

# PREPARO DO SOLO I

---

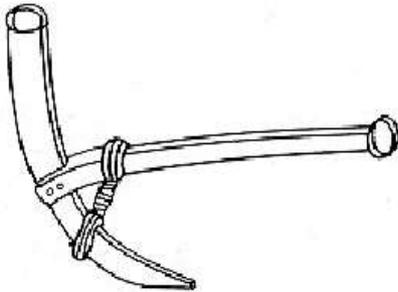
**LEB0432**

Prof. Leandro M. Gimenez



# Introdução

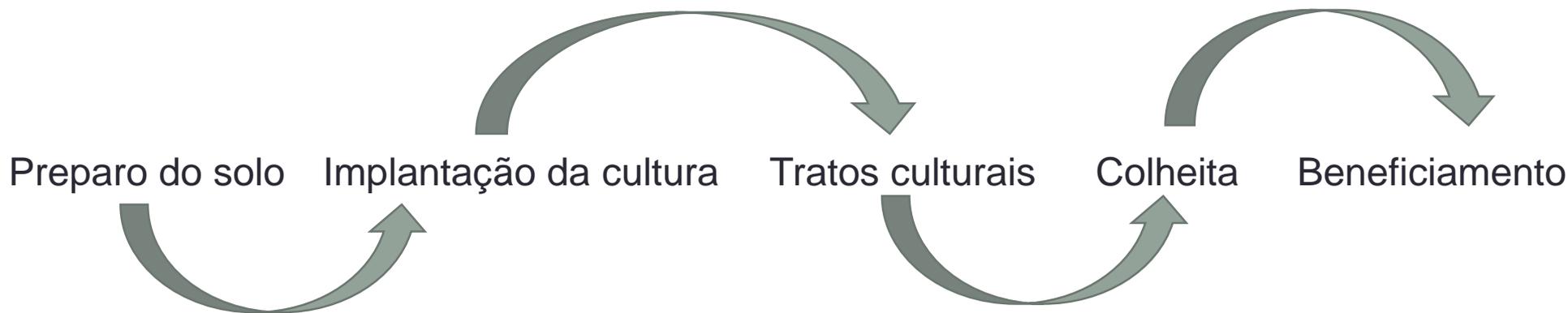
Há quanto tempo o homem utiliza o preparo do solo?



Arqueólogos encontraram arados de madeira simples que eram utilizados no vale do rio Nilo há 5000 anos – sulcar para depositar semente e remover ervas

## Introdução

Operações agrícolas são etapas do processo de produção

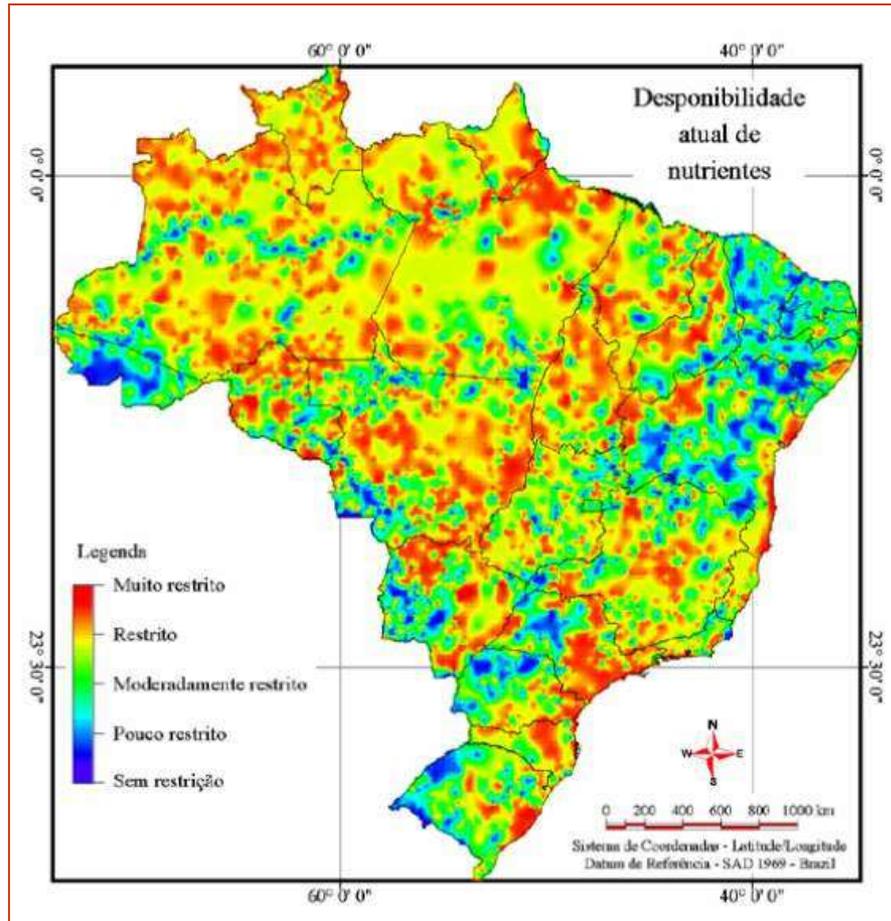




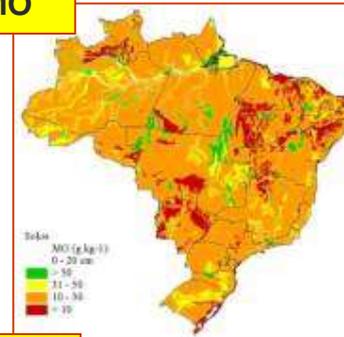
# Introdução

Período	Meses												
	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	
1985 a 1990			Soja (130 a 150 dias)										
1991 a 1995			Soja (120 a 135 dias)				Milho safrinha (140 a 160 dias)						
1996 a 2000			Soja (120 a 135 dias)				Milho safrinha (140 a 160 dias)						
2001 a 2005			Soja (110 a 125 dias)				Milho safrinha (130 a 150 dias)						
2006 a 2010			Soja (110 a 125 dias)				Milho safrinha (130 a 150 dias)						
2011 a 2015			Soja (90 a 105 dias)			Milho safrinha (130 a 150 dias)							

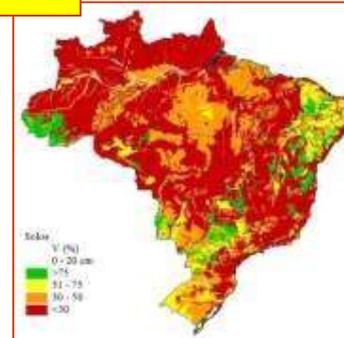
# Introdução



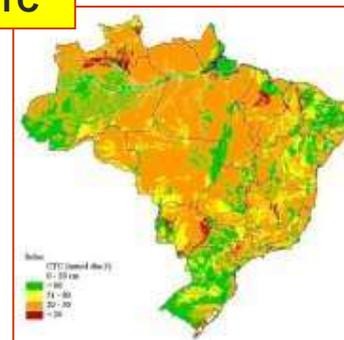
**MO**



**V%**



**CTC**



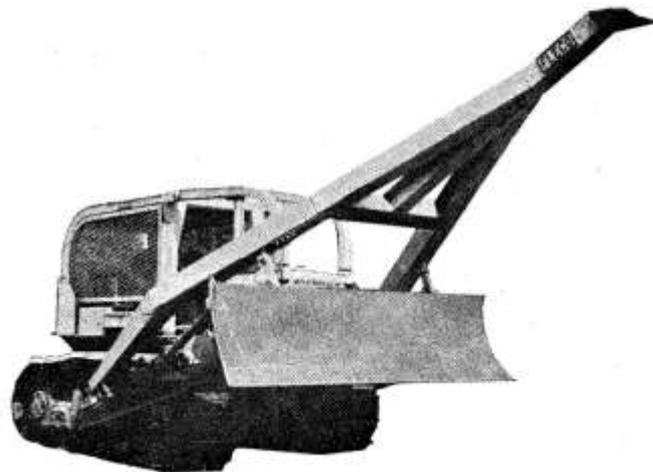
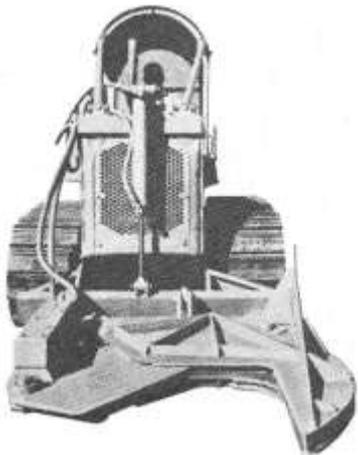
Fonte: Sparovek et al.

# Preparo inicial

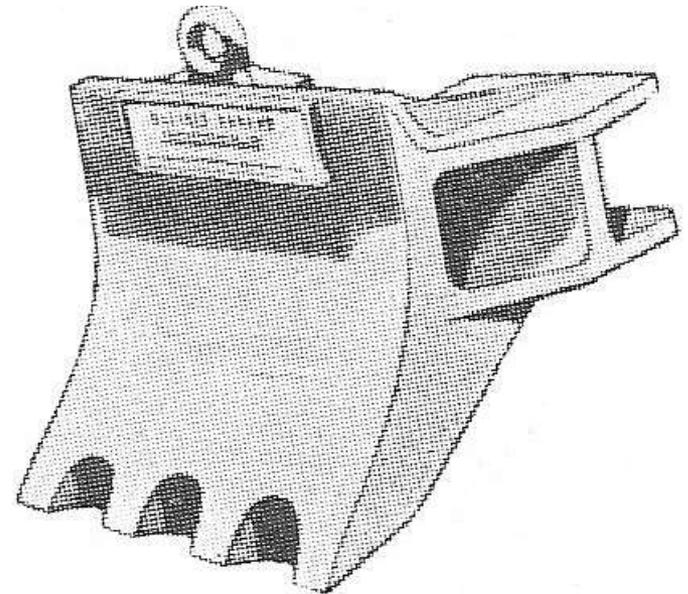
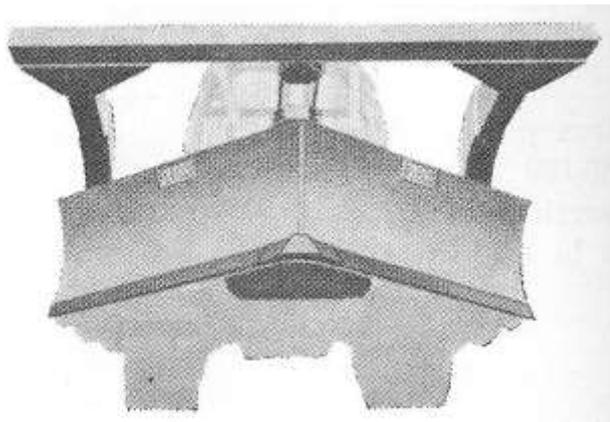
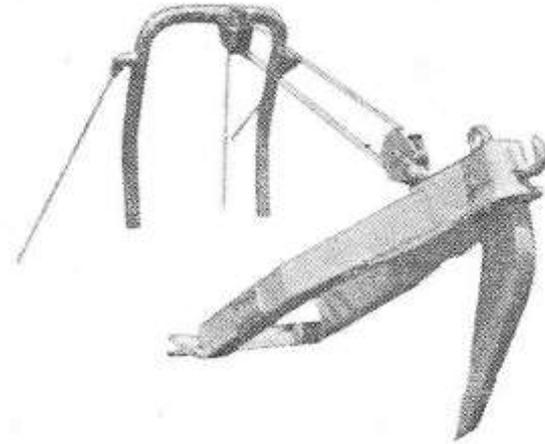
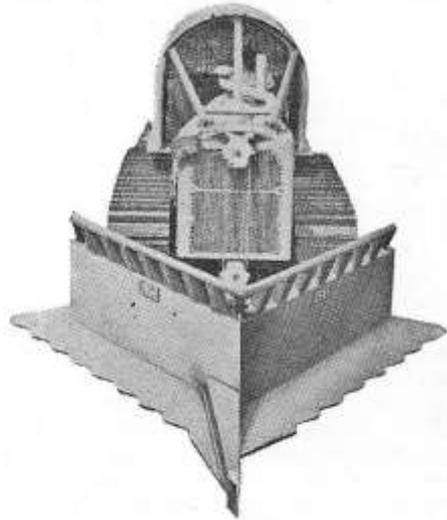
Remoção da vegetação inicial e ou obstáculos para a implantação de culturas ou outros fins

- ❖ Operações de desmatamento
  - Derrubada de árvores e arbustos
  - Corte ou arranquio de tocos
  - Enleiramento e destruição do material derrubado
  - Limpeza e remoção de raízes
- ❖ Operações de movimentação do solo
  - Terraplanagem
  - Valetamento
  - Dragagem

# Derrubada



# Desbrota e destoca



# Limpeza e eliminação



# Sistematização



# SISTEMAS DE MANEJO E PREPARO DO SOLO

---

# Sistemas de Manejo do Solo

- ❖ Preparo convencional
  - Mobilização em área total
  - Periodicamente



# Preparo Periódico do Solo

Propiciar condições para que as plantas se desenvolvam , evitando a degradação do solo

## Preparo inadequado

Degradação

Erosão

Compactação

## Preparo Convencional

- ❖ Modalidades que utilizam operações de preparo com inversão das camadas do solo e conseqüente incorporação dos resíduos : mantém **menos de 5% da superfície do solo coberta com resíduos**
- ❖ Elevado consumo de energia e demanda de tempo por unidade de área
- ❖ Em ambiente tropical pode ser inadequado do ponto de vista da sustentabilidade

# Etapas do Preparo Convencional

## ❖ Preparo primário

- Profundidades maiores que 20cm
- Busca reduzir a coesão, rompendo e desestruturando blocos de solo
- Revolvimento
- Incorporação
- Deixa a superfície irregular



# Equipamentos: Preparo Primário

- Arados
- Grades pesadas
- Subsoladores



# Etapas do Preparo Convencional

## ❖ Preparo secundário

- Criação de um leito de semeadura
- Profundidade menor que 20 cm
  - ❖ Destorroamento
  - ❖ Nivelamento
  - ❖ Aeração
  - ❖ Incorporação superficial



## Equipamentos: Preparo Secundário

- Grades médias
- Grades niveladoras
- Escarificadores
- Rolos destorreadores
- Correntes
- Enxada rotativa



## Enxada Rotativa

- ❖ Desagregação intensa
  - Corte e incorporação de resíduos
  - Leito de semeadura

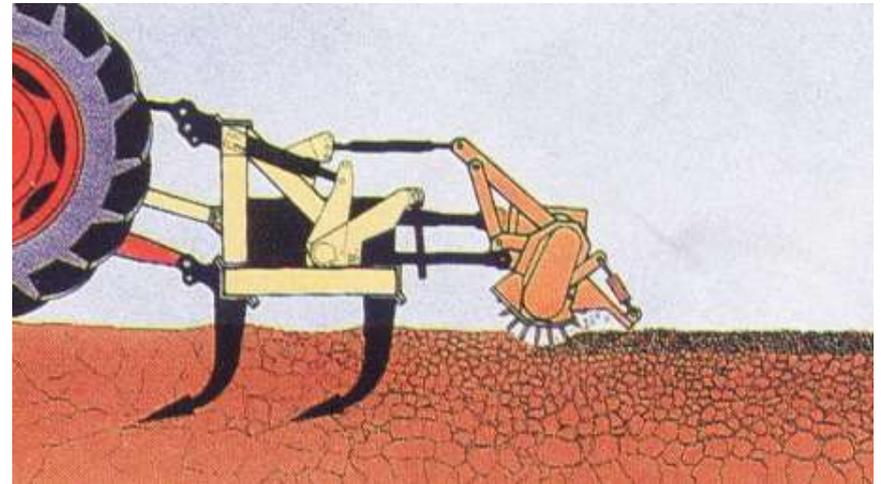
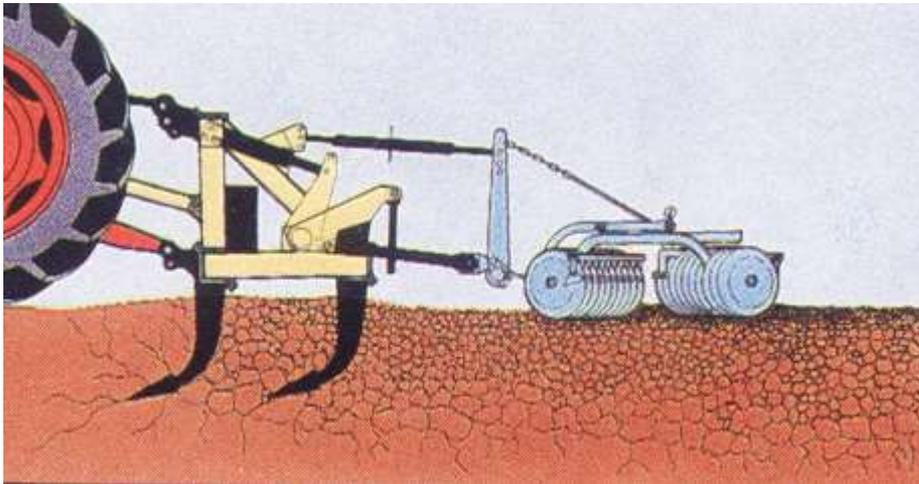


## Exemplos de Preparo Convencional

- Aração + gradagem + gradagem leve
- Gradagem pesada + gradagem + gradagem leve
- Subsolagem + gradagem pesada + gradagem leve
- Escarificação + gradagem leve + gradagem leve

## Operações Combinadas

- ❖ Preparo primário + Secundário em uma passada da máquina
- ❖ Pouco comum no Brasil









## Preparo Conservacionista

- Reduz as perdas de solo ou água, quando comparado com o preparo convencional;
- Deve permitir a manutenção de, no mínimo, 30 % da superfície do solo coberta com resíduos após a implantação das culturas;
- 30 % da superfície do solo coberta com resíduos proporciona **60 % de redução nas perdas de solo por erosão.**

## Preparo Conservacionista

Realização do chamado preparo vertical com mobilização sem revolvimento acentuado visando reduzir a incorporação de resíduos

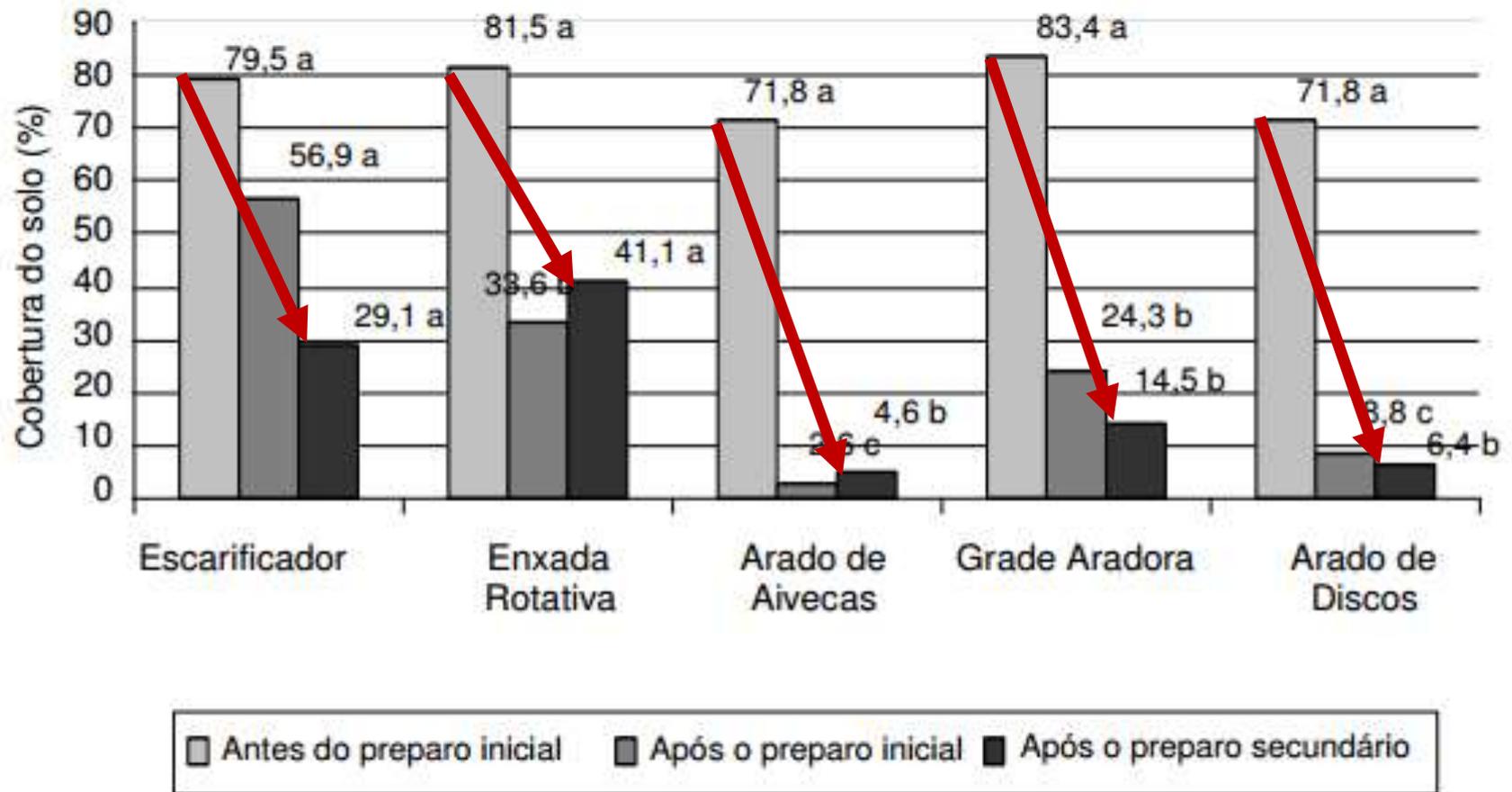
### Hastes



### Discos, lâminas, dentes



# Preparo Conservacionista



Carvalho Filho et al., (2007)

# Preparo Conservacionista

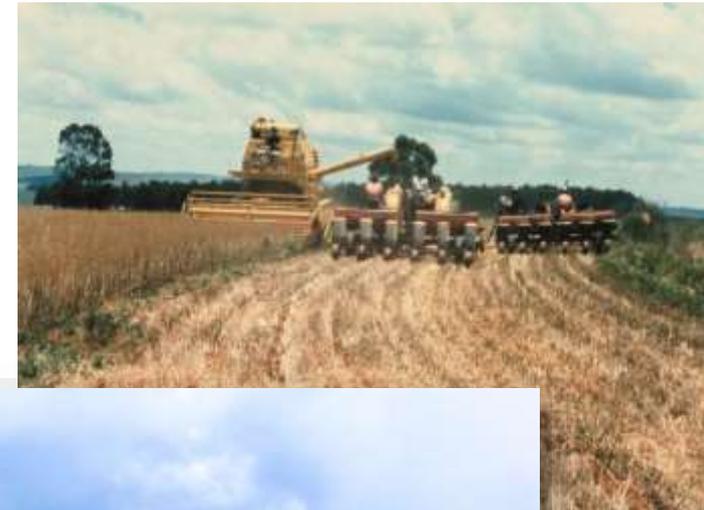
## Preparo Reduzido ou Mínimo

- Solo mobilizado de modo localizado, manutenção de resíduos sobre a superfície
- Uso de hastes munidas e rolos destorreadores
- Profundidade de preparo não excedendo 25 cm, apenas para romper a camada compactada



