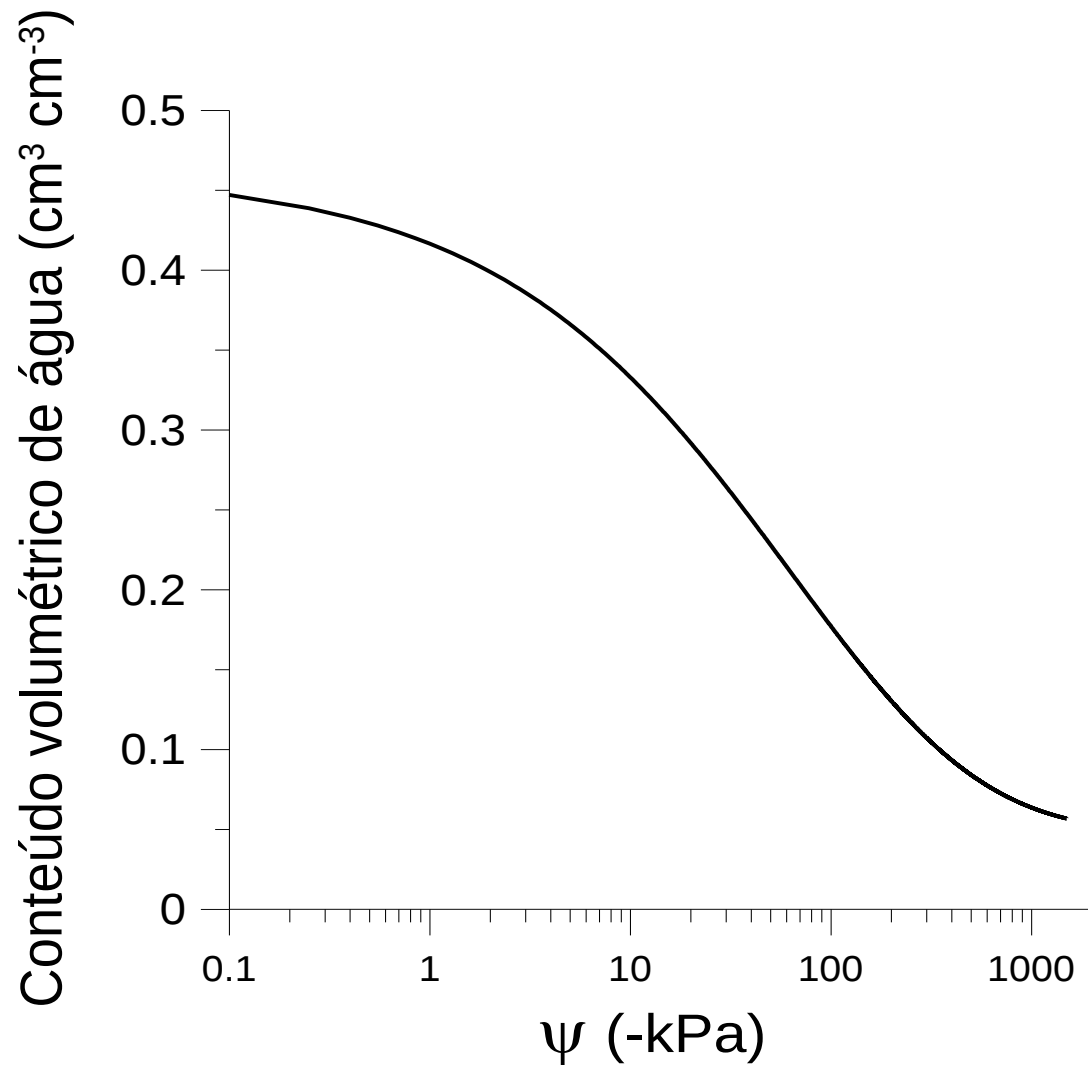


Figura 1. Curva de retenção de água do horizonte A de um Argissolo, Santa Maria, 2010.

