

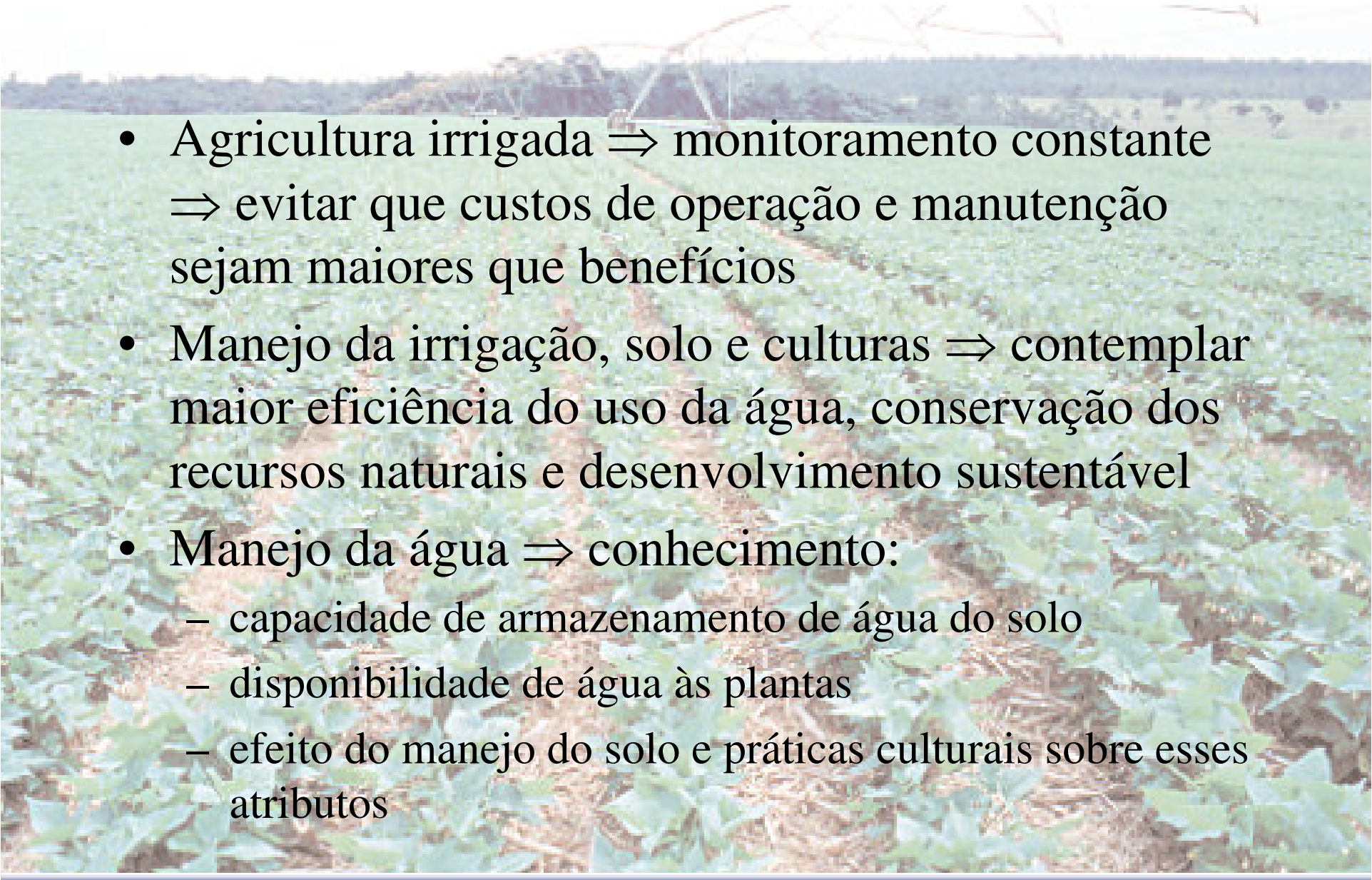


MANEJO DO SOLO E USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA

Luís Fernando Stone
Embrapa Arroz e Feijão
stone@cnpaf.embrapa.br

INTRODUÇÃO

- Agricultura irrigada $\Rightarrow$ aumenta produtividade, permite safras adicionais
- Brasil
 - Superfície irrigada (2004) $\Rightarrow$ 5,9% da área total, 16% da safra e 35% do valor da produção (Christofidis, 2008)
 - Arroz irrigado (2007) $\Rightarrow$ 43% da área, 75% da produção
 - Feijão irrigado (2007) $\Rightarrow$ 8% da área, 14% da produção

- 
- Agricultura irrigada $\Rightarrow$ monitoramento constante
 $\Rightarrow$ evitar que custos de operação e manutenção sejam maiores que benefícios
 - Manejo da irrigação, solo e culturas $\Rightarrow$ contemplar maior eficiência do uso da água, conservação dos recursos naturais e desenvolvimento sustentável
 - Manejo da água $\Rightarrow$ conhecimento:
 - capacidade de armazenamento de água do solo
 - disponibilidade de água às plantas
 - efeito do manejo do solo e práticas culturais sobre esses atributos

Armazenamento de água

- Depende
 - Espaço poroso
 - textura
 - estrutura
 - distribuição e diâmetro médio dos poros
 - Profundidade do solo
- Não depende das plantas

Disponibilidade de água às plantas

- Depende
 - Fatores intrínsecos do solo
 - estrutura do solo (distribuição do diâmetro dos poros)
 - textura
 - tipo e quantidade de argila
 - teor de matéria orgânica
 - Capacidade das plantas em extrair água

Manejo do solo

- Modifica condições físicas associadas à estrutura, afetando:
 - capacidade de armazenamento de água e sua disponibilidade
 - aeração
 - resistência ao crescimento das raízes
 - crescimento e produtividade

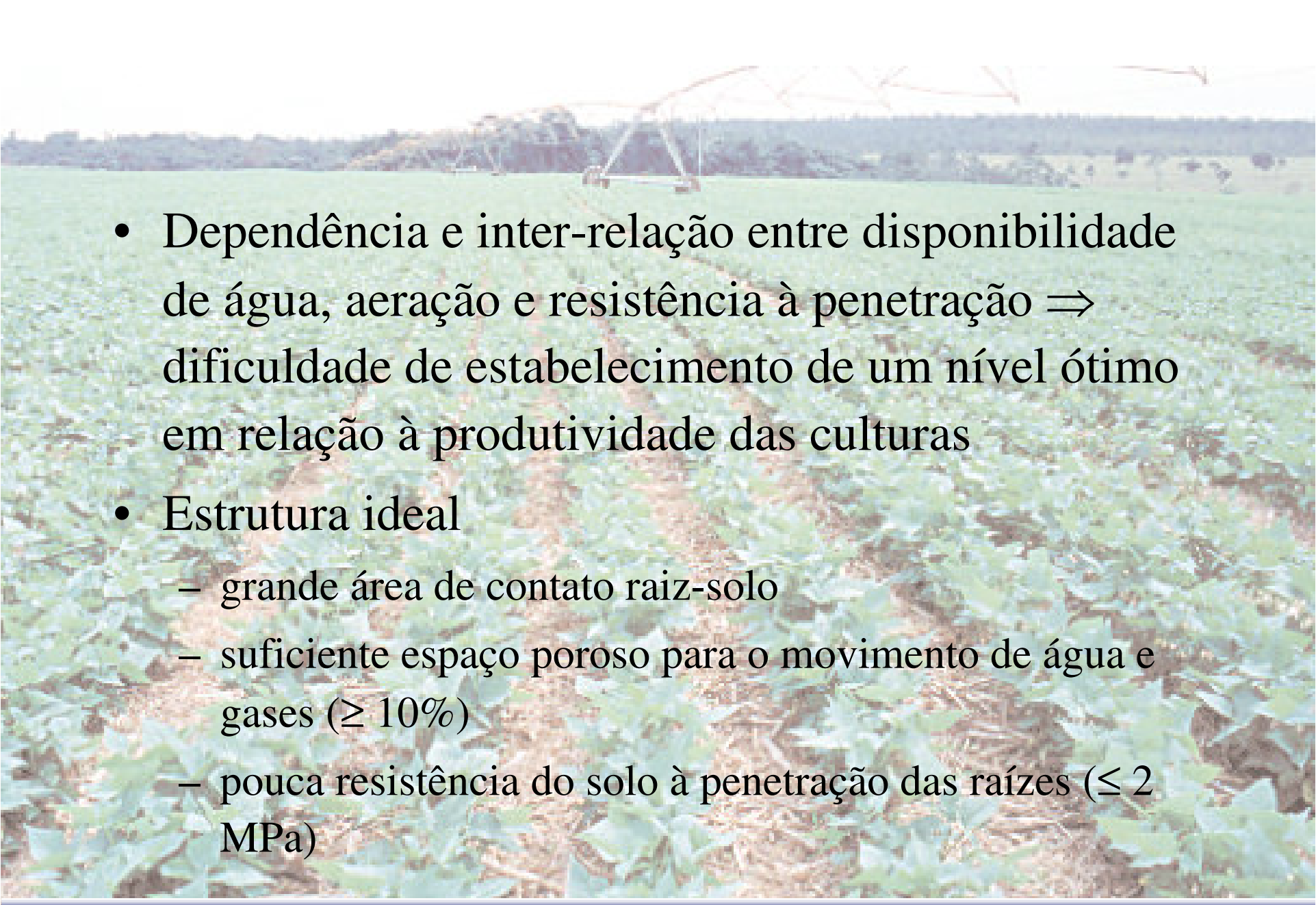
Manejo do solo

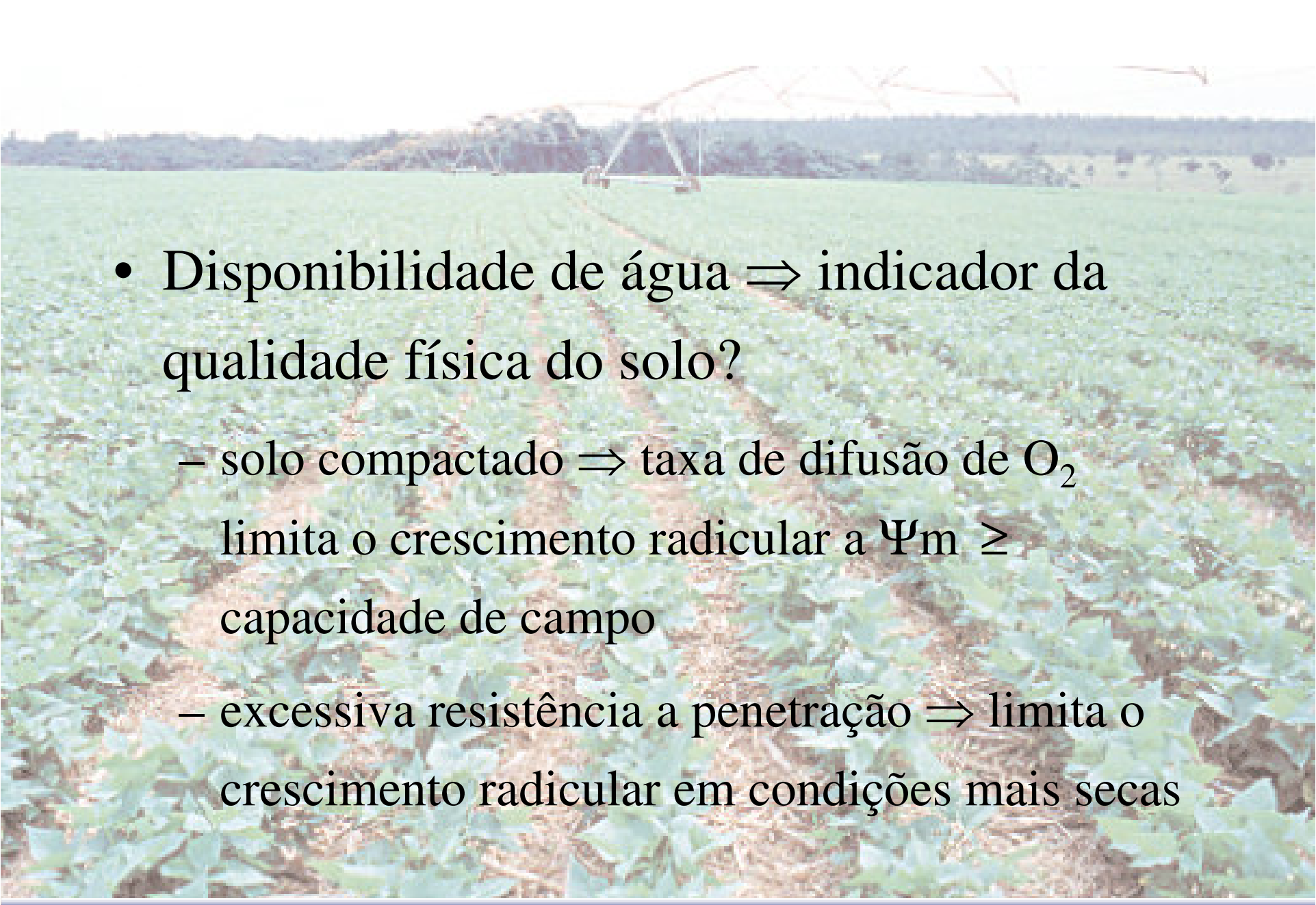
- Sistema plantio direto $\Rightarrow$ condições físicas do solo diferentes do preparo convencional
- Ausência de revolvimento e tráfego de máquinas
 - maior densidade e menor volume de macroporos
 - maior armazenamento de água no solo
 - maior disponibilidade de água às plantas?
 - depende das limitações ao crescimento das raízes e da parte aérea

