

USP

FZEA



# MECÂNICA DA EROSÃO: IMPACTO DA CHUVA

**Prof Dr. Pedro Henrique de Cerqueira Luz**  
**AGRÁRIAS – FZEA - USP**

USP

Pirassununga  
Agosto 2018

17 2



FZEA/USP

# ECOSISTEMAS NATURAIS

# INTERVENÇÃO HUMANA

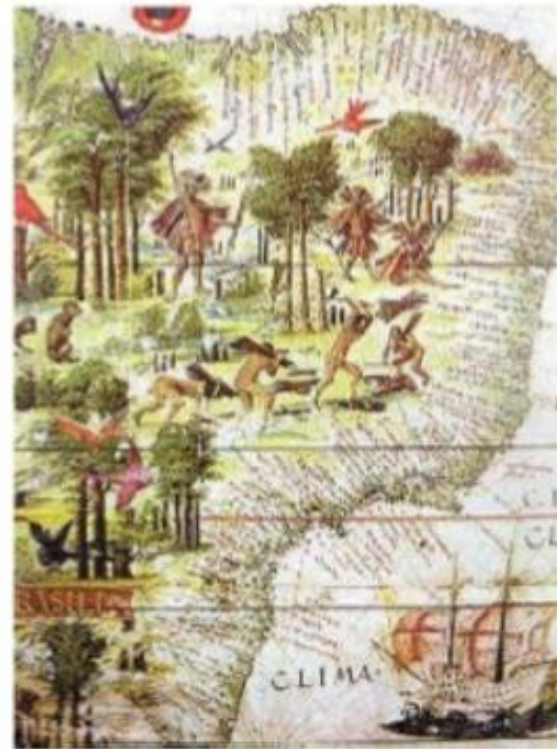


# INTERVENÇÃO HUMANA



Pedro Luz (2018)

# Desmatamento e Degradação do solo



O desmatamento no Brasil começou com a chegada dos portugueses, que iniciaram a exploração da Mata Atlântica, interessados no lucro com a venda do pau-brasil na Europa.

Relatório da FAO (agência da ONU responsável pela agricultura e segurança alimentar no mundo) divulgado em 28/nov/2011 aponta um cenário pessimista para a SAN mundial. Segundo ele, 25% dos solos do planeta estão degradados.

Isso representa um maior desafio para alimentar a população mundial no futuro. A FAO estima que, até 2050, a agricultura precisará produzir 70% a mais de alimentos do que produz hoje. Atualmente a produção agrícola cresce num ritmo cada vez menor e, em algumas áreas, o ritmo de crescimento é apenas metade do que era na época da Revolução Verde, há mais de cinquenta anos atrás.

Assim como os solos, os recursos hídricos mundiais também estão em processo de esgotamento. A poluição dos lençóis subterrâneos aumentou, enquanto que em regiões de produção intensiva de cereais as reservas subterrâneas estão secando. A FAO alerta que a competição por recursos hídricos entre cidades, indústrias e agricultura tende a aumentar no futuro.

A FAO indica que a solução pode estar numa melhor gestão da água e numa agricultura sustentável. De qualquer modo, ajustes deverão ser feitos no percentual de consumo mundial.

### Tipologia de degradação dos ecossistemas

**Tipo 1** - Uso de técnicas muito degradantes ou terras muito degradadas

**Tipo 2** - Técnicas moderadas ou terras moderadamente degradadas

**Tipo 3** - Terreno estável, leve ou moderadamente degradado

**Tipo 4** - Terreno em recuperação

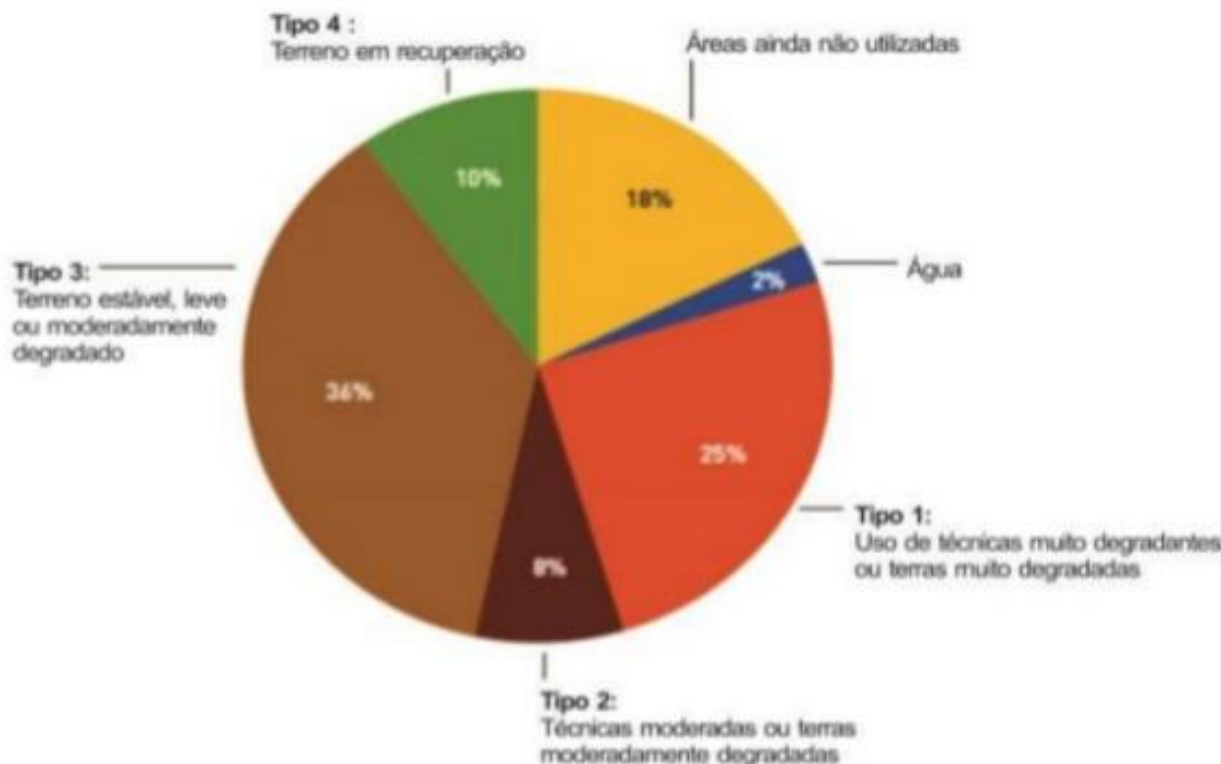
### Opções de intervenção

Reabilitar caso seja economicamente viável; abrandar onde métodos de prod. são mais degradantes

Introduzir medidas para abrandar degradação

Intervenções preventivas

Reforçar condições de implantação do manejo sustentável da terra











Pedro Luz (2018)



# TURBILHONAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA



Pedro Luz (2018)

# Microbacia



# MICROBACIA

Pedro Luz (2018)



# CICLO HIDROLÓGICO

Precipitação

Recarga

Escorrimento superficial

Escorrimento Lateral

Infiltração

Evaporação

Respiração

Aquífero Suspenso

Surgência Agua

Rio

Superfície Freática

Solo

Efluente

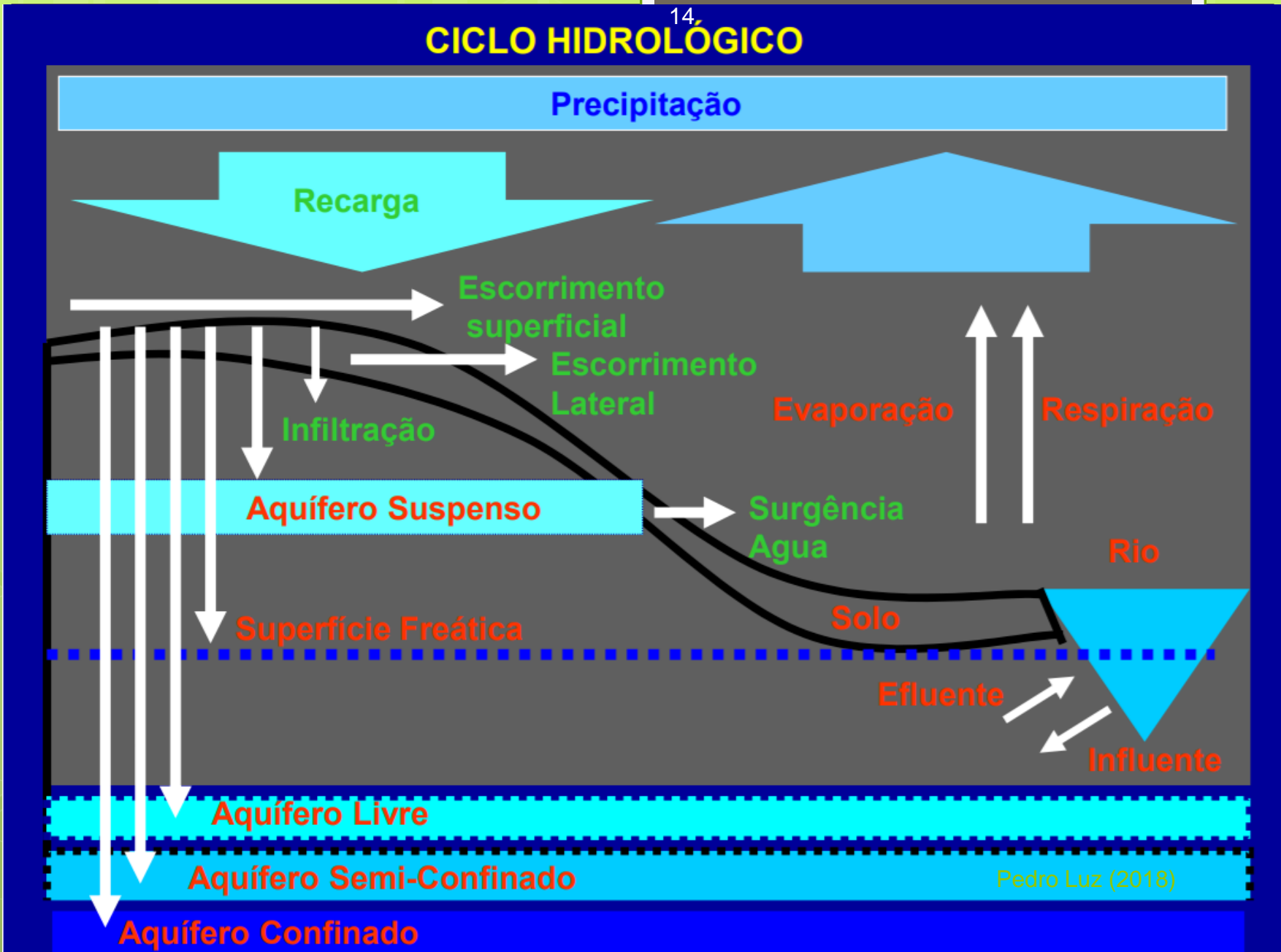
Influente

Aquífero Livre

Aquífero Semi-Confinado

Aquífero Confinado

Pedro Luz (2018)