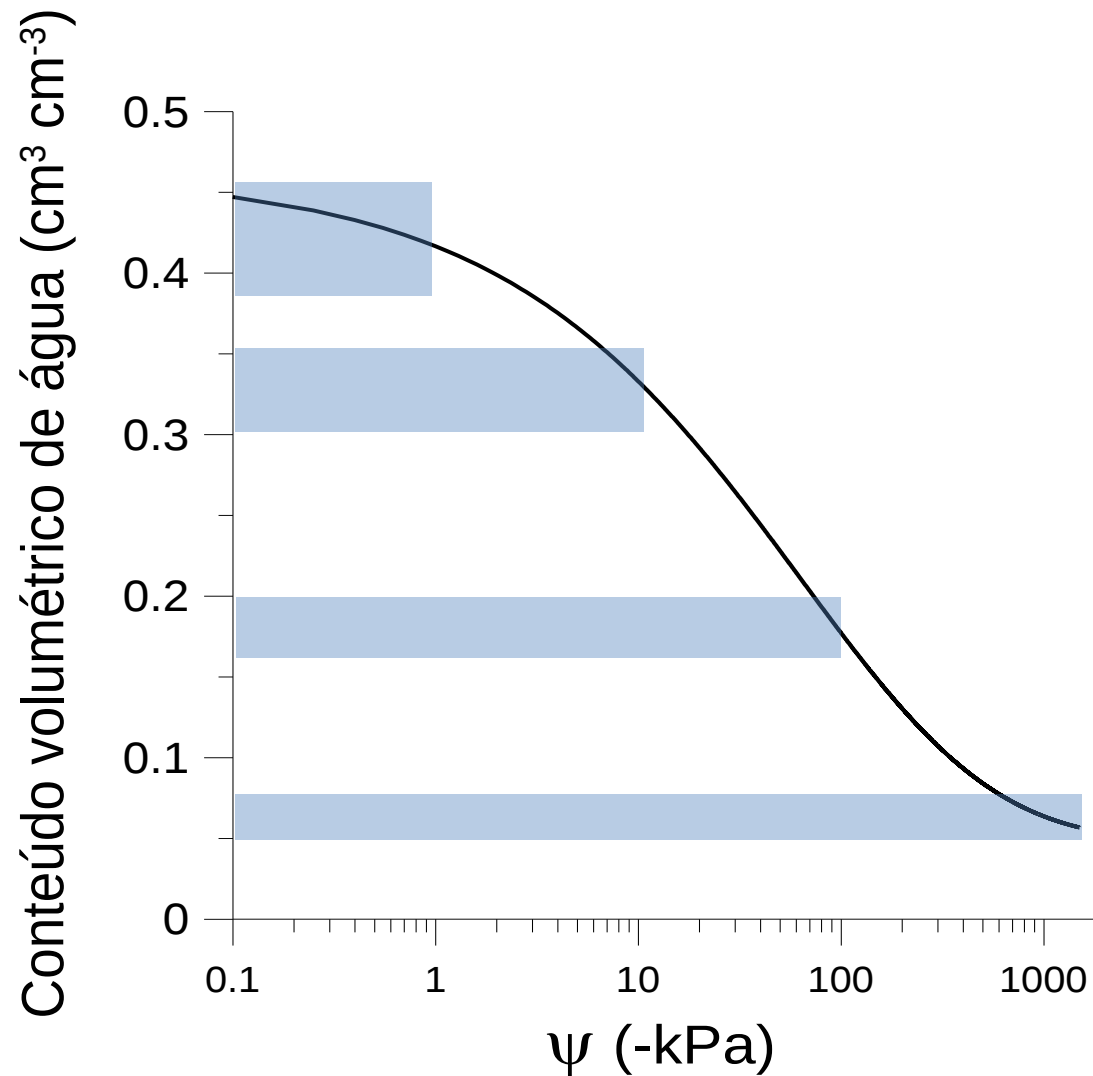
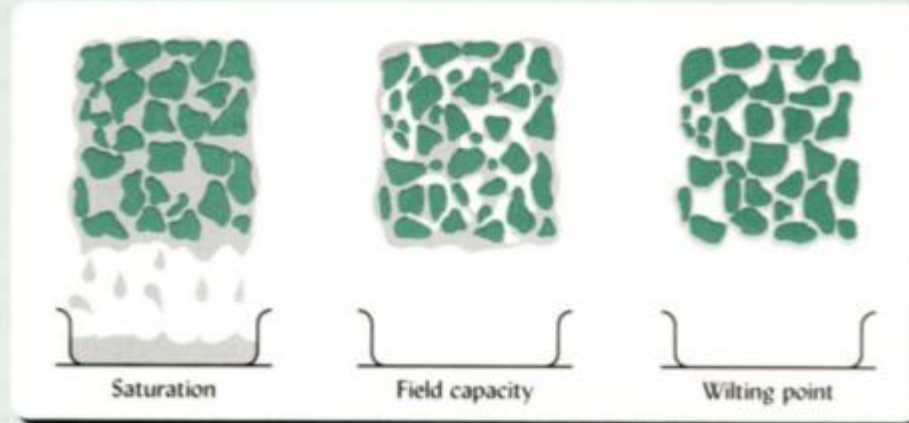


Figura 1. Curva de retenção de água do horizonte A de um Argissolo, Santa Maria, 2010.