# Semeadura Direta/Plantio Direto

- Mobilização apenas ao longo da linha de semeadura



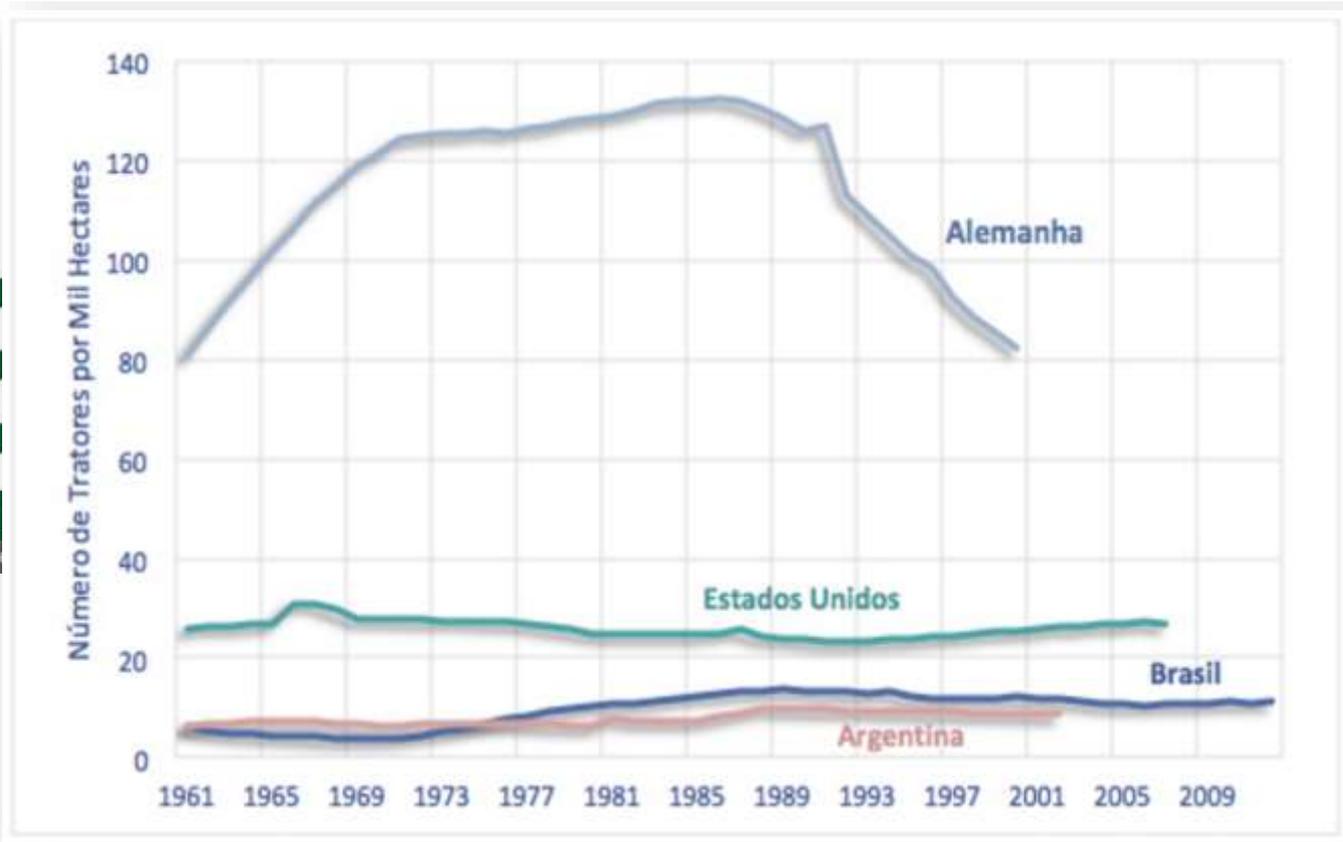
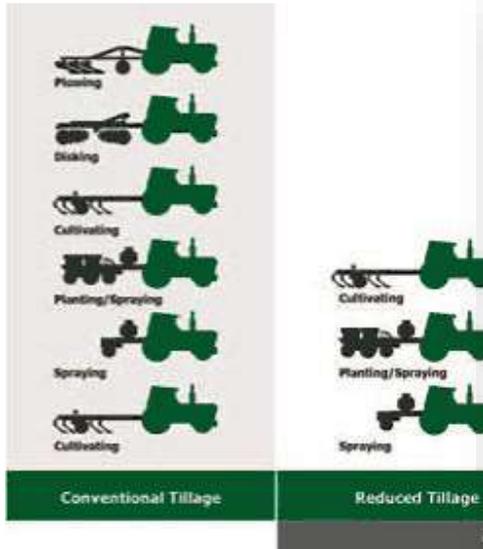
# Eficiência Energética

Tabela 1 – Custo energético dos quatro sistemas de preparo e semeadura do milho. Preparo Convencional (PC), Cultivo Mínimo (PR), com vibro escarificador, Cultivo Mínimo (CM) com grade leve, e Plantio direto (PD).

Operações	Sistemas de preparo			
	PC	PR	CM	PD
Custo energético (MJ ha <sup>-1</sup> )				
Arado de disco	1420,43	-	-	-
Grade de disco	573,80	-	-	-
Pulverização	-	818,03	816,06	815,85
Grade leve	-	-	656,24	-
Vibro escarificador	-	749,09	-	-
Semeadura	578,66	536,09	532,20	540,53
Total	2572,89	2105,22	1994,50	1356,38
Porcentagem total (%)	100	81,82	77,52	52,72

Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 5, p. 1582-1587, set./out., 2008

# Eficiência Energética

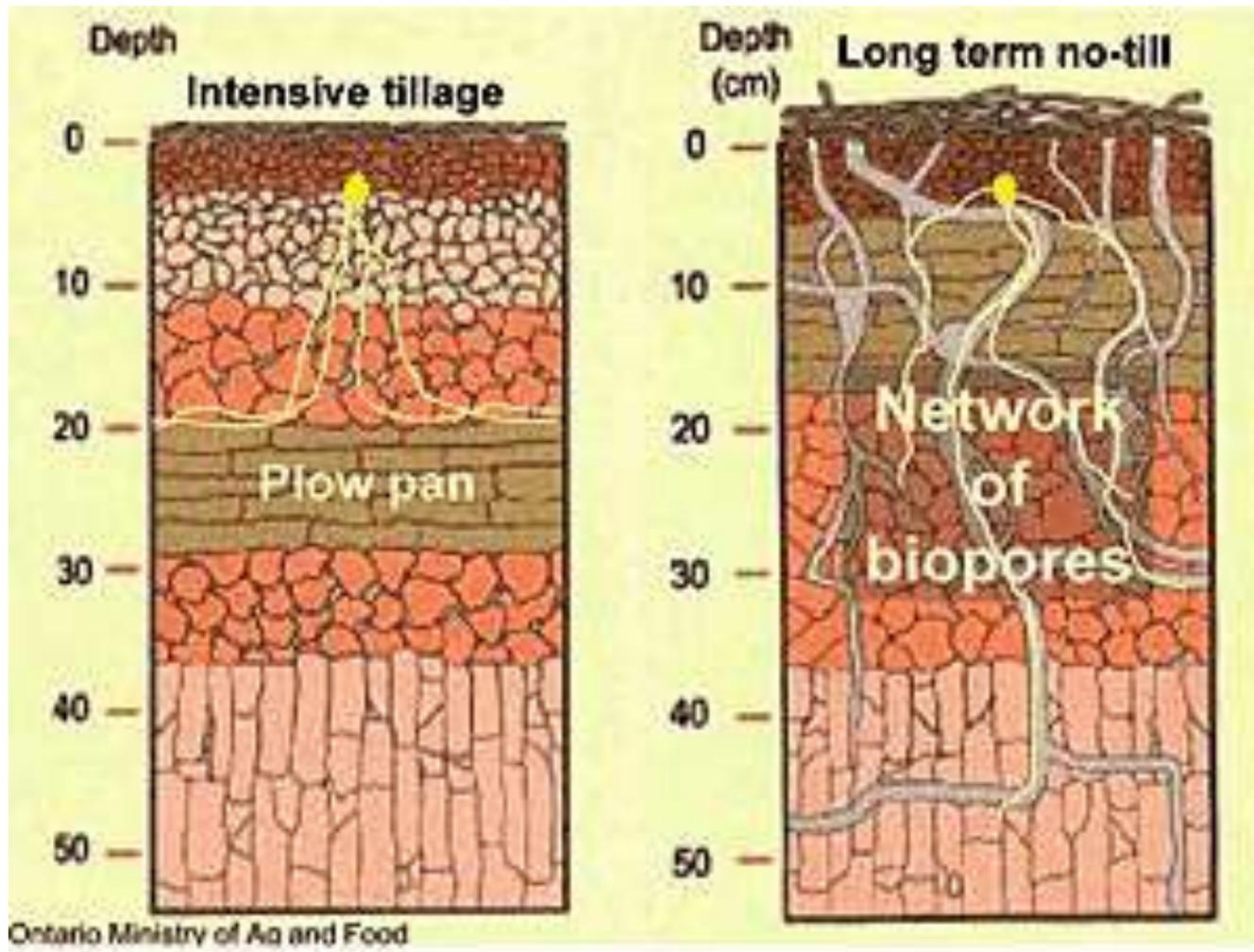


Fonte: Céleres®, Anfavea.

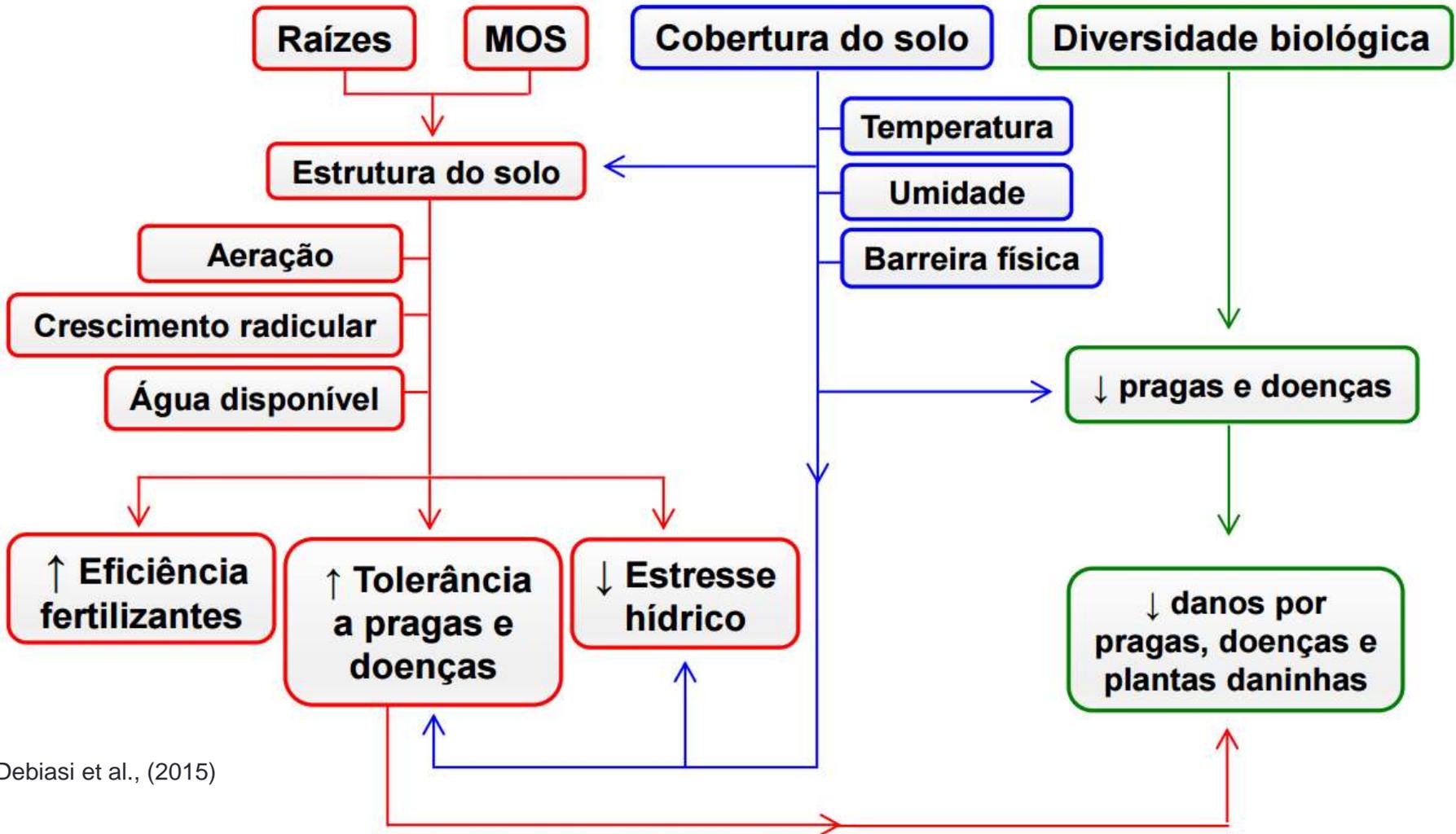
## Plantio Direto x Sistema Plantio Direto

- ❖ Mobilização de solo apenas na linha de semeadura;
- ❖ Manutenção dos restos de cultura na superfície do solo;
- ❖ Diversificação de modelos de produção: rotação, consorciação e/ou sucessão de culturas;
- ❖ Processo colher/semear com redução ou supressão do intervalo de tempo entre a colheita e a próxima semeadura;
- ❖ Adição de material orgânico ao solo em quantidade, qualidade e frequência compatível com a demanda da biologia do solo, que é da ordem de 8.000 kg/ha a 12.000 kg/ha por ano;
- ❖ Manutenção da cobertura permanente do solo

# Convencional x Conservacionista

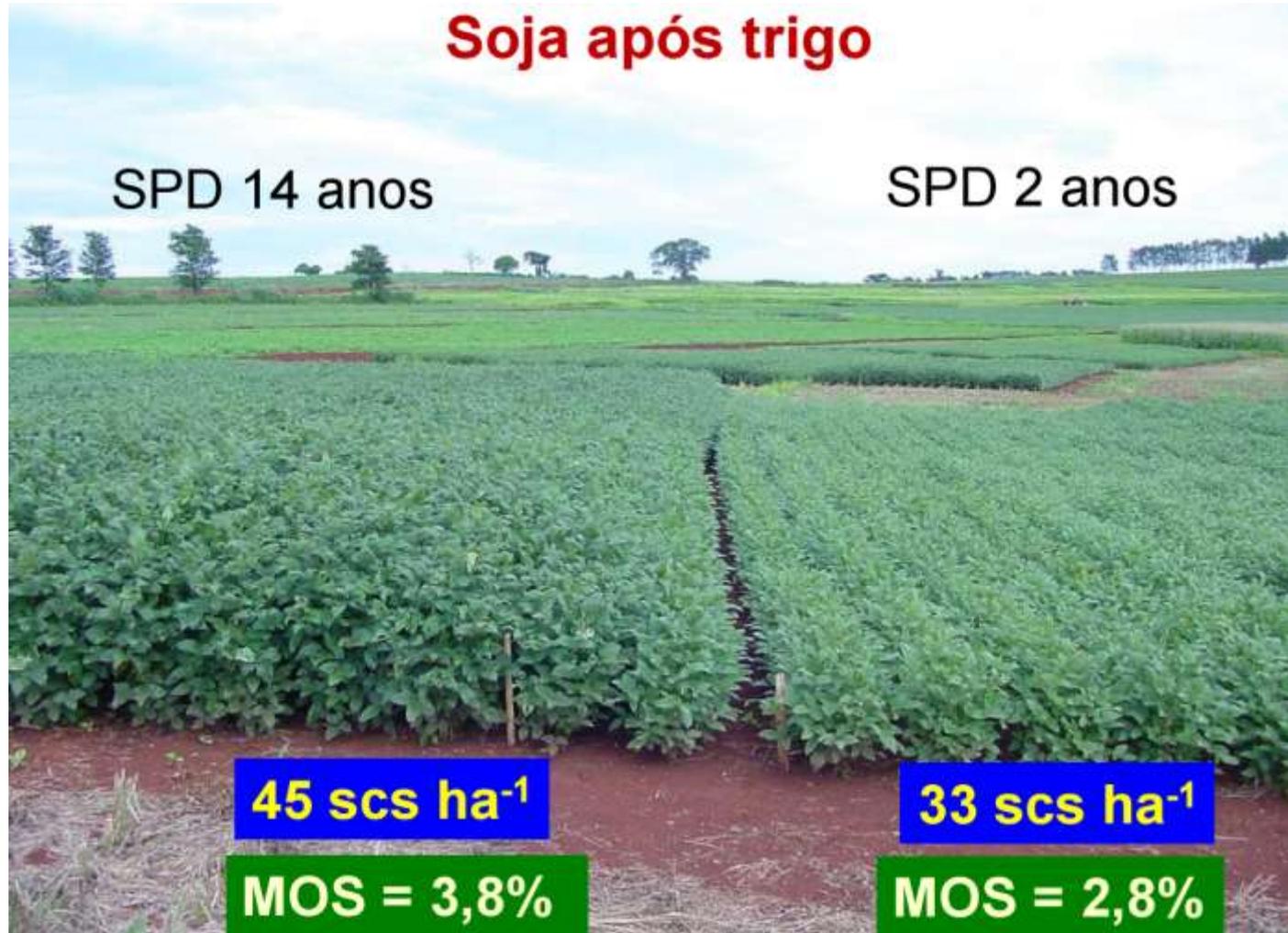


# Efeitos: Sistemas conservacionistas



Debiasi et al., (2015)

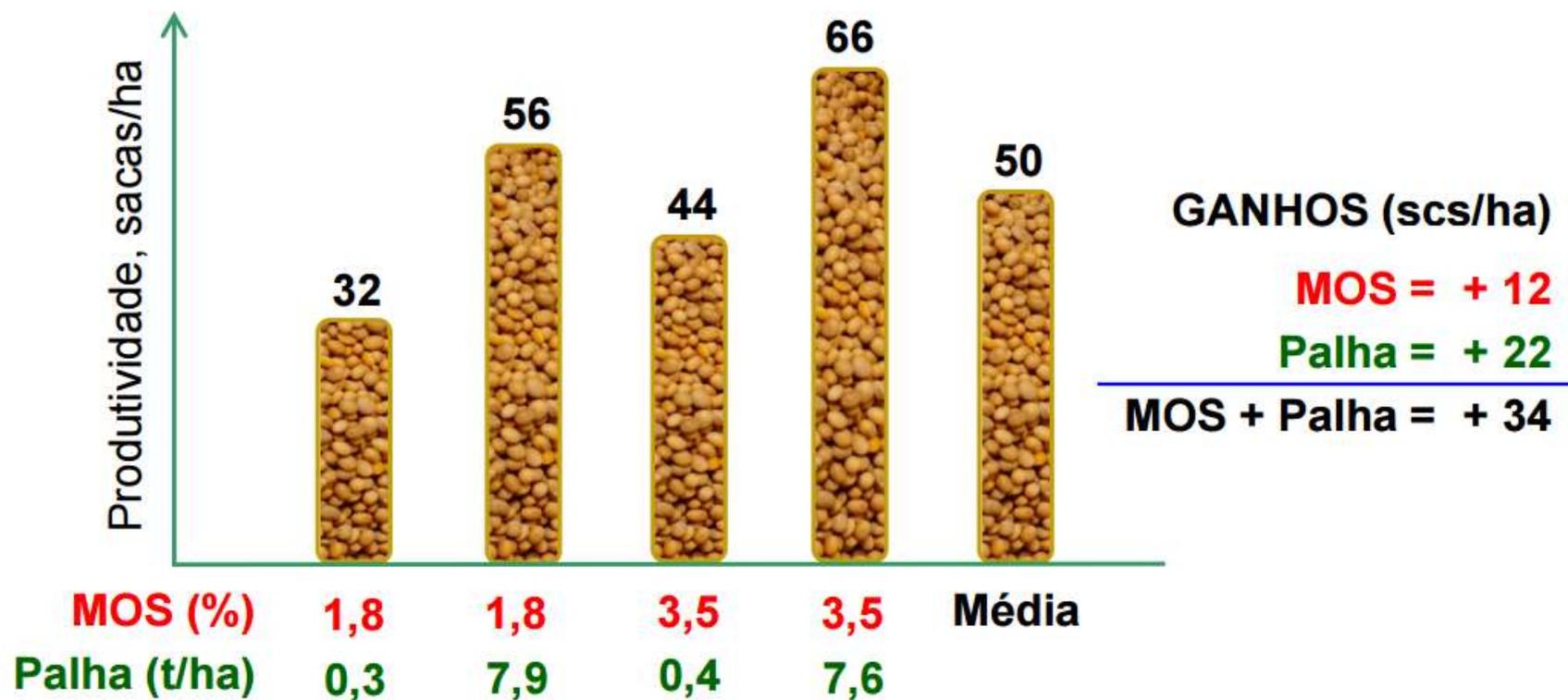
## Efeitos: Sistemas conservacionistas



Debiasi et al., (2015)

# Efeitos do sistema e de manejo

Produtividade da soja (TMG 115RR) em função do teor de MOS e da cobertura do solo na safra 2010/11, em Lucas do Rio Verde/MT.