- 
- Importante conhecer implicações das alterações nos atributos físico-hídricos do solo causadas pelos sistemas de manejo no uso da água pelas culturas

SISTEMAS DE MANEJO E ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO

- Arranjo das partículas do solo
 - estabelece as proporções dos componentes sólidos, líquidos e gasosos
 - determina a resistência à penetração das raízes e o fornecimento de água e oxigênio
 - organização dos componentes $\Rightarrow$ estrutura do solo
 - controla a magnitude com que os atributos físicos interferem no crescimento das plantas

- 
- Dependência e inter-relação entre disponibilidade de água, aeração e resistência à penetração $\Rightarrow$ dificuldade de estabelecimento de um nível ótimo em relação à produtividade das culturas
 - Estrutura ideal
 - grande área de contato raiz-solo
 - suficiente espaço poroso para o movimento de água e gases ($\geq 10\%$)
 - pouca resistência do solo à penetração das raízes (≤ 2 MPa)

- 
- Disponibilidade de água $\Rightarrow$ indicador da qualidade física do solo?
 - solo compactado $\Rightarrow$ taxa de difusão de O_2 limita o crescimento radicular a $\Psi_m \geq$ capacidade de campo
 - excessiva resistência a penetração $\Rightarrow$ limita o crescimento radicular em condições mais secas



Manejo convencional

- Diminuição da dinâmica da matéria orgânica e da atividade biológica
- Destruição da condição estrutural do solo
 - pulverização excessiva da camada arável
 - encrostamento superficial
 - formação de camadas coesas ou compactadas (pé-de-grade ou pé-de-arado)

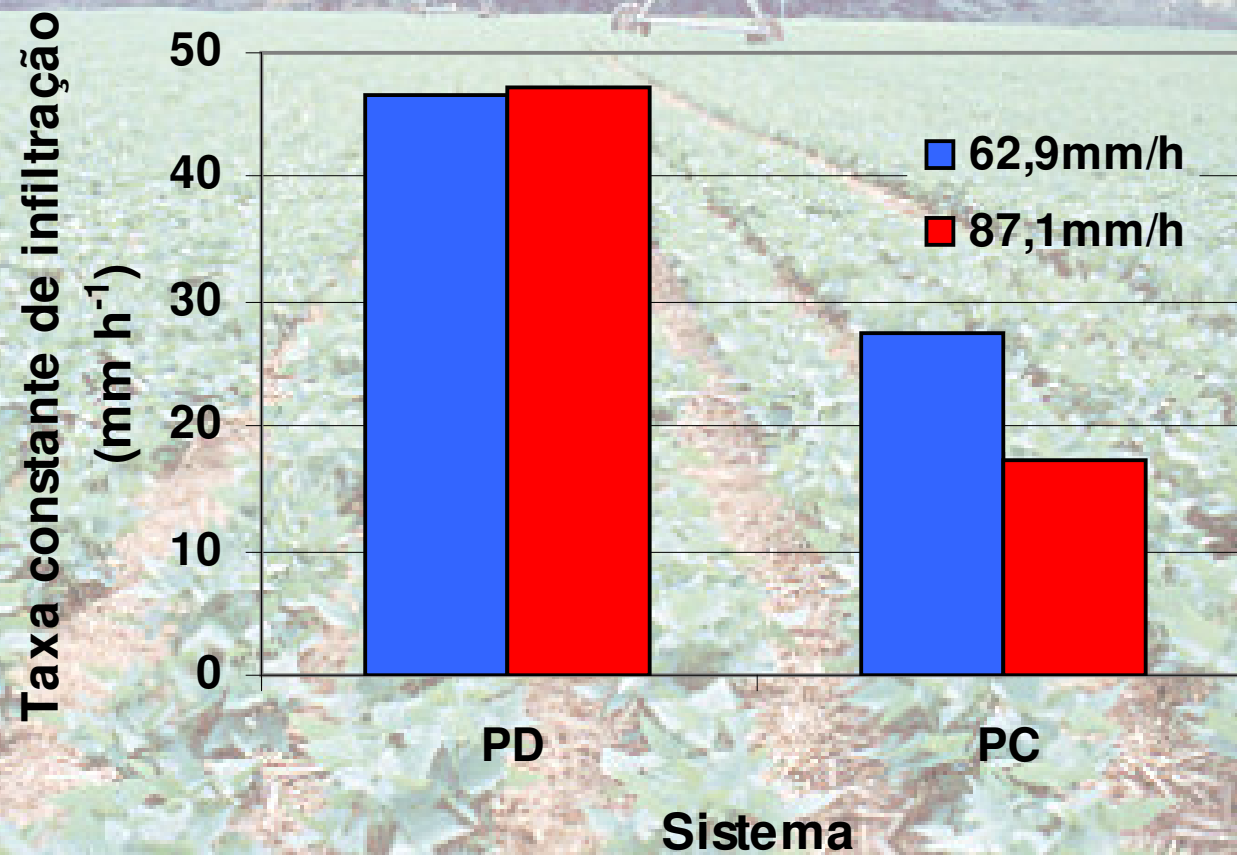
Sistema plantio direto

- Ausência de revolvimento do solo
 - acúmulo de matéria orgânica
 - menor taxa de decomposição
 - menores perdas por erosão
- Cobertura permanente
- Rotação de culturas
- Implica em alterações nos atributos físico-hídricos em comparação com manejo convencional

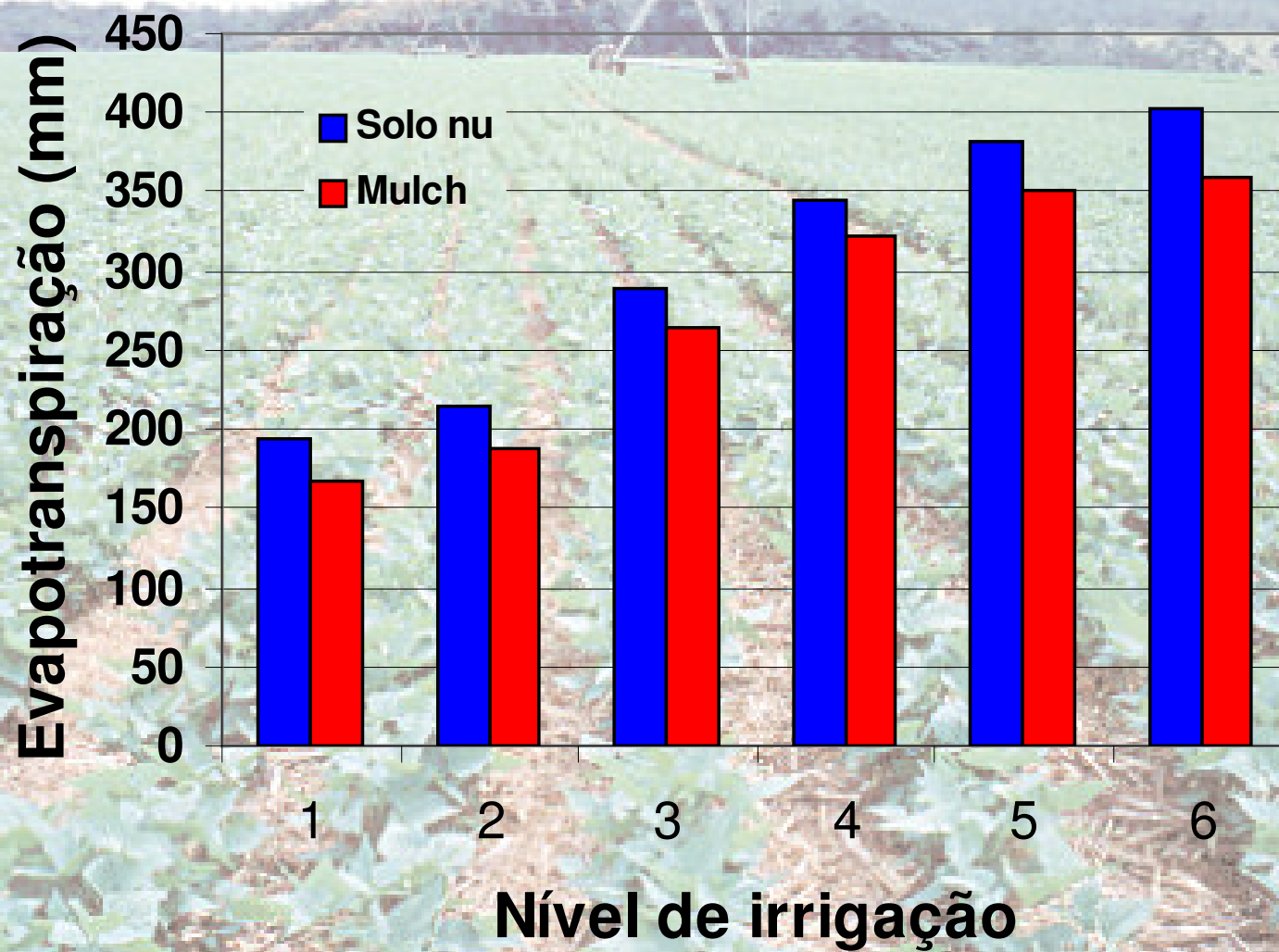


Solo sob plantio direto

- Cobertura do solo pela vegetação
 - Maior infiltração de água devido:
 - maior interceptação da água
 - menor selamento superficial do solo
 - menor velocidade de escoamento superficial
 - Menor evaporação da água
 - economia de água



Fonte: Alves & Cabeda (1999)



Fonte: Barros & Hanks (1993)

