

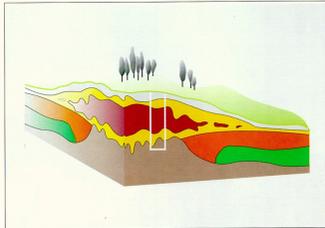
Erosão do Solo

Erodibilidade do solo, Tolerância de perda do solo, Equação Universal de Perda de Solo (USLE)

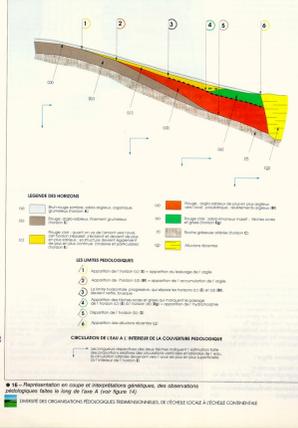
Prof Miguel Cooper
Depto de Ciência do Solo
ESALQ/USP
E-mail: mcooper@usp.br

1

O solo e sua continuidade na paisagem



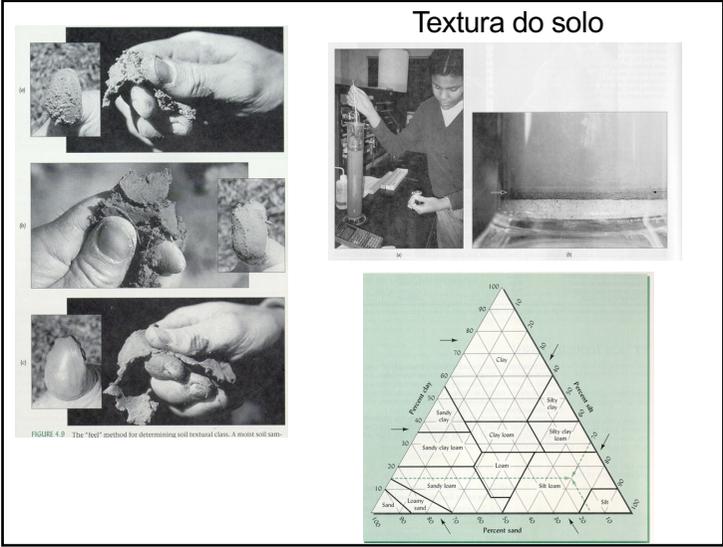
● 1 – Bloc-diagramme schématique représentant un paysage et sa couverture pédologique faite d'horizons qui se superposent verticalement et se succèdent latéralement.



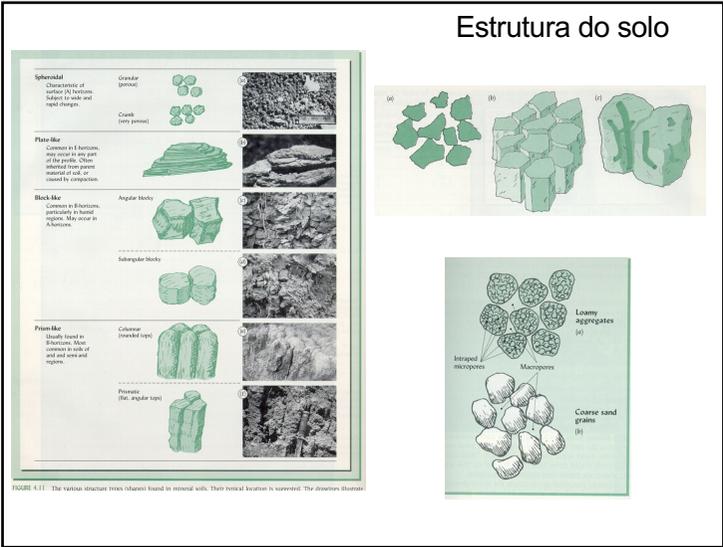
● 15 – Représentation en coupe et observations géologiques, des observations pédologiques faites le long de l'axe A (voir figure 14).

● 16 – Échelle des horizons pédologiques représentés dans le schéma ci-dessus à l'échelle de la colonne de la droite.