# CHUVA E RECARGA HÍDRICA



Pedro Luz (2018)

## DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DA ÁGUA

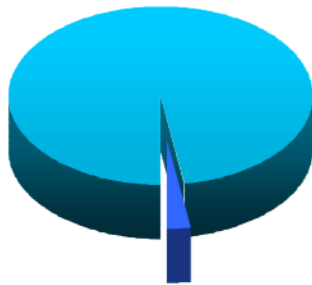
TOTAL DE ÁGUA





ÁGUA DOCE




ÁGUA DOCE SUPERFÍCIAL  
(FÁCIL ACESSO)




 OCEANOS 97,5%


 ÁGUA DOCE 2,5%


 CAPOTAS POLARES E GELEIRAS 79%

 ÁGUA SUBTERRÂNEA 20%

 ÁGUA DOCE SUPERFÍCIAL  
(FÁCIL ACESSO) 1%

 LAGOS 52%

 UMIDADE DO SOLO 38%

 VAPOR NA ATMOSFERA 8%

 ÁGUA NOS ORGANISMOS VIVOS 1%

 RIOS 1%

**A ÁGUA COBRE 75% DO GLOBO TERRESTRE, MAS SUA DISPONIBILIDADE E DISTRIBUIÇÃO  
INSPIRAM**

**PERMANENTES CUIDADOS COM O PLANEJAMENTO E AS RACIONALIZAÇÕES DE SEUS  
DIVERSOS USOS.**

Pedro Luz (2018)





# EROSÃO X DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Pedro Luz (2018)

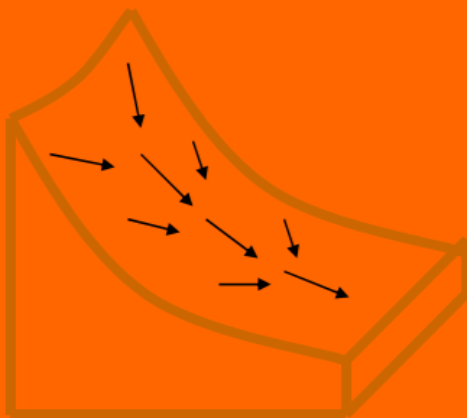
7 3 2006

# RELÊVO X PROCESSO EROSIVO

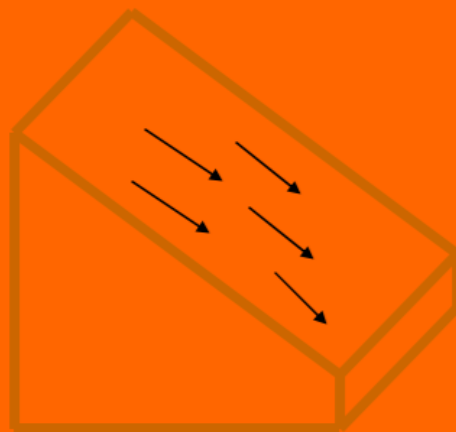
## Forma do relevo - Pedoformas

### Côncava

Convergência das águas  
Erosão mais localizada - sulcos  
Espessura do Solum Desigual  
Erosão e deposição  
Acúmulo de sementes e nutrientes

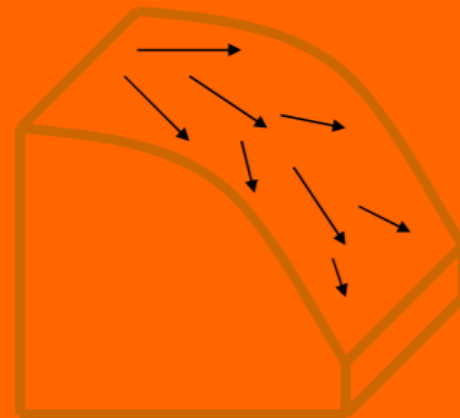


### Plana



### Convexa

Divergência das águas  
Erosão mais uniforme - Laminar  
Espessura do "Solum" uniforme  
Erosão  
Dispersão de sementes e nutrientes



**EROSÃO NATURAL MAIOR**



# TIPO DE SOLO X EROSÃO

Pedro Luz (2018)

# TIPO DE SOLO X EROSÃO

## ESPESSURA DO SOLO DE VÁRIAS CLASSES



LATOSSOLOS

CAMBISSOLOS

NEOSSOLOS  
(LITÓLICOS)

ARGISSOLOS  
E OUTROS

GLEISSOLOS,  
ORGANOSSOLOS

NEOSSOLOS  
(ALUVIAIS)

# Conceitos

**Erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento.**

**A água é o mais importante agente de erosão.**

**A água da chuva exerce sua ação erosiva sobre o solo mediante o impacto da gota de chuva.**

**As gotas de chuva que golpeiam o solo contribuem para a erosão da seguinte maneira:**

- a). Desprendem as partículas do solo;**
- b). Transportam por salpicamento;**
- c). Imprimem energia, em forma de turbulência, formando a enxurrada.**

## TIPOS DE EROÇÃO:

- ✦ **Erosão por gravidade**: Consiste no movimento de rochas e sedimentos montanha abaixo principalmente devido à força da **gravidade**.



## TIPOS DE EROSIÃO:

- ✘ **A erosão pluvial** é provocada pela retirada de material da parte superficial do solo pelas águas da chuva.



## TIPOS DE EROSIÃO:

- ✦ **Erosão Eólica:** Ocorre quando o vento transporta partículas diminutas que se chocam contra rochas e se dividem em mais partículas que se chocam contra outras rochas.

Podem ser vistas nos desertos na forma de dunas e de montanhas retangulares ou também em zonas relativamente secas.





## TIPOS DE EROSIÃO:

- × **Erosão Marinha:** é um longo processo de atrito da água do mar com as rochas que acabam cedendo transformando-se em grãos, esse trabalho constante atua sobre o **litoral** transformando os relevos em planície.



# FOTOS DE EROSÕES NATURAIS.



Pedro Luz (2018)

# FOTOS DE EROSÕES NATURAIS.



Pedro Luz (2018)

# FOTOS DE EROSÕES NATURAIS.



Pedro Luz (2018)

# FOTOS DE EROSÕES NATURAIS.



Pedro Luz (2018)

## EROSÕES CAUSADAS PELO HOMEM ,



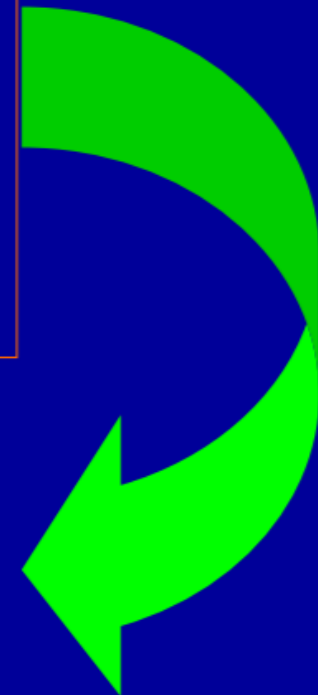
Pedro Luz (2018)

# EROSÃO HÍDRICA E IMPACTO AMBIENTAL

## EROSÃO HÍDRICA

PERDA DE SOLO E ÁGUA  
MATÉRIA ORGÂNICA  
MICROELEMENTOS  
MACROELEMENTOS  
EUTROFICAÇÃO  
ASSOREAMENTO  
DEPOSIÇÃO

PRODUTIVIDADE  
ECONÔMICO  
SOCIAL  
AMBIENTAL



# EROSÃO HÍDRICA

## ○ A) LAMINAR

- Ocorre “perda de terra” uniforme em toda a superfície da área

## ○ B) SULCOS

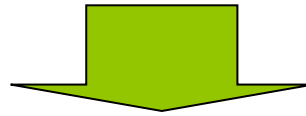
- A “perda de terra” se dá de forma localizada
- Podem ocorrer separadamente ou de forma conjunta



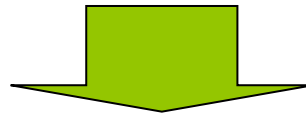
# PROCESSO DE EROSIÃO

- Três etapas:

**DESPRENDIMENTO**



**TRANSPORTE**

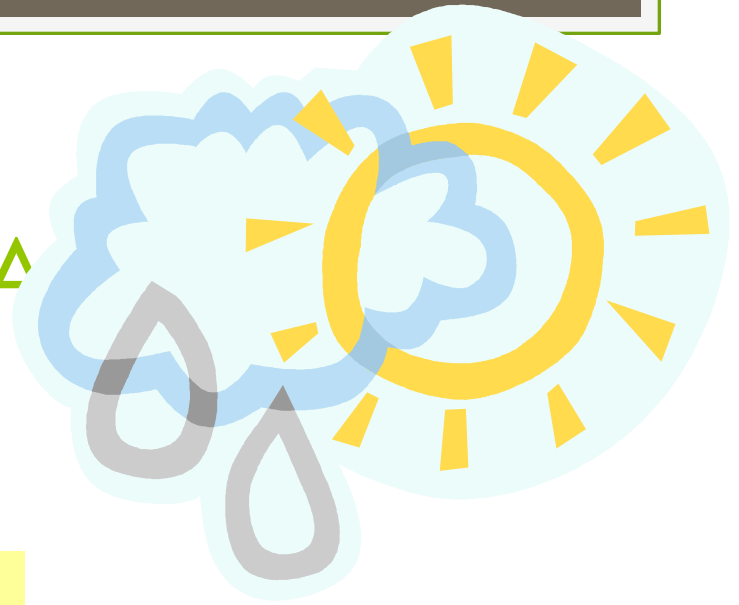


**DEPOSIÇÃO**

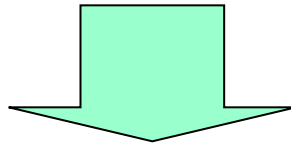
# DESPRENDIMENTO

- AGENTES:
- **A) CHUVA**
  - A.1) IMPACTO DAS GOTAS DA CHUVA
  - A.2) ENXURRADA
- **B) VENTO**

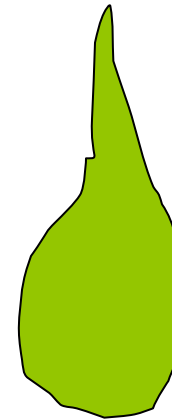
# GOTA DE CHUVA



**ENERGIA DAS GOTAS DE CHUVA**



**IMPACTO**



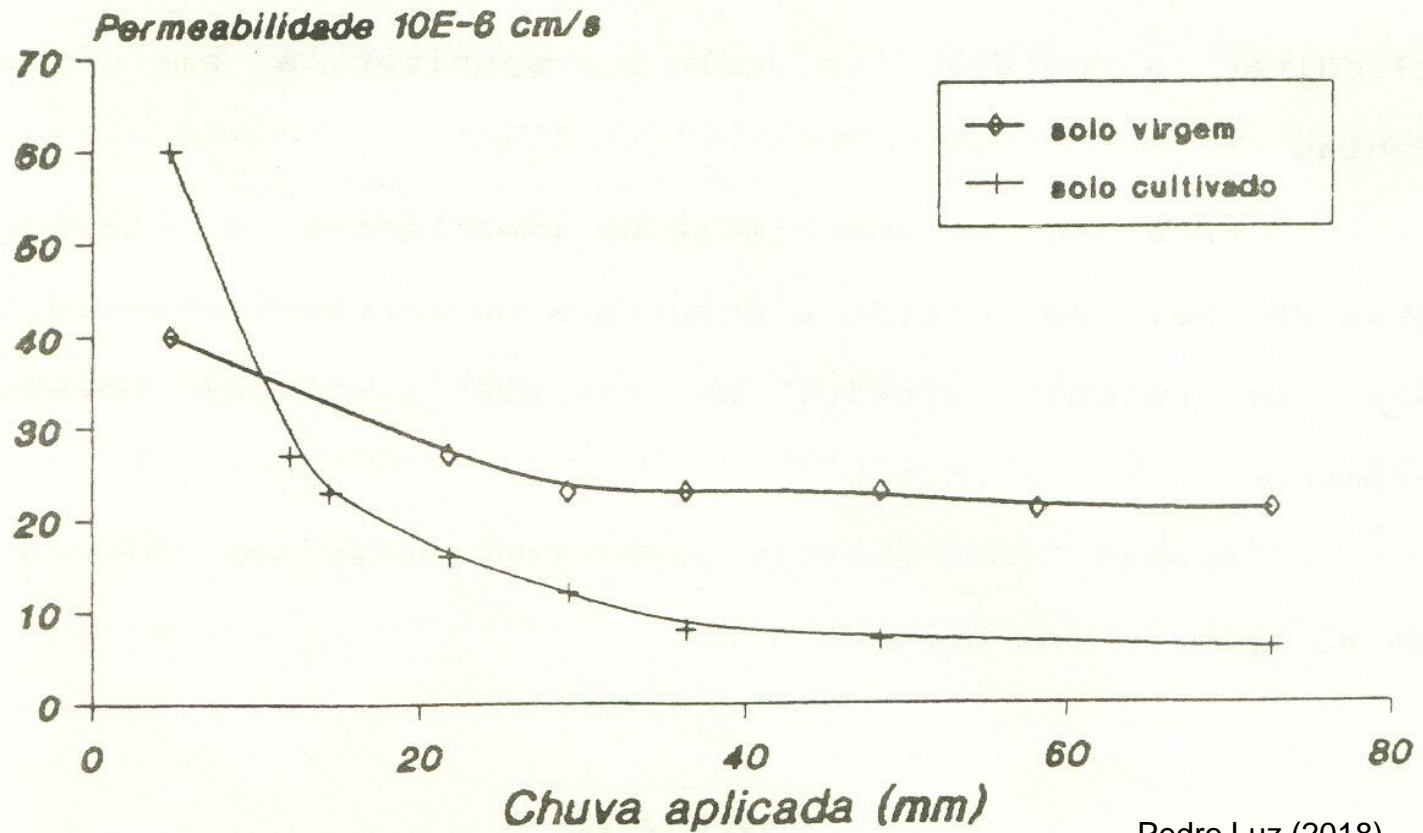
**SOLO**

# IMPACTO DAS GOTAS DE CHUVA

## ○ **CONSEQUÊNCIAS:**

- A) Desprendimento de partículas
- B) compactação superficial – encrostamento
- C) redução na capacidade de infiltração
- D) turbilhonamento da enxurrada
- E) transporte por salpicamento (pequeno)

## Permeabilidade vs. chuva



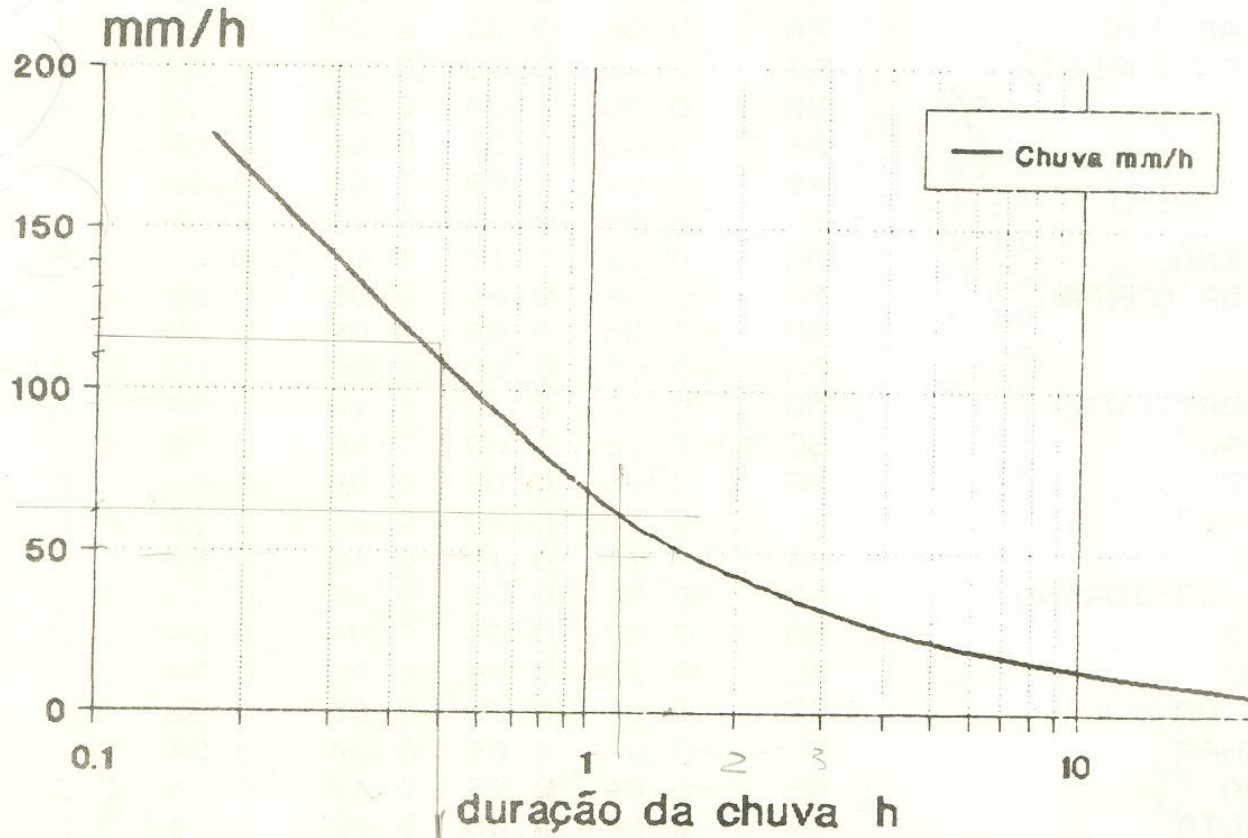
## Velocidade e energia das gotas de chuva

<i>Diâmetro das gotas</i>	<i>Velocidade terminal</i>	<i>Altura p/ 95% da vel. term.</i>	<i>Energia cinética</i>
<i>mm</i>	<i>m/s</i>	<i>m</i>	<i>μJ</i>
<b>1</b>	<b>4.0</b>	<b>2.2</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>6.5</b>	<b>5.0</b>	<b>88</b>
<b>3</b>	<b>8.1</b>	<b>7.2</b>	<b>460</b>
<b>4</b>	<b>8.8</b>	<b>7.8</b>	<b>1288</b>
<b>5</b>	<b>9.1</b>	<b>7.6</b>	<b>2691</b>
<b>6</b>	<b>9.3</b>	<b>7.2</b>	<b>4857</b>

# CHUVA

- IMPORTANTE:
- A) VOLUME - mm
- B) INTENSIDADE – mm/h
- C) DURAÇÃO – min ou hora

## Duração da chuva vs. intensidade máxima Cuiabá-MS Tempo de retorno de 20 anos



Pedro Luz (2018)