Solo sob plantio direto

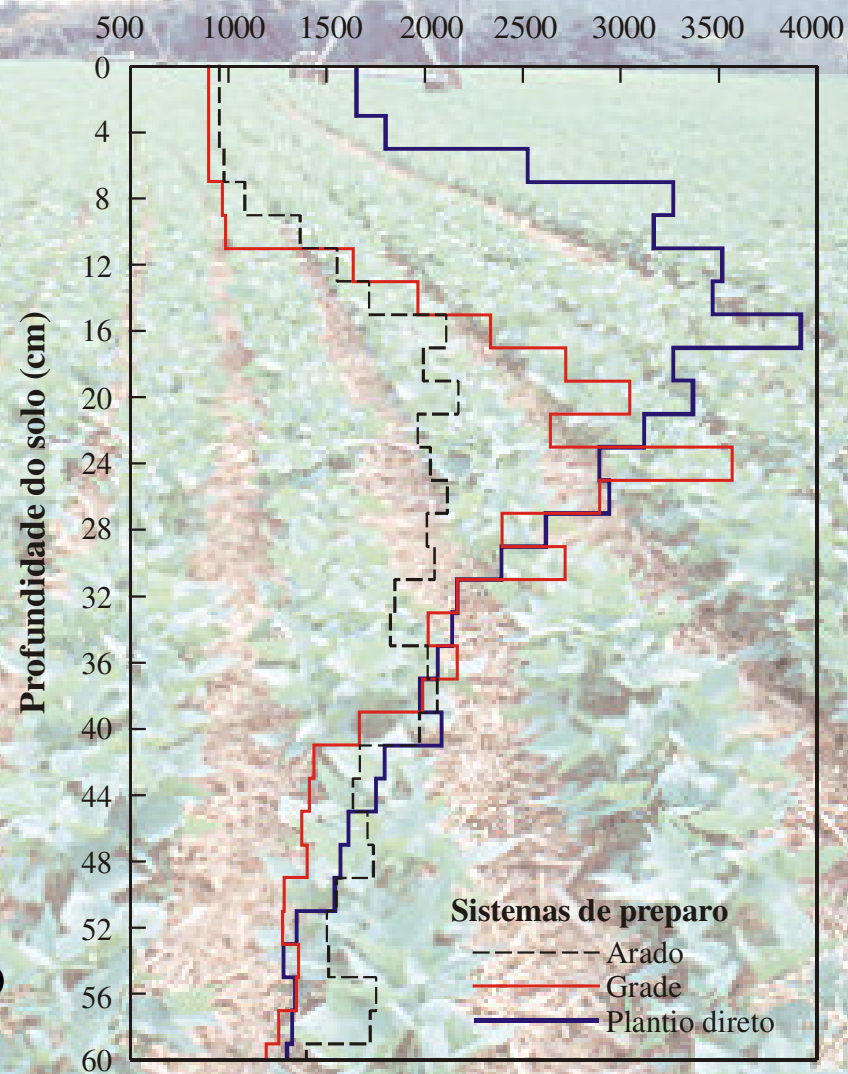
- Maior densidade do solo
- Maior resistência à penetração
- Menor porosidade total
- Menor macroporosidade
- Maior microporosidade
- Maior agregação
- Maior armazenamento de água
- Maior disponibilidade de água às plantas?

Valores da densidade do solo, porosidade total, micro e macroporosidade nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, em três sistemas de preparo do solo

Atributos Físicos do solo	Sistemas de preparo do solo		
	Arado	Grade	Plantio direto
	----- 0 – 10 cm -----		
Densidade do solo (Mg m^{-3})	1,30b	1,24c	1,39a
Porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,505c	0,532a	0,469d
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,336c	0,364ab	0,372a
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,168a	0,168a	0,098b
	----- 10 – 20 cm -----		
Densidade do solo (Mg m^{-3})	1,35b	1,43a	1,44a
Porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,482a	0,448b	0,440b
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,368	0,373	0,371
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,114a	0,075bc	0,069c

Fonte: Stone e Silveira (2001)

Resistência à penetração (kPa)

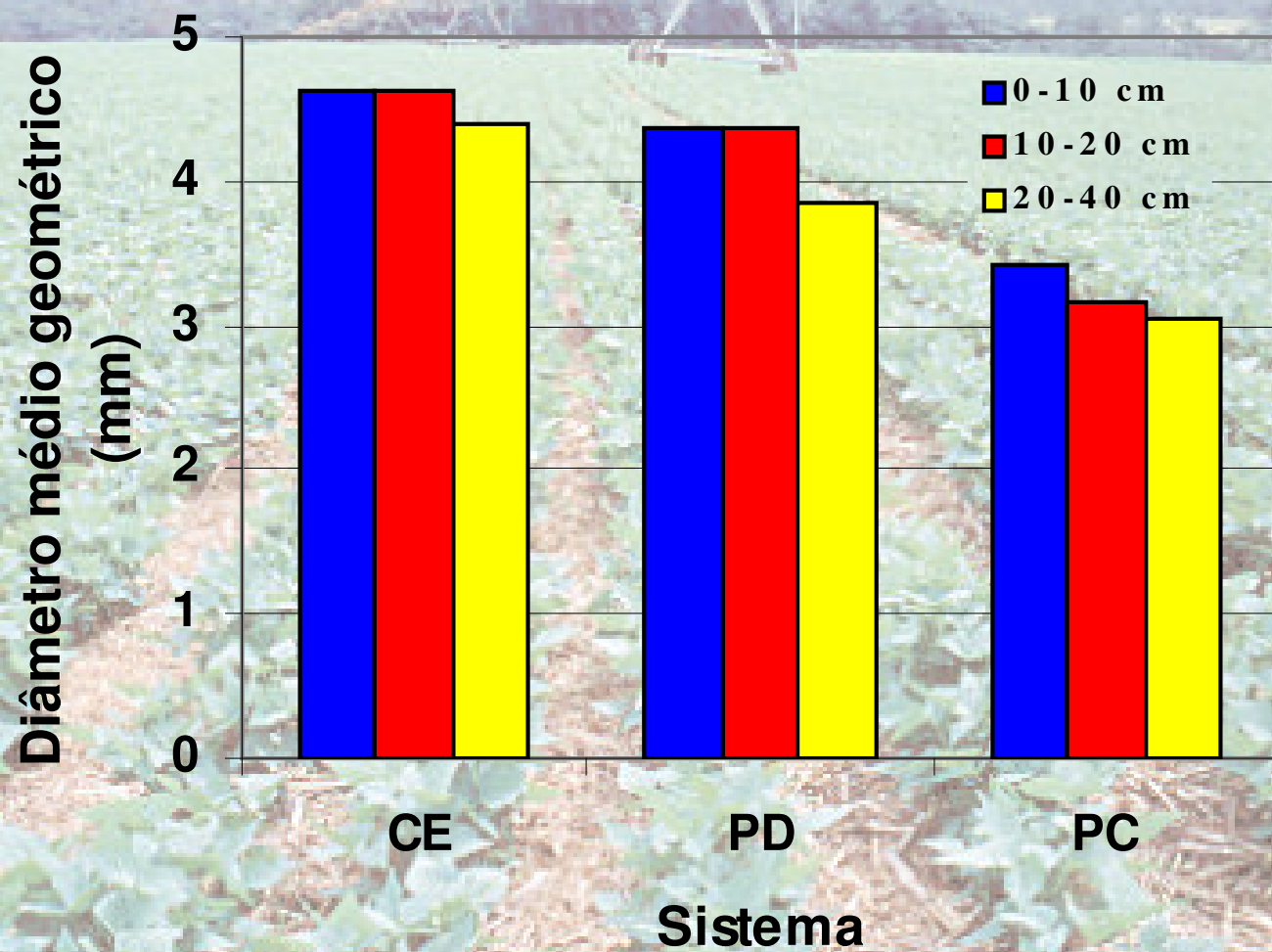


Fonte: Stone & Silveira (1999)

Atributos físicos do solo afetados pelo sistema de manejo

Sistema de manejo	Atributos físicos					
	Ds (Mg m ⁻³)	mp (m ³ m ⁻³)	Mp (m ³ m ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)	Agreg >2 mm (%)	DMP (mm)
----- 0 – 10 cm -----						
PD anual	1,35b	0,307a	0,176a	0,483a	45,2b	2,621b
PD contínuo	1,47a	0,334a	0,094b	0,427b	66,2a	3,538a
----- 10 – 20 cm -----						
PD anual	1,44b	0,327a	0,116a	0,444a	39,0b	2,371b
PD contínuo	1,55a	0,335a	0,073b	0,408b	57,3a	3,177a

Fonte: Stone & Silveira (2004)



Fonte: D'Andréa et al. (2002)

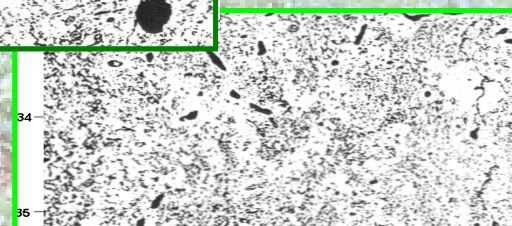
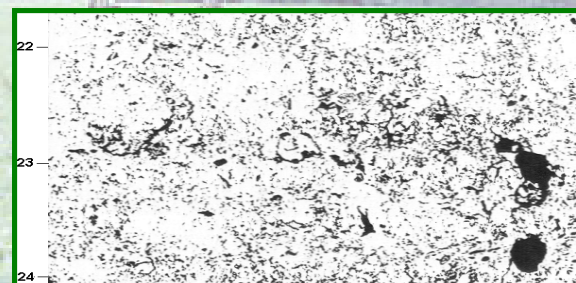
GO, LV, 4 anos

Solo sob plantio direto

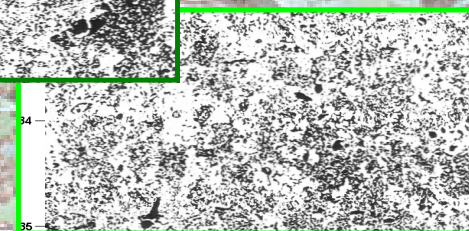
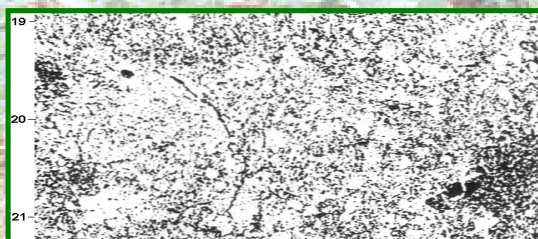
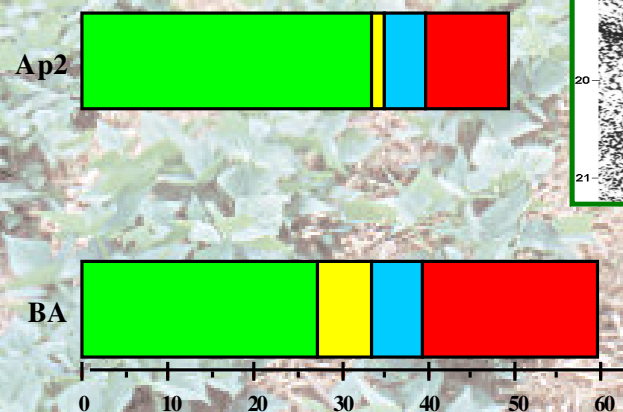
- Estado de maior compactação
 - altera distribuição do diâmetro de poros
 - redução na macroporosidade
 - maior retenção de água
 - impedimento ao crescimento das raízes?
 - menor volume de solo explorado?
 - menor disponibilidade de água?
 - poros mais estáveis e contínuos
 - suportam maior resistência à penetração

CONTINUIDADE DE POROS

GRADE PESADA



PLANTIO DIRETO



CLASSES DE DIAMETRO EQUIVALENTE

■ $< 3 \mu\text{m}$ ■ $3 \text{ a } 9 \mu\text{m}$ ■ $9 \text{ a } 50 \mu\text{m}$ ■ $> 50 \mu\text{m}$