2



3



4

Porosidade



Cálculo da Porosidade Total

5

Densidade do solo

▪ Densidades do solo características

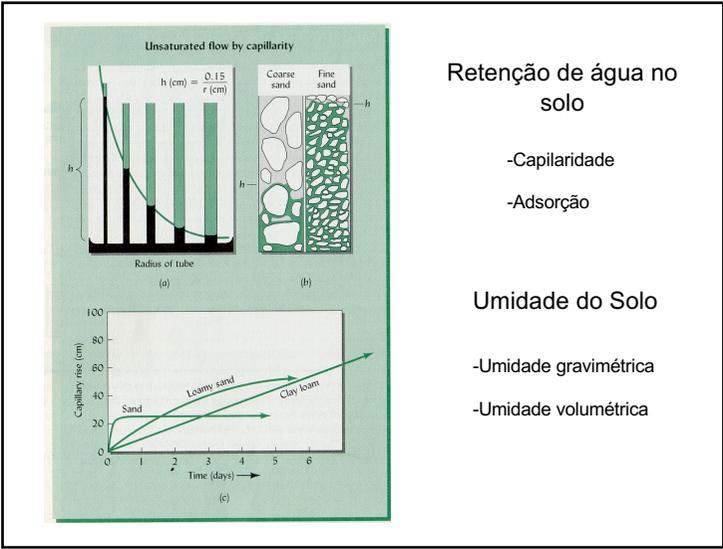
-solos argilosos = 1,00 a 1,30 Mg m⁻³

-solos arenosos = 1,30 a 1,60 Mg m⁻³

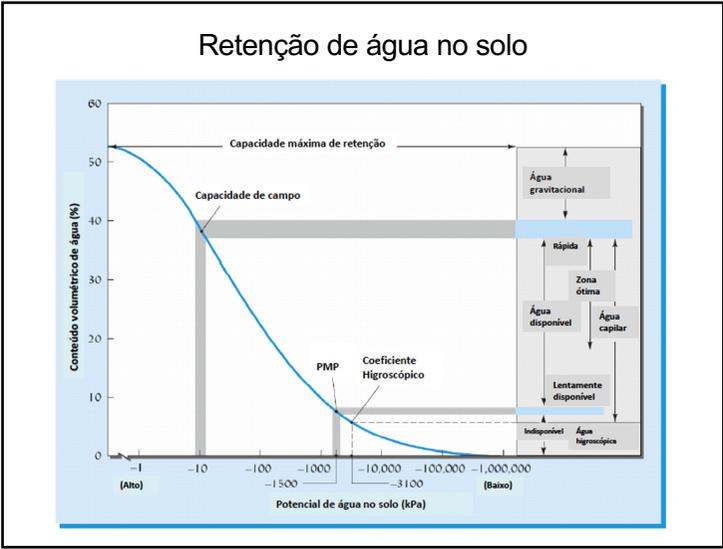
-solos orgânicos = 0,75 a 1,00 Mg m⁻³

-solos turfosos = 0,20 a 0,40 Mg m⁻³

6

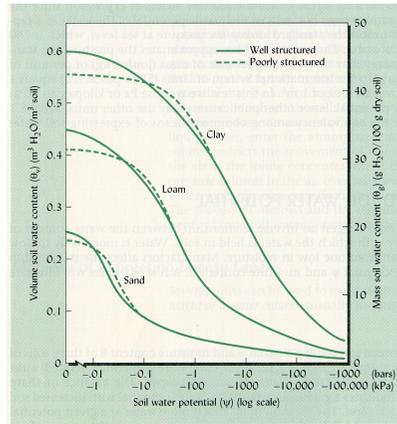


7



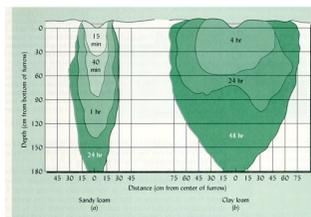
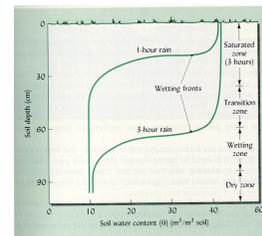
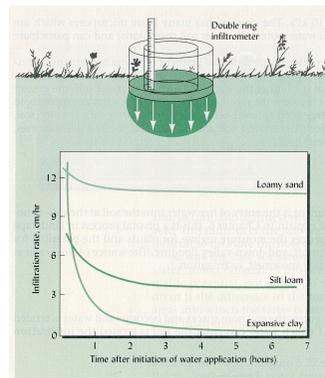
8