# MECÂNICA DA EROSIÃO

## 1o DESPRENDIMENTO

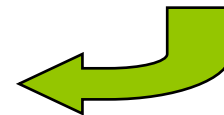
**CHUVA**

- INTENSIDADE
- DURAÇÃO

**AÇÃO**

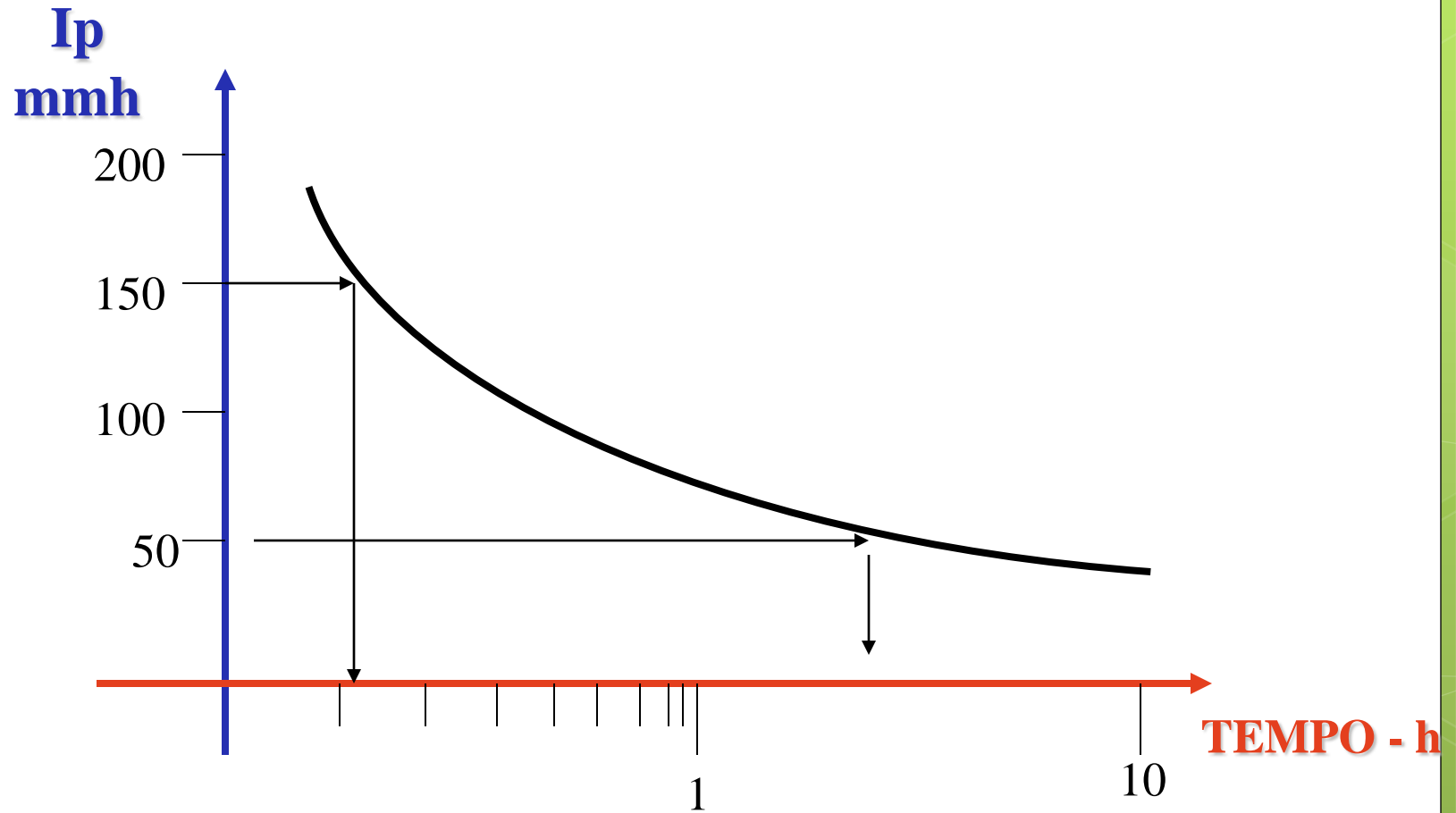


**IMPACTO DA GOTA DA CHUVA  
SOBRE O SOLO**



**IMPORTÂNCIA DO SOLO PROTEGIDO**

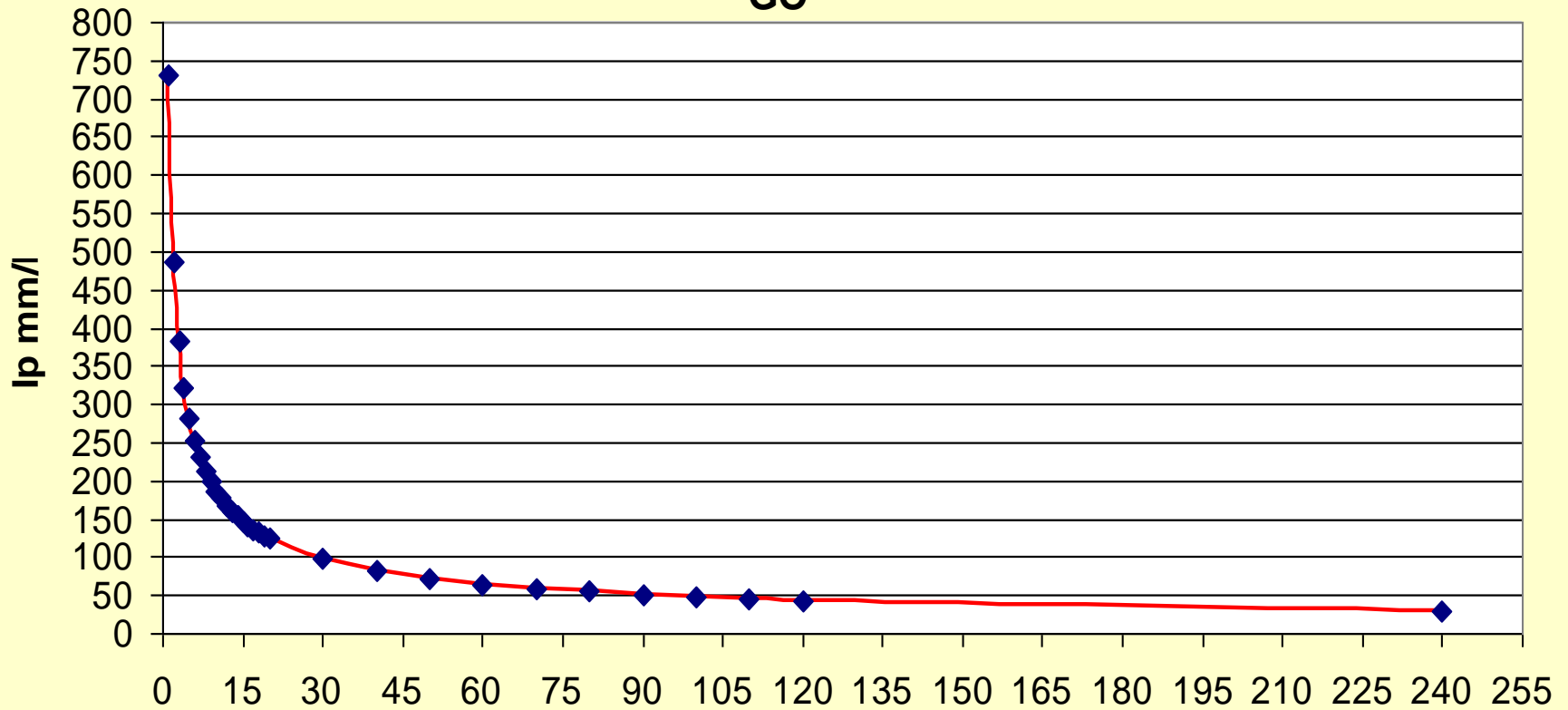
# CHUVA: INTENSIDADE x DURAÇÃO



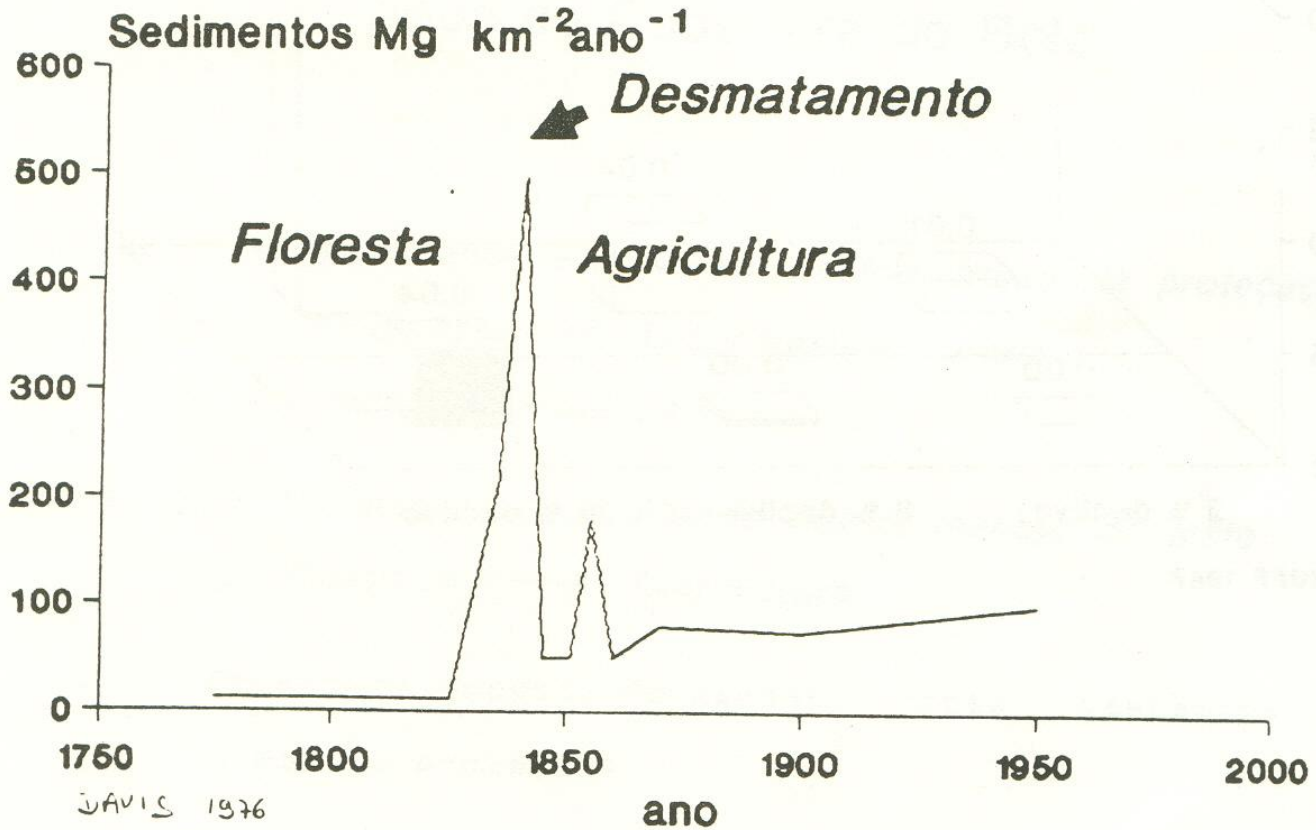
Pedro Luz (2018)