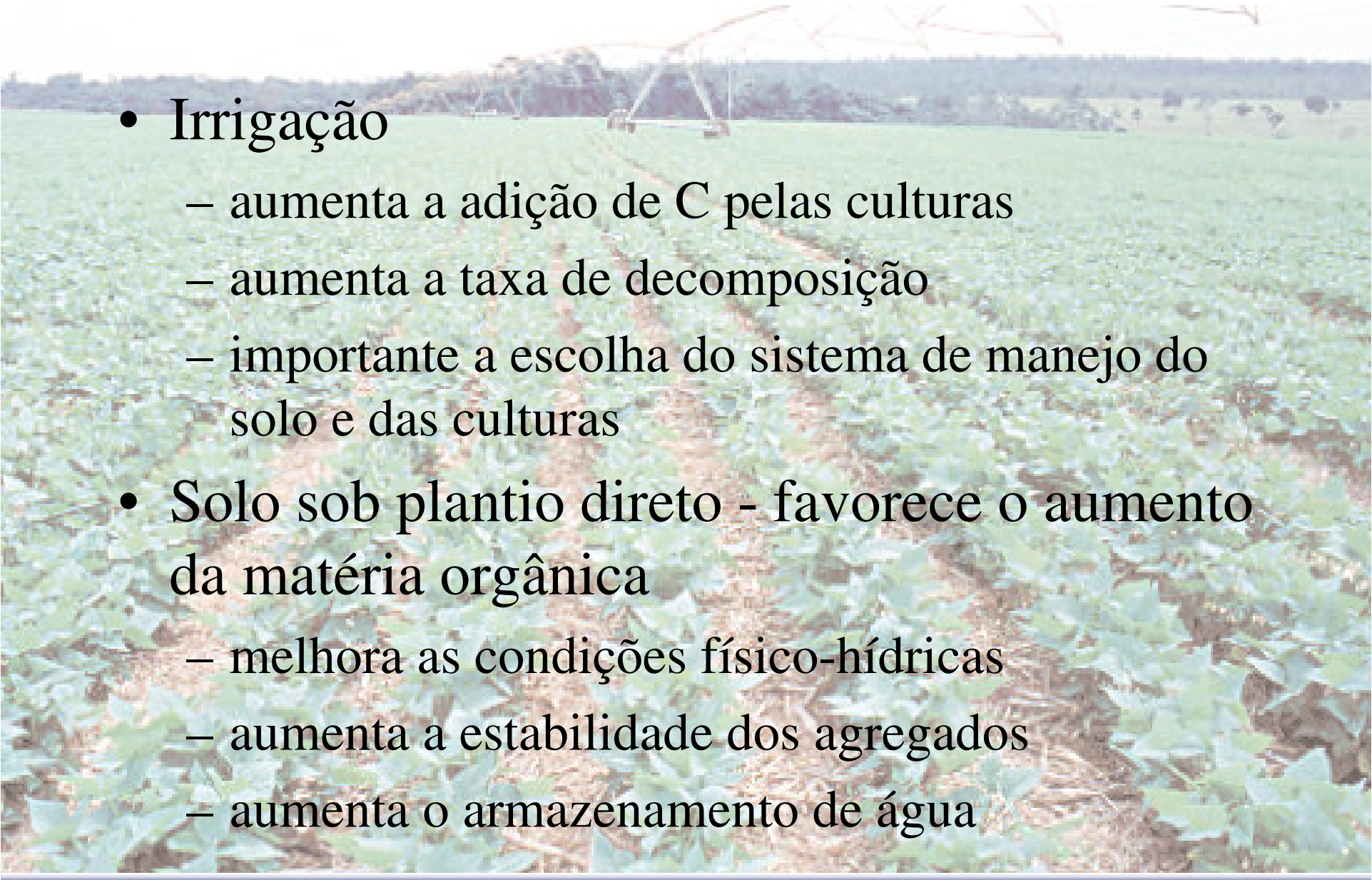
Freitas et al. (1998)

GO, LV, 5 anos



Matéria orgânica

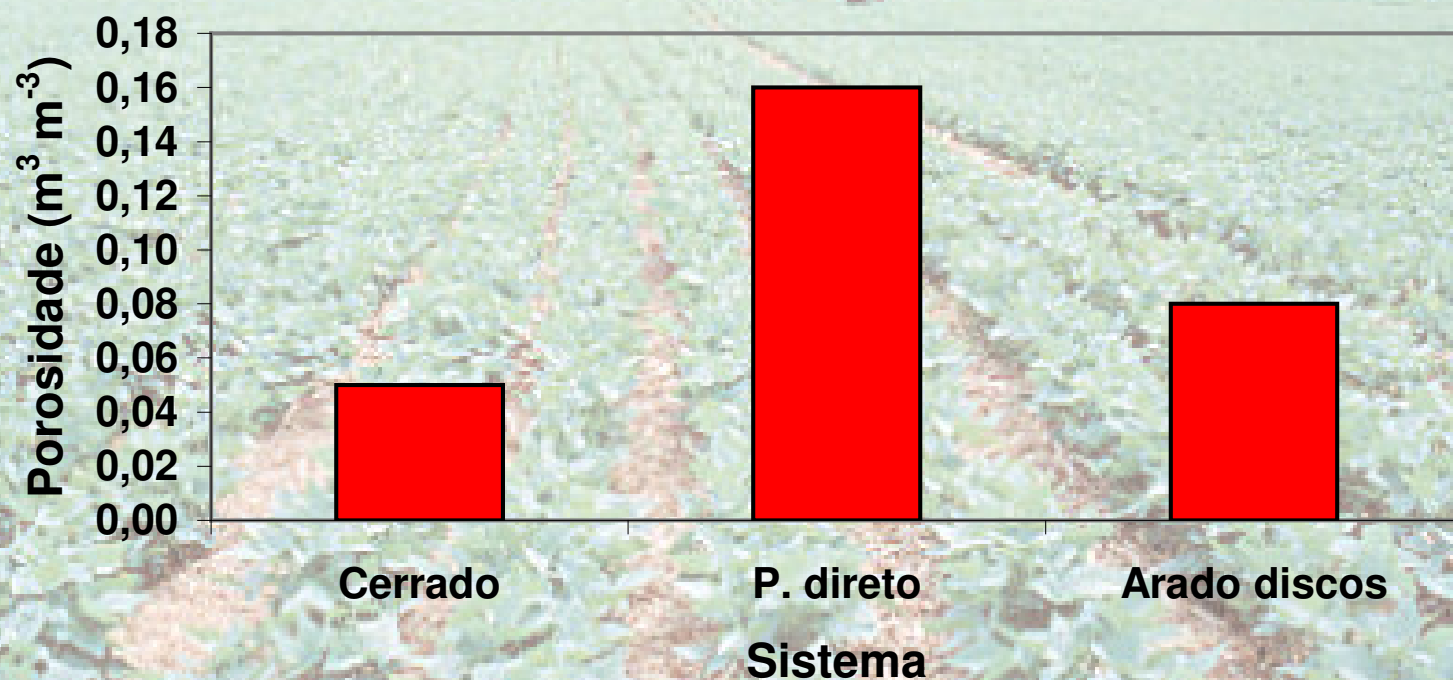
- Diminui a densidade do solo e o grau de compactação
- Na superfície
 - absorve parte da pressão de máquinas e animais
- Incorporada
 - aumenta a elasticidade do solo e a resistência à compactação

- 
- Irrigação
 - aumenta a adição de C pelas culturas
 - aumenta a taxa de decomposição
 - importante a escolha do sistema de manejo do solo e das culturas
 - Solo sob plantio direto - favorece o aumento da matéria orgânica
 - melhora as condições físico-hídricas
 - aumenta a estabilidade dos agregados
 - aumenta o armazenamento de água

USO DA ÁGUA RELACIONADO AO MANEJO DO SOLO

- Plantio direto $\Rightarrow$ maior infiltração de água no solo
 - melhor aproveitamento da água da chuva
 - economia de água na irrigação suplementar
 - permite maior intensidade de aplicação
 - menor tempo de posição por linha lateral
 - permite menor velocidade em pivô central $\Rightarrow$ aumenta tempo de retorno $\Rightarrow$ umedecimento do solo e das plantas mais espaçado
 - diminui perdas por evaporação da água do solo
 - minimiza a incidência de doenças

- Plantio direto $\Rightarrow$ maior armazenamento de água
 - maior disponibilidade total de água
 - fator de disponibilidade (f) não varia com manejo $\Rightarrow$ maior disponibilidade real de água
 - Capacidade real de água no solo (CRA) depende profundidade efetiva das raízes (P_e)
 - pivô central $\Rightarrow P_e = 30\text{ cm} \Rightarrow$ maior CRA
 - aspersão convencional $\Rightarrow$ depende da ocorrência de restrição ao desenvolvimento radicular
 - maior CRA $\Rightarrow$ maior turno de rega $\Rightarrow$ menores custos de operação
 - pivô central - maior turno de rega $\Rightarrow$ menores perdas por evaporação e incidência de doenças



Volume de poros entre 50 e 9,0 μm de diâmetro (água retida sob tensões entre 6 e 33 kPa)

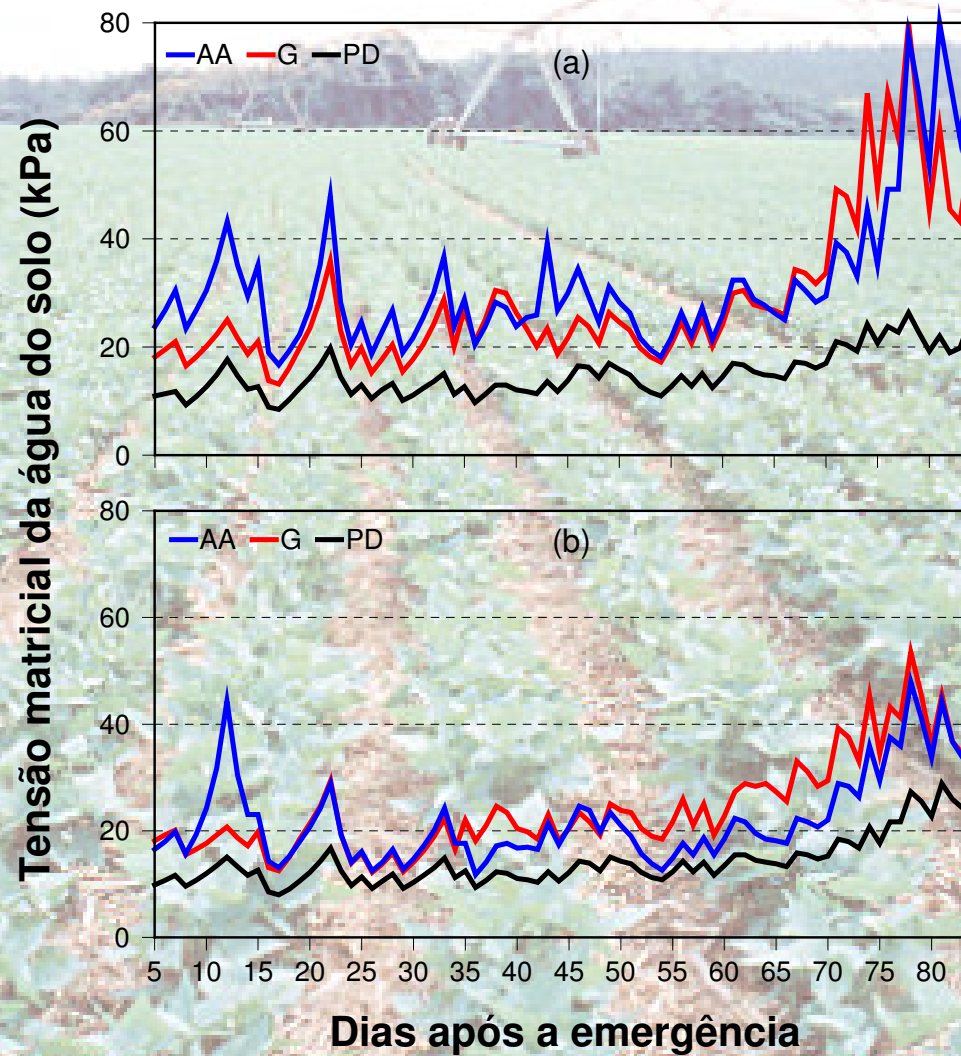
Fonte: Oliveira et al. (2004)