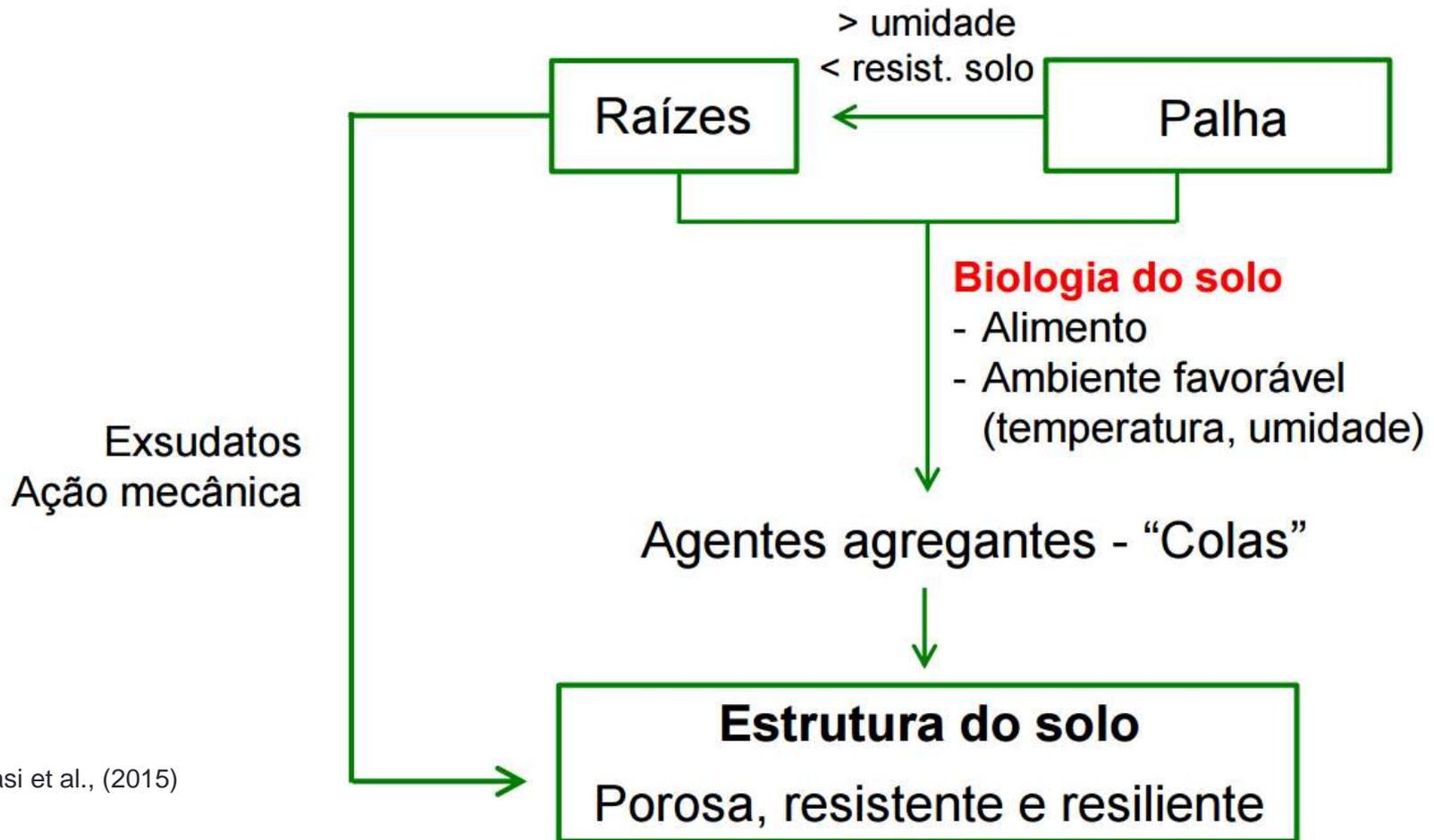


Adaptado de Costa et al. (2014).

Argila: Área 1 (1,8% de MOS)=46%  
 Área 2 (3,5% de MOS)=44%

# Efeitos: Sistemas conservacionistas

## Qualidade física do solo



Debiasi et al., (2015)



Preparo + Monocultura

Faces planas  
Blocos angulados e firmes  
Raízes apenas nas interfaces



Debiasi et al., (2015)

Sistema Plantio Direto



## Preparo do solo

Mobilização realizada para obter condições satisfatórias ao desenvolvimento das plantas

Efeitos desejados: físicos, químicos, biológicos

**Preparo eficiente: assegura, sem causar degradação, os efeitos desejados com baixo consumo de energia por volume mobilizado ao longo do tempo**

## Contexto amplo

O **preparo do solo** está inserido no sistema de manejo e como tal deve ser compreendido como um componente de um sistema complexo

**Sistema de manejo do solo:** conjunto de procedimentos realizados com objetivos de propiciar condições favoráveis à semeadura, ao desenvolvimento e à produção das plantas cultivadas, por tempo ilimitado

# Fontes de Potência...



Homem  
75 W



Microtrator  
13.000 W



Trator  
368.000 W



Cavalo  
300 W

## Máquinas para mobilização do solo

Aquelas destinadas a promover alterações na estrutura MACROSCÓPICA dos horizontes superiores do perfil do solo, ou seja, leito radicular e leito de semeadura



# Máquinas para mobilização do solo

**Características  
Construtivas**



**Ambiente**



**Características  
Operacionais**

- ❖ Possibilidades de ajuste
- ❖ Dimensões
- ❖ Qualidade
- ❖ Garantia
- ❖ Manutenibilidade

- ❖ Capacidade
- ❖ Eficiência
- ❖ Confiabilidade
- ❖ Adequação
- ❖ Segurança

# Processo

## Condição Inicial

Solo compactado e desuniforme, com presença de plantas daninhas

## Estabelecimento

**Preparo do solo**

Aração + Gradagem

Arado e Grade

**Semeadura e adubação**

Semeadora adubadora

**Controle de plantas daninhas**

Aplicação de herbicida

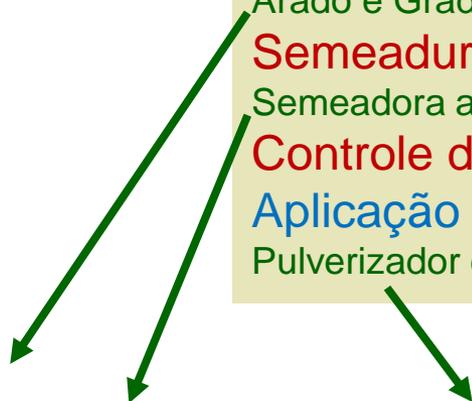
Pulverizador de barras

## Condição Final

Sementes tratadas e depositadas sob uma camada uniforme de solo, em profundidade e densidade adequada

Fertilizante em dose e distância adequada da semente

Ausência de plantas daninhas em competição



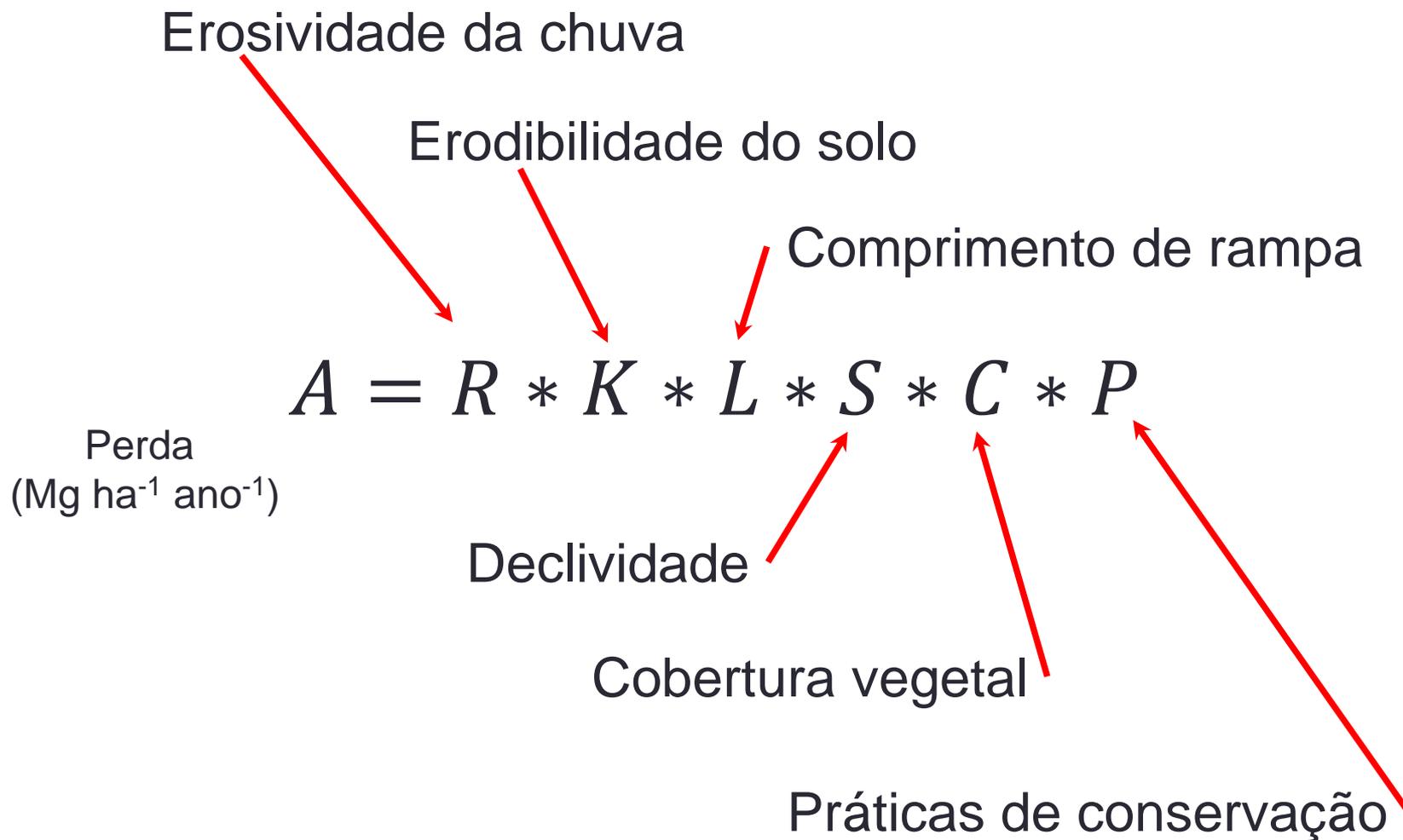
**Máquinas agrícolas são meios para a realização de operações previstas no processo**

# Excesso de preparo





# Equação Universal de Perda do Solo



# Erosão

❖ Processo de desprendimento e arraste das partículas do solo

➤ Vento

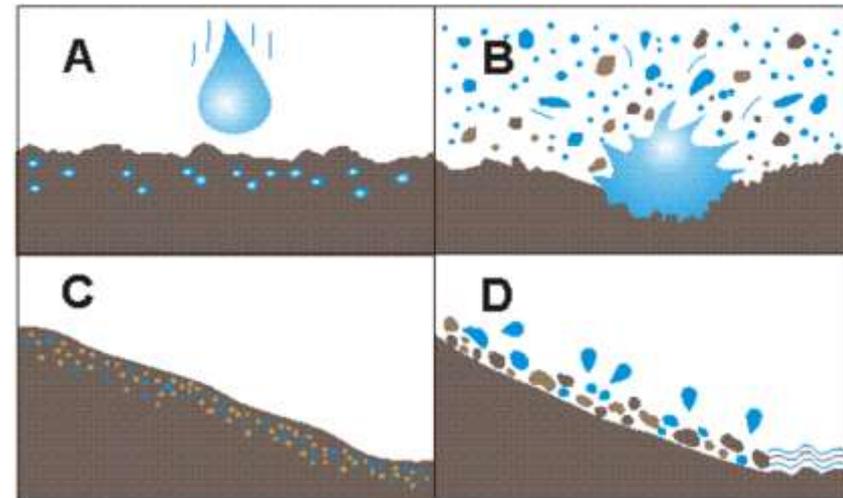
➤ Água

A. Impacto de gotas

B. Fragmentação

C. Entupimento dos poros

D. Escorrimento/Carregamento



Derpsch et al. 1991

# Erosão

- ❖ Impacto da chuva
  - ❖ Laminar
  - ❖ Em sulcos
  - ❖ Voçorocas
- } Escorrimento/Enxurrada



Gassen, 2009



# Efeito do Preparo Sobre Perda de Solo

Tabela 1. Estatísticas descritivas da perda de solo por erosão, por tratamento do Ensaio I (1990 a 1996)

Tratamento	Descrição	Média	s	Mínimo	Máximo	C.V.
		kg ha <sup>-1</sup>				%
T1	Grade aradora	623,45 C	58,36	543,04	714,55	9,36
T2	Sistema alternado	585,34 C	24,63	556,35	625,45	4,21
T3	Escarificação	525,67 C	68,37	417,04	600,35	13,01
T4	Plantio direto	121,36 D	21,14	100,45	154,58	17,42
T5	Aração em nível	606,89 C	64,00	508,56	677,57	10,55
T6	Roçado	73,23 D	4,15	69,45	81,25	5,67
T7	Aração morro abaixo	4.677,89 A	472,96	4.256,88	5.506,25	10,11
T8	Rotavação	1.475,85 B	223,15	1.256,89	1.859,45	15,12

Valores médios (seis safras) seguidos de mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p>0,05$ ). s: desvio-padrão. C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 8. Estatísticas descritivas dos custos de reposição de nutrientes perdidos por erosão para duas safras do Ensaio Atual (2003-2005)

Safrá 2003/04					
Tratamento	Média	s	Mínimo	Máximo	C.V.
	R\$ ha <sup>-1</sup>				%
SD	63,35 A	6,57	56,76	70,23	10,37
PC	129,79 A	75,85	60,23	228,78	65,91
Safrá 2004/05					
SD	60,59 A	4,21	55,95	66,12	6,95
PC	166,13 A	133,17	69,15	352,46	80,15

Custos expressos em reais de 2005, computados os custos totais dos fertilizantes e das aplicações. s: desvio-padrão. C.V.: Coeficiente de variação. Tratamentos: SD: sistema plantio direto. PC: sistema convencional com grade aradora.

# PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

---

## Práticas de caráter vegetativo

- ❖ Diversas práticas que se complementam
  - Reflorestamento
  - Cultivo em faixas
  - Uso de plantas de cobertura
  - Cobertura morta
  - Quebra-ventos
  - Cordões de vegetação permanente

## Práticas de caráter mecânico

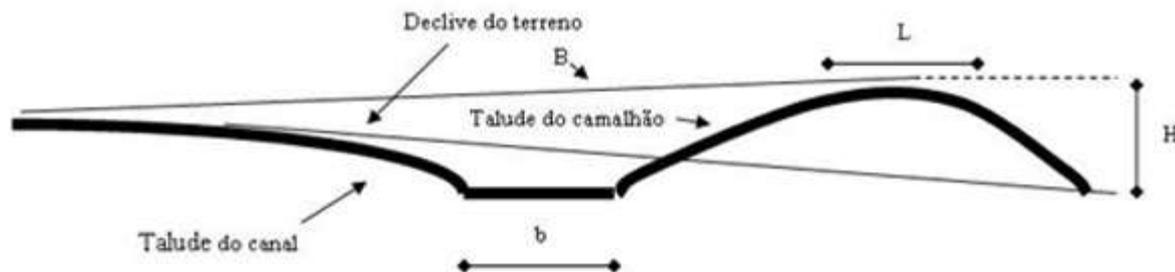
- ❖ Estruturas artificiais adequadas
  - Disposição de porções de terra visando quebrar a velocidade de escoamento da enxurrada e facilitar a infiltração
    - ❖ Distribuição racional das estradas
    - ❖ Cultivo em contorno
    - ❖ Terraceamento

# Terraços

❖ Estruturas constituídas por um canal e um camalhão, dispostas transversalmente ao plano de declive.

➤ Obstáculo físico à enxurrada

- ❖ Redução da velocidade de escoamento superficial
- ❖ Promoção da infiltração da água no solo
- ❖ Remoção da água



# Tipos de Terraços

## ➤ Quanto ao manejo da enxurrada

- ❖ Terraço em nível

- ❖ Terraço com gradiente [http://www.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/BT71.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/BT71.pdf)

## ➤ Quanto ao formato

- ❖ De base larga → 6 a 12 m de movimentação do solo

- ❖ De base média → 3 a 6 m de movimentação do solo

- ❖ De base estreita → até 3 m de movimentação do solo

## ➤ Quanto ao modo de construção

- ❖ Nichols: construído pelos dois lados

- ❖ Mangum: construído pelo lado de cima

# Dimensionamento de Terraços



Espaçamento Vertical:  $EV = 0,4518KD0,58 [(u + m)/2]$

Espaçamento Horizontal:  $EH = (100EV)/D$

**Tabela 6.** Agrupamento de solos segundo sua resistência à erosão (LOMBARDI NETO *et al.*, 1994).

Grupo	Solo <sup>1</sup>	Relação textural <sup>2</sup>	Profundidade	Permeabilidade	Índice K
A	Latossolos textura muito argilosa, argilosa e média	< 1,2	Muito profundo (>2,0 m) e profundo (1,0 a 2,0 m)	Rápida/rápida Moderada/rápida	1,25
B	Latossolos textura arenosa e Nitossolos	1,2 a 1,5	Profundo (1,0 a 2,0 m)	Rápida/rápida Rápida/moderada	1,10
C	Argissolos abruptos ou não	> 1,5	Profundo e moderadamente profundo	Lenta/rápida Lenta/moderada Rápida/moderada	
D	Neossolos litólicos e regolíticos; e Argissolos rasos	Variável	Moderadamente profundo (0,5 a 1,0 m) e raso (0,5 a 0,25 m)	Rápida/moderada Lenta/lenta	

<sup>1</sup>Classes de solos adaptadas ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (SA *et al.*, 2006); <sup>2</sup>Razão entre os teores de argila do Horizonte B sobre os teores do Horizonte A

**Tabela 7.** Agrupamento de culturas segundo a cobertura do solo e respectivos índices (LOMBARDI NETO *et al.*, 1994).

Grupo	Cultura	Proteção ao solo	Índice u
1	Feijão, mandioca e mamona	Muito pouca	0,50
2	Amendoim, algodão, arroz, alho, cebola, girassol e fumo		0,75
3	Soja, batatinha, melancia, abóbora, melão e leguminosas para adubação verde		1,00
4	Milho, sorgo, cana-de-açúcar, trigo, aveia, centeio, cevada, outras culturas de inverno e frutíferas de ciclo curto		1,25
5	Banana, café, citros e frutíferas permanentes		1,50
6	Pastagens e/ou capineiras		1,75
7	Reforestamentos, cacau e seringueira	Muito alta	2,00

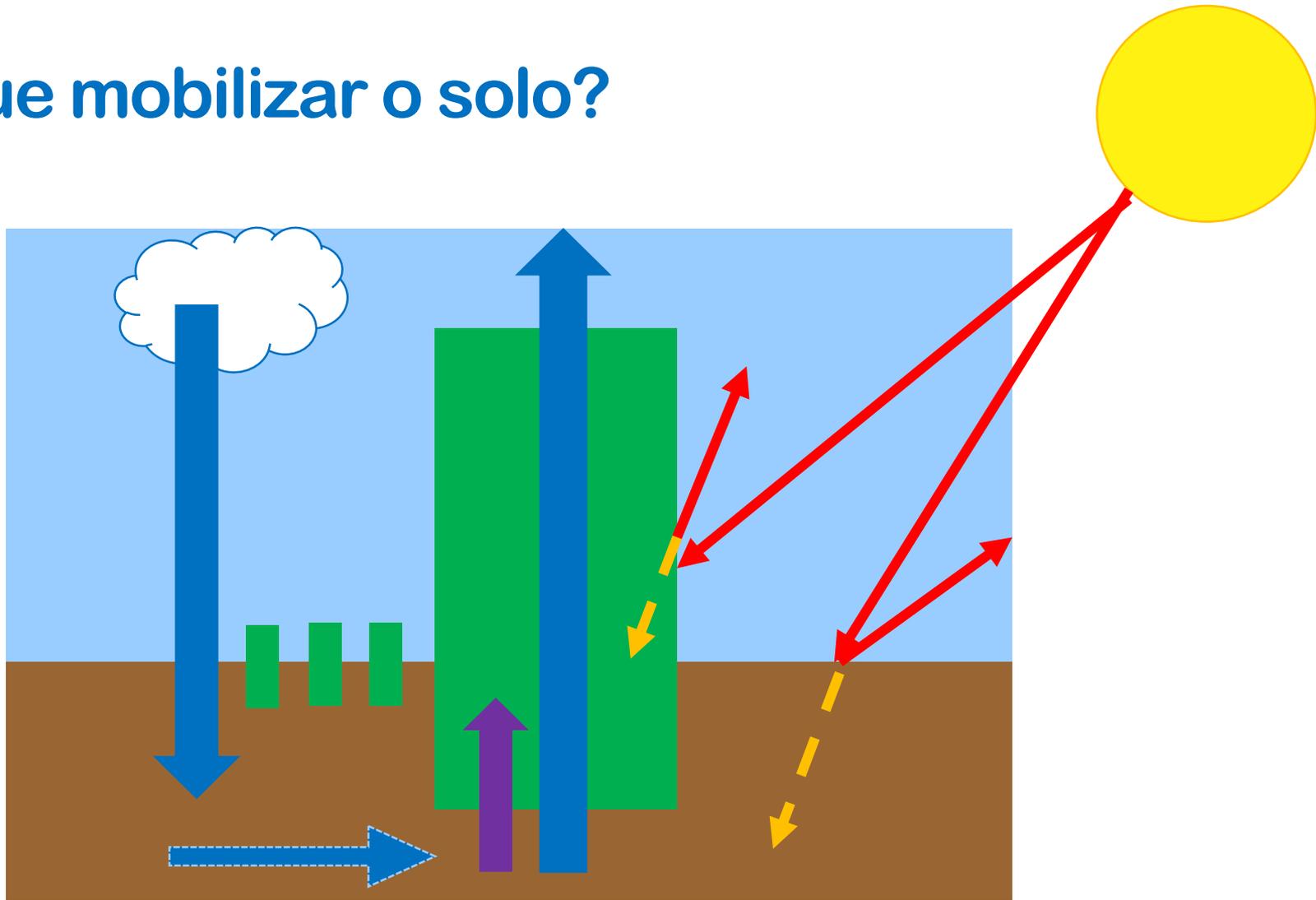
**Tabela 8.** Agrupamento de preparo do solo e manejo de restos culturais com seus respectivos índices (LOMBARDI NETO *et al.*, 1994).