Saturated soil

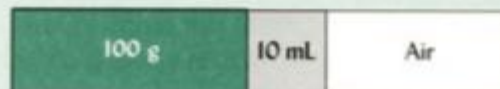


Solid
 Water

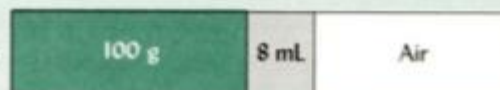
Field capacity



Wilting coefficient



Hygroscopic coefficient



Solid

Pore space

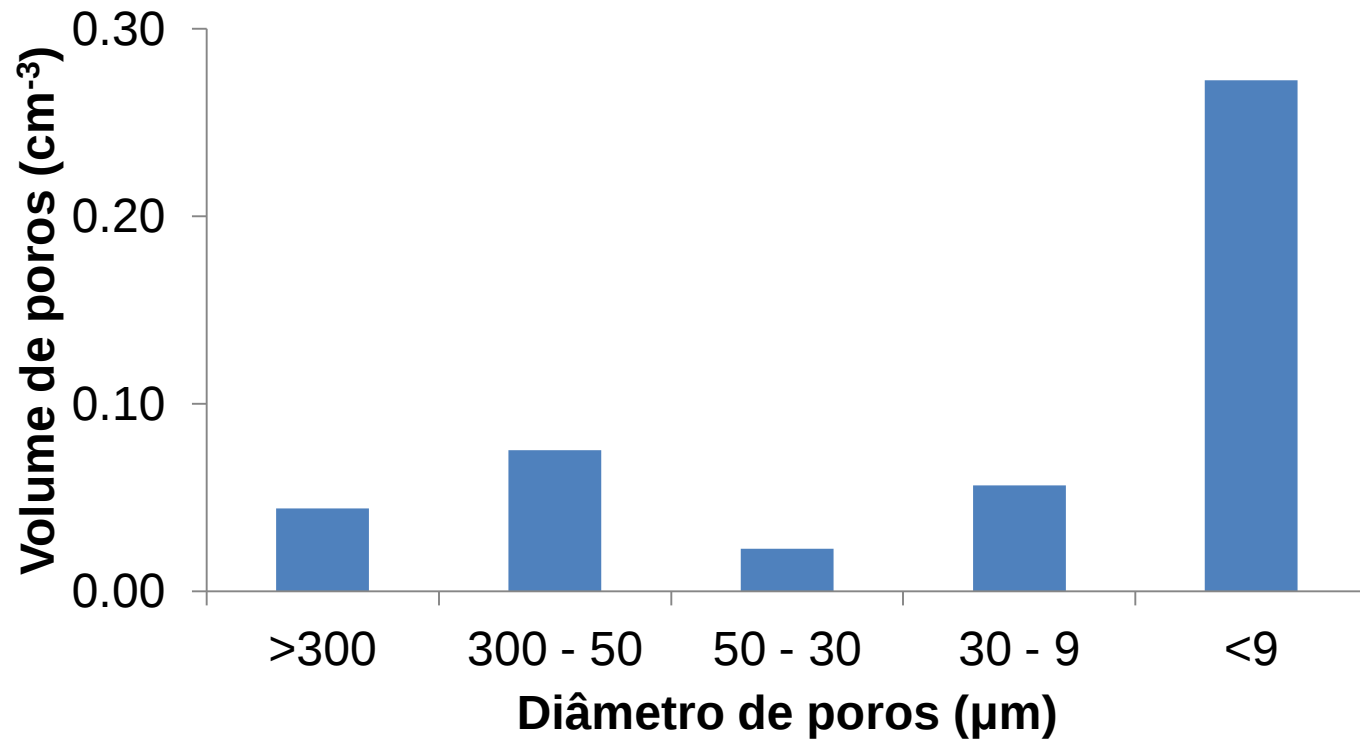
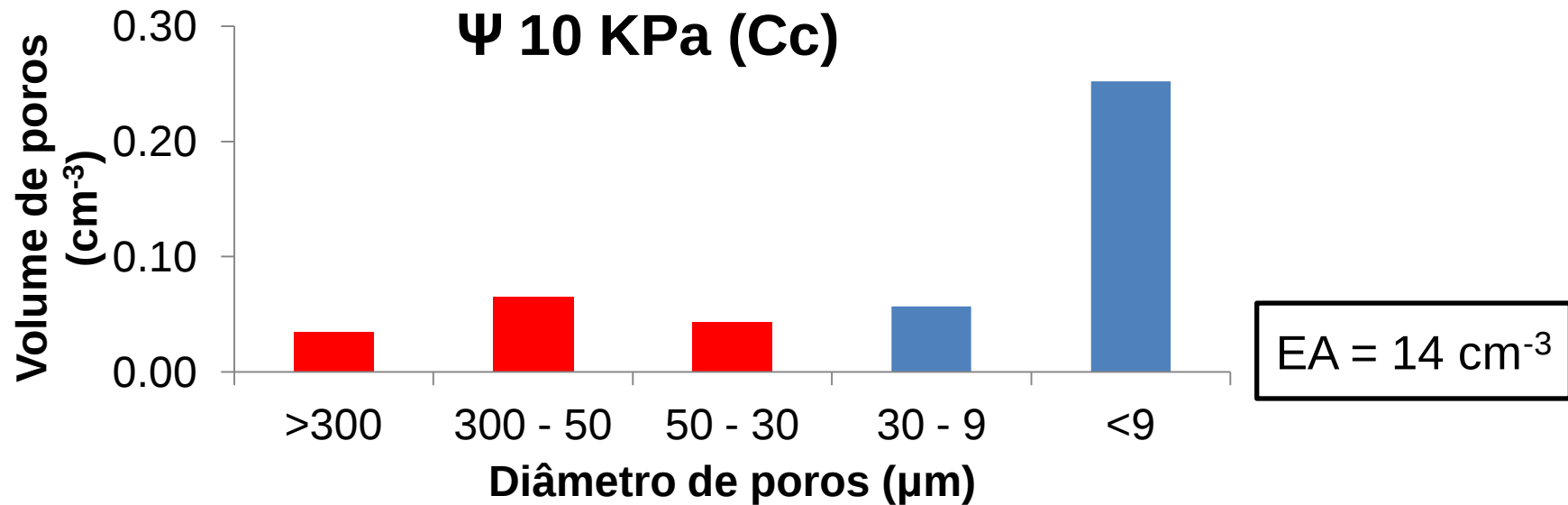