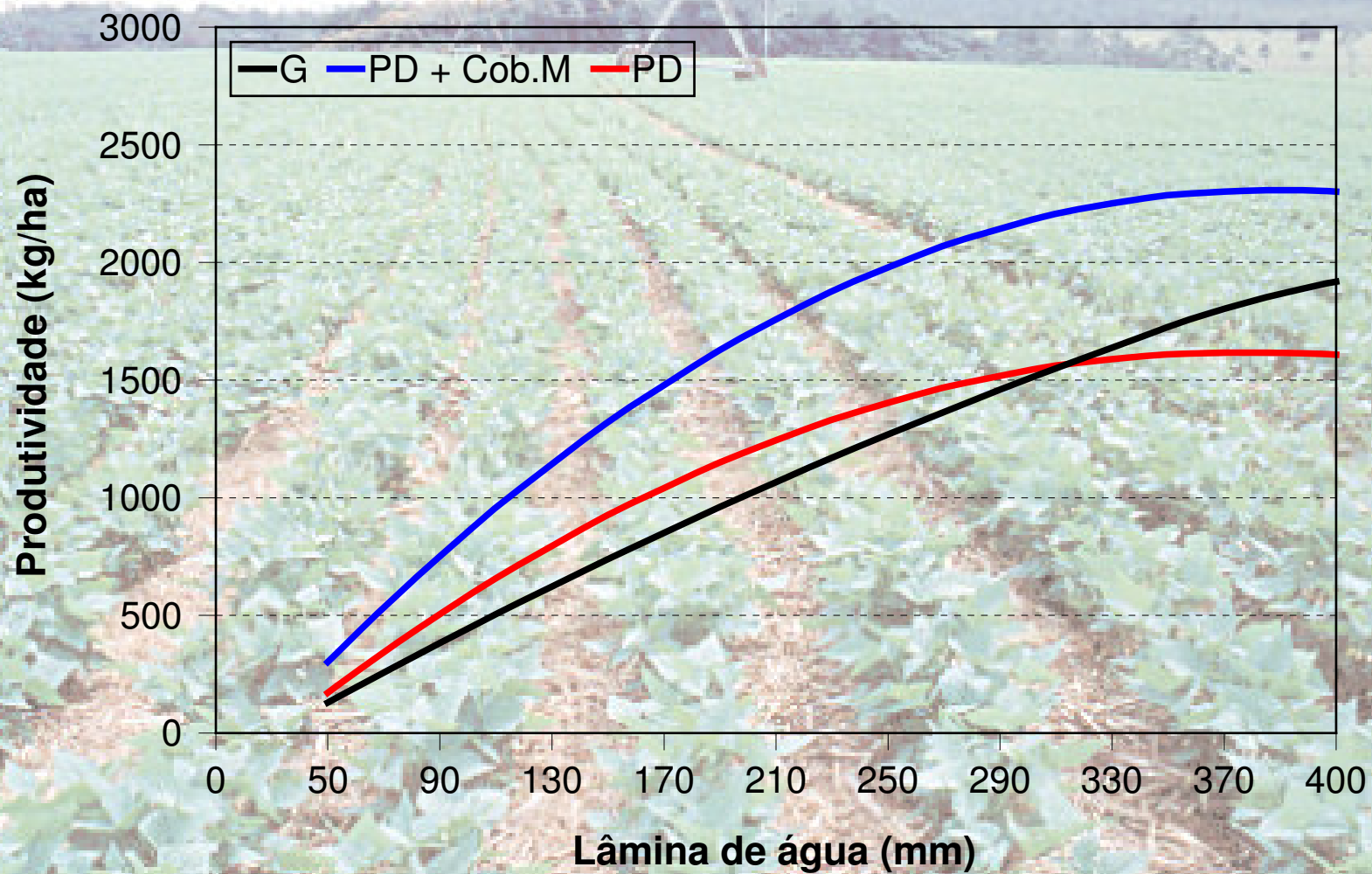
Tensão adequada para irrigação no SPD

- Feijoeiro: 30 - 35 kPa (Moreira et al., 1998)
- Milho: 30 - 40 kPa (Moreira et al., 1998)
- Trigo: 35 - 45 kPa (Moreira et al., 1998)

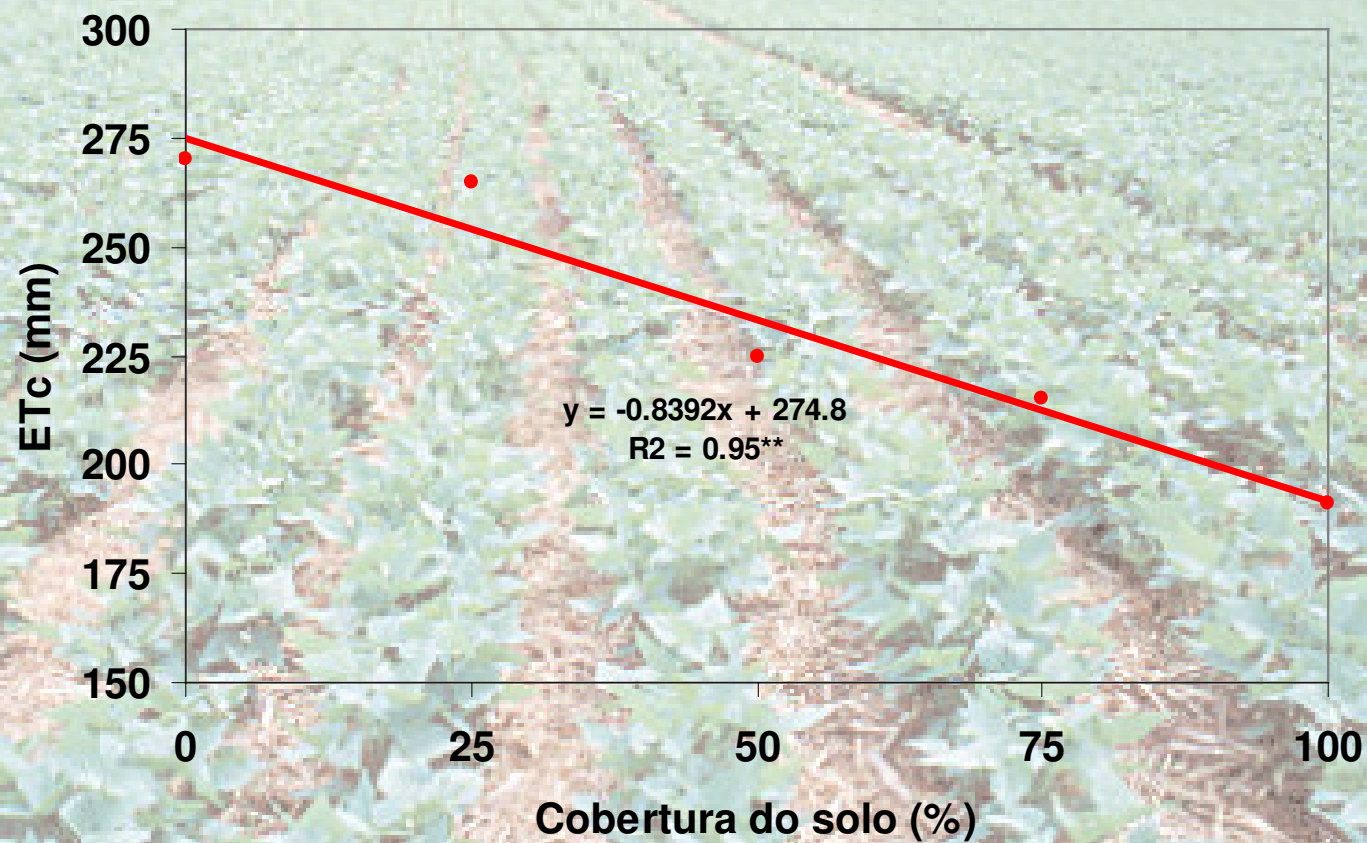
- 
- Plantio direto $\Rightarrow$ maior economia de água
 - cobertura morta reduz a taxa de evaporação da água do solo
 - tensão recomendada é semelhante a do preparo convencional $\Rightarrow$ maior turno de rega $\Rightarrow$ menores custos totais de irrigação



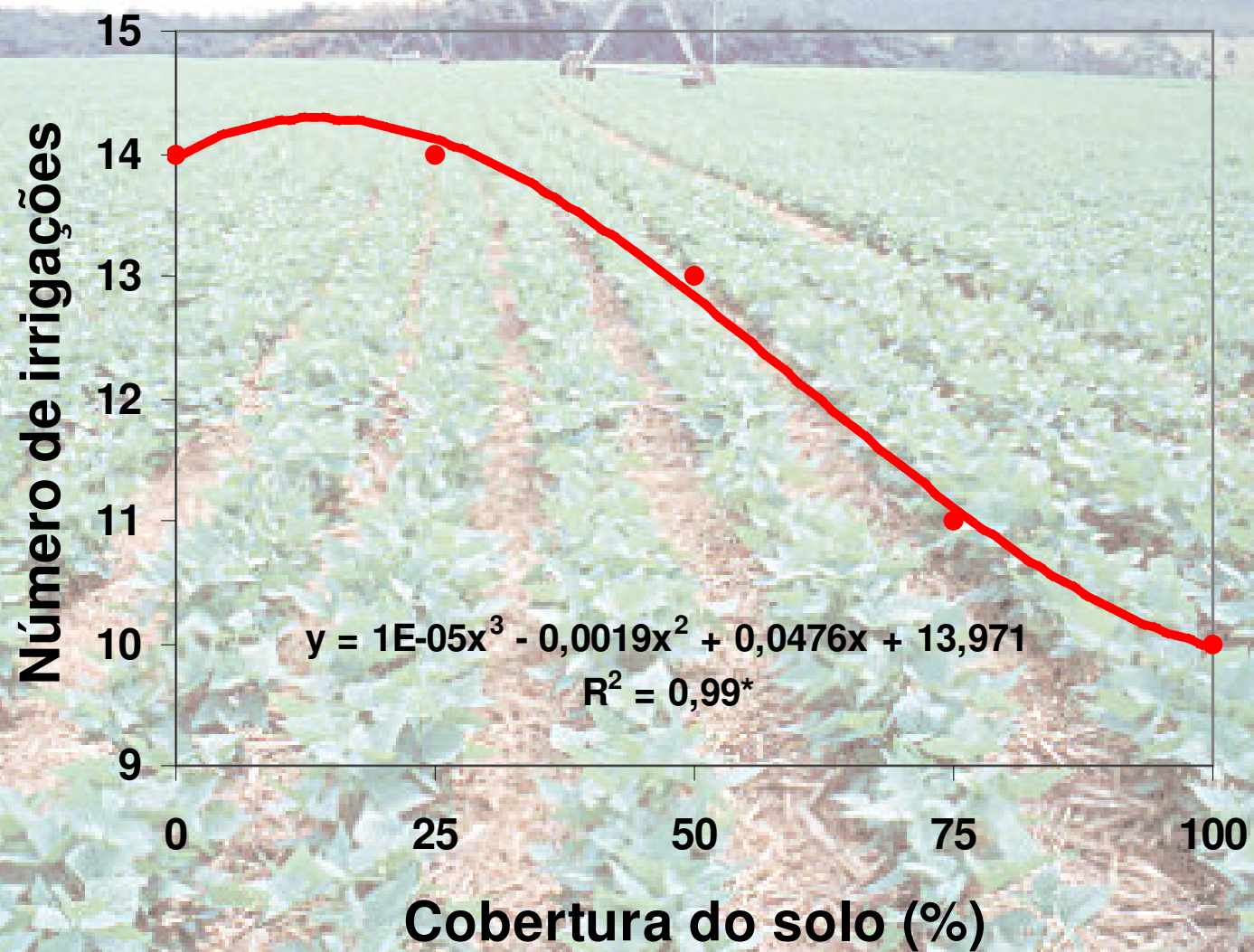
Fonte: Stone & Silveira (1999)