Grupo	Preparo primário	Preparo secundário	Restos culturais	Índice m
1	Grade aradura (ou pesada) ou enxada rotativa	Grade niveladora	Incorporados	0,50
2	Arado de disco ou aiveca	Grade niveladora	Incorporados	0,75
3	Grade leve	Grade niveladora	Parcialmente incorporados com ou sem rotação de culturas	1,00
4	Arado escarificador	Grade niveladora	Parcialmente incorporados com ou sem rotação de culturas	1,50
	Não tem	Plantio sem revolvimento do solo, ração-deira, rolo-faca, e herbicidas (plantio direto)	Superfície do terreno	2,00

# NECESSIDADE DE MOBILIZAR O SOLO

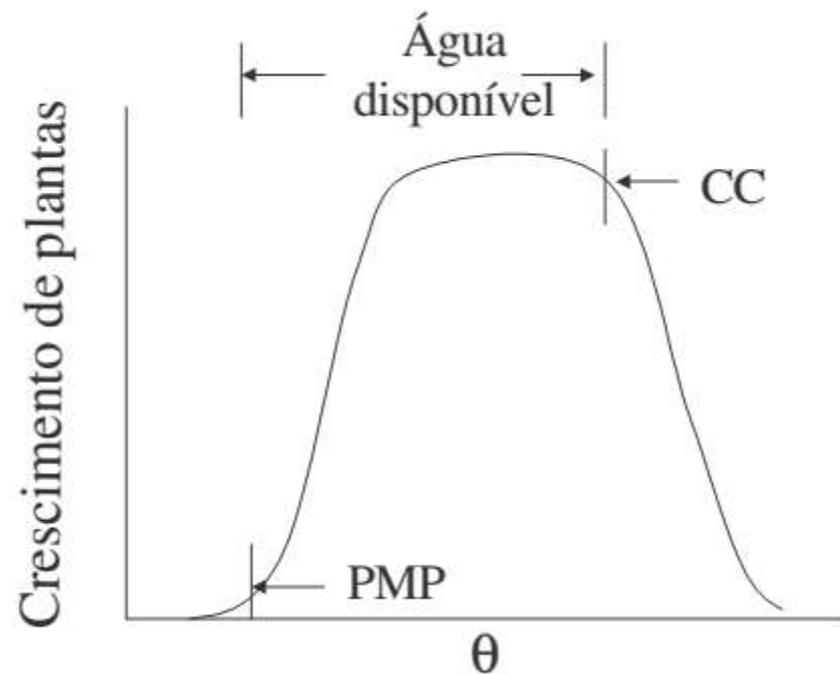
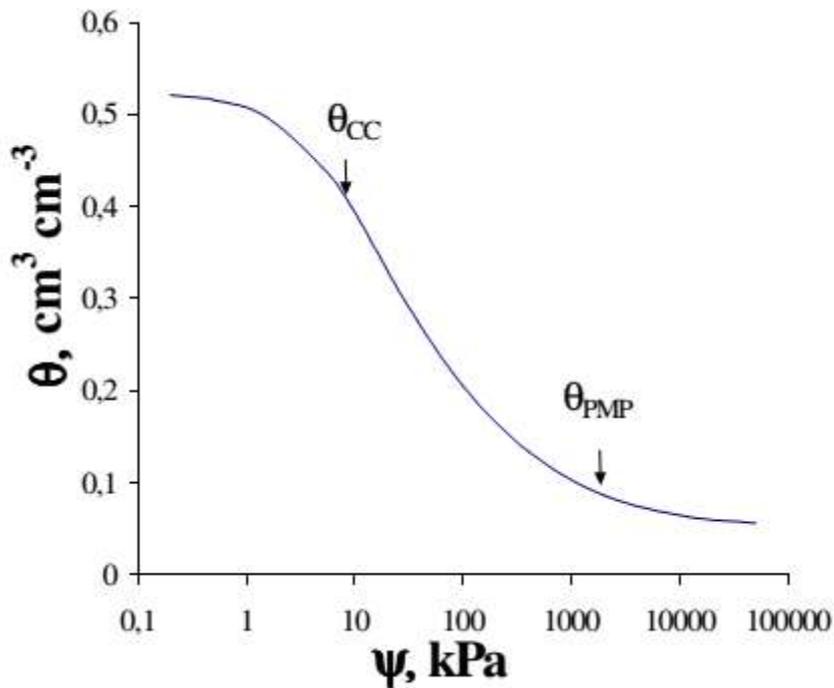
---

# Porque mobilizar o solo?

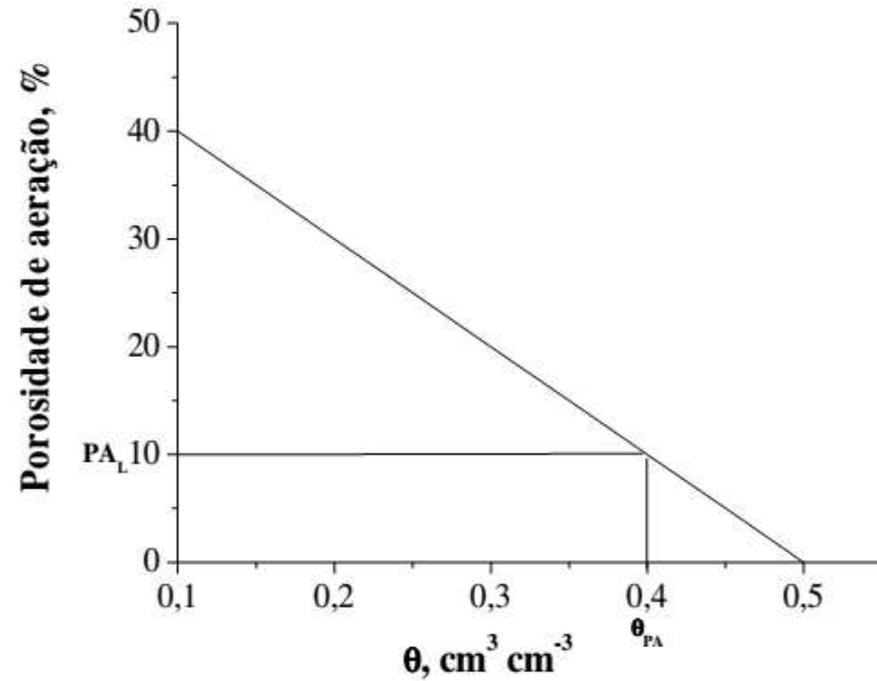
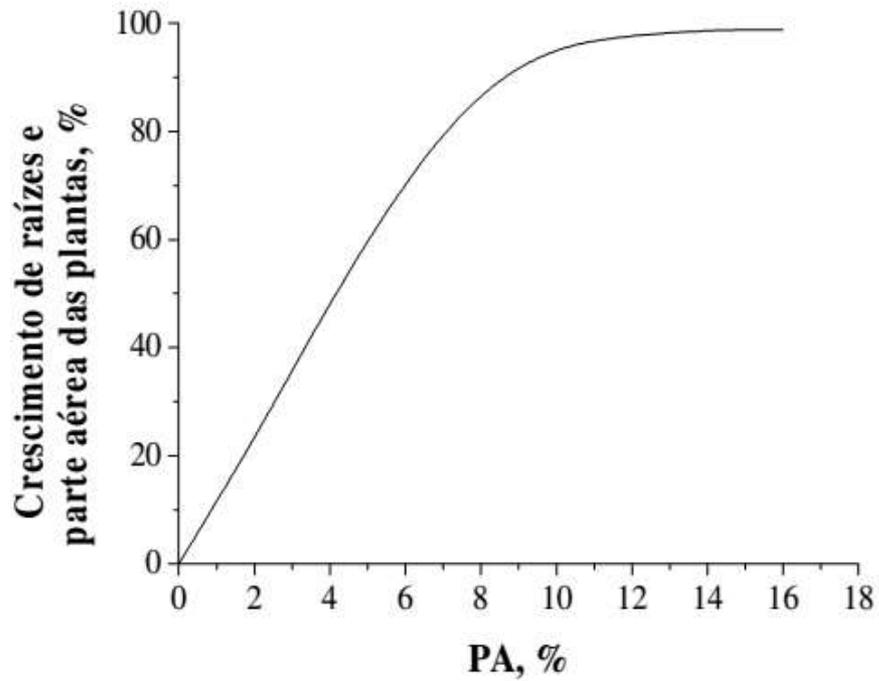


# Disponibilidade hídrica

$$\text{CAD} = (\text{CC} - \text{PMP}) \times Z$$

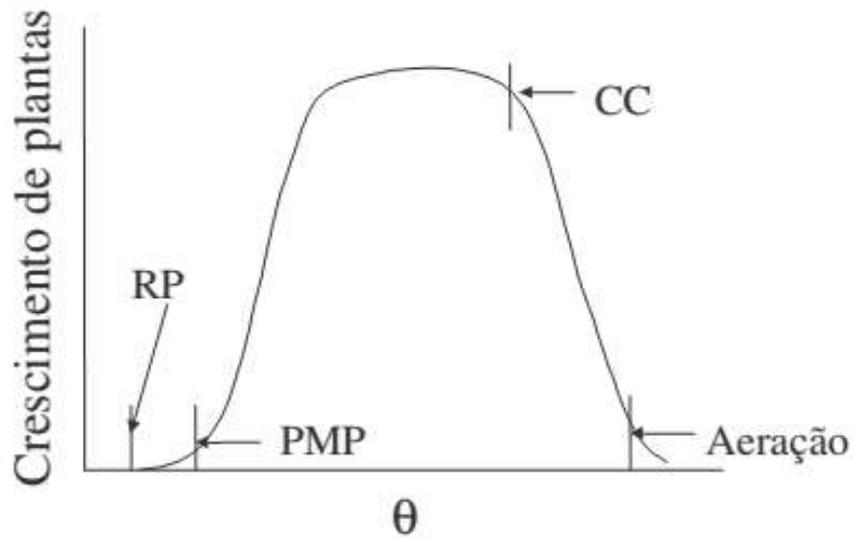


# Aeração

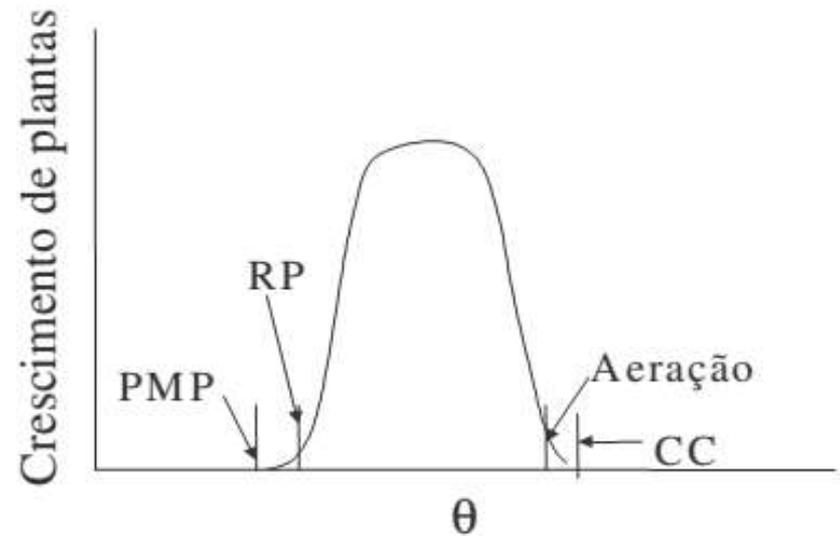


# Densidade

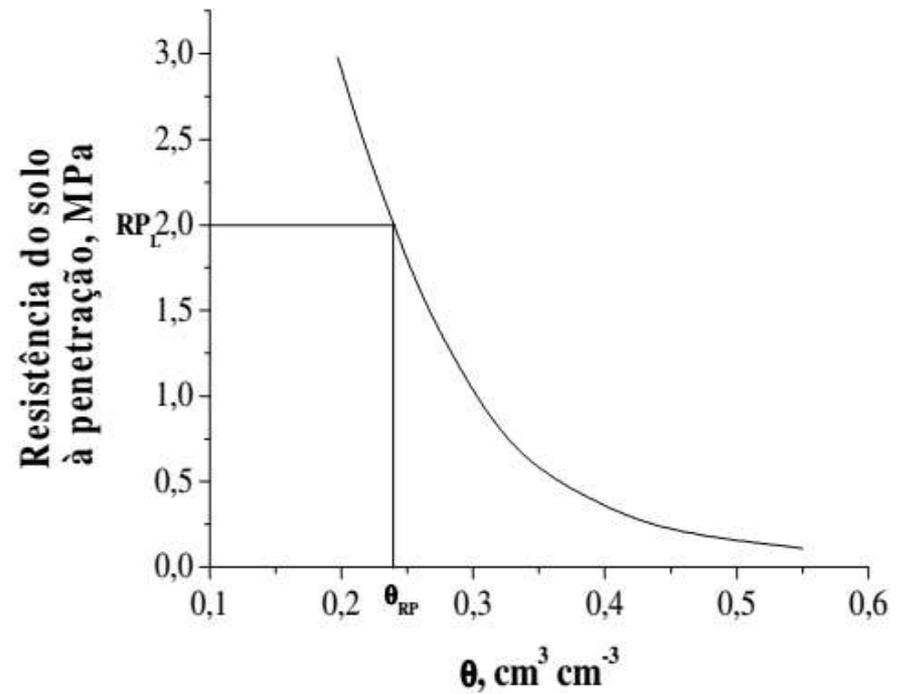
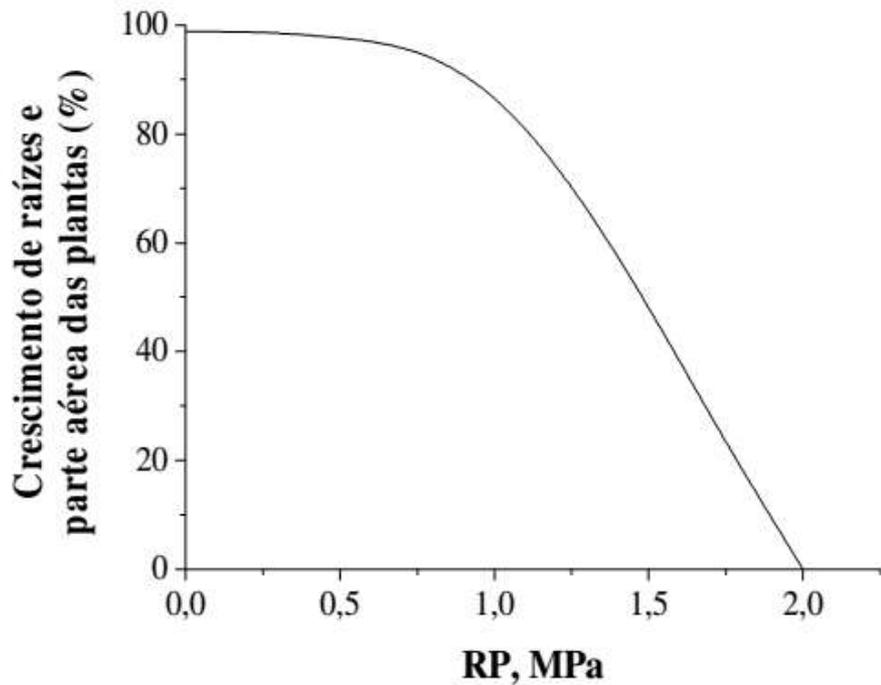
Solos não compactados



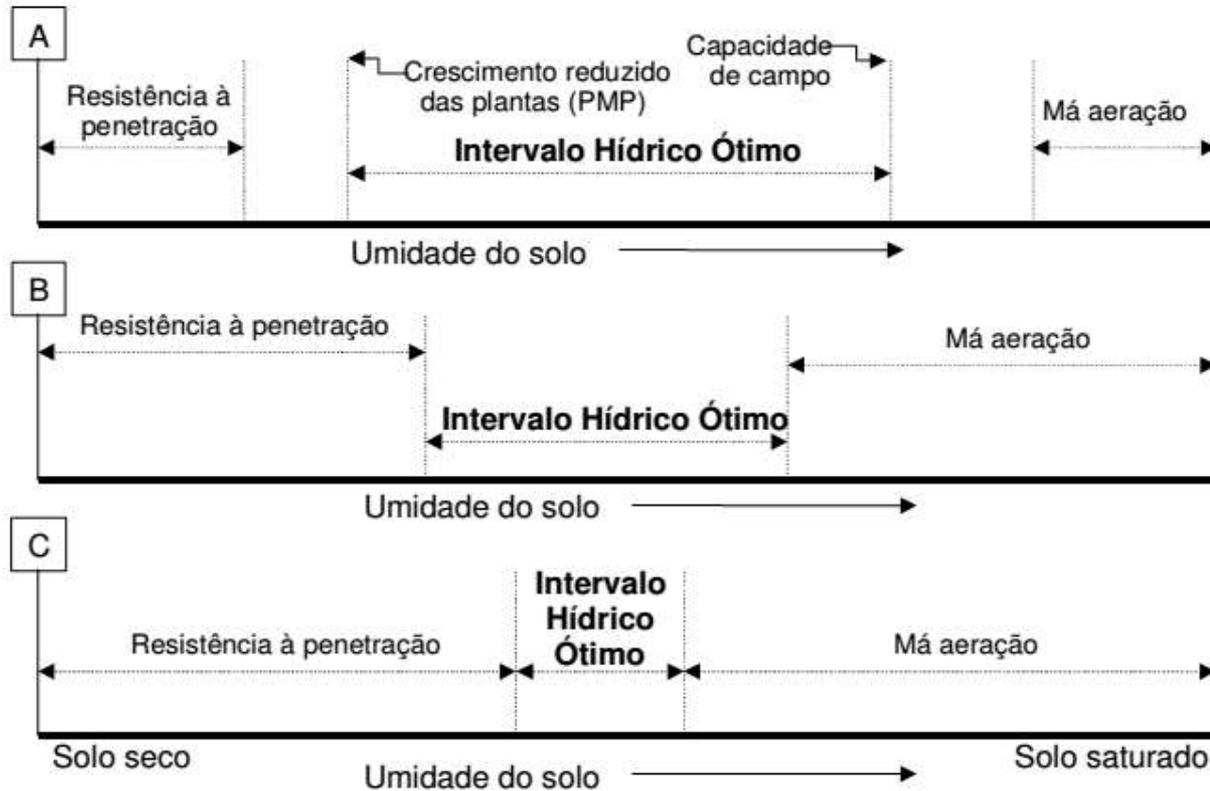
Solos compactados



# Resistência mecânica



# Restrições físicas ao desenvolvimento radicular



## Restrições químicas ao desenvolvimento radicular

- ❖ Agricultura em ambiente tropical
  - Solos altamente intemperizados
  - Baixa disponibilidade de nutrientes
  - Alumínio
  - Acidez

Calagem

Reação f(superfície de contato,  
presença de umidade)

Correção  
nutrientes

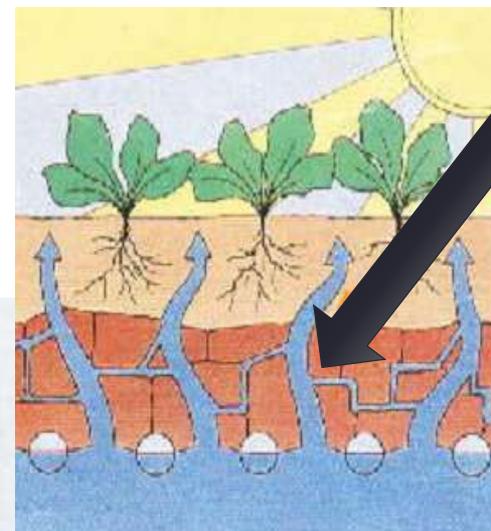
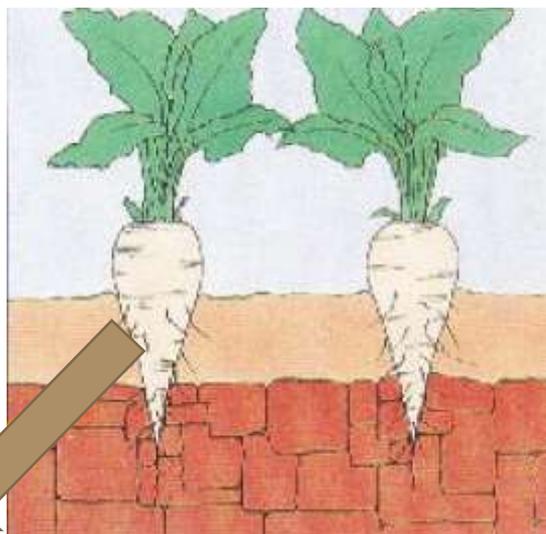
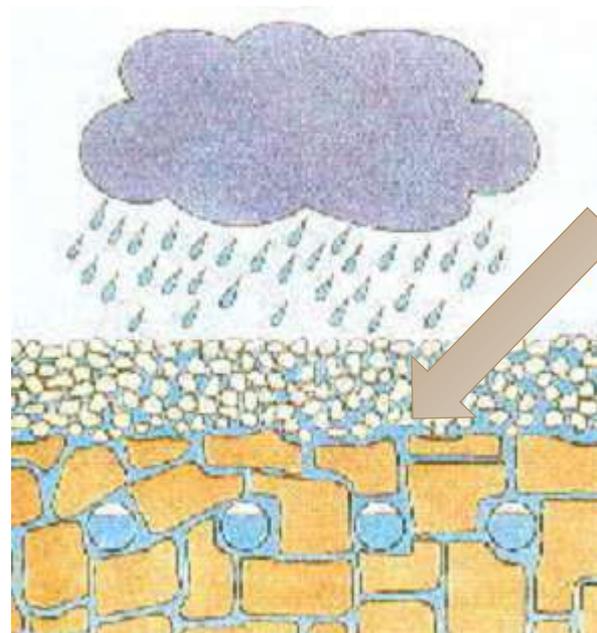
Absorção via interceptação radicular,  
fluxo de massa e difusão