## Comportamento da Intensidade

**Intensidade de precipitação com recorrência de 25 anos - Catalão  
GO**

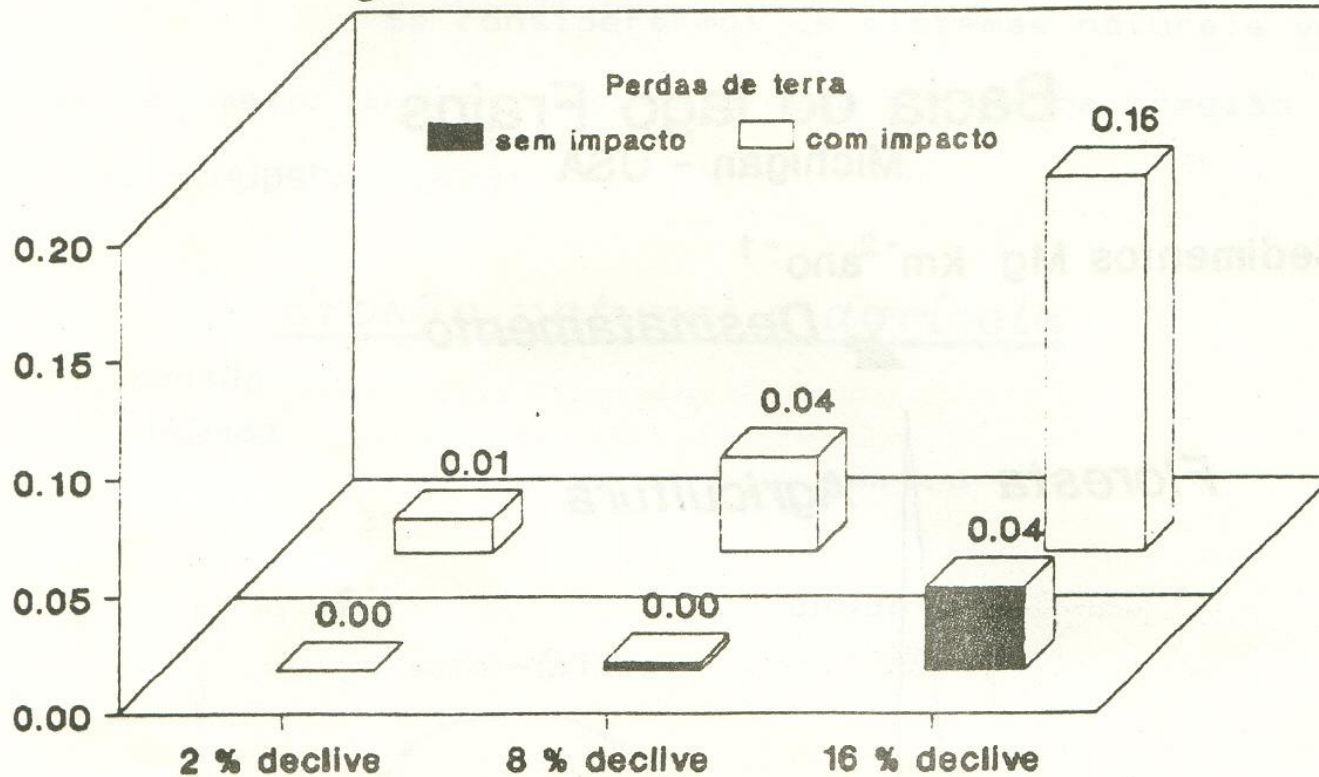


## Bacia do lago Frains Michigan - USA



## Perdas de Terra com e sem impacto das gotas

$\text{g/cm}^3$  no deflúvio



WOODRUFF 1947

Pedro Luz (2018)

## Tipos de Cobertura do Solo

- Vegetal** → **Permanente** — *Matas, pastos, áreas de proteção*  
→ **Temporária** — *Leguminosas, culturas*  
→ **Parcial** — *Faixas*
- Morta** → **Palhada** — *Plantio direto, manejo do mato*  
→ **Plásticos** — *Olericultura*

# INFILTRAÇÃO X PREPARO DO SOLO

Tabela 2.2 - Taxas de infiltração da água em um Latossolo-Roxo distrófico, após duas horas de teste, determinadas por infiltrômetro de anel e simulador de chuvas para três sistemas de preparo do solo

Sistemas de Preparo	Taxa de Infiltração ( $\text{mm h}^{-1}$ )		Relação Anel/ Simulador
	Infiltrômetro de Anel	Simulador de Chuvas	
Convencional <sup>(1)</sup>	244	45	5,4
Escarificação	191	50	3,8
Plantio direto	129	58	2;2

Fonte: SIDIRAS e ROTH, 1984. (1) Correspondente a uma aração e duas gradagens.

# INFILTRAÇÃO X PREPARO DO SOLO

Tabela 2.1 - Taxas de infiltração da água em um Latossolo-Roxo distrófico, após duas horas de teste, determinadas por infiltrômetro de anel e simulador de chuvas, para cinco restevas de culturas de inverno

Cultura de Inverno	Cobertura do Solo (%)	Taxa de Infiltração (mm h <sup>-1</sup> )		Relação Anel/Simulador
		Infiltrômetro de Anel	Simulador de Chuvas	
Aveia-preta	90	445	57,5	7,7
Nabo-forrageiro	47	412	50,9	8,1
Trigo	36	395	47,6	8,3
Tremoço	22	354	42,3	8,4
Pousio invernal	6	362	28,3	12,8

Fonte: SIDIRAS; ROTH, 1984.









# INFILTRAÇÃO

## PARÂMETROS

- A) INFILTRAÇÃO ACUMULADA – mm
- B) VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO – mm/h
- C) VELOCIDADE BÁSICA DE INFILTRAÇÃO – VIB – mm/h

## A) INFILTRAÇÃO ACUMULADA – mm

Quantidade total de água  
infiltrada no solo durante um  
determinado tempo

I - mm

## B) VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO – mm/h

Vem a ser a quantidade de água infiltrada no perfil do solo na unidade de tempo

$V_I$  – mm/h

A  $V_I$  (mm/h) varia com

- A umidade atual do solo
- A porosidade do solo
- A existência de camada impermeável no perfil do solo

## C) VELOCIDADE BÁSICA DE INFILTRAÇÃO – VIB – mm/h

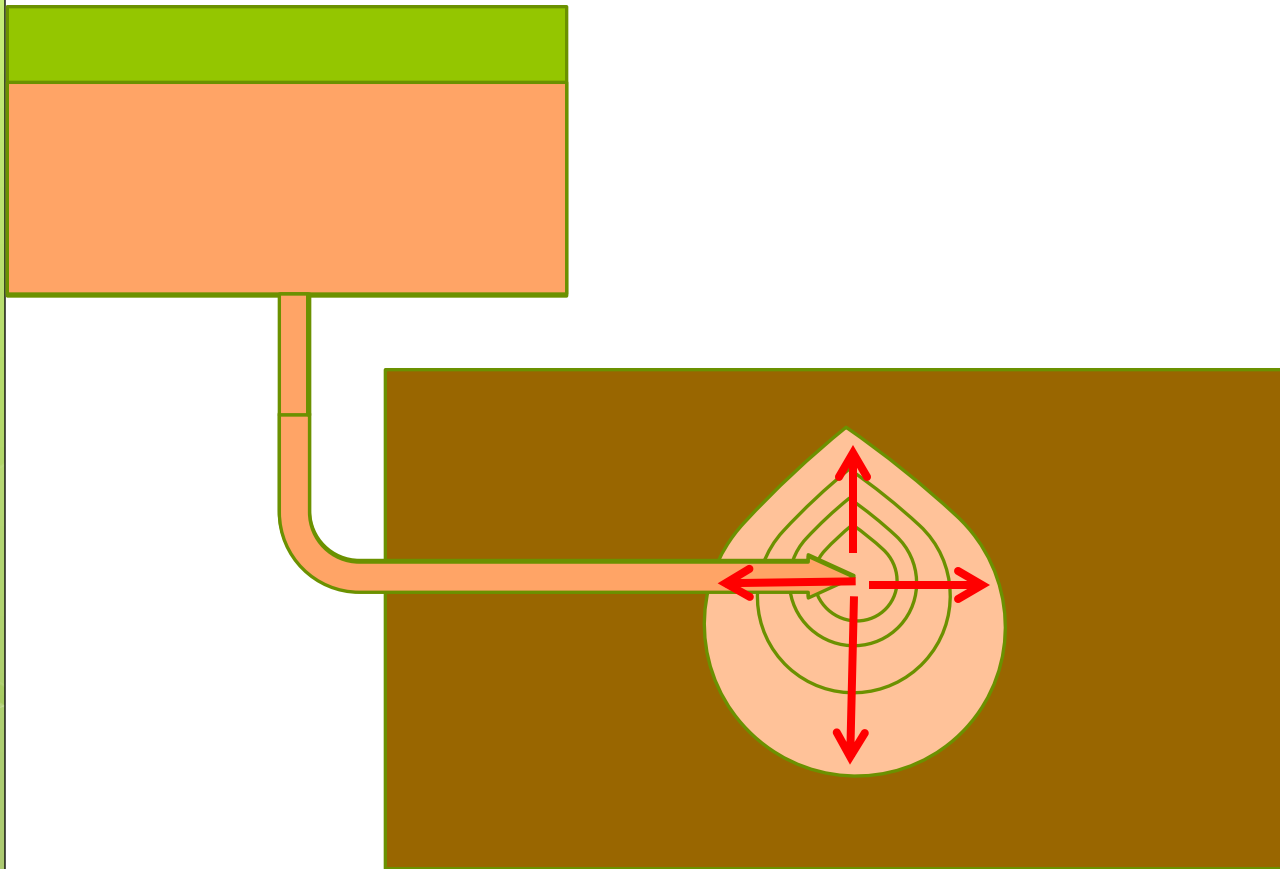
Vem a ser o valor da velocidade de infiltração a partir do momento que assume valor constante

VIB – mm/h

É utilizada como indicador para seleção do Aspersor, bem como critério para projetos de irrigação por superfície

# DA ÁGUA NO SOLO

56



**A água “caminha” no solo em todas as direções, tanto na vertical como na horizontal, predominando a vertical descendente**

Peдро Luz (2018)



# DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO

- ➔ **Caso – A – Vertical**  
Usa-se o **Método do Infiltrômetro de Anel**
- ➔ **Caso – B – Vertical e Horizontal**  
Usa-se o **Método das Entradas e Saídas**

# Método do Infiltrômetro de Anel

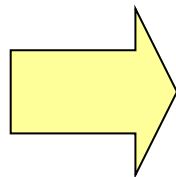
Consta de 2 Anéis concêntricos

Coloca-se água no anel externo,  
posteriormente no interno

Mede-se a infiltração vertical – altura  
(mm) e o tempo correspondente

Determina-se a VI e a Ia – Cálculo

Modelo de Kostiaikov



$$I = k.T^n$$

## VELOCIDADE BÁSICA DE INFILTRAÇÃO – VIB – mm/h

TIPO DE SOLO - INFILTRAÇÃO	VIB mm/h
MUITO ALTA	> 30 mm/h
ALTA	15 – 30 mm/h
MÉDIA	5 – 15 mm/h
BAIXA	< 5 mm/h



# PROJETO DE VINHAÇA

Pedro Luz (2018)



# TESTE DE INFILTRAÇÃO



Pedro Luz (2018)