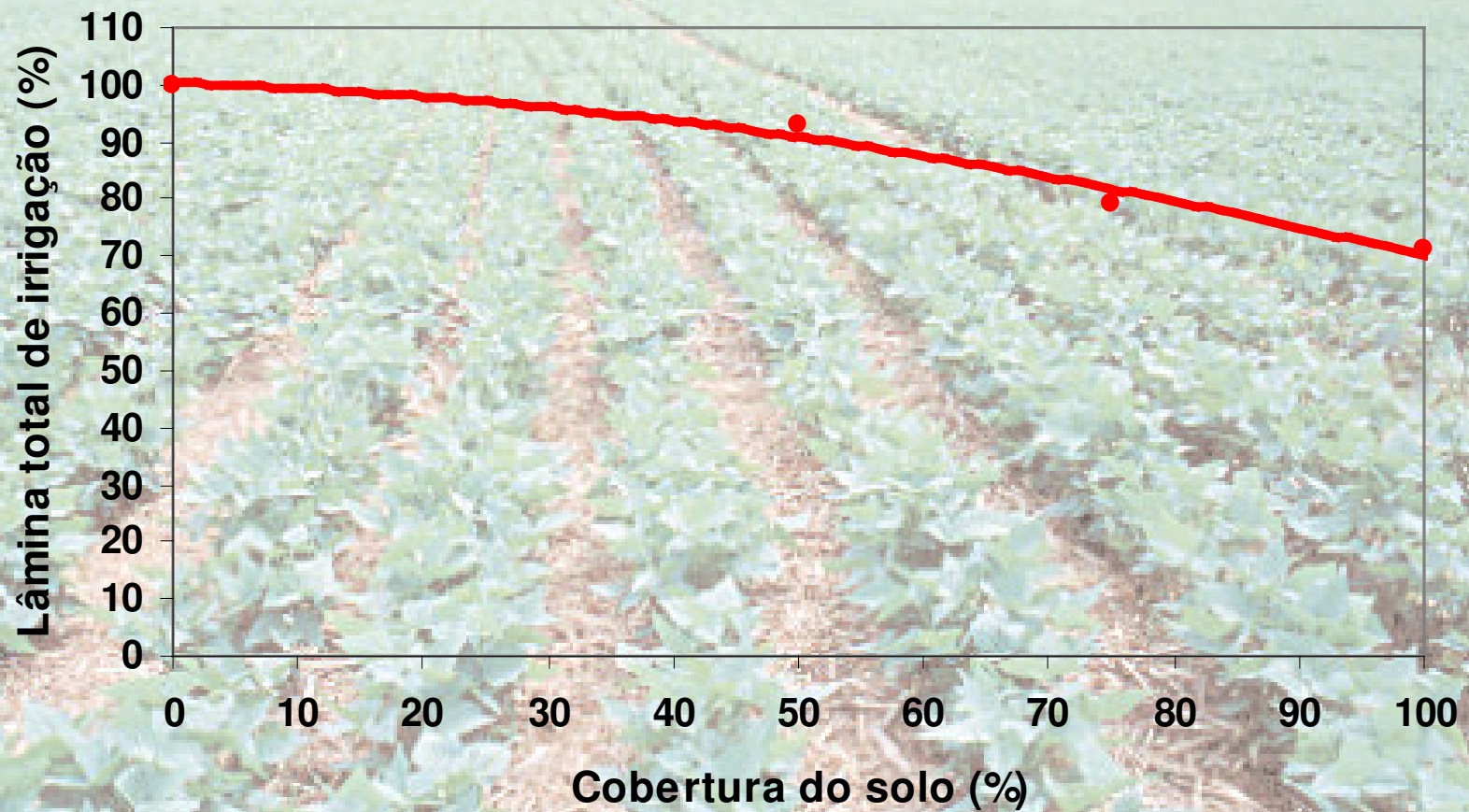
Fonte: Stone & Moreira (2000)



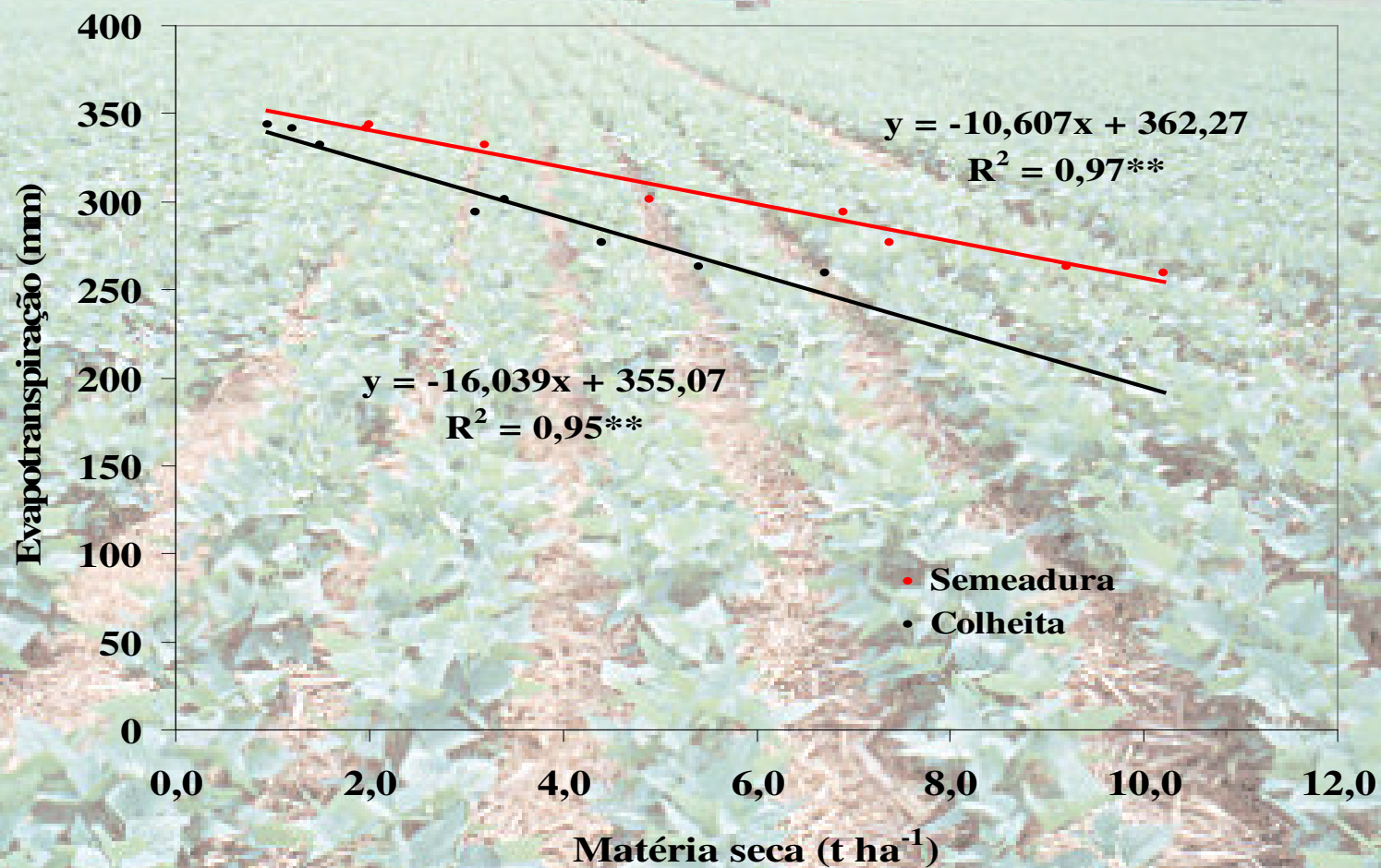
Fonte: Andrade et al. (2002)



Fonte: Moreira et al. (1999)



Fonte: Moreira et al. (1999)

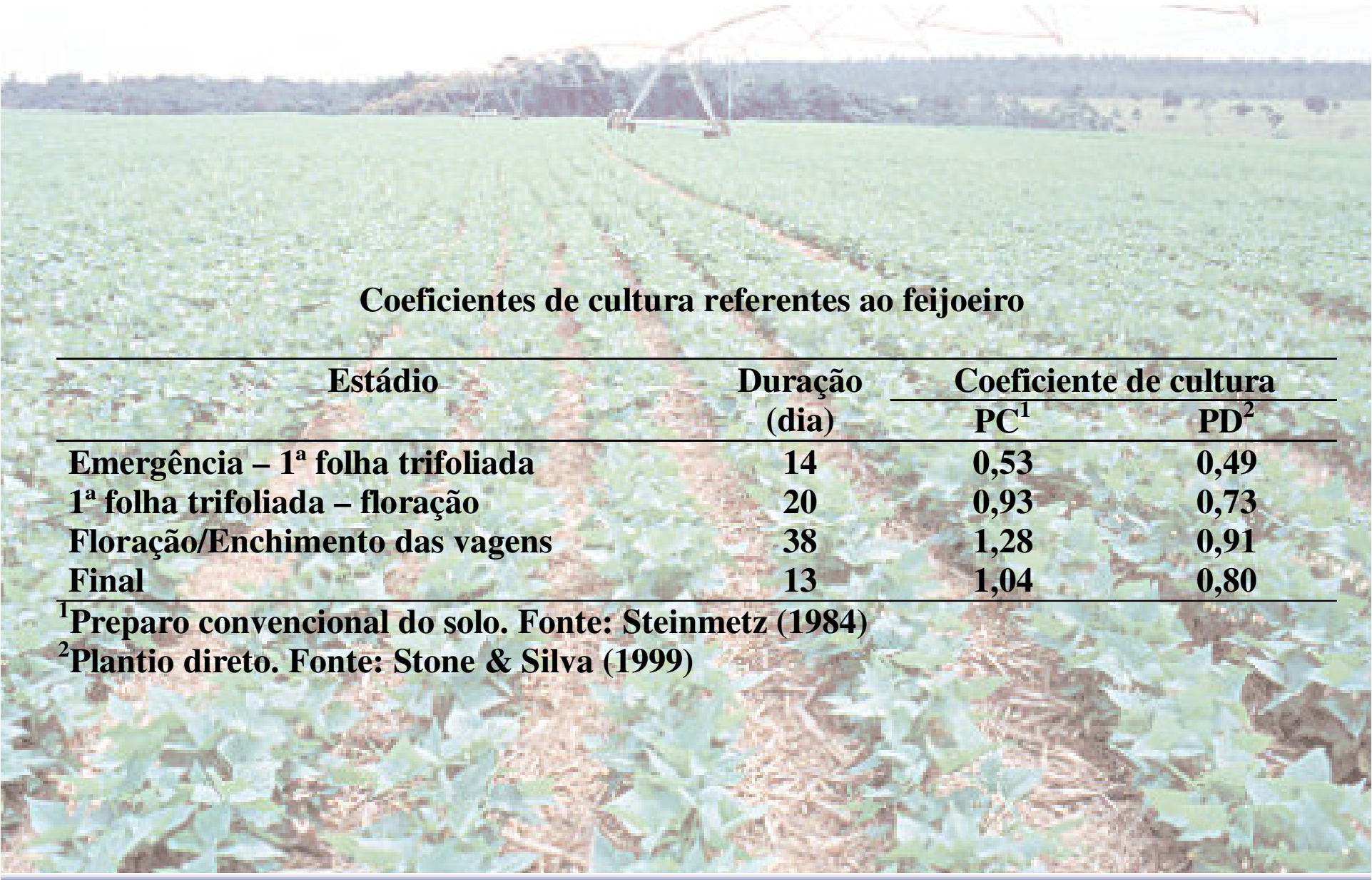


Fonte: Stone et al. (2006)

Evapotranspiração do feijoeiro em razão das palhadas das culturas de cobertura

Cultura de cobertura	Evapotranspiração (mm)
Braquiária	259,8d
Milho + braquiária	300,9b
Guandu	343,7a
Milheto	277,1c
Mombaça	263,3d
Sorgo	332,6a
Estilosantes	341,9a
Crotalária	293,8b

Fonte: Stone et al. (2006)



Coeficientes de cultura referentes ao feijoeiro

Estádio	Duração (dia)	Coeficiente de cultura	
		PC ¹	PD ²
Emergência – 1ª folha trifoliada	14	0,53	0,49
1ª folha trifoliada – floração	20	0,93	0,73
Floração/Enchimento das vagens	38	1,28	0,91
Final	13	1,04	0,80

¹Preparo convencional do solo. Fonte: Steinmetz (1984)

²Plantio direto. Fonte: Stone & Silva (1999)

Coefficientes de cultura referentes ao arroz de terras altas, ciclo médio, semeado no espaçamento de 20 cm entre linhas