Retenção de água no solo



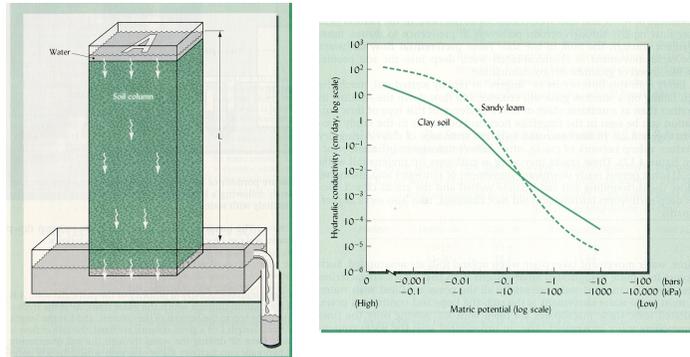
9

Movimento de água no solo/ Infiltração



10

Movimento de água no solo/ Condutividade hidráulica



11

Erodibilidade do solo

É a susceptibilidade de um solo em sofrer erosão.

Pode ser definido também como o atributo intrínseco do solo que reage à ação erosiva da água:

- reduzindo a taxa de infiltração e a rugosidade superficial do solo devido à desestruturação (aumentando a enxurrada);
- desprendendo e transportado as partículas pela enxurrada.

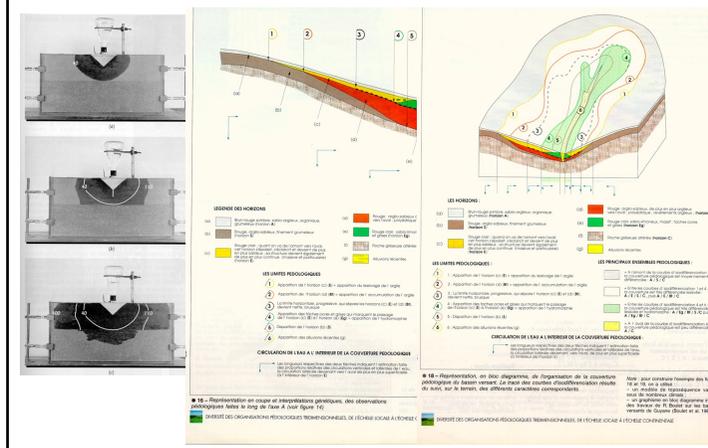
12

Atributos do solo e erodibilidade do solo

- qualquer atributo do solo pode afetar a erodibilidade;
- não existe nenhum atributo isolado que possa descrever integralmente a erodibilidade;
- na prática, a agregação do solo, a consistência e a força de cisalhamento afetam diretamente a erosão;
- outros atributos tem uma influência indireta.