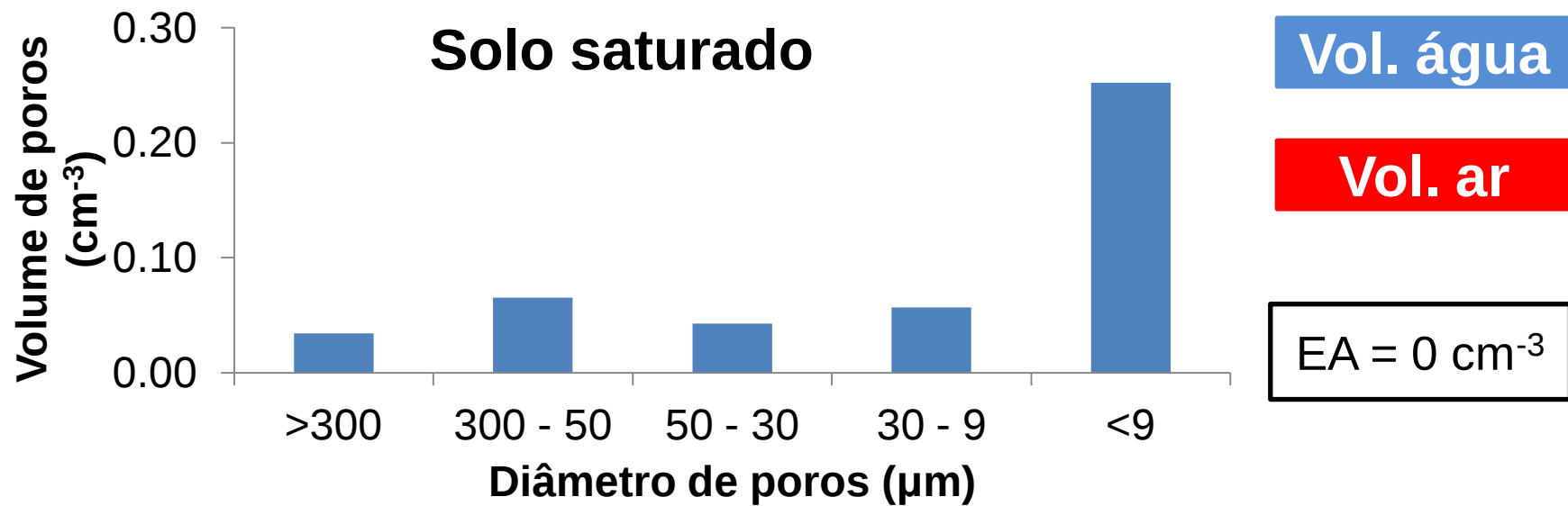
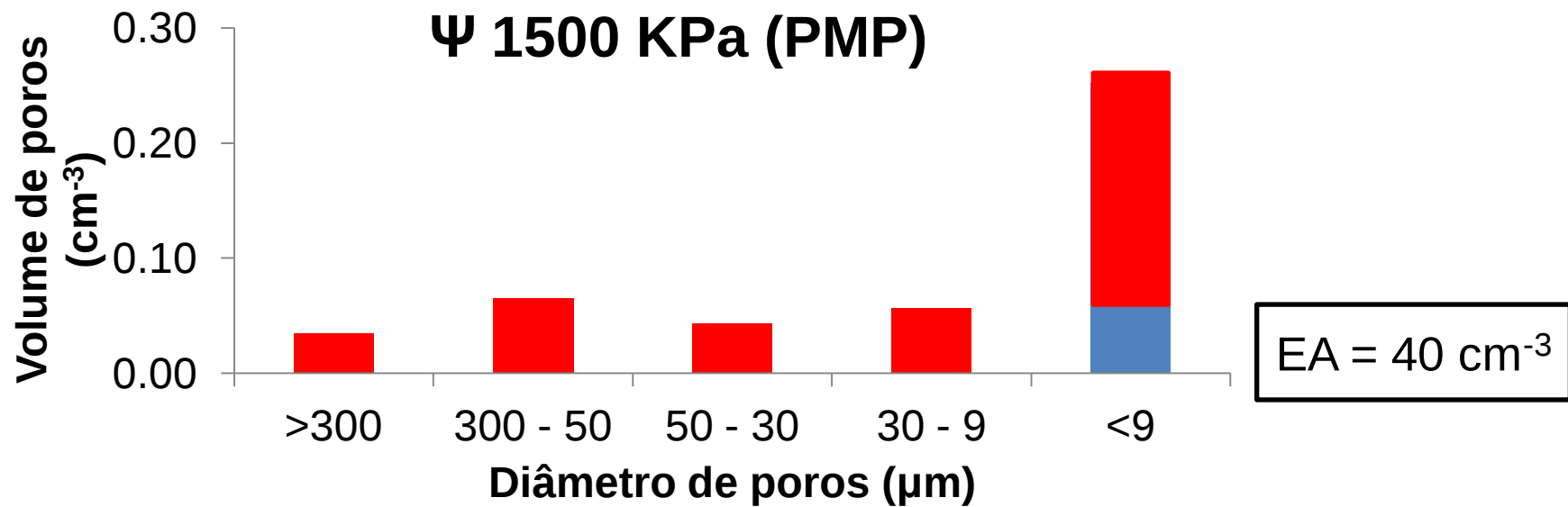
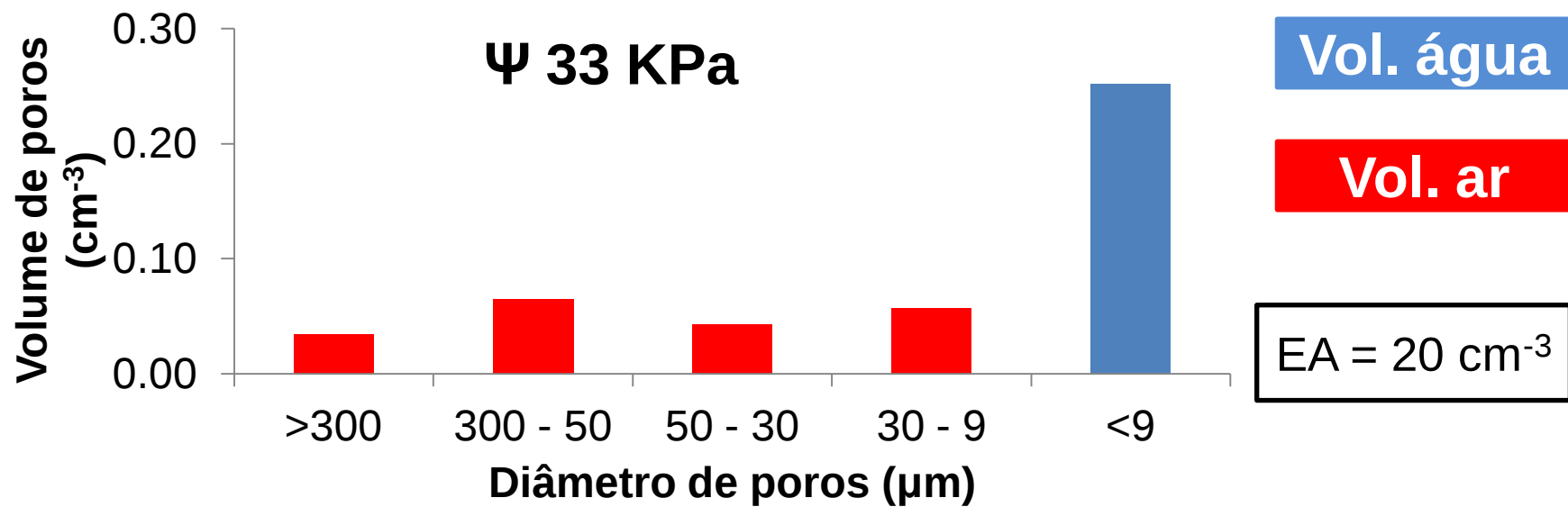