Estádio	Duração (dia)	Coefficiente de cultura	
		PC¹	PD²
Emergência – início do perfilhamento	20	0,58	0,18
Início do perfilhamento – iniciação da panícula	45	0,72	0,67
Iniciação da panícula – grão pastoso	55	1,34	1,28
Grão pastoso – maturação	15	0,67	0,53

¹Preparo convencional do solo. Fonte: Stone e Silva (1999b)

²Plantio direto. Fonte: Stone e Silveira (2003)

Coefficientes de cultura médios, nos diferentes estádios de desenvolvimento do feijoeiro, cultivar Pérola, em relação aos tratamentos de cobertura morta

Período	DAE*	Coeficiente de cultura				
		Cobertura do solo (%)				
		0	25	50	75	100
8 – 14/8	20	0,65	0,67	0,54	0,49	0,36
15 – 21/8	27	0,77	0,84	0,70	0,71	0,57
22 – 28/8	34	1,06	0,99	0,85	0,83	0,91
29 – 4/9	41	1,25	1,24	1,15	1,12	1,01
5 – 11/9	48	1,24	1,24	1,13	1,11	0,98
12 – 18/9	55	1,20	1,22	1,05	0,96	0,90
19 – 25/9	62	0,94	0,81	0,97	0,86	0,60
26 – 2/10	69	0,80	0,82	0,61	0,55	0,47
3 – 9/10	76	0,67	0,66	0,47	0,45	0,37

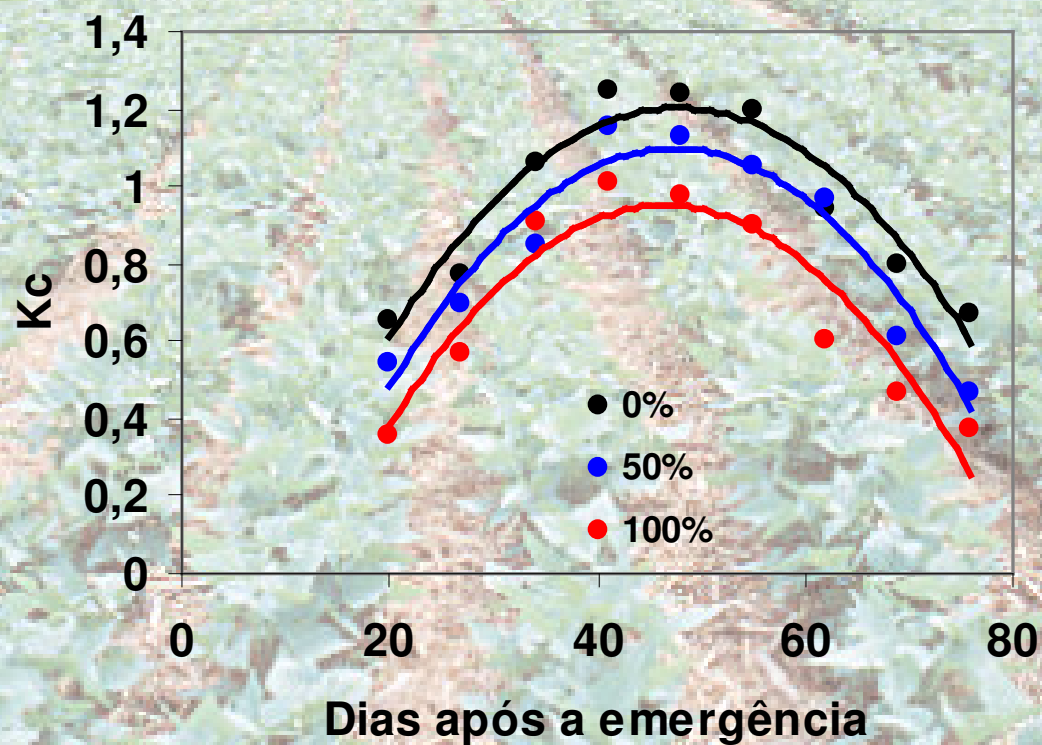
*DAE – dias após a emergência. Fonte: Andrade et al. (2002)

Evapotranspiração (ETc) e coeficientes de cultura (Kc) para o arroz de terras altas, cultivar BRS Primavera, em diferentes estádios do ciclo, em função da porcentagem de cobertura do solo pela palhada

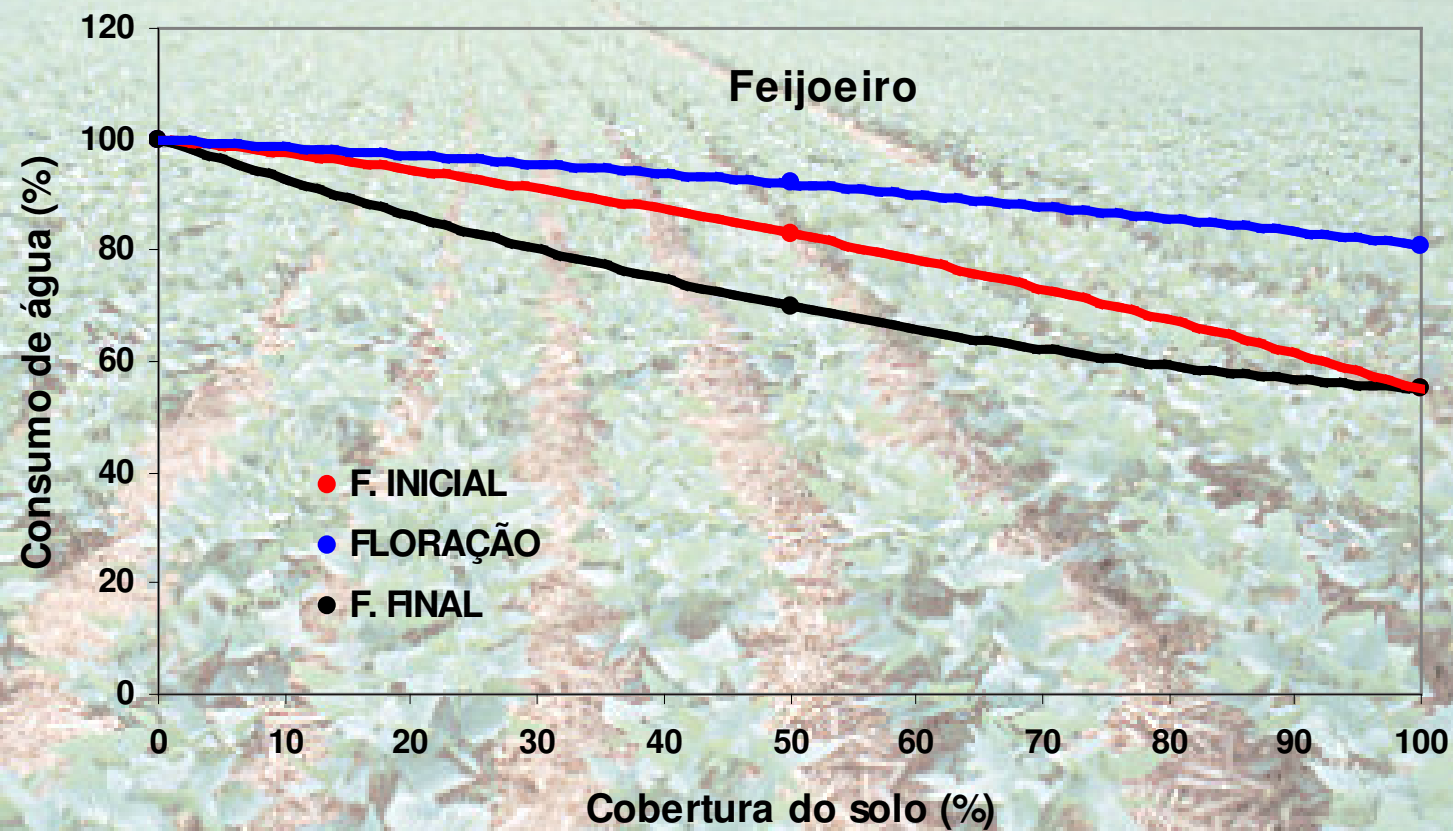
Estádio	Duração (d)	ETc (mm)			Kc		
		0%	50%	100%	0%	50%	100%
Emergência-início do perfilhamento (IP)	20	41,1	31,0	20,9	0,61	0,46	0,31
IP-máximo perfilhamento (MP)	12	30,8	24,7	20,5	0,81	0,65	0,54
MP-diferenciação das panículas (DP)	15	65,7	55,8	48,6	1,10	0,85	0,74
DP-diferenciação das espiguetas (DE)	8	40,4	37,0	33,7	1,20	1,10	1,00
DE-emborrachamento (E)	8	47,6	46,6	45,5	1,34	1,31	1,28
E-floração (F)	9	38,1	37,3	36,4	1,28	1,25	1,22
F-grão leitoso (GL)	8	27,9	27,0	26,4	0,93	0,90	0,88
GL-maturação	28	79,7	76,0	72,3	0,65	0,62	0,59
Ciclo	108	371,4	335,5	305,4	0,88	0,79	0,72

Fonte: Stone & Moreira (2006).

Kc do feijoeiro em função da cobertura do solo

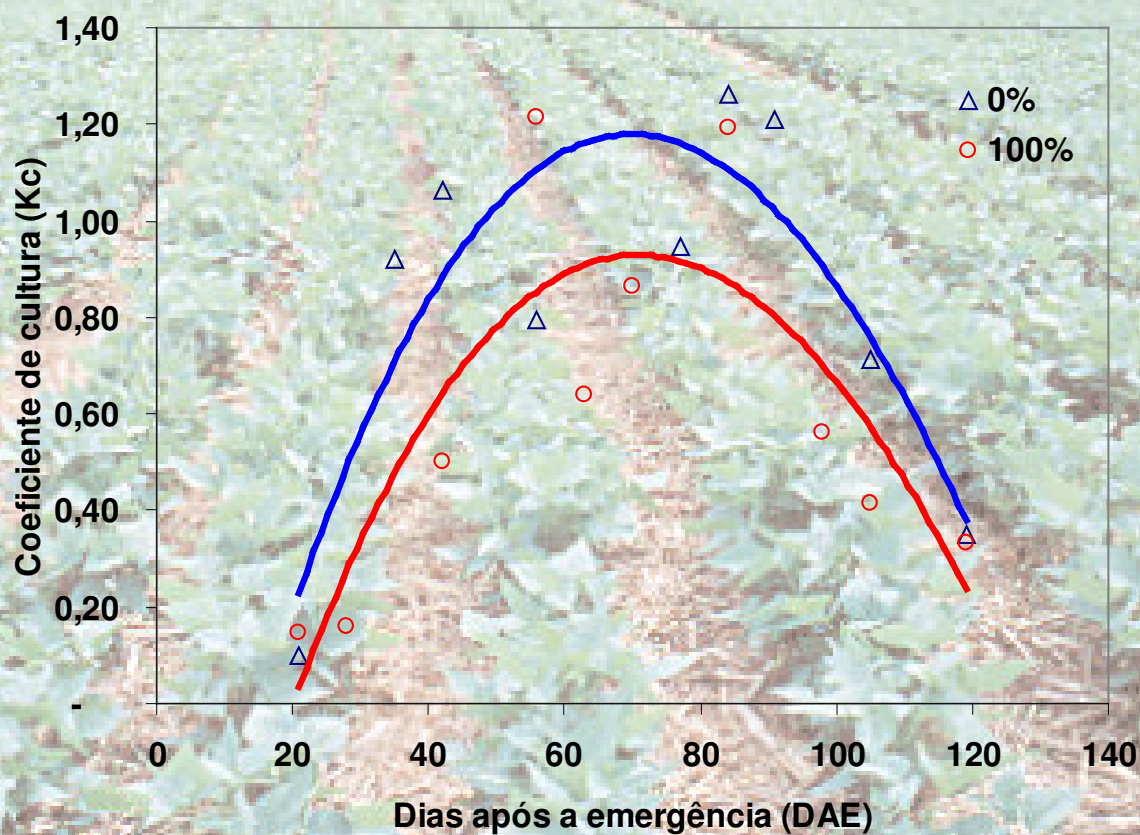


Fonte: Andrade (2001)