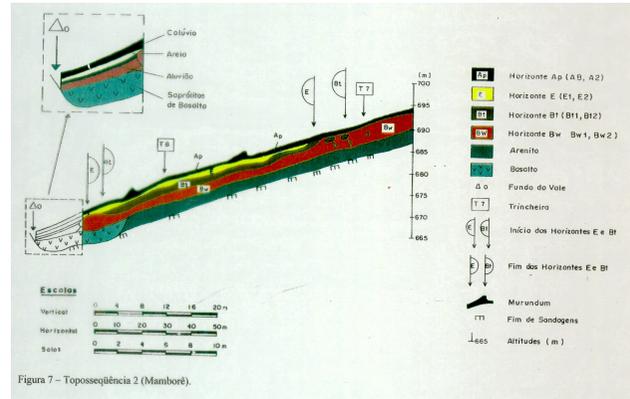
13

Atributos físicos x fluxos superficiais e sub-superficiais da água

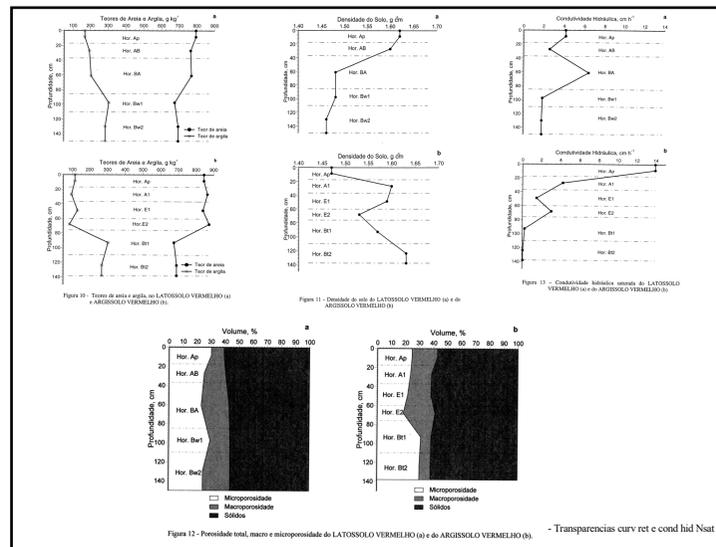


14

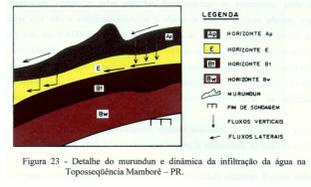
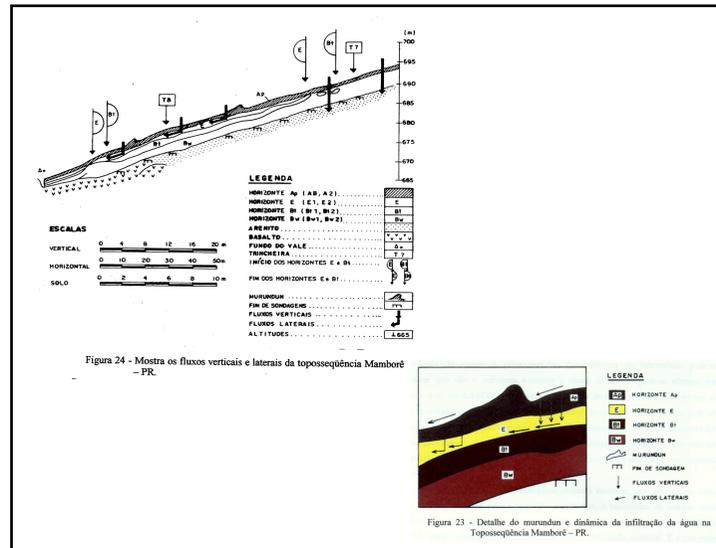
Estudo de caso – Sequência de Mamboré (PR)



15

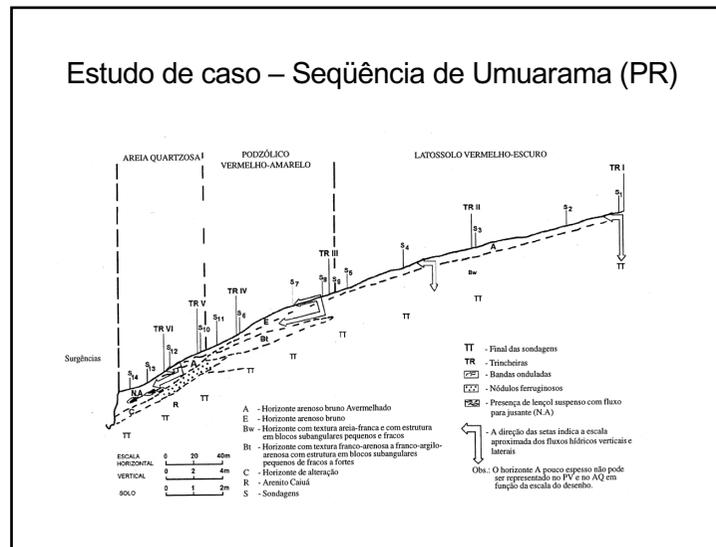


16



17

Estudo de caso – Seqüência de Umuarama (PR)



18

Cálculo da Erodibilidade do Solo



USLE

$$K = \frac{\text{Perdas de solo anual (Fator "A")}}{\text{Erosividade da chuva anual (Fator "R")}}$$

$$\text{Unidade de } K = \frac{\text{Mg.ha.h}}{\text{ha.Mj.mm}}$$

Bouyoucos (Bertoni & Lombardi Neto, 1990)

$$\left(\frac{\% \text{ areia} + \% \text{ silte}}{\% \text{ argila}} \right) / 100$$

Denardin

$$K = 0,00608397 * P + 0,00834286 * MO - 0,00116162 * \text{Oxid Al} - 0,00037756 * Ar_{2-0,5}$$