# TESTE DE INFILTRAÇÃO

**Figura 6. Curvas de infiltração: Água x Vinhaça. Projeto: ALCOMIRA- Faz. Boa Sorte**

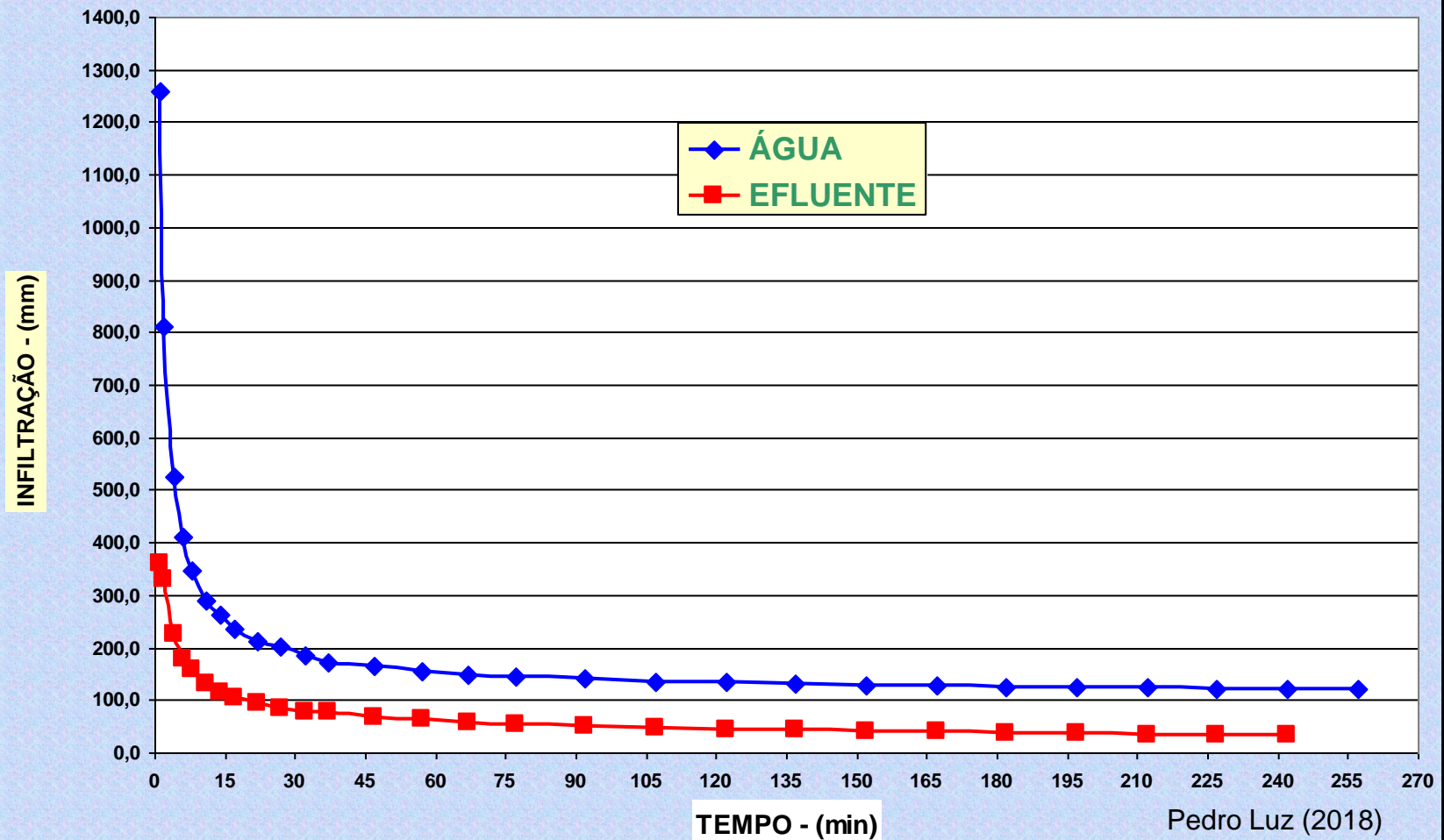
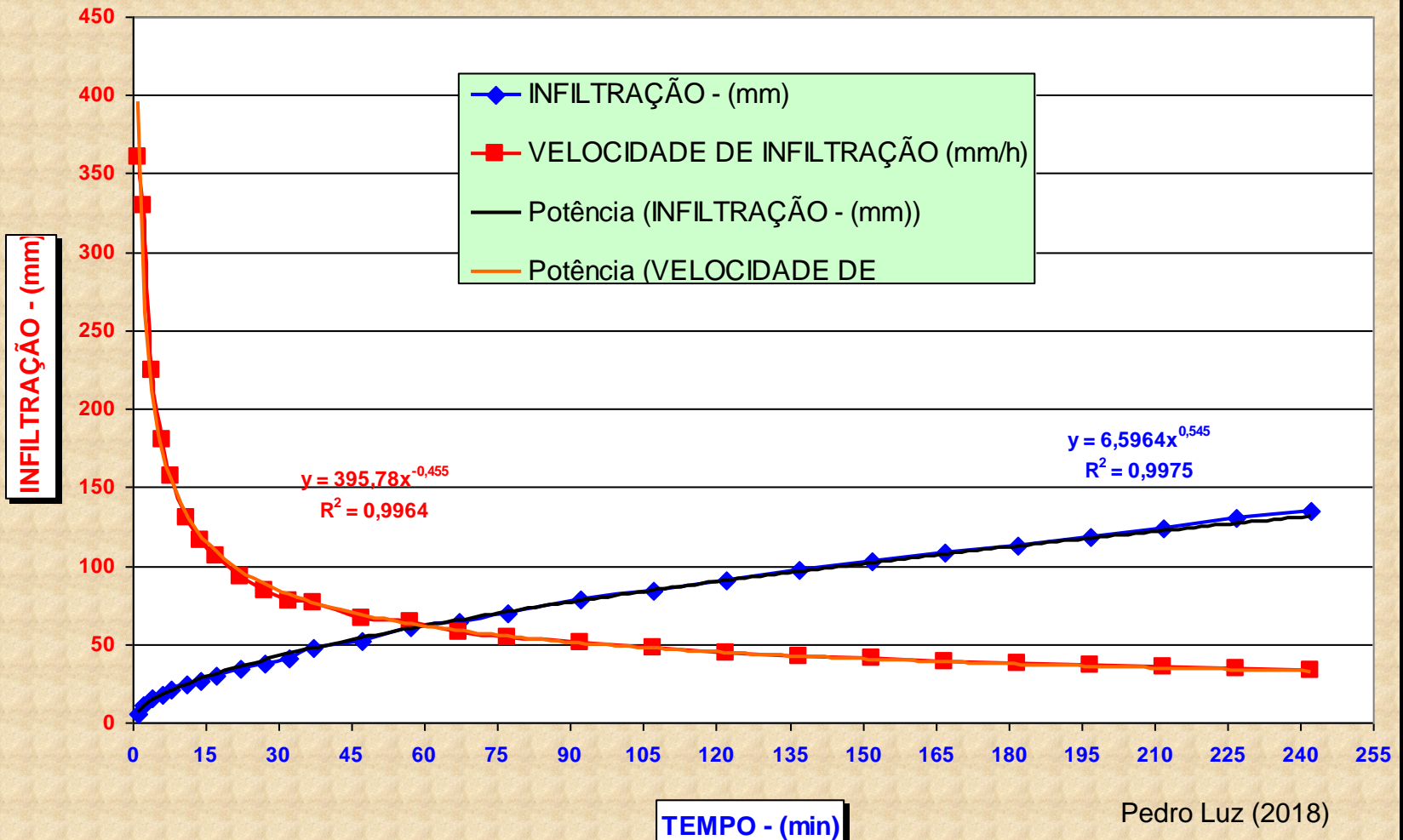


Figura 5. VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO. ALCOMIRA. Faz. Boa Sorte - VINHAÇA - Meia Encosta