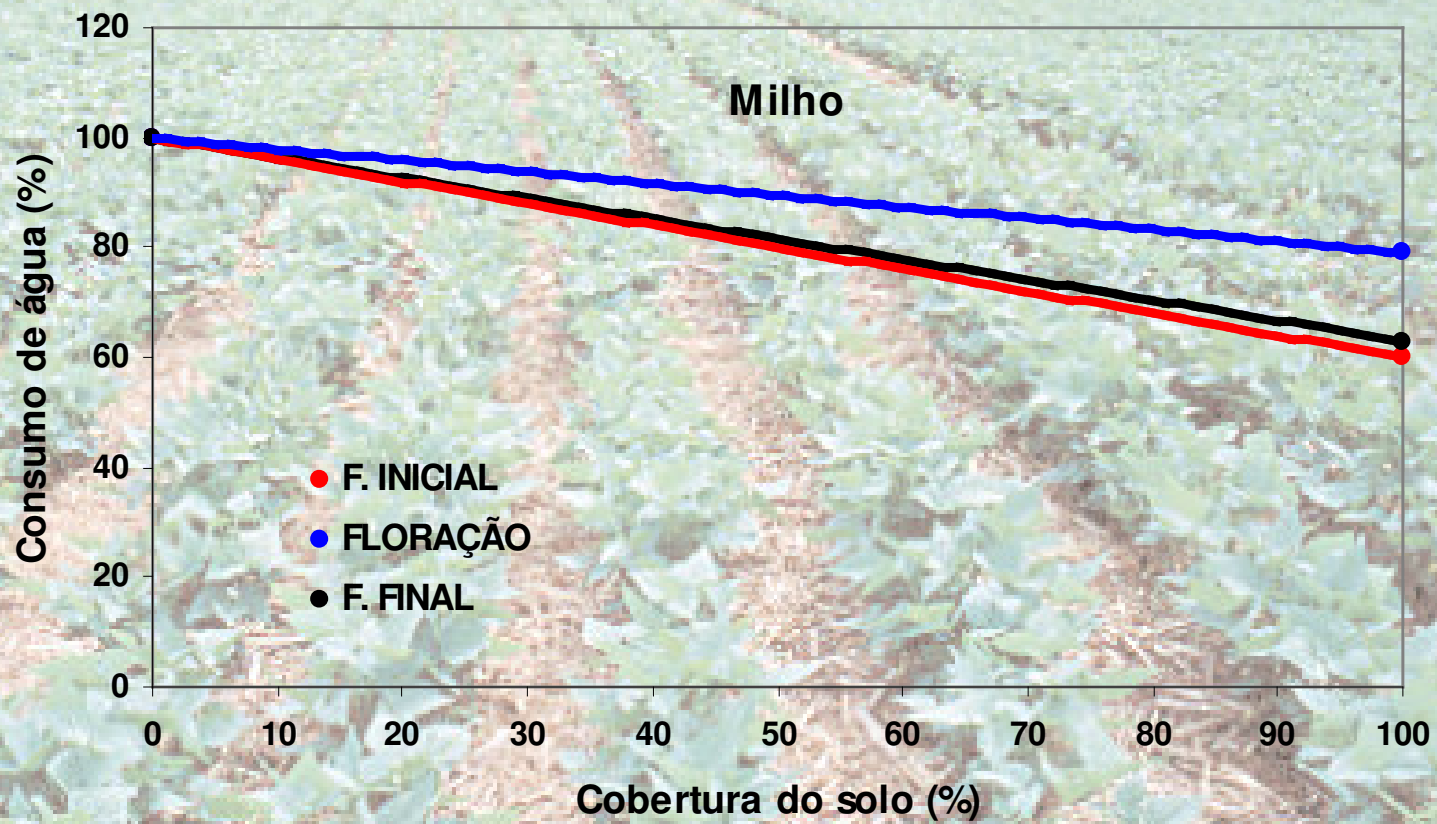


Fonte: Andrade (2001)

Kc do milho em função da cobertura do solo

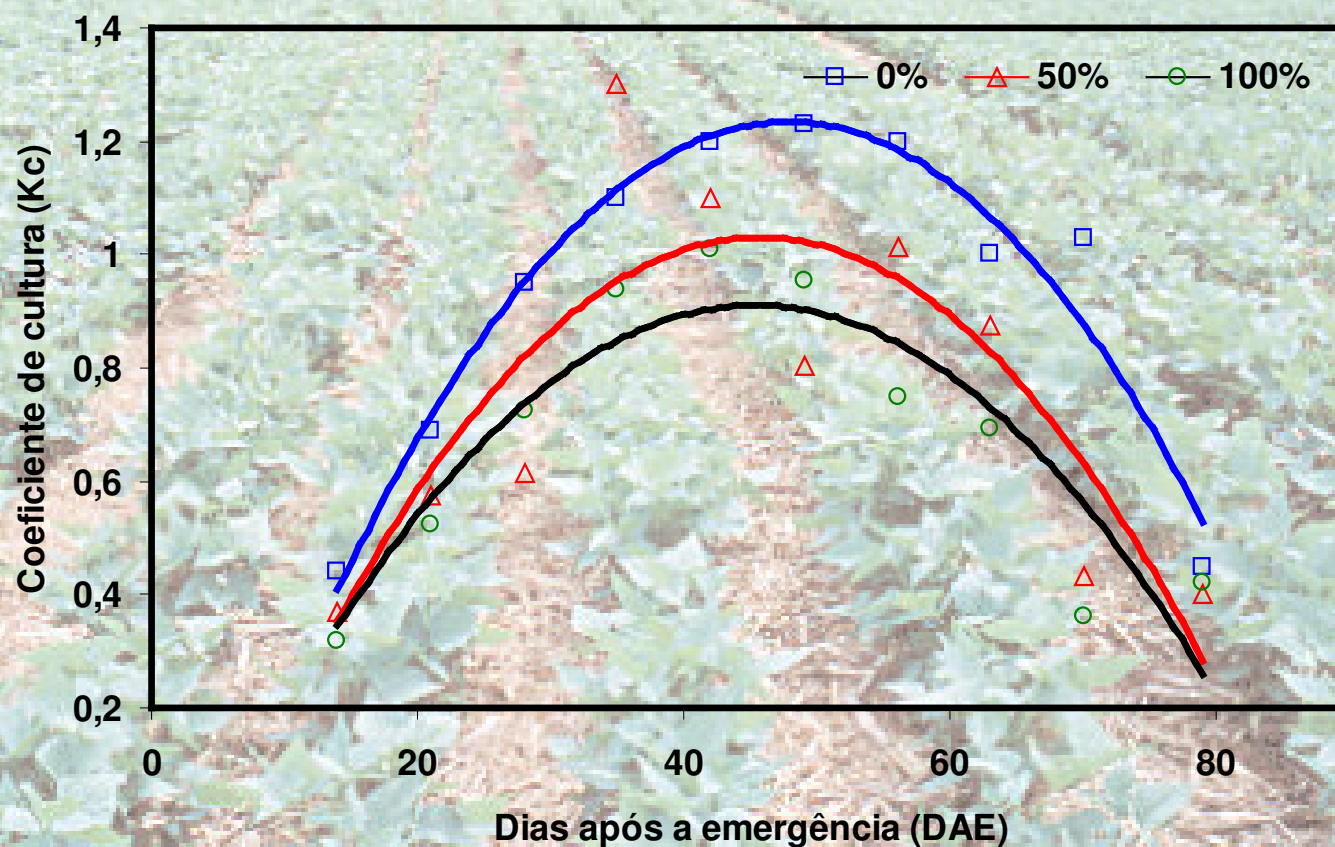


Fonte: Moreira et al. (2006)

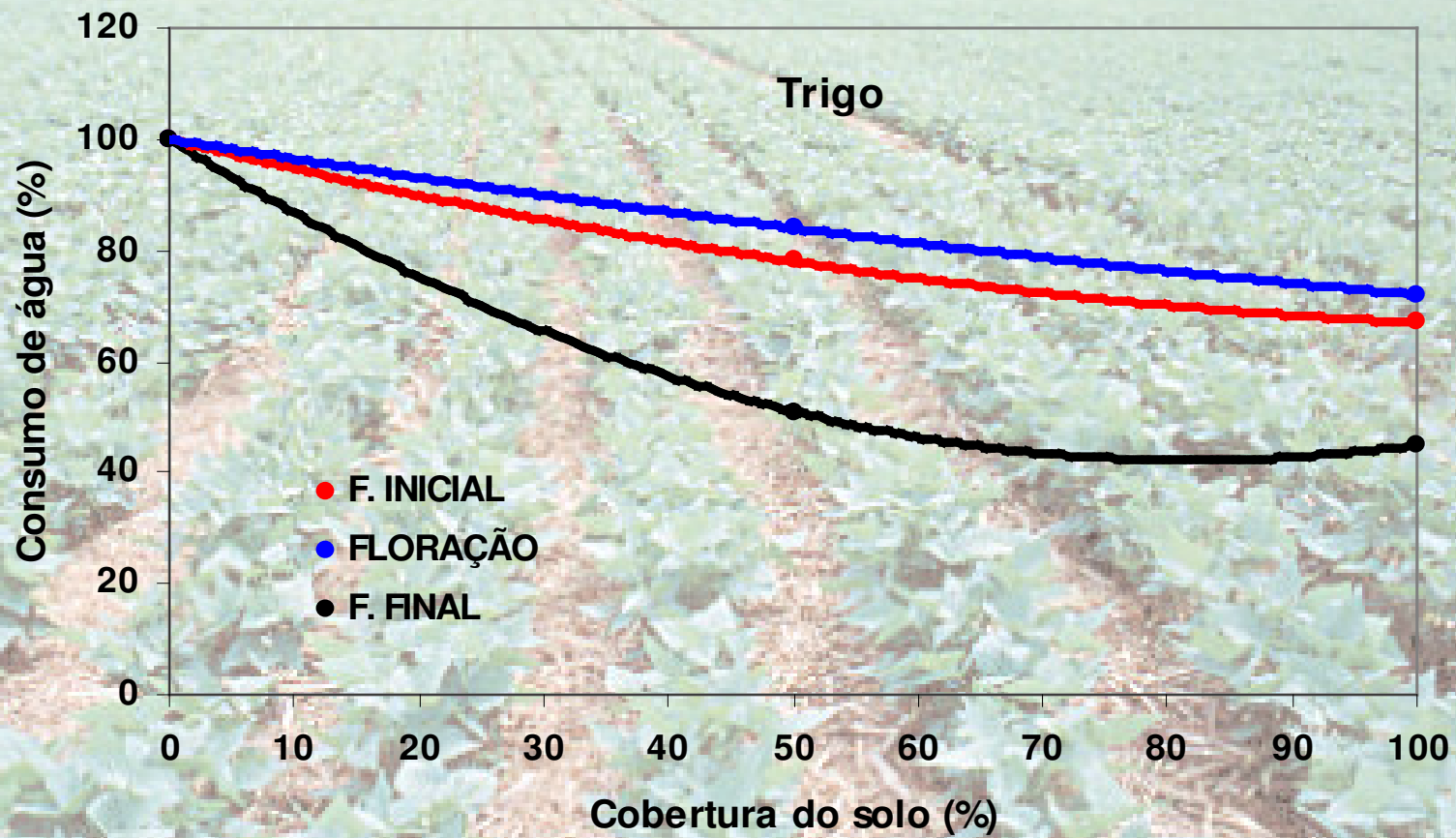


Fonte: Moreira et al. (2006)

Kc do trigo em função da cobertura do solo



Fonte: Moreira et al. (2005)



Fonte: Moreira et al. (2005)



OBRIGADO PELA ATENÇÃO

Luís Fernando Stone
Embrapa Arroz e Feijão

stone@cnpaf.embrapa.br

CAIXA POSTAL 179

75375-000 SANTO ANTÔNIO DE GOIÁS, GO