# O Solo sob preparo- Adequado

❖ Ambiente propício à plantas

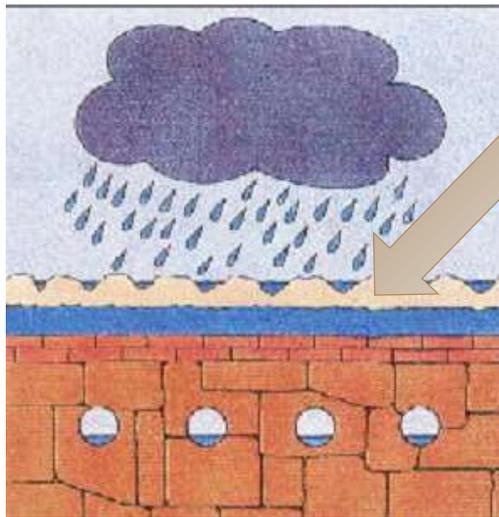
Melhora infiltração

Preserva capilaridade

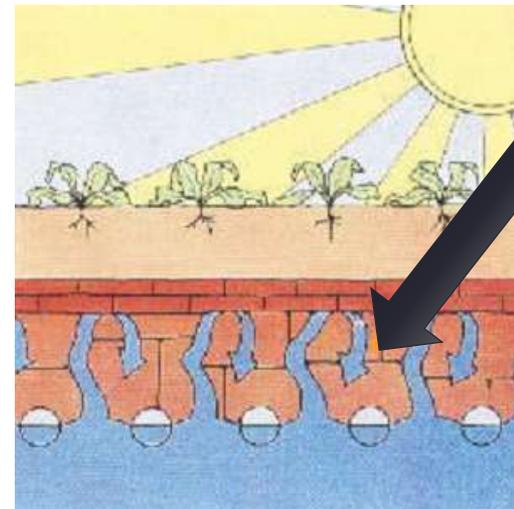


Resistência mecânica adequada

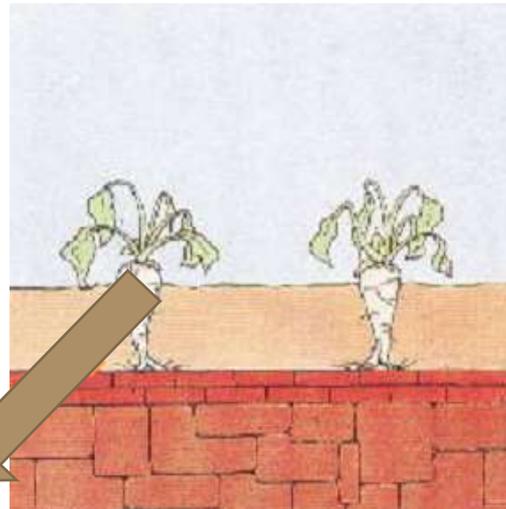
# Solo com estrutura degradada



Infiltração impedida



Capilaridade rompida



Resistência mecânica elevada

## Diagnóstico para o preparo

### ❖ Causa 1ª da compactação: Máquinas

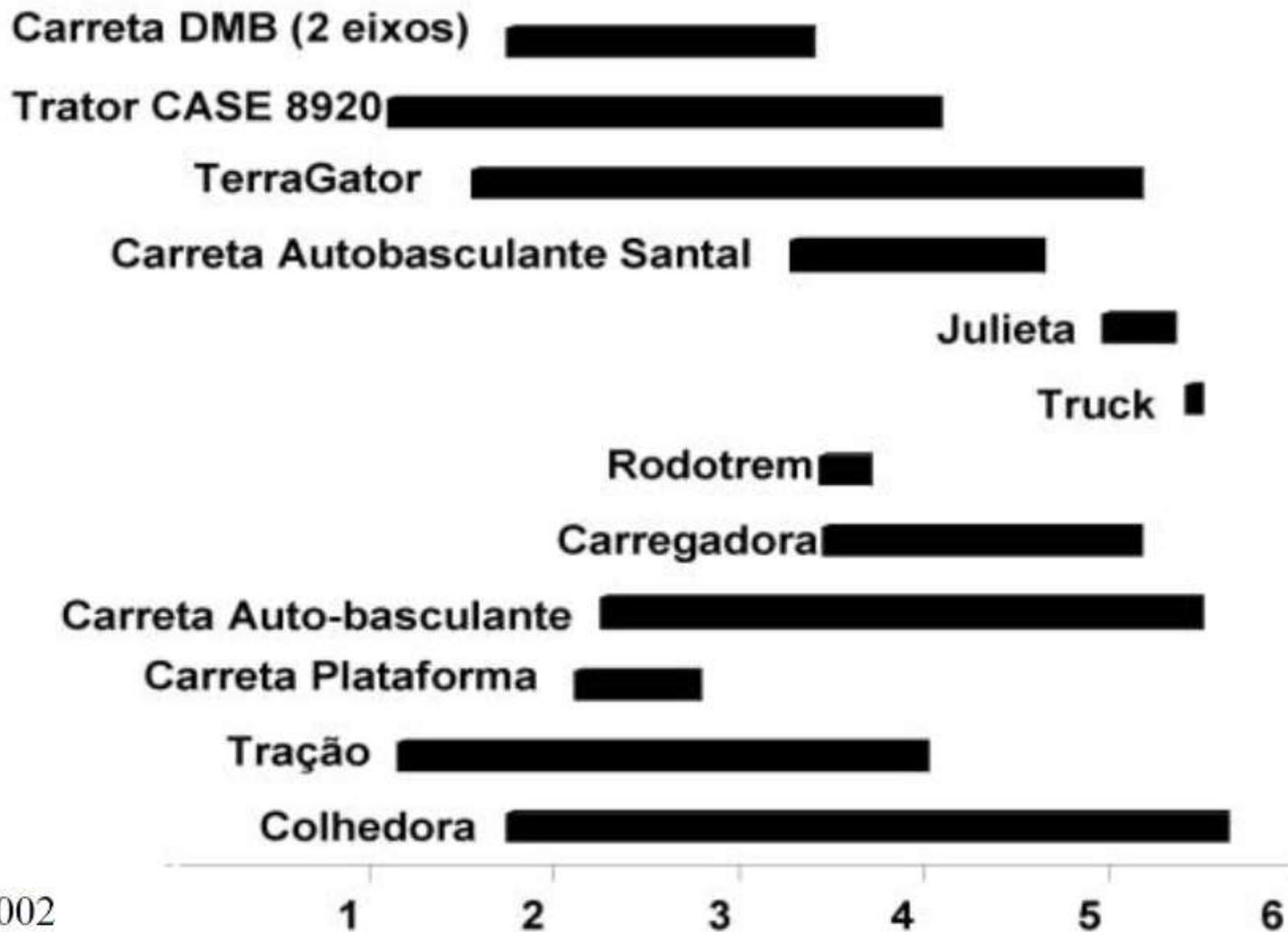
➤ Cargas sobre o solo excedem o limite de deformação plástica

❖ Ex: Pulverizador autopropelido

- Largura dos pneus: 13,6" = 0,34 m
- Peso do equipamento: 9500 kg
- Pressão de inflação: 22 a 50 lb pol<sup>2</sup> = 152 a 344 kPa = 1,5 a 3,5 kg cm<sup>2</sup>

Cargas entre 1,5 e 2 kg cm<sup>-2</sup> podem levar a deformações e restrição ao sistema radicular

# Pressão no solo por alguns veículos e pneus (kg/cm<sup>2</sup>)

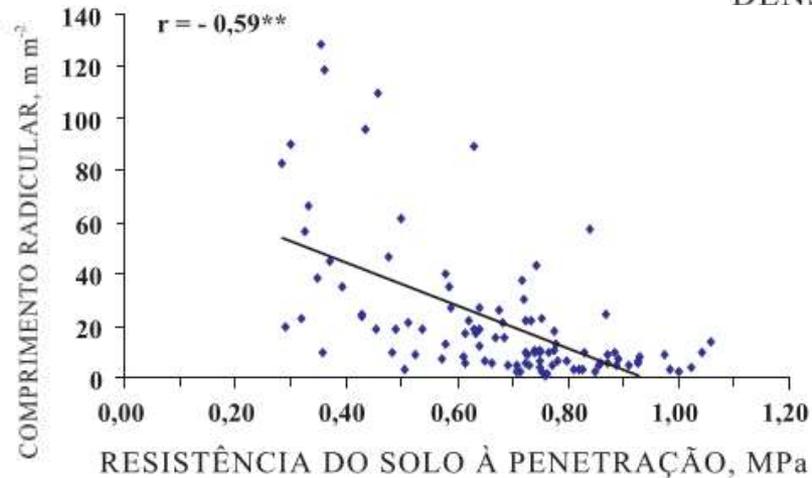
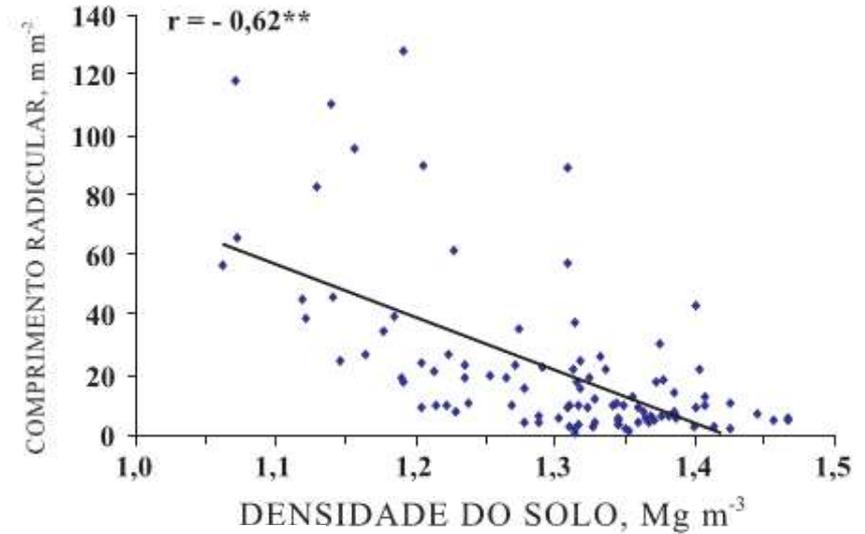
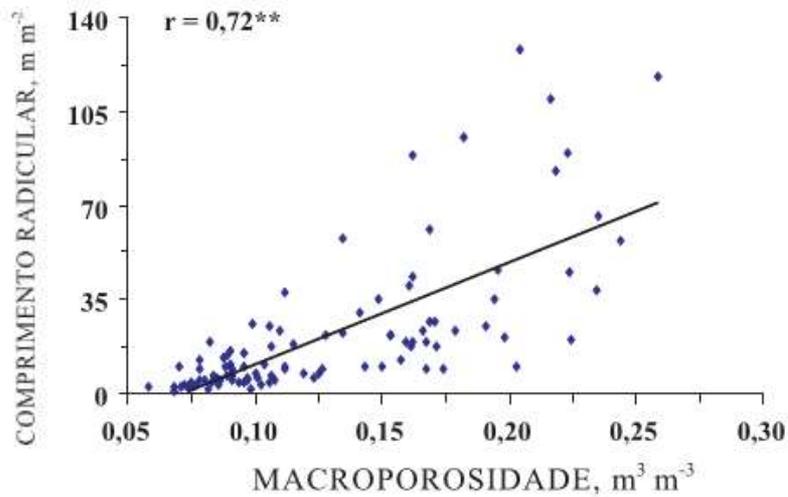


# Compactação

Tratamento <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)			
	0,0–0,05	0,05–0,10	0,10–0,15	0,15–0,20
	Comprimento radicular (m m <sup>-2</sup> )			
PD	101,11 a	69,40 a	31,68 a	17,68 a
PDc1	55,38 b	24,95 b	11,75 b	6,94 b
PDc2	21,71 c	13,24 bc	8,39 bc	4,83 bc
PDc4	20,05 c	9,75 bc	6,12 bc	3,80 bc
PDc6	16,44 c	7,76 c	4,61 c	2,80 c
CV (%)	37,39	45,83	37,69	38,36
	Superfície radicular (cm m <sup>-2</sup> )			
PD	830,87 a	599,27 a	281,62 a	171,86 a
PDc1	611,31 b	298,06 b	134,41 b	81,23 b
PDc2	241,91 c	132,96 c	82,47 bc	48,25 bc
PDc4	219,60 c	110,28 c	69,22 c	37,52 c
PDc6	165,22 c	76,42 c	41,70 c	25,63 c
CV (%)	38,59	40,75	36,25	40,52
	Diâmetro de raiz (mm)			
PD	0,97 a	1,00 a	0,99 a	0,96 a
PDc1	0,98 a	1,01 a	0,94 ab	0,87 a
PDc2	0,92 ab	0,82 b	0,76 bc	0,74 b
PDc4	0,82 bc	0,89 ab	0,82 abc	0,70 b
PDc6	0,70 c	0,78 b	0,71 c	0,69 b
CV (%)	10,35	13,40	15,18	9,44

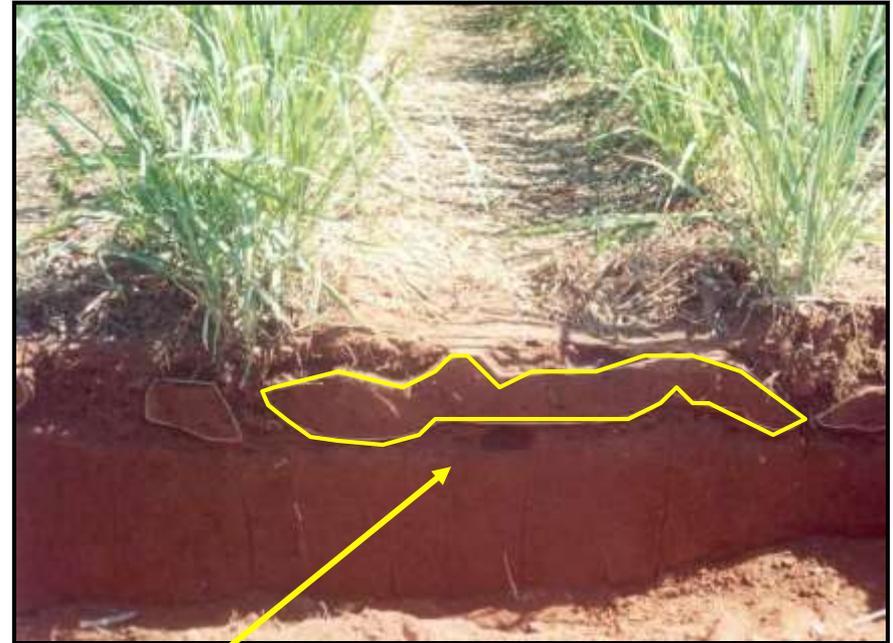
<sup>(1)</sup> PD: plantio direto sem compactação adicional; PDc1, PDc2, PDc4 e PDc6: correspondem a plantio direto com compactação adicional por tráfego de trator de 5 Mg em uma, duas, quatro e seis passadas, respectivamente. Médias na coluna, seguidas de mesma letra, não diferem pelo teste de Duncan a 5%.

# Efeitos da Compactação



Bergamin et al. 2010

## Excesso de tráfego



**Camada Compactada**  
**0 a 35 cm**

# Efeitos da Compactação

Entrelinhas - Tráfego

Linha de cana

# Diagnóstico da Compactação

## ❖ Método fundamental

- Exame morfológico do sistema radicular
- Estádio de máximo desenvolvimento da cultura
- Trincheiras com 30 cm de lado e 50 cm de profundidade



# Diagnóstico da Compactação

## ❖ Análise visual do solo

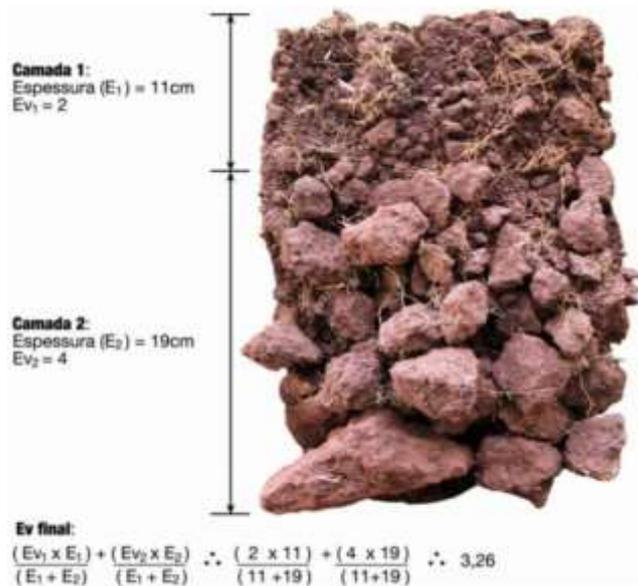


Figura 1 - Exemplo da aplicação da metodologia para obtenção do escore visual (Ev) pelo método de BALL et al. (2007).

Método de avaliação visual da qualidade da estrutura aplicado a Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. Giarola et al. (2009)

Ciência Rural, Santa Maria, v.39, n.8, p.2531-2534

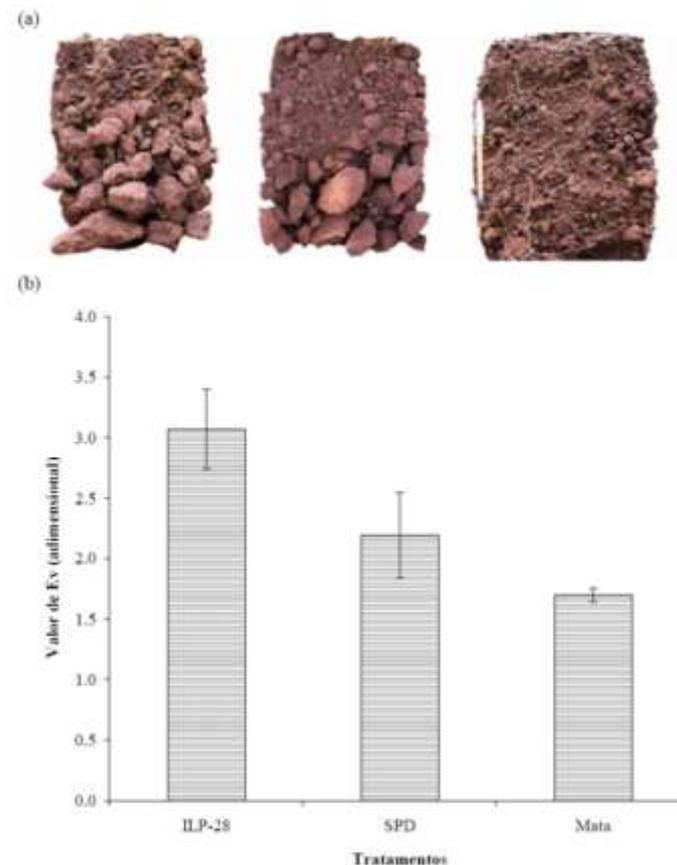


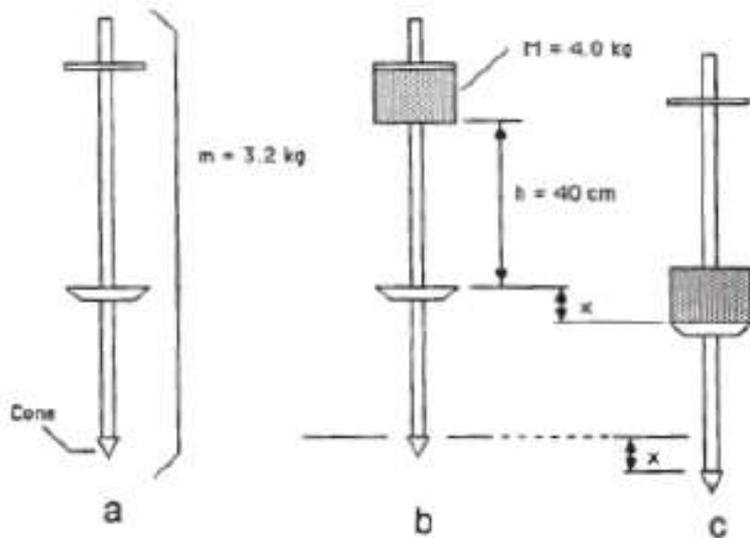
Figura 2 - Amostras representativas dos tratamentos ILP-28, SPD e Mata (a) e respectivos valores médios dos escores de qualidade estrutural (Ev) (b), de acordo com a metodologia de BALL et al. (2007). Em (b), as barras indicam o desvio padrão da média.

## Diagnóstico da Compactação

- ❖ Resistência do solo à penetração
  - É uma propriedade dinâmica, se manifesta como resposta à reação do solo à aplicação de forças;
  - A resistência de um dado solo é influenciada pelo teor de água;
  - Proceder à mensuração em condição de umidade padronizada:
    - ❖ Próximo à capacidade de campo;

# Diagnóstico da Compactação

- Penetrômetros de carregamento contínuo
  - ❖ Penetração obtida pela aplicação de força contínua na haste
- Penetrômetros de impacto
  - ❖ Penetração através de impactos de uma massa



# Diagnóstico da Compactação

- Penetrógrafos → fornecem gráficos da variação da resistência em função da profundidade



# Diagnóstico da Compactação

- Penetrógrafos e penetrômetros
  - ❖ Cones padronizados: 30° e 12,83 mm de base
  - ❖ Velocidade de penetração constante: 3 cm s<sup>-1</sup>
  - ❖ Mensuração em condição de solo Capacidade de Campo
  - ❖ Cuidados na comparação de valores de instrumentos distintos

LVd				LVef			
Densidade do Solo	Penetrômetro Impacto	Penetrômetro Anel	Penetrômetro Eletrônico	Densidade do Solo	Penetrômetro Impacto	Penetrômetro Anel	Penetrômetro Eletrônico
1,17	0,60 Ca	0,47 Ca	0,54 Ca	0,93	0,54 Ca	0,39 Ca	0,40 Ca
1,41	2,97 Ba	2,83 Ba	2,73 Ba	1,15	3,00 Ba	2,25 Bb	1,91 Bb
1,58	4,40 Aa	3,93 Ab	3,61 Ab	1,27	4,96 Aa	3,95 Ab	3,40 Ab
C.V. (%)		6,9				12,1	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si ( $P \leq 0,05$ ).

Beutler et al. (2007)

# Diagnóstico da Compactação

## ➤ Resistência à penetração

- ❖ Mensurada em MPa ou kPa:
- ❖  $1 \text{ kPa} = 0,010 \text{ kg cm}^2$
- ❖  $1 \text{ Mpa} = 10,2 \text{ kg cm}^2$
- ❖ Valor de referência 2 MPa geral
- ❖ Cuidado com valores, há trabalho que demonstra que para a cultura da soja 3 Mpa não é restritivo.

# Outros parâmetros

## DENSIDADE DO SOLO

Oscila em função da granulometria

Referência: 1,5 kg dm<sup>3</sup>

Nos arenosos tende a ser maior f(dens. Partícula)

Quadro 1. Valores críticos de densidade do solo ( $Ds_c$ ) e macroporosidade ( $Ma_c$ ) baseados na observação de restrições em experimentos de campo.

Autor	Granulometria	$Ds_c$	$Ma_c$	Restrição
	g kg <sup>-1</sup>	Mg m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
De Maria et al. (1999)	750 argila 200 silte 50 areia	1,21	-	Redução do crescimento radicular da soja
Strack (2003)	89,3 argila 297 silte	1,79	0,06	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
	614 areia	1,81	0,05	Redução do crescimento radicular e produtividade da soja
Secco (2003)	555 argila 224 silte 221 areia	1,62	-	Redução da produtividade do trigo, mas não da soja e do milho
	610 argila 290 silte 100 areia	1,54	-	Redução da produtividade do trigo e do milho, mas não da soja
Beutier et al. (2004b)	271 argila 42 silte 687 areia	1,63	-	Redução do crescimento radicular e produtividade do arroz
Collares (2006)	607 argila 176 silte 217 areia	1,49 a 1,53	0,07-0,12	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
	89,3 argila 297 silte 614 areia	1,76 1,84	0,09 0,08	Redução do crescimento radicular do feijoeiro Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
Suzuki (2005)	278 argila 331 silte 391 areia	1,66	0,07	
	400 argila 457 silte 143 areia	1,52	0,06	Redução do crescimento radicular da soja
	546 argila 341 silte 114 areia	1,39	0,10	
	654 argila 261 silte 86 areia	1,36	0,05	Redução do crescimento radicular e produtividade da soja e redução da produtividade do milho

Fonte: Reinert et al. (2006).

# Outros parâmetros

## MACROPOROSIDADE

Referência:  $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$

Quadro 1. Valores críticos de densidade do solo ( $D_{sc}$ ) e macroporosidade ( $M_{ac}$ ) baseados na observação de restrições em experimentos de campo.

Autor	Granulometria	$D_{sc}$	$M_{ac}$	Restrição
	g kg <sup>-1</sup>	Mg m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
De Maria et al. (1999)	750 argila 200 silte 50 areia	1,21	-	Redução do crescimento radicular da soja
Strack (2003)	89,3 argila 297 silte	1,79	0,06	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
	614 areia	1,81	0,05	Redução do crescimento radicular e produtividade da soja
Secco (2003)	555 argila 224 silte 221 areia	1,62	-	Redução da produtividade do trigo, mas não da soja e do milho
	610 argila 290 silte 100 areia	1,54	-	Redução da produtividade do trigo e do milho, mas não da soja
Beutler et al. (2004b)	271 argila 42 silte 687 areia	1,63	-	Redução do crescimento radicular e produtividade do arroz
Collares (2005)	607 argila 176 silte 217 areia	1,49 a 1,53	0,07-0,12	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
	89,3 argila 297 silte	1,76	0,09	Redução do crescimento radicular do feijoeiro
	614 areia	1,84	0,08	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
Suzuki (2005)	278 argila 331 silte 391 areia	1,66	0,07	
	400 argila 457 silte 143 areia	1,52	0,06	Redução do crescimento radicular da soja
	546 argila 341 silte 114 areia	1,39	0,10	
	654 argila 261 silte 86 areia	1,36	0,05	Redução do crescimento radicular e produtividade da soja e redução da produtividade do milho

Fonte: Reinert et al. (2006).