19

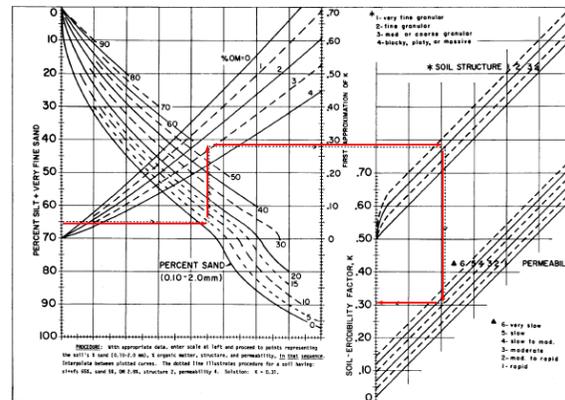


FIGURE 3—The soil-erodibility nomograph. Where the silt fraction does not exceed 70 percent, the equation is $100 K = 2.1 M^{0.1} (10^{-a})^{1.2-a} + 3.25 (b-2) + 2.5 (c-5)$ where $M = (\text{percent silt} + \text{v.f.s.}) (100 - \text{percent c})$, $a = \text{percent organic matter}$, $b = \text{structure code}$, and $c = \text{profile permeability class}$.

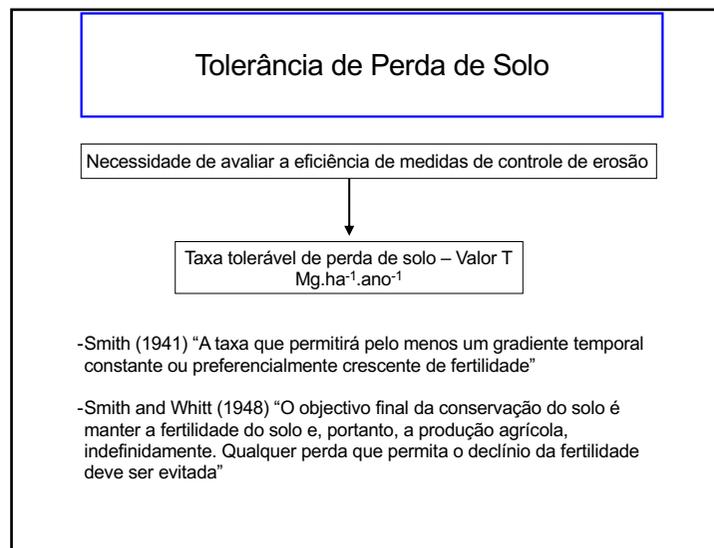
Nomograma da Erodibilidade do Solo

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

20

Solo	Erodibilidade Horizonte	
	Superfície	Subsuperfície
com B textural		
PV com cascalho	0,055	0,027
PV ou PE abrupto A mod. textura arenosa/média	0,049	0,023
PV abrupto ou não textura arenosa/média	0,043	0,046
PV A moderado textura arenosa/média	0,035	0,023
PV ou PE A moderado textura argilosa ou média/arg.	0,034	0,018
PV ou PE dist ou álicos A moderado textura ar/arg ou med/arg ou arg/arg	0,028	0,019
BV textura argilosa ou m. arg. ou PE eut. A mod. textura arg. ou m. arg.	0,023	0,021
Terra Roxa Estruturada	0,018	0,011
com B latossólico		
LV dist ou álico A mod. textura arg. ou m. arg.	0,022	0,009
LE dist ou álico A mod. textura média	0,017	0,012
LV pouco prof., LV cámbico, Cambissolo Latossólico, todos textura argilosa	0,017	0,022
LE A mod. ou A proem. text. arg. ou m. arg.	0,015	0,005
LV ou LV cámbico, textura média ou argilosa	0,015	0,013
LV A mod. textura média	0,013	0,007
LV ou LAA mod. textura argilosa ou média	0,012	0,003
Latossolo Roxo A mod textura argilosa ou m. arg.	0,012	0,004

21

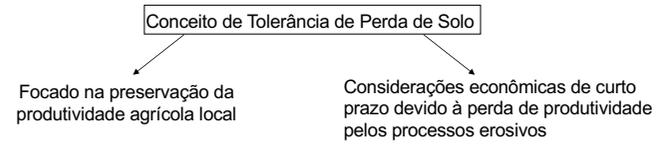


22

Tolerância de Perda de Solo

Wischmeier and Smith (1978) Agriculture Handbook N° 537:

“O termo “Tolerância de Perda de Solo” denota o nível máximo de erosão do solo que permitirá que um alto nível de produtividade das culturas seja sustentado economicamente e indefinidamente.”