# TRANSPORTE

- AGENTES:
- **A) ENXURRADA**
- **B) VENTO**



**TRANSPORTE**

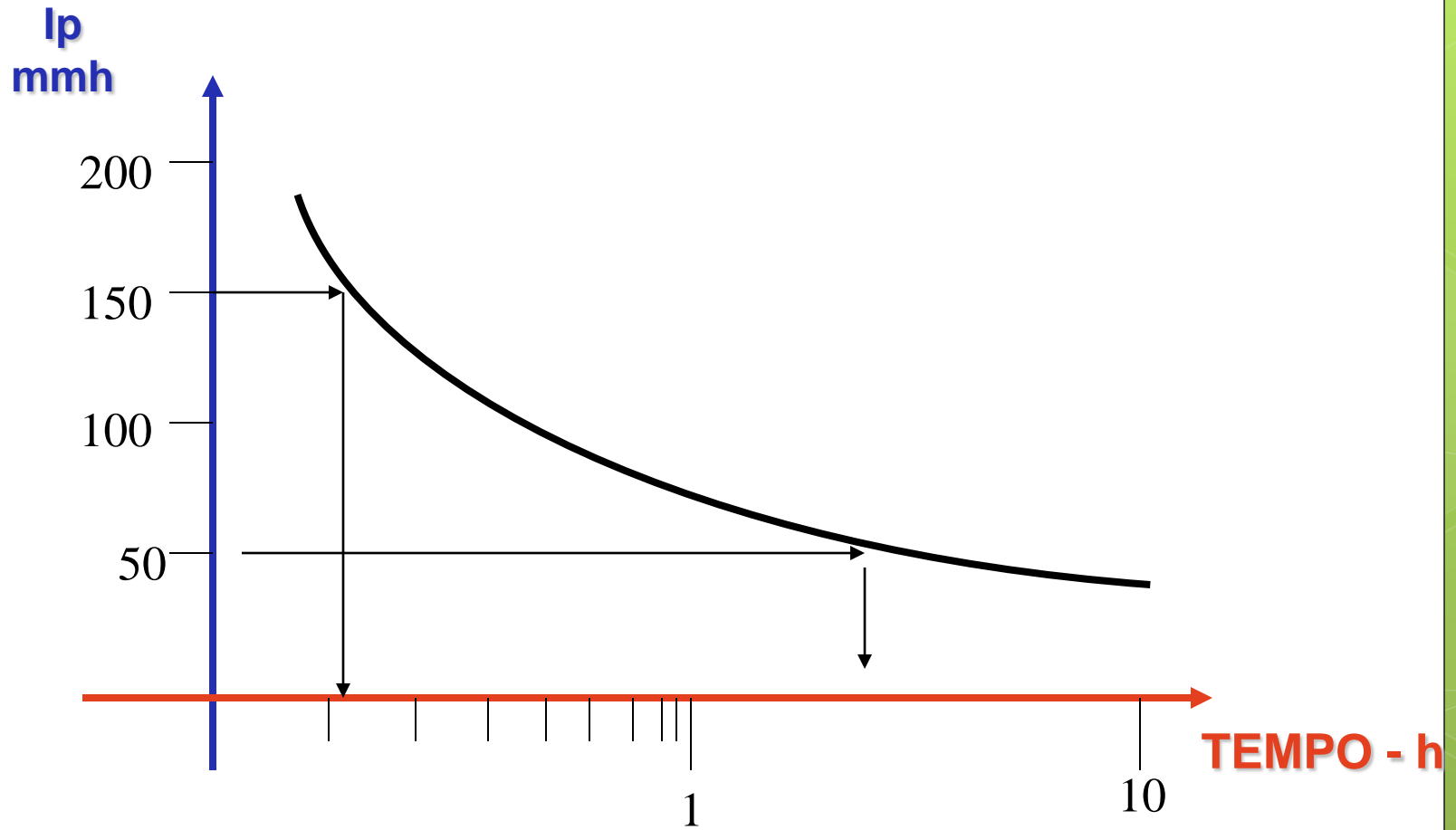
**ENXURRADA**

**ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

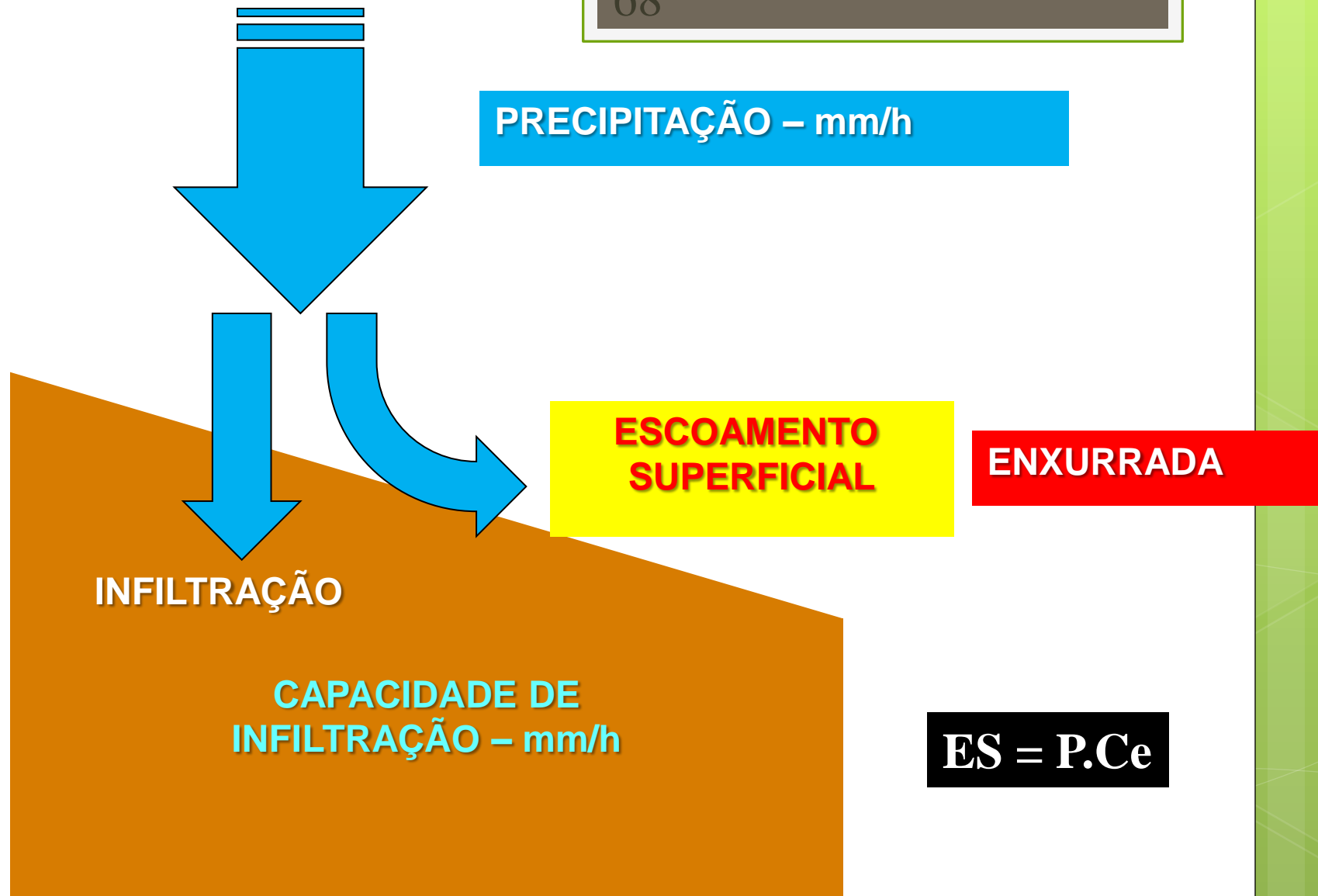
2018)

12/04/2013

# CHUVA: INTENSIDADE x DURAÇÃO



Pedro Luz (2018)



# Coeficiente de Enxurrada - Ce

Cobertura do Solo	Declividade (%)	Textura do Solo		
		Arenosa	Franca	Argilosa
FLORESTAS	0 a 5	0,10	0,30	0,40
	5 a 10	0,25	0,35	0,50
	10 a 30	0,30	0,50	0,60
PASTAGENS	0 a 5	0,10	0,30	0,40
	5 a 10	0,15	0,35	0,55
	10 a 30	0,20	0,40	0,60
TERRAS CULTIVADAS	0 a 5	0,30	0,50	0,60
	5 a 10	0,40	0,60	0,70
	10 a 30	0,50	0,70	0,80

Valores de Ce recomendados pelo Soil Conservation Service -  
USDA

Feuro Luz (2018)

# QUANTO AO SOLO

**“ARENOSO”**

**PRECIPITAÇÃO – mm/h**

**INFILTRAÇÃO**

**CAPACIDADE DE  
INFILTRAÇÃO – mm/h**

**ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL**

**ENXURRADA**

$$ES = P.Ce$$

**Tendência: maior infiltração e menor escoamento**

# QUANTO AO SOLO

“ARGILOSO”