## Outros parâmetros

### GRAU DE COMPACTAÇÃO

Relação entre as densidades da amostra que se deseja caracterizar e aquela obtida através da sua submissão a uma pressão padronizada

Referência 77 a 88%

# Outros parâmetros

## PRESSÃO DE PRECONSOLIDAÇÃO

Obtida em laboratório através da aplicação de cargas crescentes sobre amostras indeformadas Indicativo da capacidade de suporte do solo que caso superada promove compactação adicional

Quadro 2. Valores médios de pressão de pressão de preconsolidação (kPa) em função do estado inicial de compactação de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e um Latossolo Vermelho distrófico típico. Amostras com grau de saturação em água na faixa de 50 a 80 %.

Profundidade (m)	Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )			
	1,31-1,45	1,46-1,60	1,61-1,75	1,76-1,80
	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico			
0,00-0,02	70,9	73,1	115,6	132,6
0,10-0,12	62,3	91,7	98,5	105,4
	Latossolo Vermelho distrófico típico			
0,00-0,02	50,8	99,4	168,3	
0,10-0,12	70,5	100,5	131,9	

Fonte: Silva et al. (2002a).

Quadro 3. Valores médios de pressão de pressão de preconsolidação (kPa) em função grau de saturação em água de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e um Latossolo Vermelho distrófico típico.

Profundidade (m)	Grau de saturação (%)						
	<15	16-30	31-45	46-60	61-75	76-90	91-100
	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico						
0,00-0,02 <sup>(1)</sup>	160,2	136,4	72,4	69,6	70,4	67,9	nd
0,10-0,12 <sup>(2)</sup>	139,0	156,0	156,2	141,2	119,3	112,1	87,0
	Latossolo Vermelho distrófico típico						
0,00-0,02 <sup>(3)</sup>	176,8	nd	159,4	128,7	78,2	88,6	76,6
0,10-0,12 <sup>(3)</sup>	86,9	140,4	152,8	160,7	98,7	76,4	53,9

<sup>(1)</sup> Densidade do solo = 1,46-1,60 kg dm<sup>-3</sup>; <sup>(2)</sup> Densidade do solo = 1,61-1,75 kg dm<sup>-3</sup>; <sup>(3)</sup> Densidade do solo = 1,30 a 1,45 kg dm<sup>-3</sup>; nd = não determinado.

Fonte: Silva et al. (2002b).

# PROPRIEDADES DO SOLO E SEU EFEITO SOBRE O PREPARO

---

# Compactação

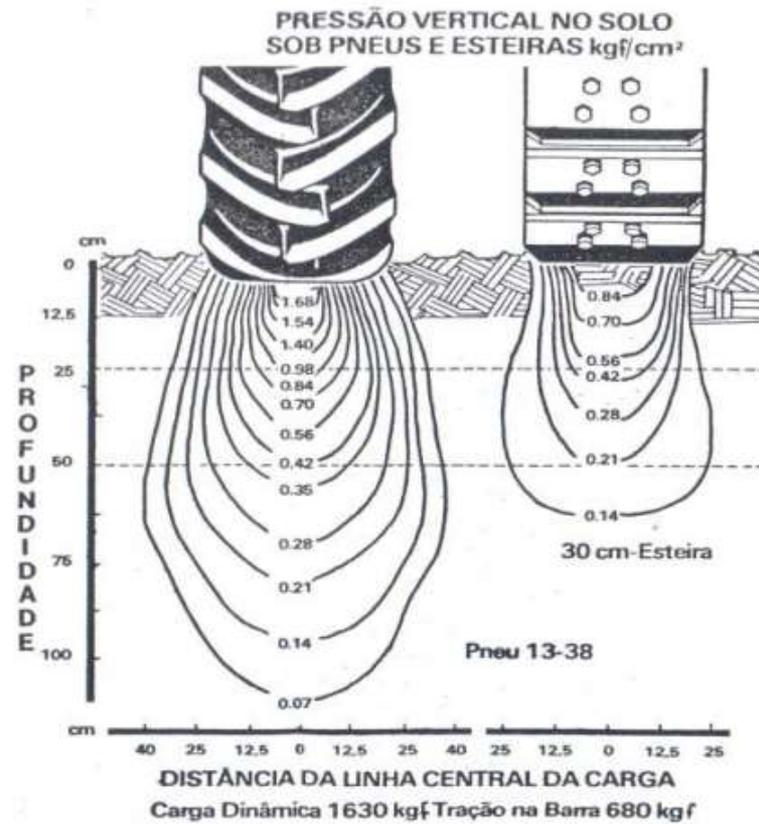
- ❖ Alteração da estrutura com redução do espaço poroso

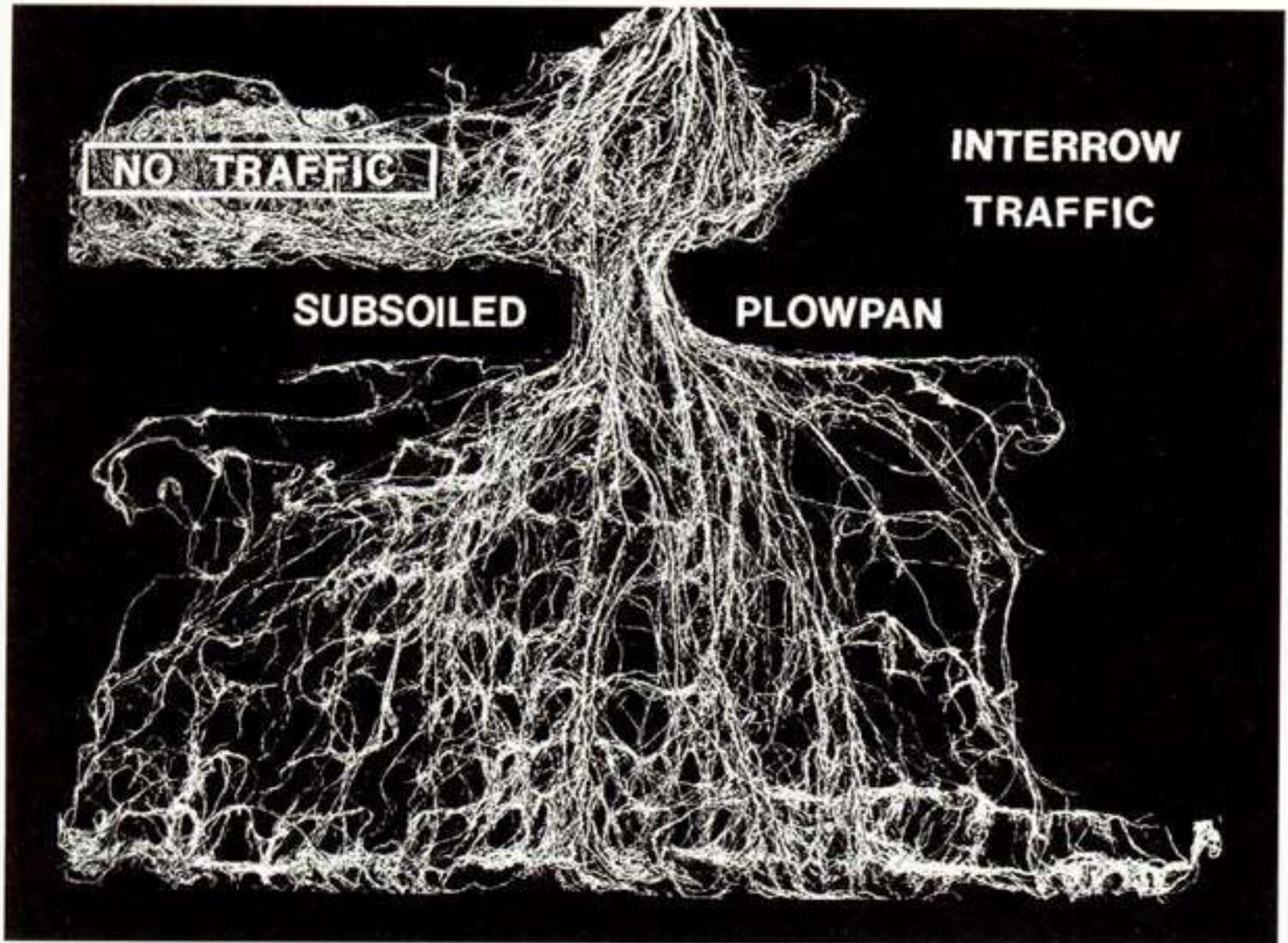
**Redução do espaço poroso do solo causada pelo manejo**

**Adensamento do solo pela aplicação de energia mecânica**

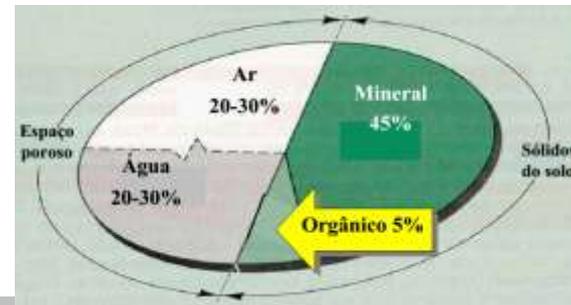
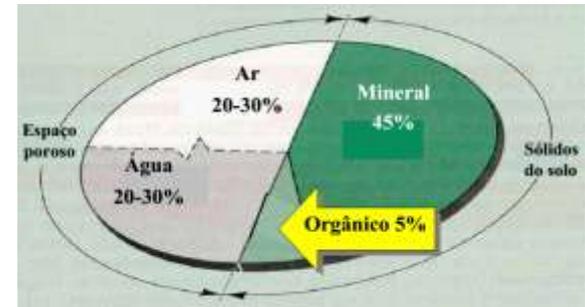
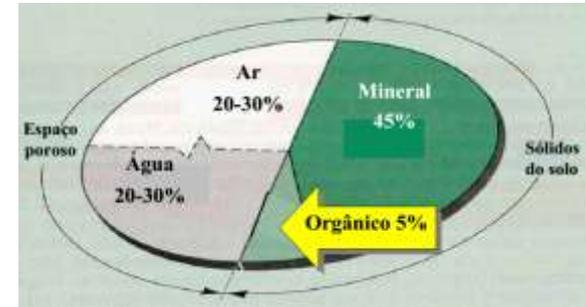
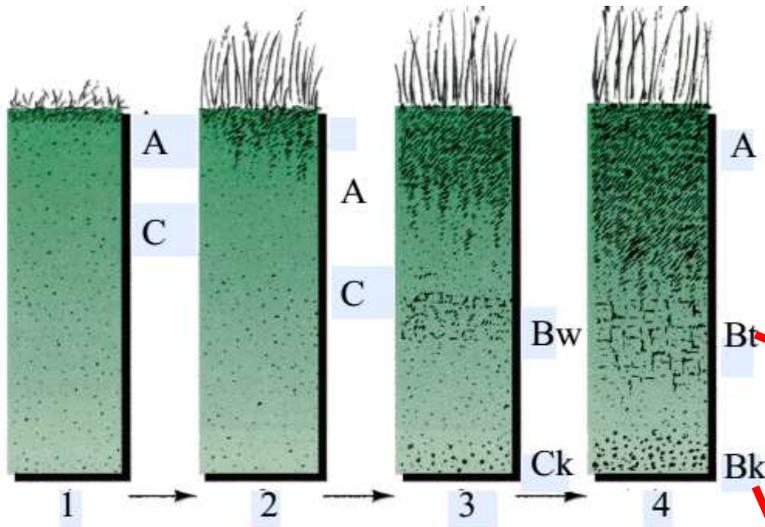
$$\downarrow \alpha = \frac{V_P}{V_T} \downarrow \quad \uparrow d = \frac{M_S}{V_T} \downarrow$$

# Fenômeno da compactação



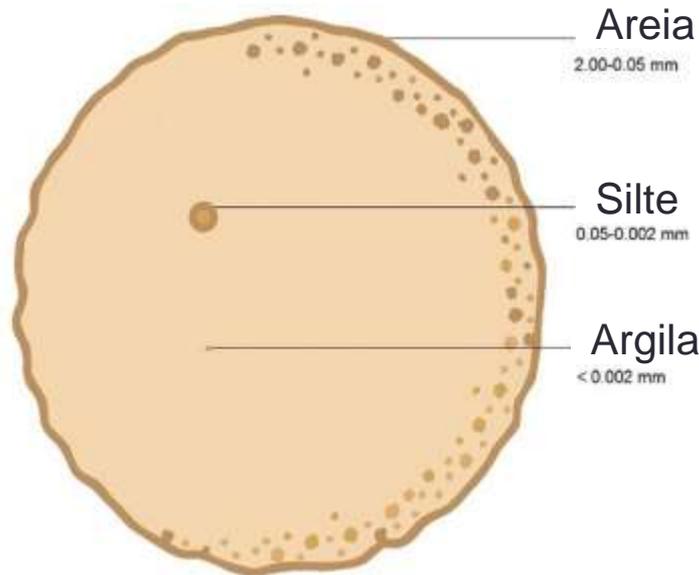


# Trifásico e heterogêneo



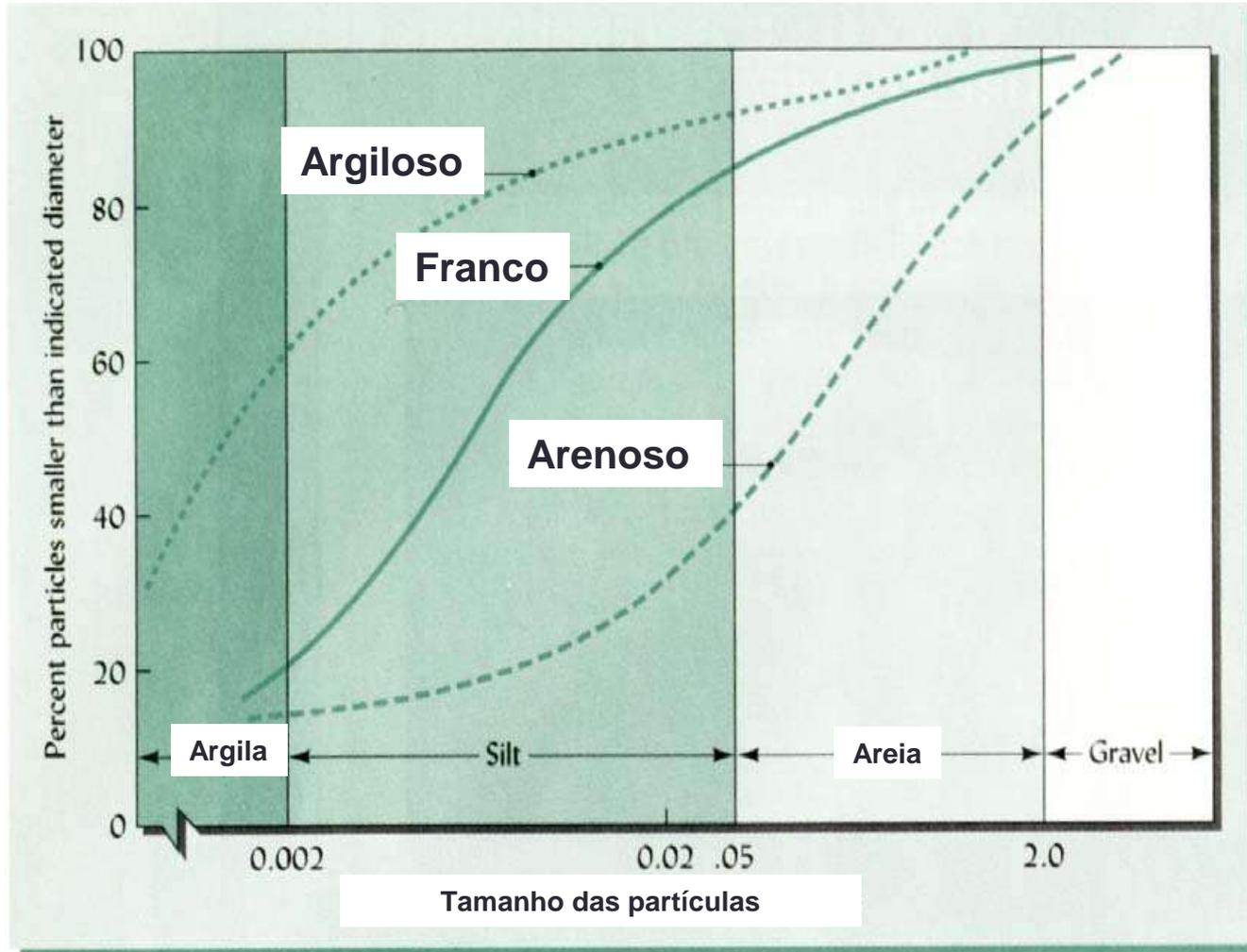
# Composição Granulométrica

- descreve a proporção relativa das classes de tamanho das partículas que compõe um solo
- Percepção ao sentido do tato: **textura do solo**

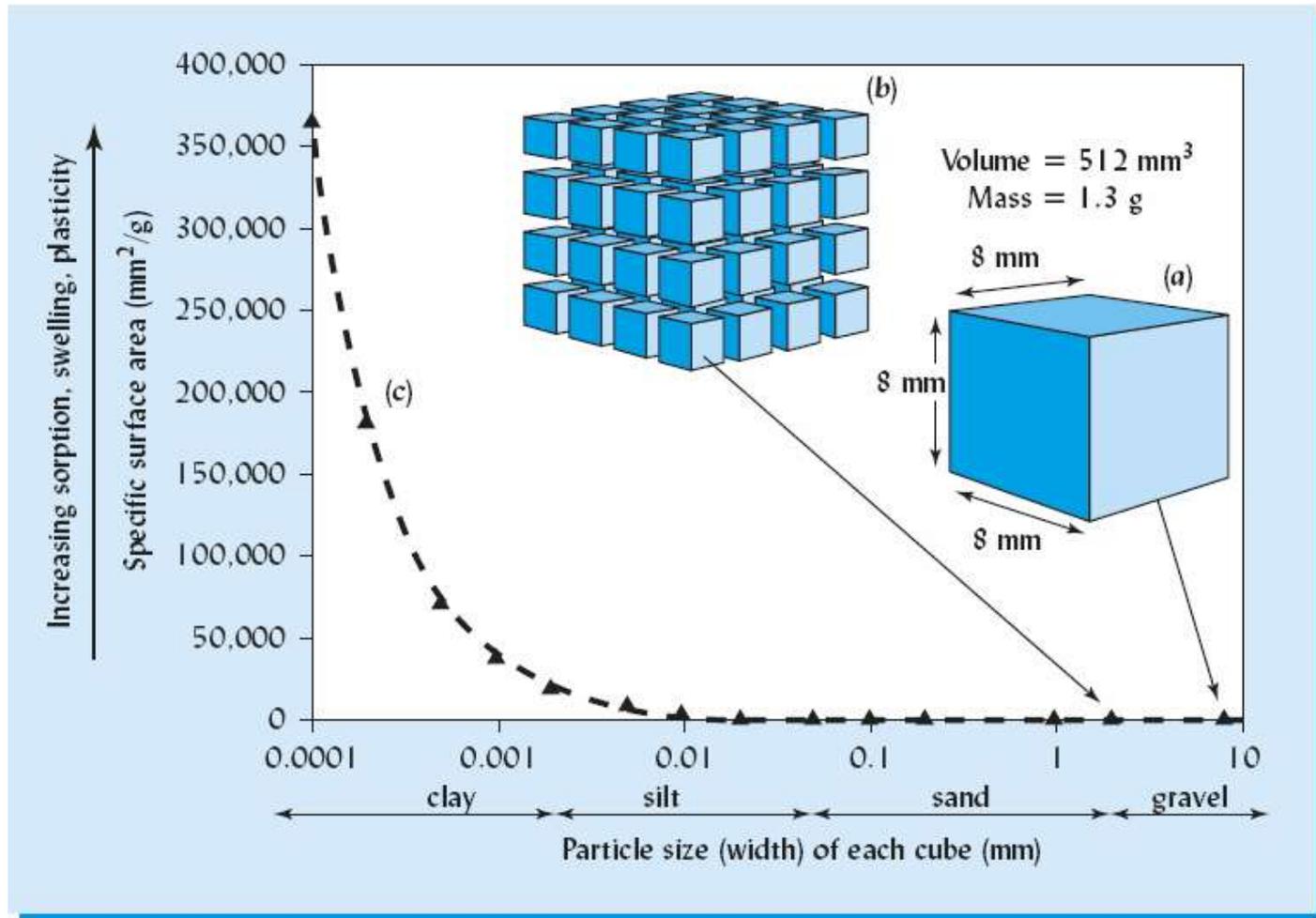


Argila de tamanho coloidal possui área superficial cerca de 10.000 vezes maior do que a mesma massa de areia de tamanho médio

# Solo – Fundamentação para o preparo



# Solo – Fundamentação para o preparo



# Comportamento f(granulometria)

<i>Propriedades/Comportamento do solo</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>
Capacidade de retenção água	Baixa	Média a alta	Alta
Aeração	Boa	Média	Pobre
Taxa de drenagem	Alta	Lenta a média	Muito lenta
Teor de matéria orgânica no solo	Baixo	Médio a alto	Alto a médio
Decomposição da matéria orgânica	Rápida	Média	Lenta
Aquecimento na primavera	Rápido	Moderado	Lento
Susceptibilidade à compactação	Baixa	Média	Alta
Susceptibilidade a erosão eólica	Moderada	Alta	Baixa
Susceptibilidade a erosão hidrica	Baixa	Alta	Solo agregado – baixa Solo não agregado - alta
Potencial de expansão e contração	Muito baixo	Baixo	Moderado a muito alto
Adequabilidade para construção de represas e aterros	Baixa	Baixa	Alta
Capacidade de cultivo após chuva	Boa	Média	Baixa
Potencial de lixiviação de poluentes	Alto	Médio	Baixo
Capacidade de armazenamento de nutrientes	Baixa	Média a alta	Alta
Resistência à mudança de pH	Baixa	Média	Alta

# Estrutura do solo

- ❖ Padrão distintamente estruturado de partículas interligadas, associadas em ***agregados***, apresentando tamanho e formato regulares.

**Agregados**: grupos de partículas individuais, ligadas umas às outras pela ação de agentes cimentantes e de forças de coesão e adesão



# Estrutura do solo

- ❖ A formação dos agregados está condicionada à disponibilidade de forças mecânicas que aproximam e colocam em contato as partículas e à presença de agentes cimentantes, que as mantêm unidas.