23

Cálculo da Tolerância de Perda de Solos

Partindo de uma função: $\int_{t_0}^T F(x, y, t) dt$ onde $F(x, y, t)$ representa a mudança de um atributo do solo (1)

A função $F(x, y, t)$ representa no ponto (x, y) uma mudança de tolerância se:

$$I(x, y) - \int_{t_0}^{\infty} F(x, y, t) dt \geq M(x, y) \quad (2)$$

onde $I(x, y)$ é o valor do atributo naquela posição; $M(x, y)$ é o valor mínimo permitido do atributo naquela posição.

24

Cálculo da Tolerância de Perda de Solos

Escolhendo duas funções de posição e tempo $E(x,y,t)$ e $R(x,y,t)$ que satisfazem as seguintes condições:

- 1) $E(x,y,t) \geq 0$
- 2) $R(x,y,t) \geq 0$
- 3) $E(x,y,t) - R(x,y,t) = F(x,y,t)$

$E(x,y,t)$ representa a taxa de erosão de um atributo;
 $R(x,y,t)$ representa a taxa de renovação do mesmo atributo.

Desta forma a equação 2 pode ser expressa:

$$I(x, y) - \int_{t_0}^{\infty} [E(x, y, t) - R(x, y, t)] dt \geq M(x, y)$$

25

Cálculo da Tolerância de Perda de Solos

Smith & Stamey (1964): método prático para cálculo da tolerância de perda do solo.

Utilizado posteriormente pelo Lombardi Neto & Bertoni (1975) para calcular a tolerância de perda dos solos do ESP.

Baseado na profundidade do solo e na relação textural entre os horizontes.

$$P = 100 \times h \times d$$

P = peso da terra em Mg.ha⁻¹
h = espessura do horizonte em cm
d = densidade do solo em g.cm³

Estabeleceram 1000 anos para desgastar aquela quantidade de terra por unidade de superfície.

Dividindo por 1000 o peso de terra por unidade de superfície obtêm-se a tolerância de perda de solo.

26

Solo	Tolerância de Perda de Solo	
	Amplitudes observadas	Média ponderada em relação à profundidade
com B textural	Mg/ha	Mg/ha
PV com cascalho	2,1 a 6,6	5,7
PV ou PE abrupto A mod. textura arenosa/média	3,0 a 8,0	6,0
PV abrupto ou não textura arenosa/média	6,9 a 13,4	9,1
PV A moderado textura arenosa/média	3,8 a 5,5	4,5
PV ou PE A moderado textura argilosa ou média/arg.	5,2 a 7,6	6,6
PV ou PE dist ou álicos A moderado textura ar/arg ou méd/arg ou arg/arg	3,4 a 11,2	7,9
BV textura argilosa ou m. arg. ou PE eut. A mod. textura arg. ou m. arg.	9,8 a 12,9	12,1
Terra Roxa Estruturada	11,6 a 13,6	13,4
com B latossólico		
LV dist ou álico A mod. textura arg. ou m. arg.	12,5 a 12,8	12,6
LE dist ou álico A mod. textura média	13,4 a 15,7	15,0
LV pouco prof., LV câmbico, Cambissolo Latossólico, todos textura argilosa	4,3 a 12,1	9,8
LE A mod. ou A proem. text. arg. ou m. arg.	11,5 a 13,3	12,3
LV ou LV câmbico, textura média ou argilosa	4,6 a 11,3	9,6
LV A mod. textura média	13,6 a 15,3	14,2
LV ou LA A mod. textura argilosa ou média	11,1 a 14,0	12,6
Latossolo Roxo A mod textura argilosa ou m. arg.	10,9 a 12,5	12,0
Solos pouco desenvolvidos		
Litosolo	1,9 a 7,3	4,2
Regossolo	9,7 a 16,5	14,0

27

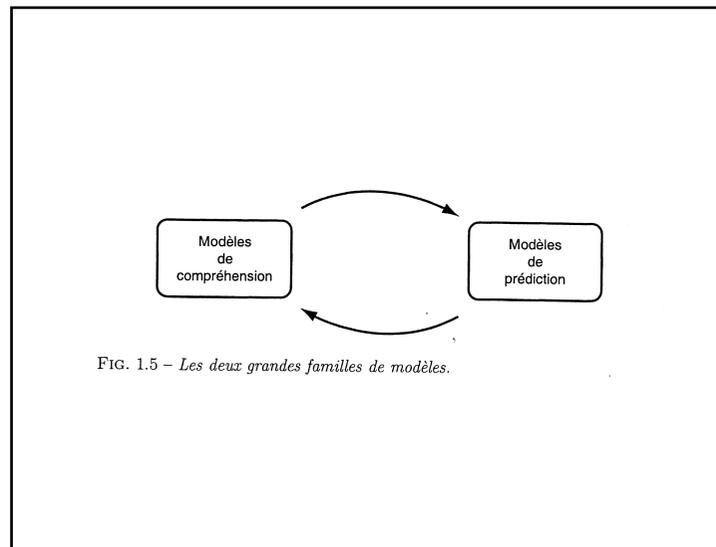


FIG. 1.5 – Les deux grandes familles de modèles.