Figura 1. Distribuição do tamanho de poros dos horizonte A de um Argissolo, Santa Maria, 2010.





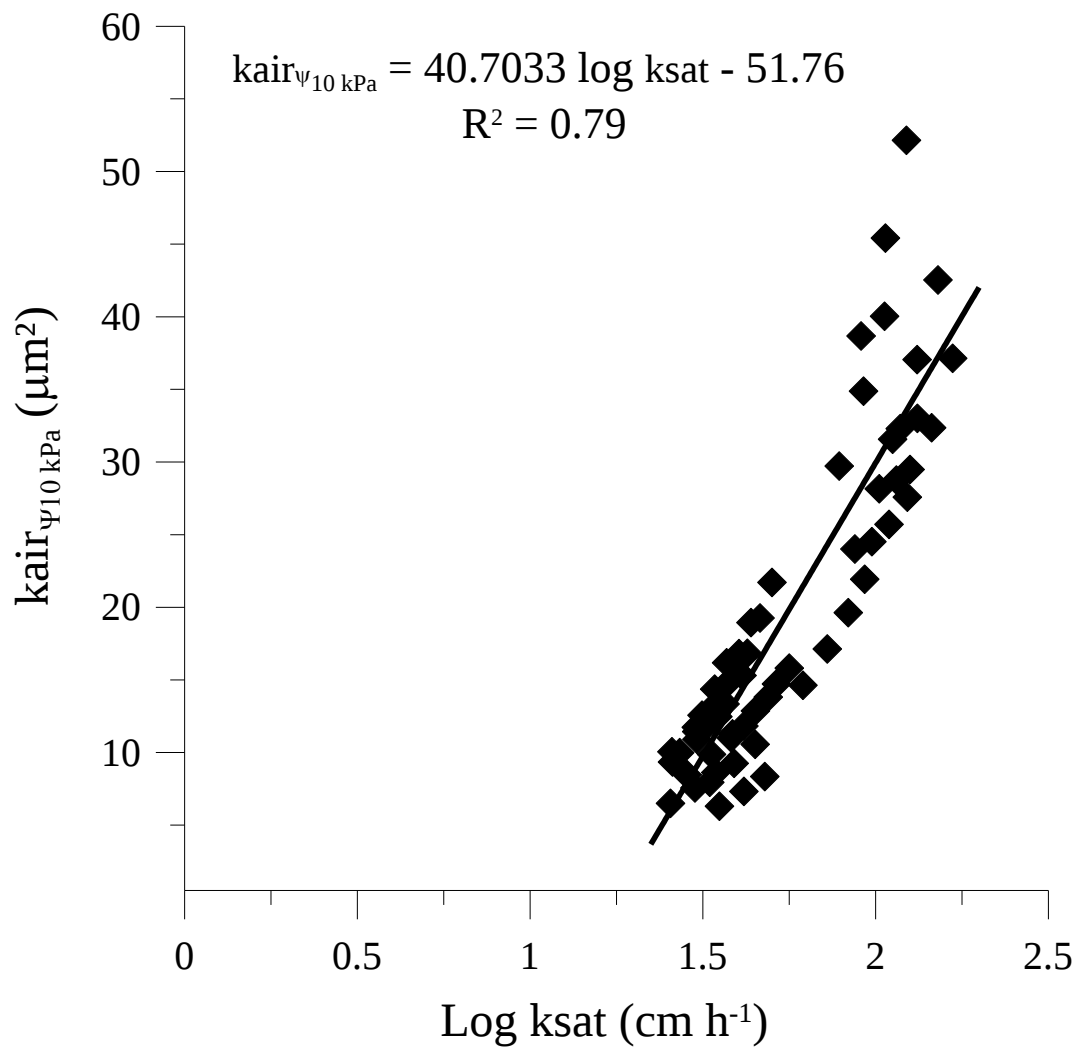
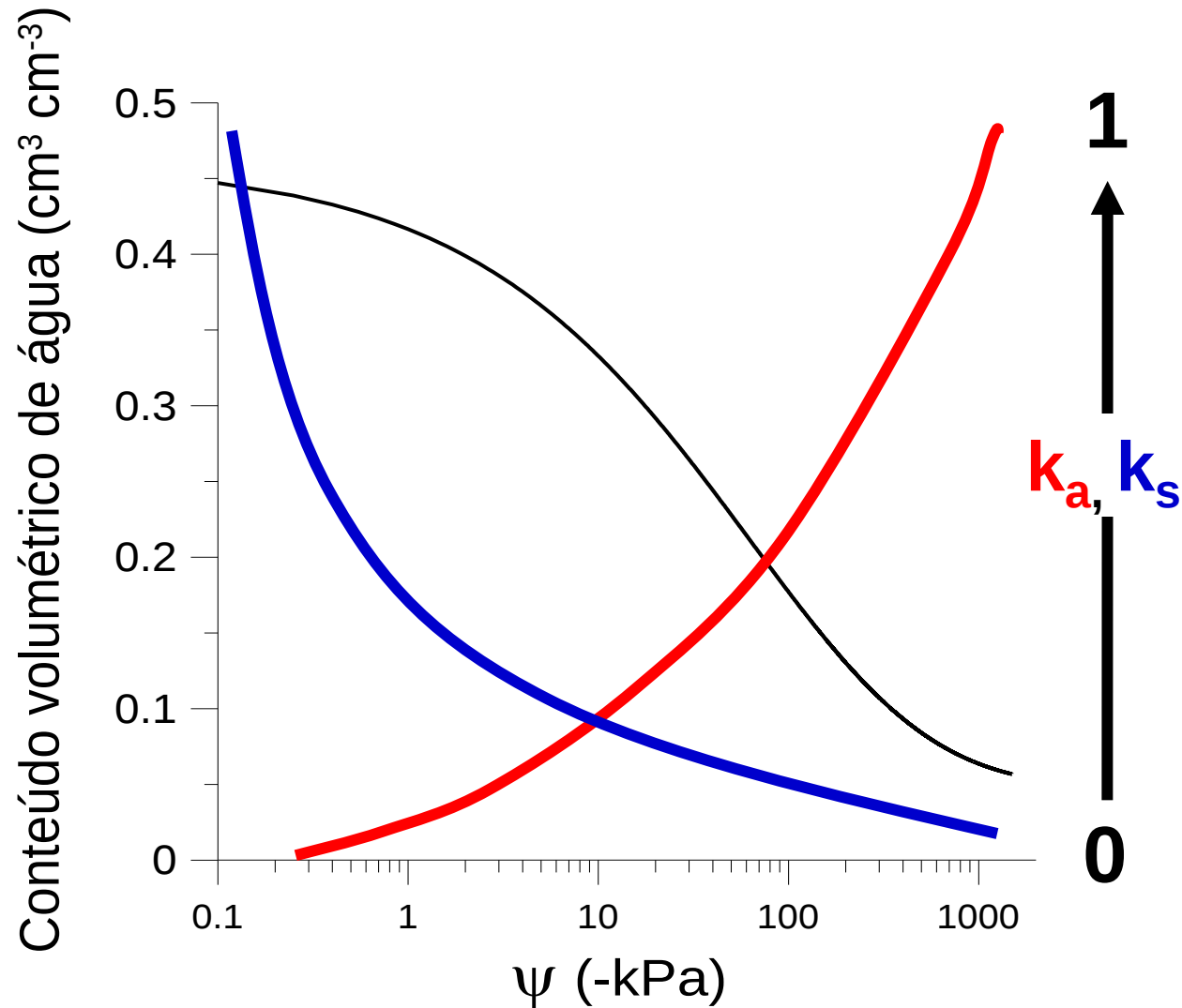