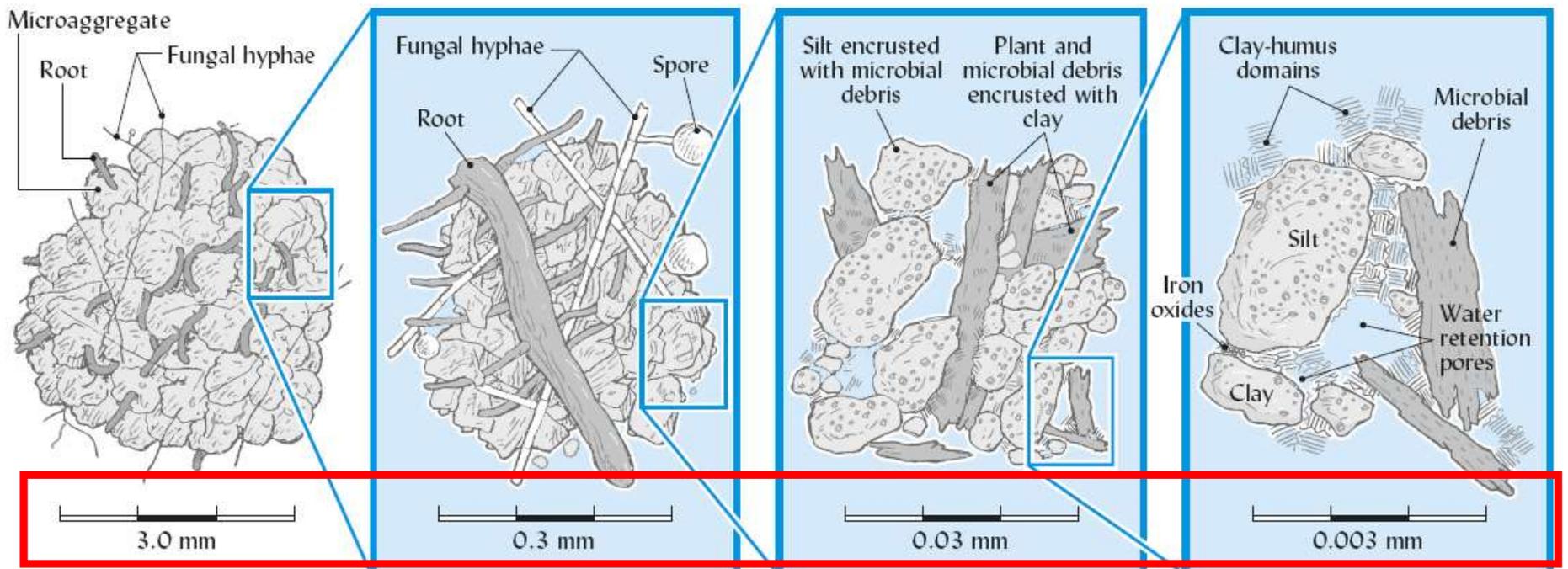
**Forças**: gravidade, raízes, contração e expansão, fauna do solo

**Cimentantes**: argila, matéria orgânica, sesquióxidos Fe e Al, micélios de fungos, polissacarídeos, dejetos de minhocas

# Estabilidade da estrutura

- É determinada pela estabilidade dos agregados.
- Aumenta com o aumento do número de pontos de contato entre as partículas constituintes: fraca, moderada e forte.
- Determina a resistência do solo quando submetido à ação de forças externas.

# Compreendendo os Agregados



Macroaggregate

- Roots
- Hyphae

Macroagregado

Microaggregate

- Root hairs
- Hyphae
- Polvsaccharides

Microagregado

Submicroaggregate

- Mineral grains encrusted with plant and microbial debris
- Plant debris coated with clay

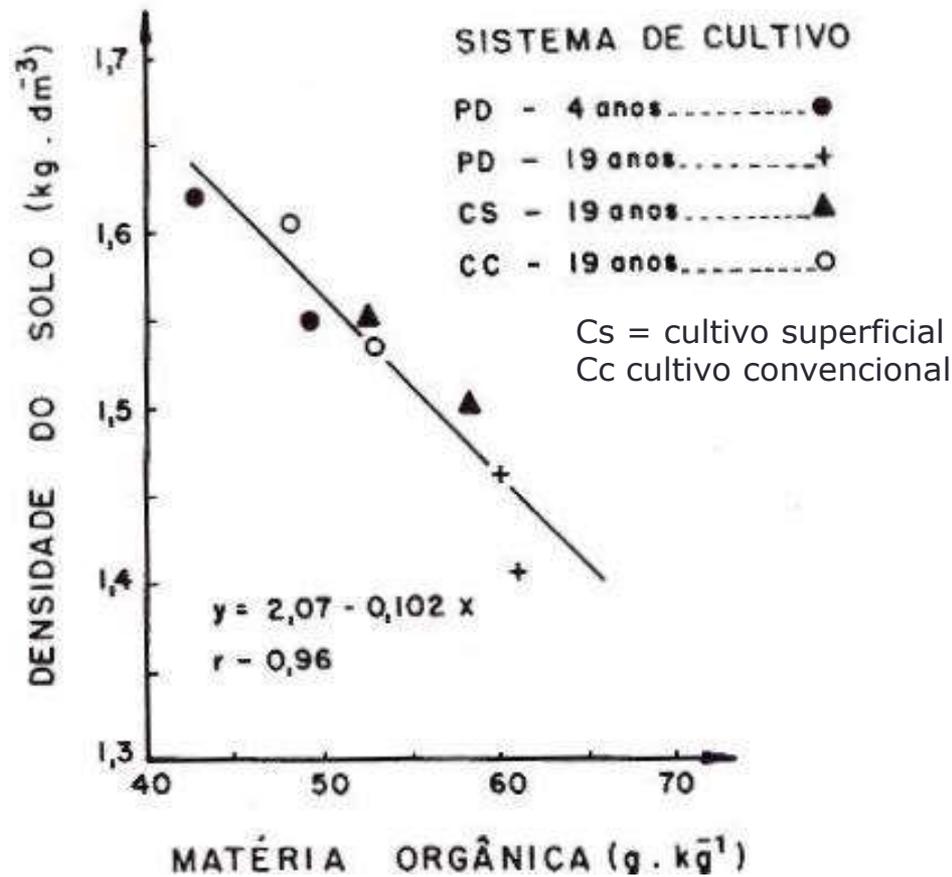
Sub microagregado

Primary particles

- of silt, clay and humus
- Clay and clay-humus domains

Partículas primárias

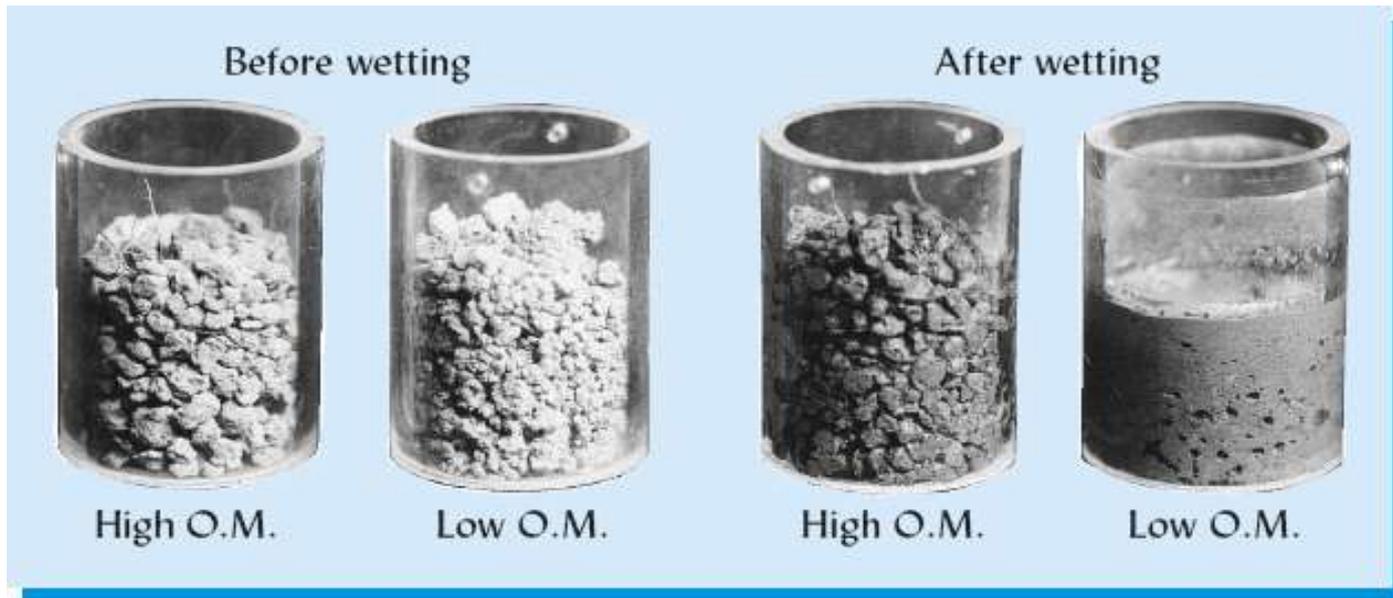
# Importância da Matéria Orgânica



Ball et al., 1988

# Importância da Matéria Orgânica

- ❖ **Agente cimentante** que favorece a agregação e estabilidade dos agregados

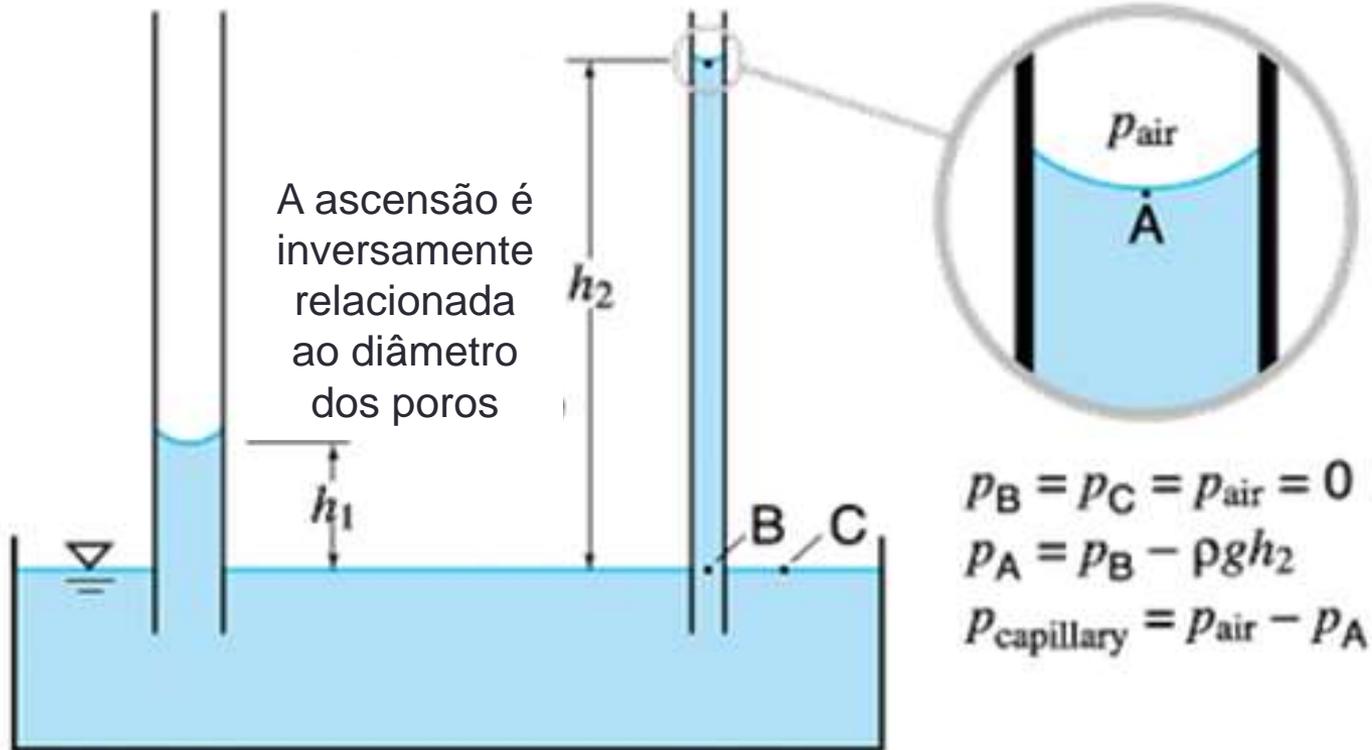


# Fenômeno da Capilaridade

## ❖ Capilaridade

Macroporos do solo

Microporos do solo



# Forças atuando na agregação

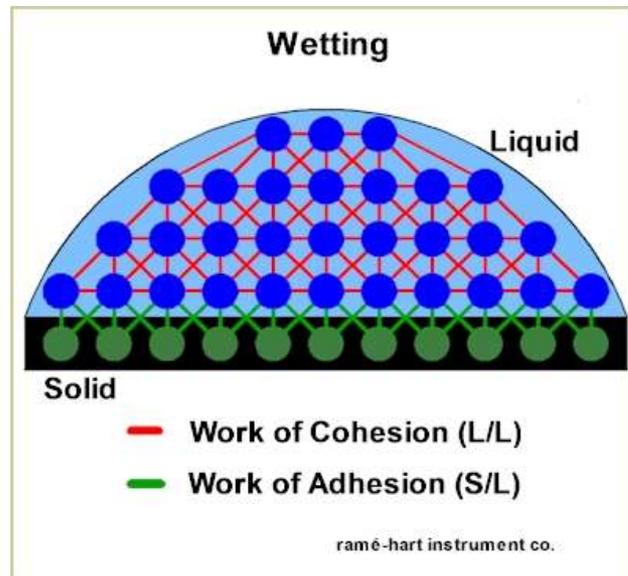
**Coesão:** capacidade que uma substância tem de permanecer unida, resistindo à separação, pois as moléculas estão fortemente aderidas umas às outras



**A tensão superficial de um líquido está diretamente relacionada à sua coesão**

# Forças atuando na agregação

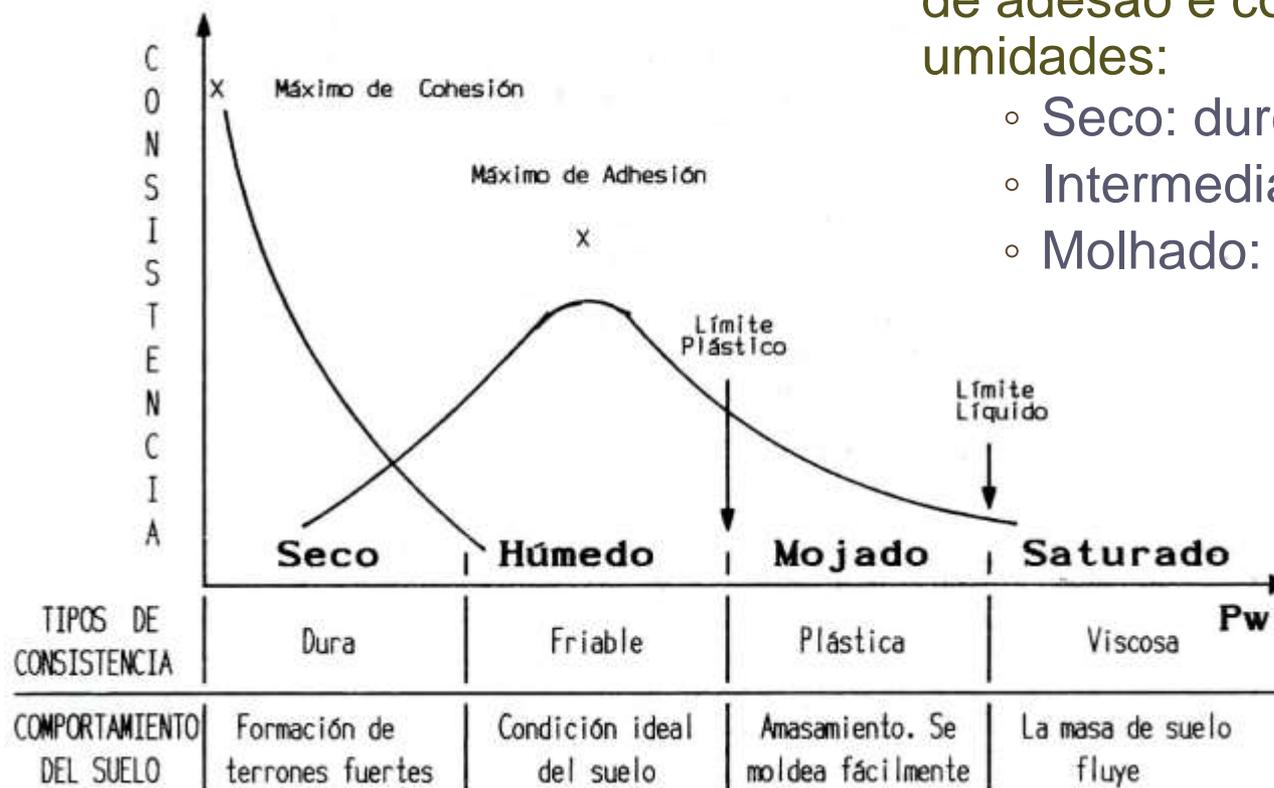
Adesão: força atrativa que atua entre um líquido e a superfície de um sólido quando estes estão em contato direto.

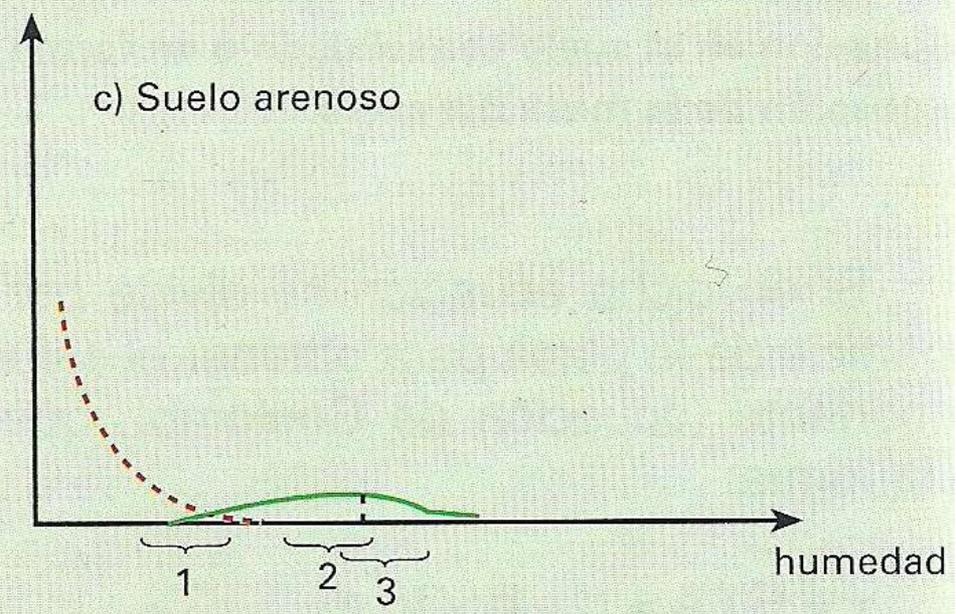
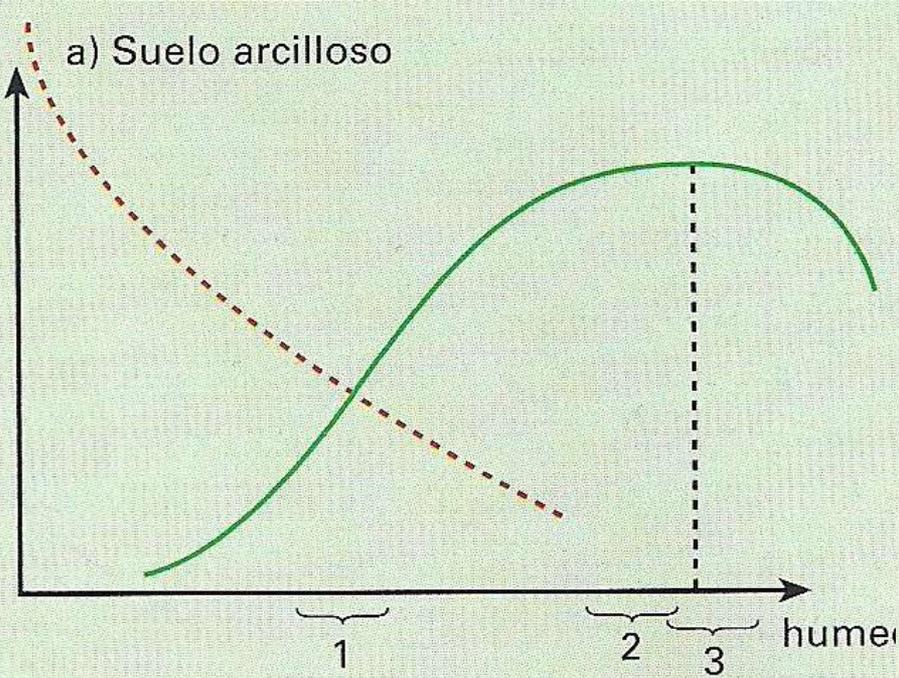


# Consistância do solo

Em função da variação conjugada de adesão e coesão em diferentes umidades:

- Seco: dureza, tenacidade
- Intermediária: friabilidade
- Molhado: plasticidade





----- Coesão      ————— Adesão

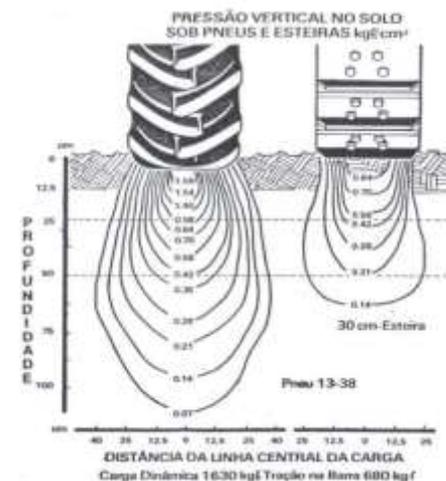
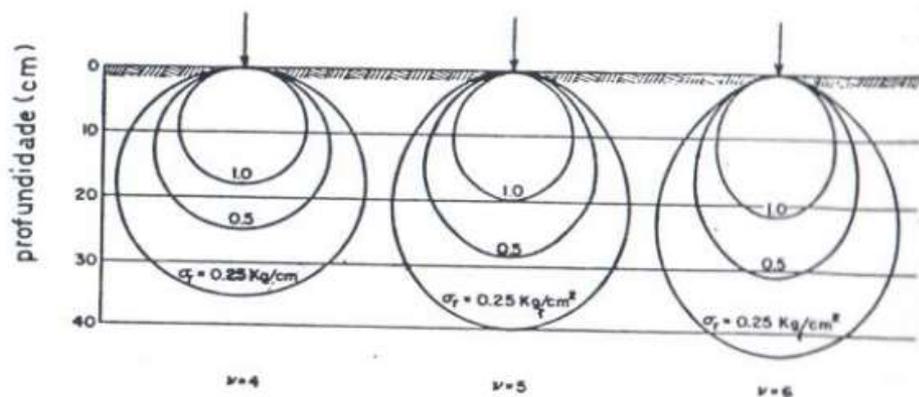
## O Solo sob preparo

- ❖ Resistência do solo à desagregação
  - Como o solo responde às forças externas que tendem a rompe-lo ou deforma-lo;
  - Argilominerais na presença de água apresentam propriedades plásticas;
  - A determinação do conteúdo adequado de água no solo é fundamental para o sucesso do preparo;
  - A umidade afeta diretamente a resistência do solo ao preparo e a capacidade de suporte de carga.