28

USLE

Equação Universal de Perda de Solo

- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. USDA Agriculture Handbook 537, U.S. Department of Agriculture.

29

- Modelo Empírico:
 - Análise de observações
 - Procura caracterizar respostas destas informações
- Baseado:
 - Padrões de chuva, tipo de solo, topografia, sistema de cultivo e práticas conservacionistas.
- Prediz:
 - Taxas anuais de perda do solo de longo prazo
- Subrotinas em modelos como:
 - SWRRB (Williams, 1975), EPIC (Williams et al., 1980), ANSWERS (Beasley et al., 1980), AGNPS (Young et al., 1989)

30

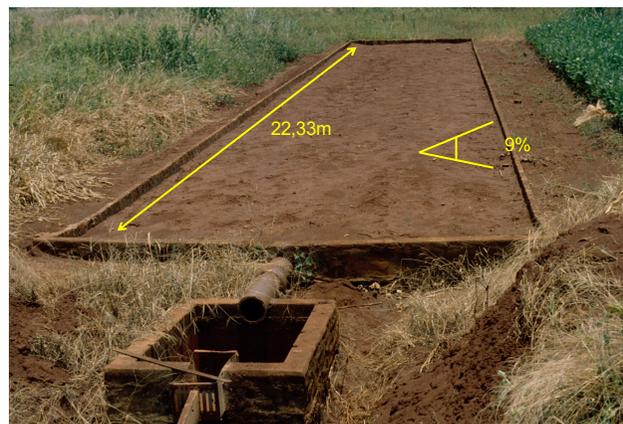
Canteiro coletor USLE



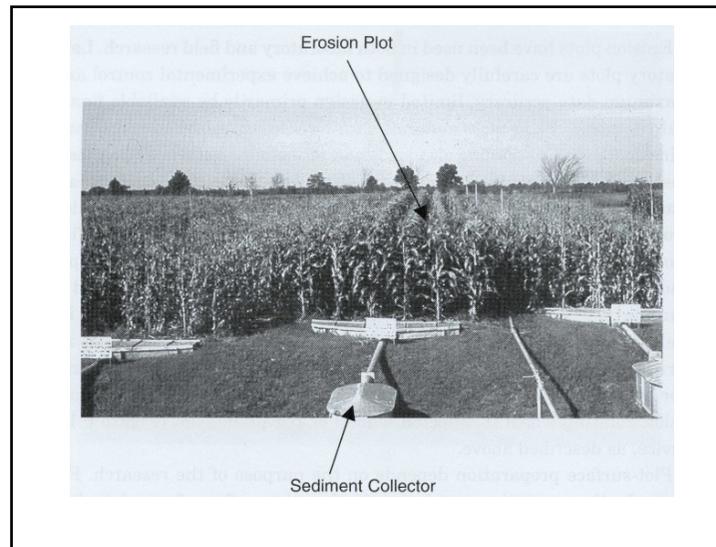
- Comprimento 22,33m
- Declividade 9%
- Largura 4m.

31

Canteiro coletor USLE (valor padrão)



32



33

A equação:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

- A = perda do solo anual (tons/ha ano)
- R = índice de erosividade
- K = erodibilidade do solo
- L = comprimento de rampa
- S = declividade
- C = fator de cultivo/preparo
- P = fator práticas conservacionistas