Figura 2. Relação entre a permeabilidade ao ar e a condutividade hidráulica saturada (Fonte: Vogelmann et al. (2011)).

**Condutividade
Hidráulica**

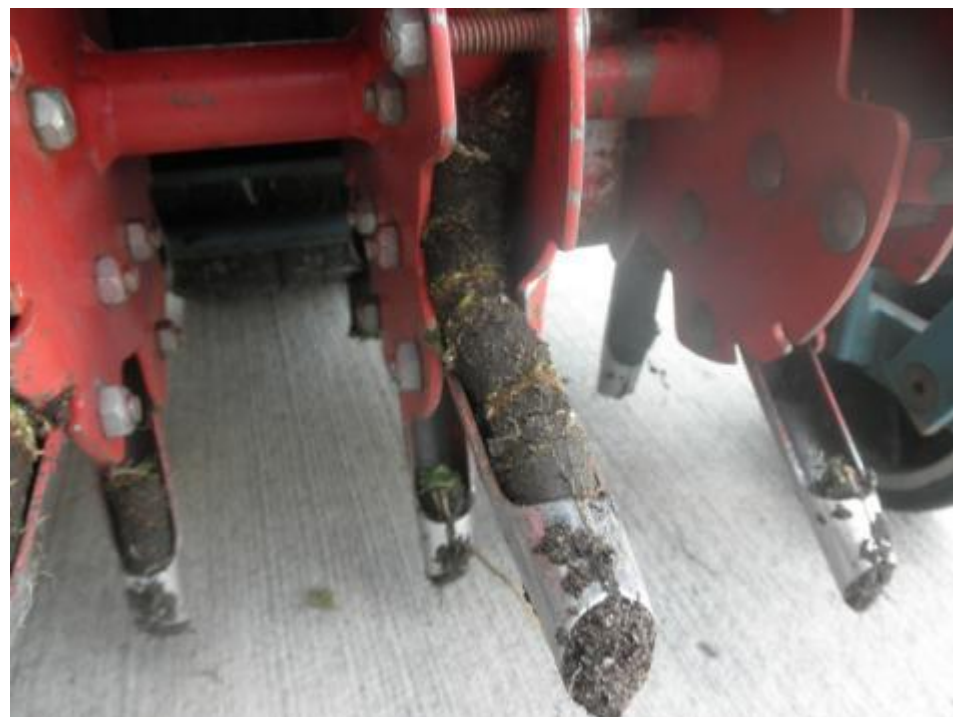
=

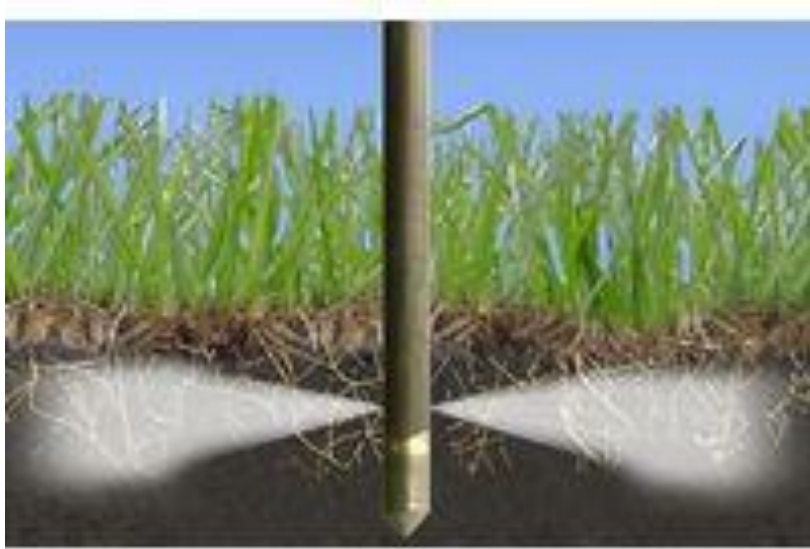
**Permeabilidade
ao ar**

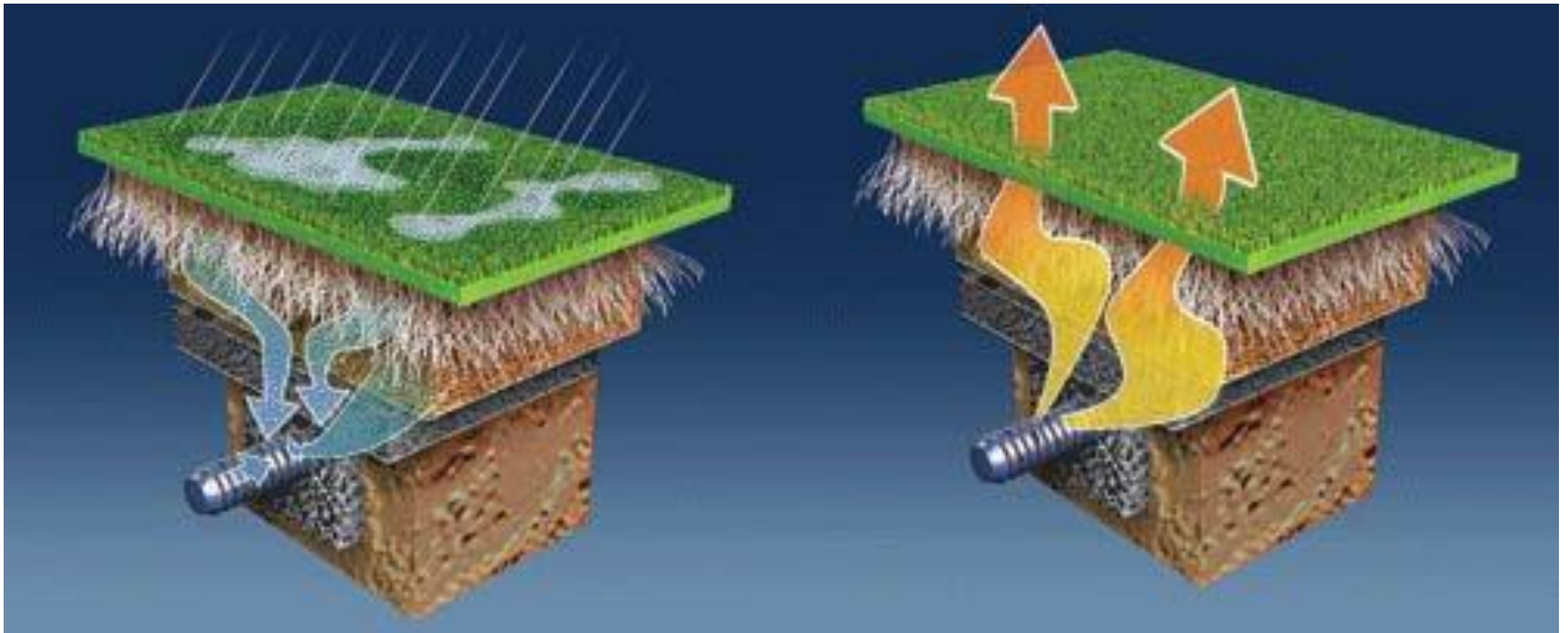


Sistemas de aeração do solo









Qual é o melhor?





Física do Solo
CCR/UFSM

Aeração do solo

J. M. Reichert, PhD.
E. S. Vogelmann, MSc.

Prova parcial

"Para **dois** dos artigos que foram indicados para leitura para esta quinta-feira, faça um **resumo** dos **principais pontos** abordados em cada um dos artigos selecionados por você".