## O Solo sob preparo

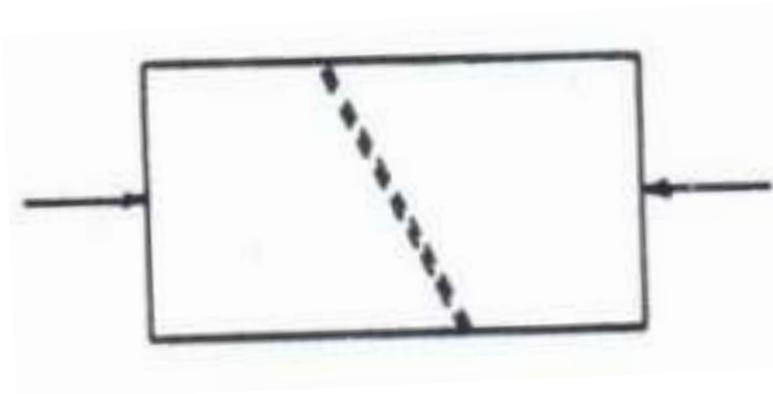
### ❖ Resistência do solo à desagregação

- A transmissão de tensões no solo é realizada através dos pontos de contato entre as partículas;
- Devido ao arranjo ao acaso das partículas, os pontos de contato estão espalhados ao acaso;
- As tensões se distribuem através de uma rota formada pela localização dos pontos de contato



## O Solo sob preparo

- ❖ Resistência do solo à desagregação
  - A aplicação de forças de tensão ou compressão no solo produz deformação;
  - Com a elevação das forças ocorre o rompimento do solo - cisalhamento



# O Solo sob preparo

## ❖ Resistência do solo à desagregação

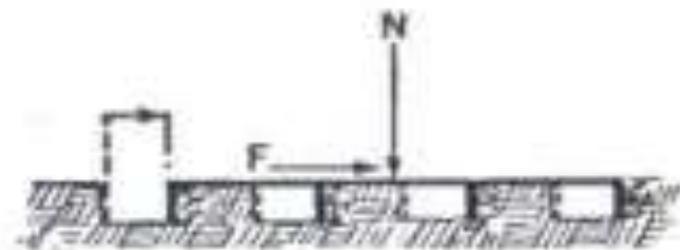
$$\tau = C + \sigma \tan \phi$$

C = coesão do solo

$\phi$  = ângulo de atrito interno

$\sigma$  = tensão normal (tração ou compressão)

$\tau$  = tensão de cisalhamento



$$\mu = F/N = \tan \psi$$

F = força de atrito tangente à superfície

N = força normal à superfície

$\mu$  = coeficiente de atrito (solo em solo)

$\psi$  = ângulo cuja tangente é  $\mu$



## O Solo sob preparo

### ❖ Umidade do Solo para Preparo

- Arado e a grade - Quando o solo estiver na faixa de umidade friável
  - ❖ de 60% a 70% da capacidade de campo, para solos argilosos
  - ❖ de 60% a 80%, para solos arenosos
- Escarificador – rompimento por compressão
  - ❖ 30% a 40% da capacidade de campo, para solos argilosos

# EQUIPAMENTOS PARA MOBILIZAÇÃO DO SOLO

---

A definição do tipo de preparo do solo a ser adotado, numa dada situação, não deve ser determinado pelo tipo de equipamento disponível mas sim por parâmetros caracterizadores da condição final desejável para a camada mobilizada

# Máquinas para mobilização periódica do solo

- ❖ Destinadas a promover alterações na estrutura macroscópica dos horizontes superiores do solo
  - ❖ Leito de Semeadura
  - ❖ Leito radicular

# Máquinas para mobilização periódica do solo

- O grau de adequação de uma determinada máquina de preparo de solo à dada condição operacional é avaliada através da relação entre a mobilização resultante e aquela que seria desejável
- Os parâmetros de desempenho dessas máquinas levam em conta a interação dos seus órgãos ativos com o meio operatório

## Formas de mobilização periódica do solo

- ❖ Dois efeitos principais desejados:
  - Rompimento da massa contínua do solo em blocos e agregados de diferentes tamanhos;
    - ❖ Preparo primário
  - Quebra de blocos e agregados de maiores dimensões
    - ❖ Preparo secundário

## Formas de mobilização periódica do solo

### ❖ Outros efeitos concomitantes

- Nivelamento superficial
- Incorporação: corretivos, restos culturais, fertilizantes
- Arrancamento de soqueiras
- Controle de ervas

## Formas de mobilização periódica do solo

### ❖ Métodos para provocar o rompimento do solo

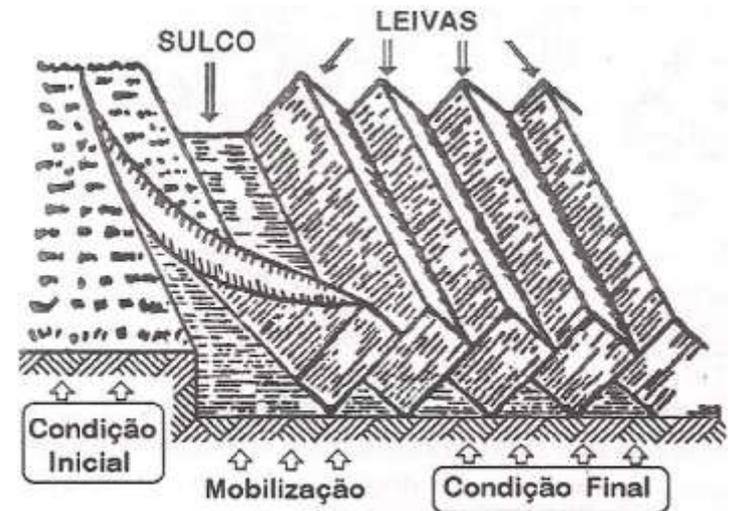
- Inversão de camadas
- Deslocamento lateral-horizantal
- Revolvimento rotativo
- Desagregação subsuperficial / preparo vertical

Cisalhamento por **corte e deslocamento**

Cisalhamento por **compressão**

# Inversão de camadas

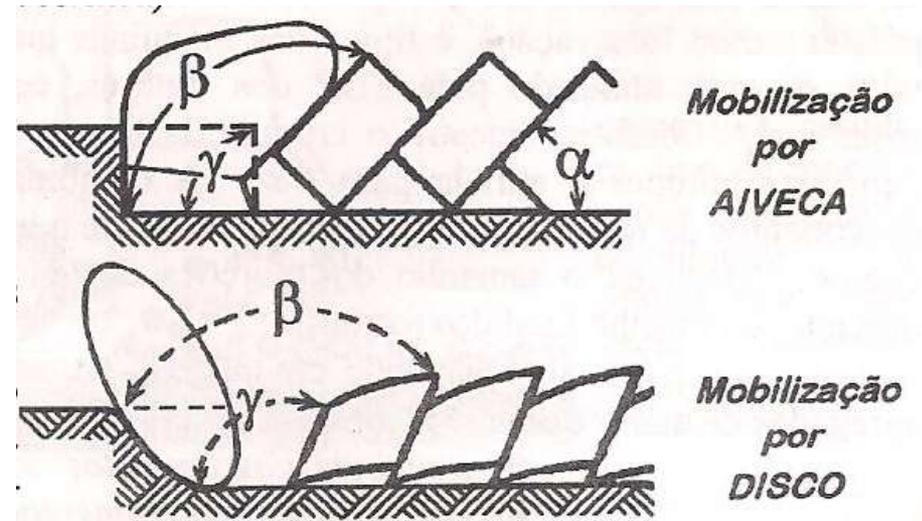
- Arados de aivecas ou discos
  - ❖ Cortam uma fatia de solo – leiva
  - ❖ Elevação e inversão
  - ❖ Lançamento lateral





# Inversão de camadas

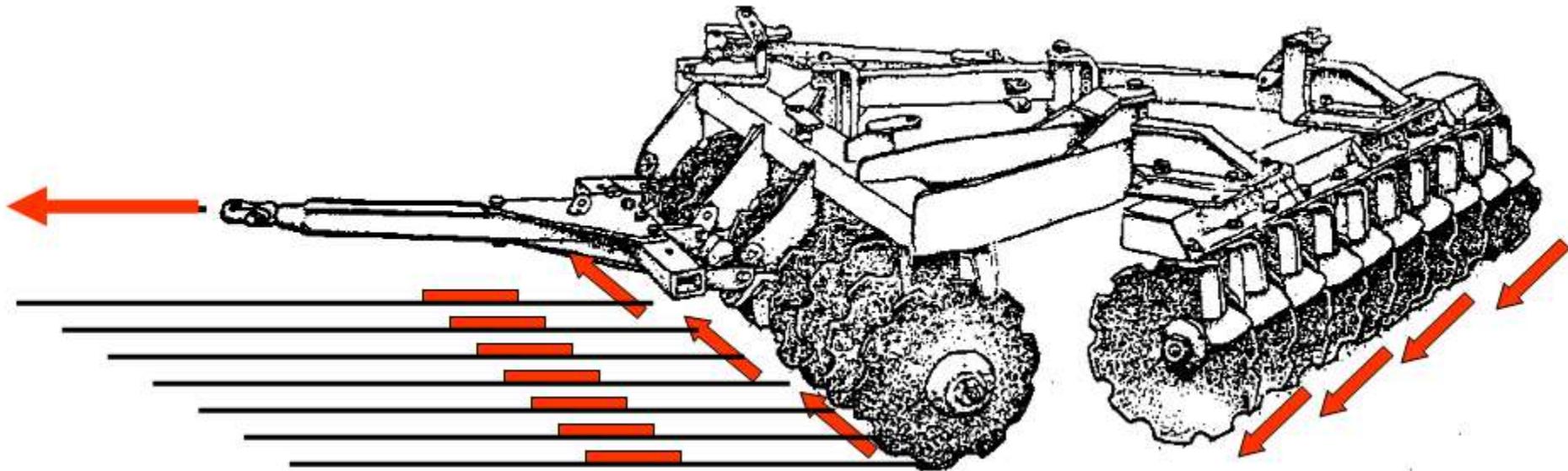
- ❖ Condição final da Inversão de camadas
  - Características do órgão ativo
  - Condições de operação
  - Características do terreno



## Deslocamento lateral-horizantal

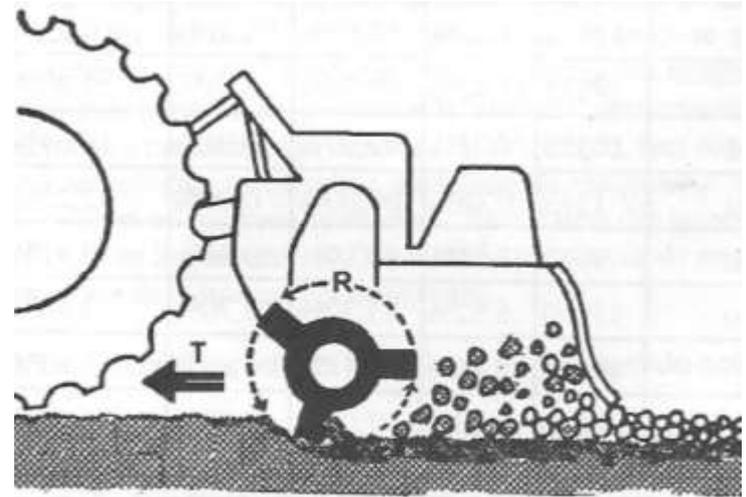
- ❖ Ao se deslocarem provocam uma movimentação lateral e horizontal da porção em contato com o órgão ativo;
- ❖ Grades de dentes – quebra dos torrões por impacto e em linhas naturais de ruptura
- ❖ Grades de discos – ação combinada de corte e impacto → maior efeito desagregador

# Deslocamento lateral-horizontal



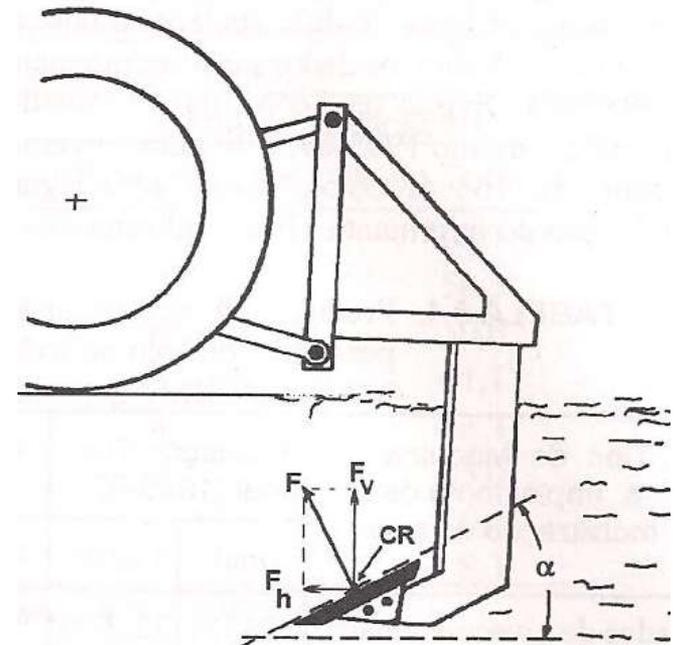
## Revolvimento rotativo

- Facas rotativas acionadas pela TDP dos tratores;
- Solo cortado em pequenas porções e atirado para trás;
- Enxadas rotativas

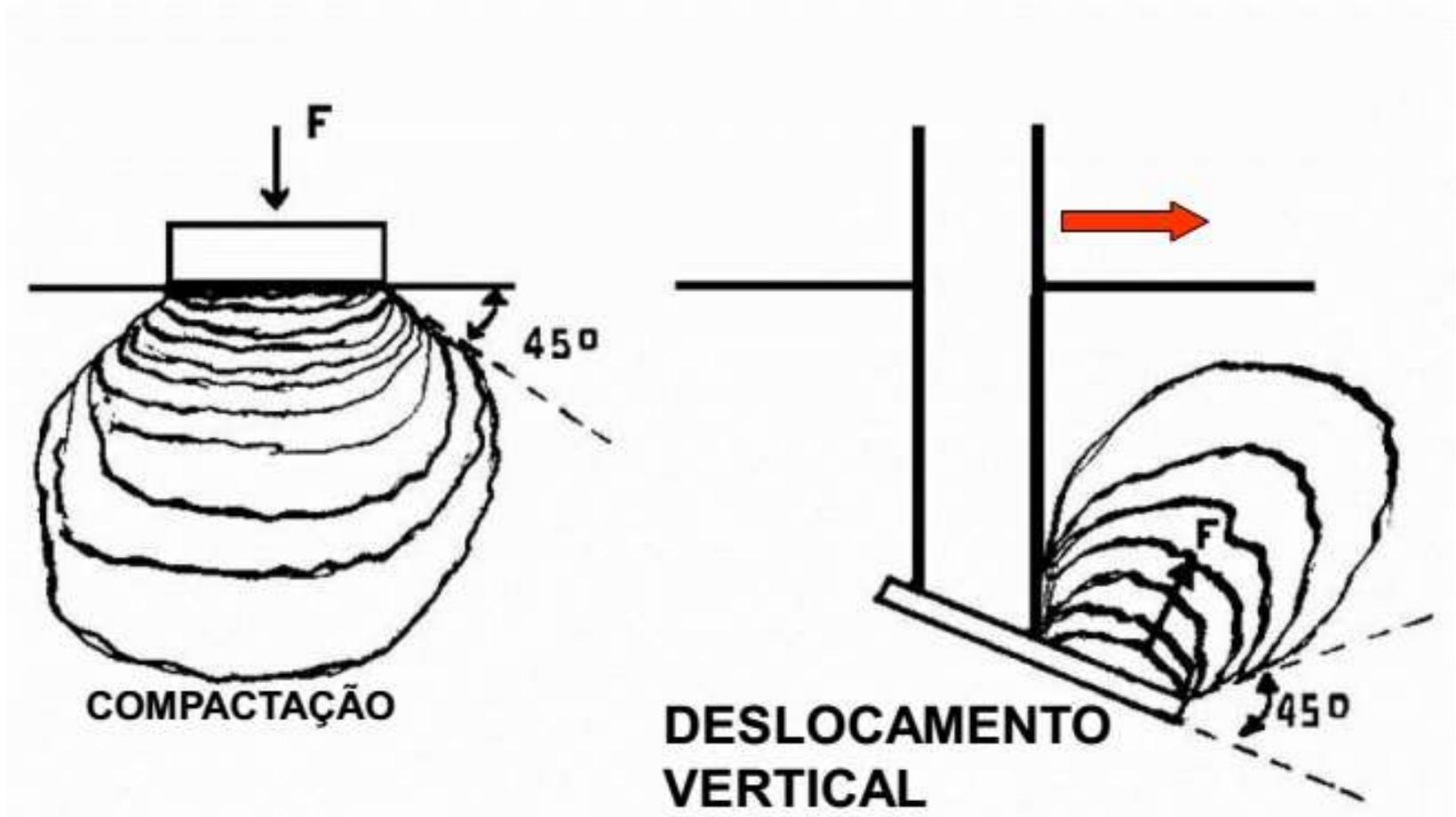


## Desagregação subsuperficial

- Rompimento da massa de solo à frente e lateralmente;
- Desagregação ocorre de baixo para cima;
- Subsolador, Escarificador



# Desagregação subsuperficial

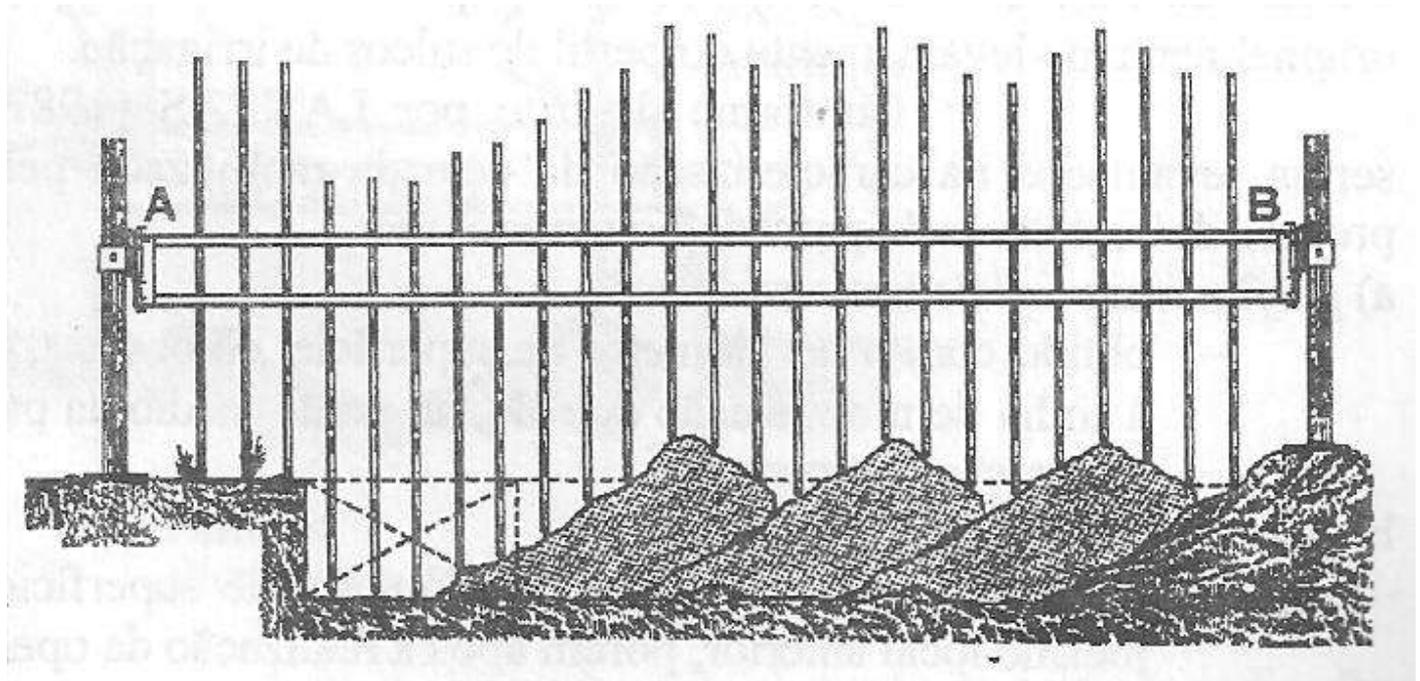


# Avaliação de máquinas de preparo periódico

## ❖ Quantitativa

➤ Massa e volume de solo mobilizado

❖ Perfil transversal



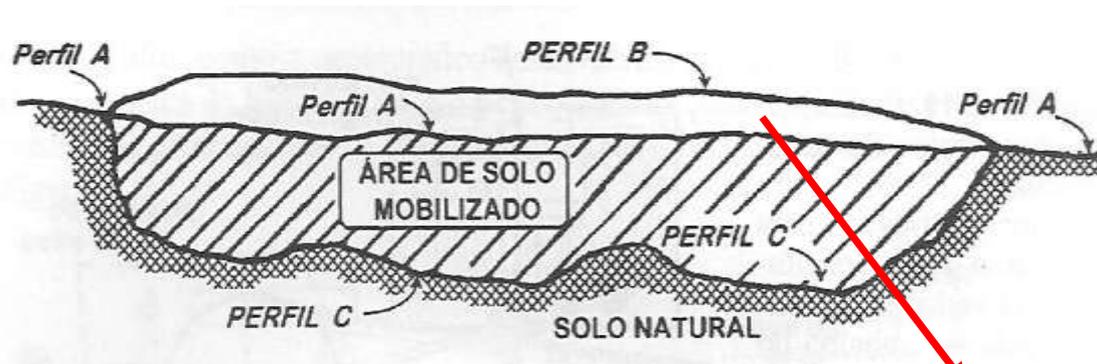
# Avaliação de máquinas de preparo periódico

## ❖ Quantitativa

### ➤ Massa e volume de solo mobilizado

#### ❖ Perfil transversal

**Perfil A: superfície natural do solo – antes da operação**



**Perfil B: superfície final do solo – após a operação**

**Perfil C: interno do solo mobilizado – após a operação e remoção do solo mobilizado**

$$\epsilon = \frac{A_e}{A_m} \times 100$$

Empolamento

# Avaliação de máquinas de preparo periódico

## ❖ Qualitativa

- Estado final do solo após a passagem da máquina
  - ❖ Intensidade da desagregação da massa de solo mobilizado
  - ❖ Rugosidade do micro relevo

## Avaliação de máquinas de preparo periódico

### ❖ Dinamométrica e de eficiência Operacional

- Força de tração
- Velocidade de deslocamento
- Avaliar o dispêndio de energia e o tempo na realização da operação – Eficiência

A máquina que mobiliza o solo com grande eficiência energética ou operacional, nem sempre é a que fornece as melhores condições finais recomendadas para um determinado tipo de cultura



**FIM**

---

**Leandro M. Gimenez**

**[Imgimenez@usp.br](mailto:Imgimenez@usp.br)**