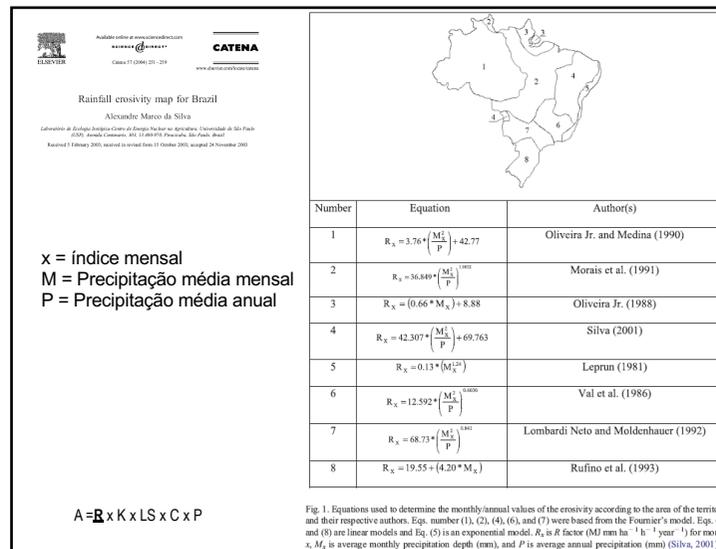
34

R (índice de erosividade)

- Índice de erosão (EI) para um evento:
 - Produto da energia cinética das gotas de chuva e a intensidade máxima em 30 minutos.
- Fator $R = \sum EI$ num ano/100

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

35



36

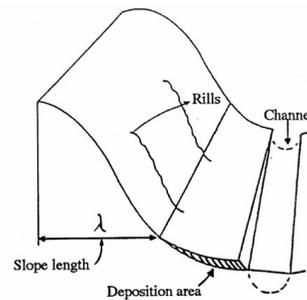
K (erodibilidade do solo)

- Susceptibilidade de um solo ao processo erosivo pela água e enxurrada
- Depende de:
 - Textura, estrutura, conteúdo de matéria orgânica, e permeabilidade.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

37

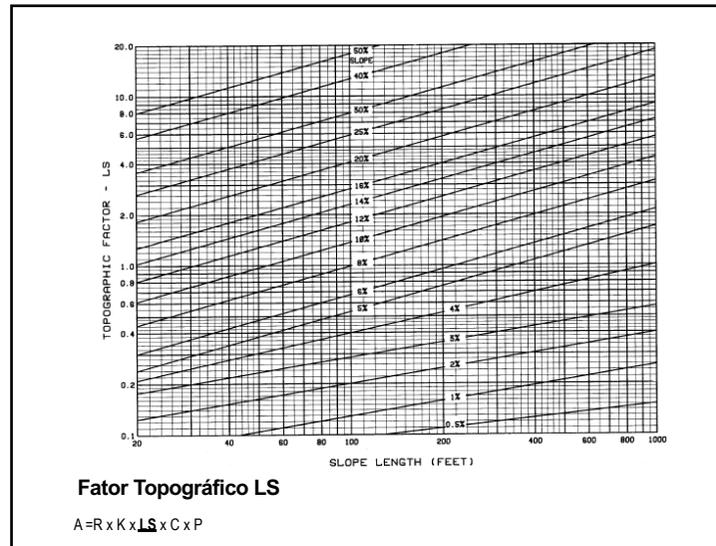
LS (comprimento de rampa e declividade)



- Razão da perda do solo sob certas condições de topografia em relação a um local com um comprimento de rampa e declividade padrões.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

38



39

Determinação quantitativa para topografia- Fator LS da USLE

Equação de Bertoni & Lombardi-Neto (1990)-Baseado em solos de SP, 10 anos de observação

$$LS = 0,00984 L^{0,63} S^{1,18}$$

LS = fator topográfico LS (L e S são considerados conjuntamente): relação entre perdas de solo de uma área com declive e comprimento de encosta quaisquer e as perdas na parcela padrão da USLE (9% de declividade e 22,1m de encosta)

L = comprimento da encosta (m)

S = declividade da encosta (%)

40

C (fator de cultivo/preparo)

- Razão da perda do solo por um uso do solo sob condições específicas em relação à áreas em pousio ou preparo contínuo.

Crop	Fator
Milho grãos	0.40
Milho silagem, Feijão & Canola	0.50
Cereais/Oleaginosas	0.35
Cultivos hortícolas	0.50
Frutíferas	0.10
Feno e Pastagens	0.02

Preparo	Fator
Aração de outono	1.00
Aração de primavera	0.90
Preparo com mulch	0.60
Preparo em nível	0.35
Preparo em talhões	0.25
Plantio Direto	0.25

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

41

P (práticas conservacionistas)

- Razão da perda do solo de uma prática conservacionista em relação a um preparo morro abaixo.

Prática	Fator P
Morro Abaixo	1.00
Plantio cruzado	0.75
Plantio em nível	0.50
Plantio em faixas, cruzado	0.37
Plantio em faixas, em nível	0.25

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

42