PRECIPITAÇÃO – mm/h

INFILTRAÇÃO

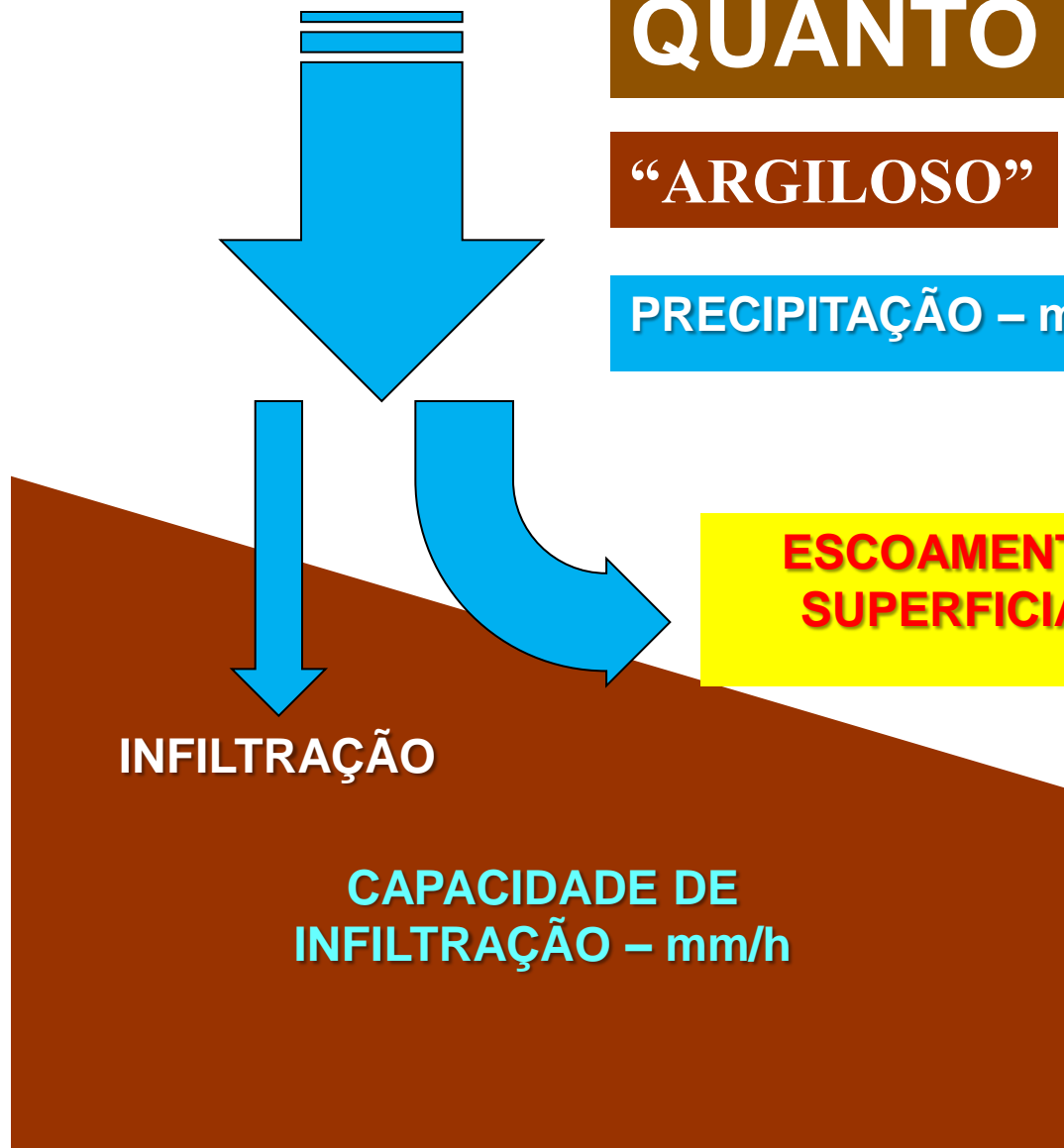
CAPACIDADE DE  
INFILTRAÇÃO – mm/h

ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL

ENXURRADA

$$ES = P.Ce$$

Tendência: menor infiltração e maior escoamento



# QUANTO A SUPERFÍCIE

**VEGETADA - PASTAGEM**

PRECIPITAÇÃO – mm/h

**ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

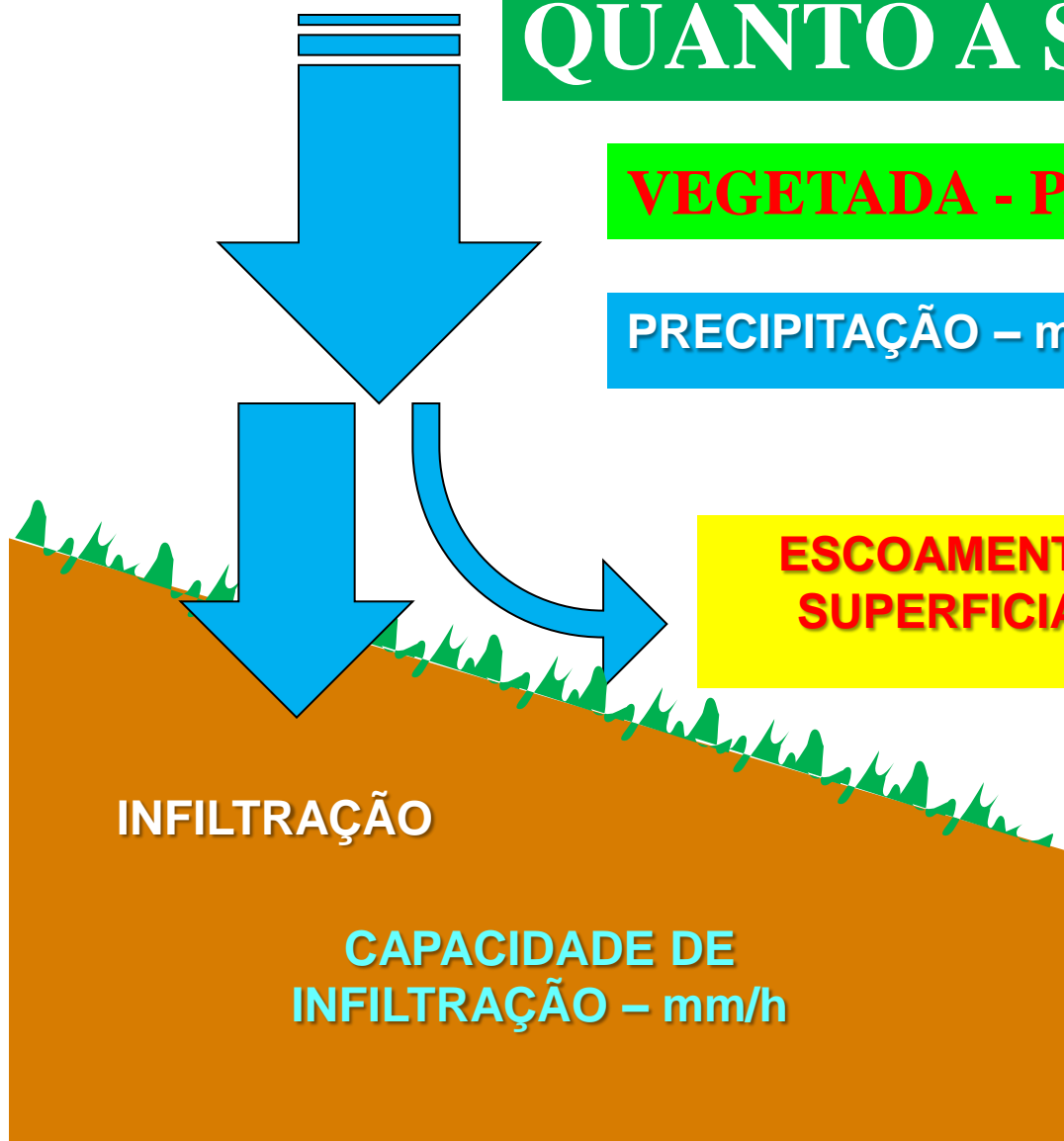
**ENXURRADA**

INFILTRAÇÃO

CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO – mm/h

$$ES = P.Ce$$

**Tendência: maior infiltração e menor escoamento**





# QUANTO A SUPERFÍCIE

TERRA CULTIVADA – "PREPARADA"

PRECIPITAÇÃO – mm/h

ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL

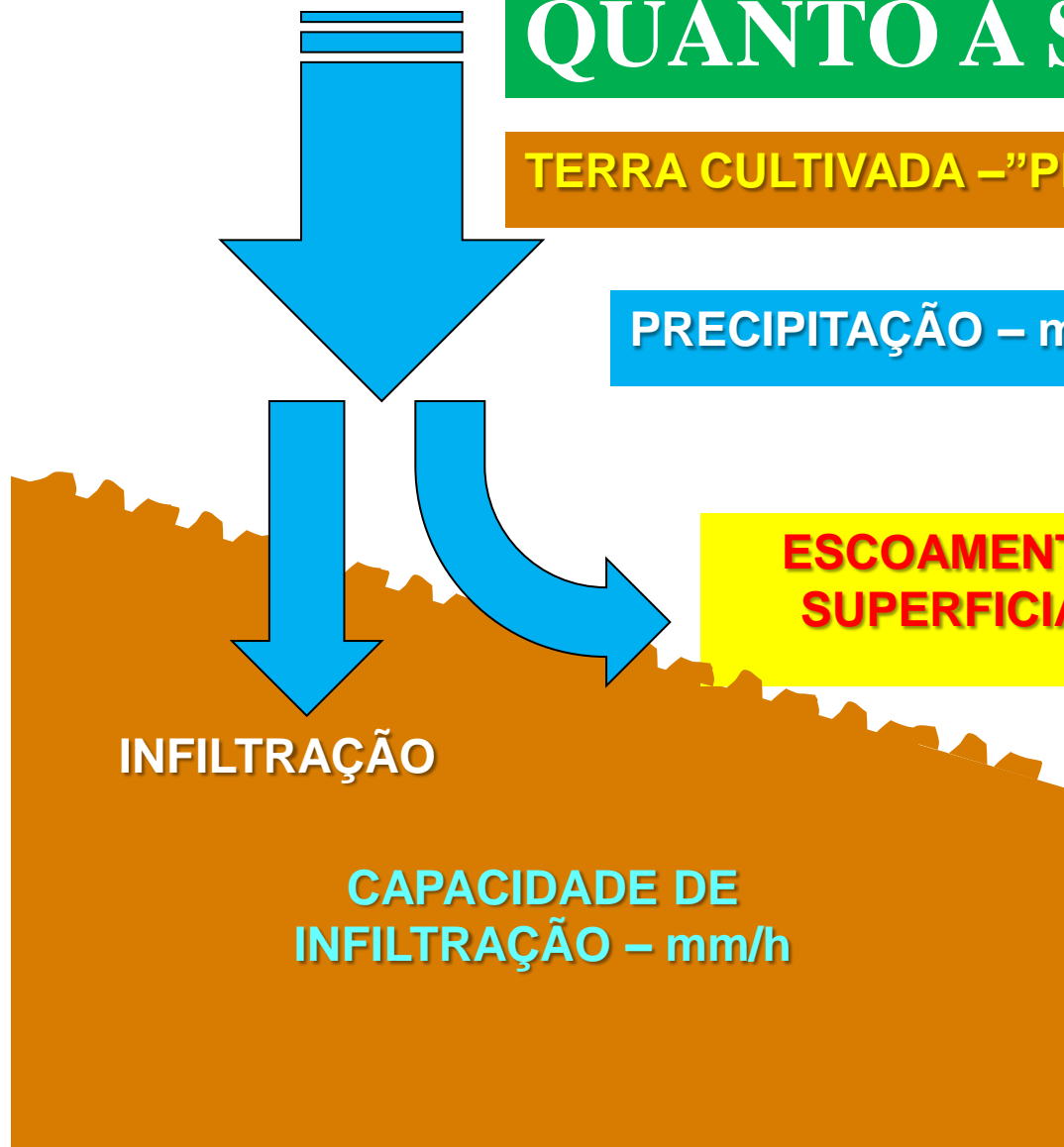
ENXURRADA

INFILTRAÇÃO

CAPACIDADE DE  
INFILTRAÇÃO – mm/h

$$ES = P.Ce$$

Tendência: infiltração e escoamento podem ser similares



# QUANTO A SUPERFÍCIE

TERRA CULTIVADA – "COMPACTADA"

PRECIPITAÇÃO – mm/h

ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL

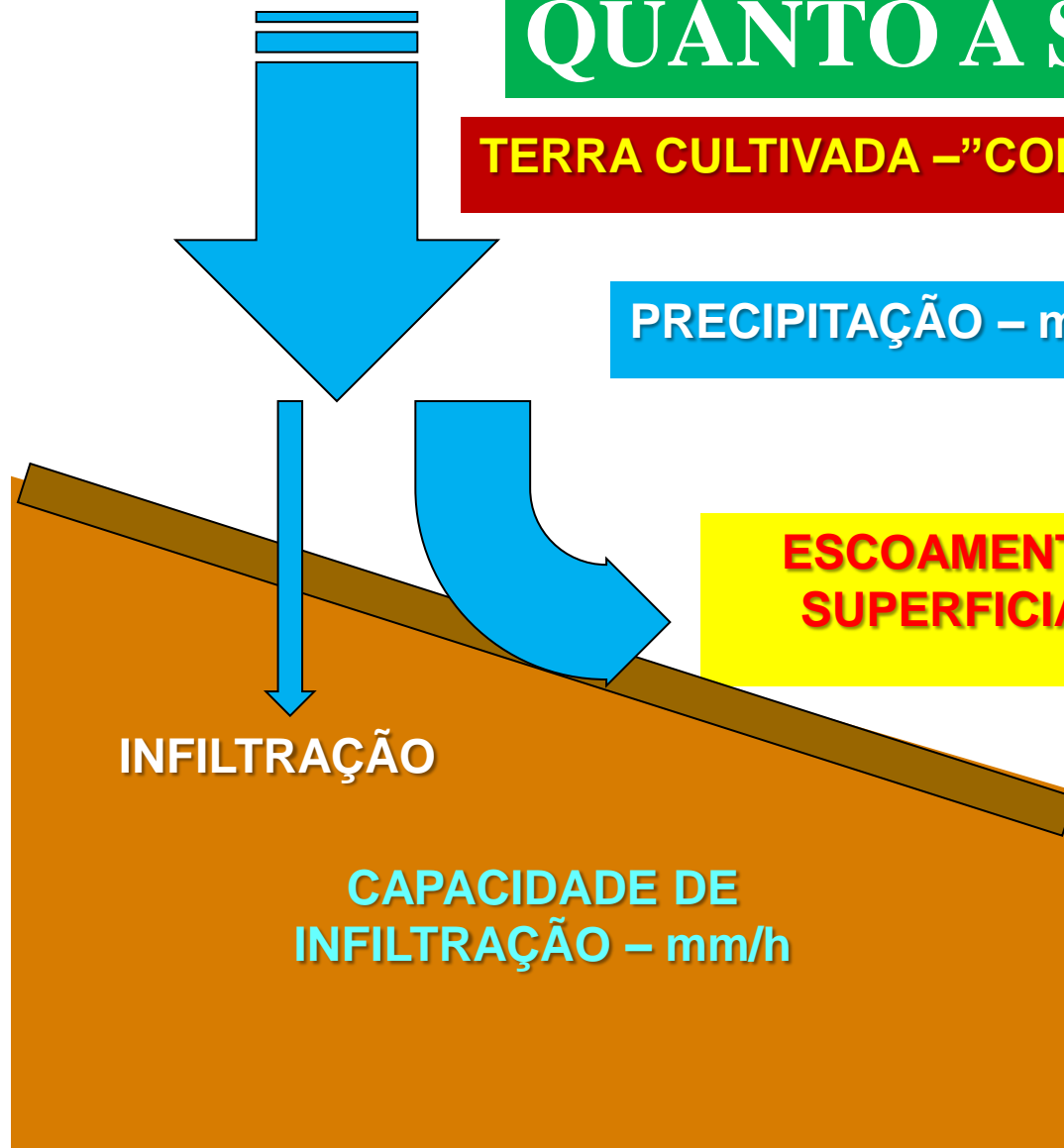
ENXURRADA

INFILTRAÇÃO

CAPACIDADE DE  
INFILTRAÇÃO – mm/h

$$ES = P.Ce$$

Tendência: grande escoamento e pequena infiltração



# DESPRENDIMIENTO

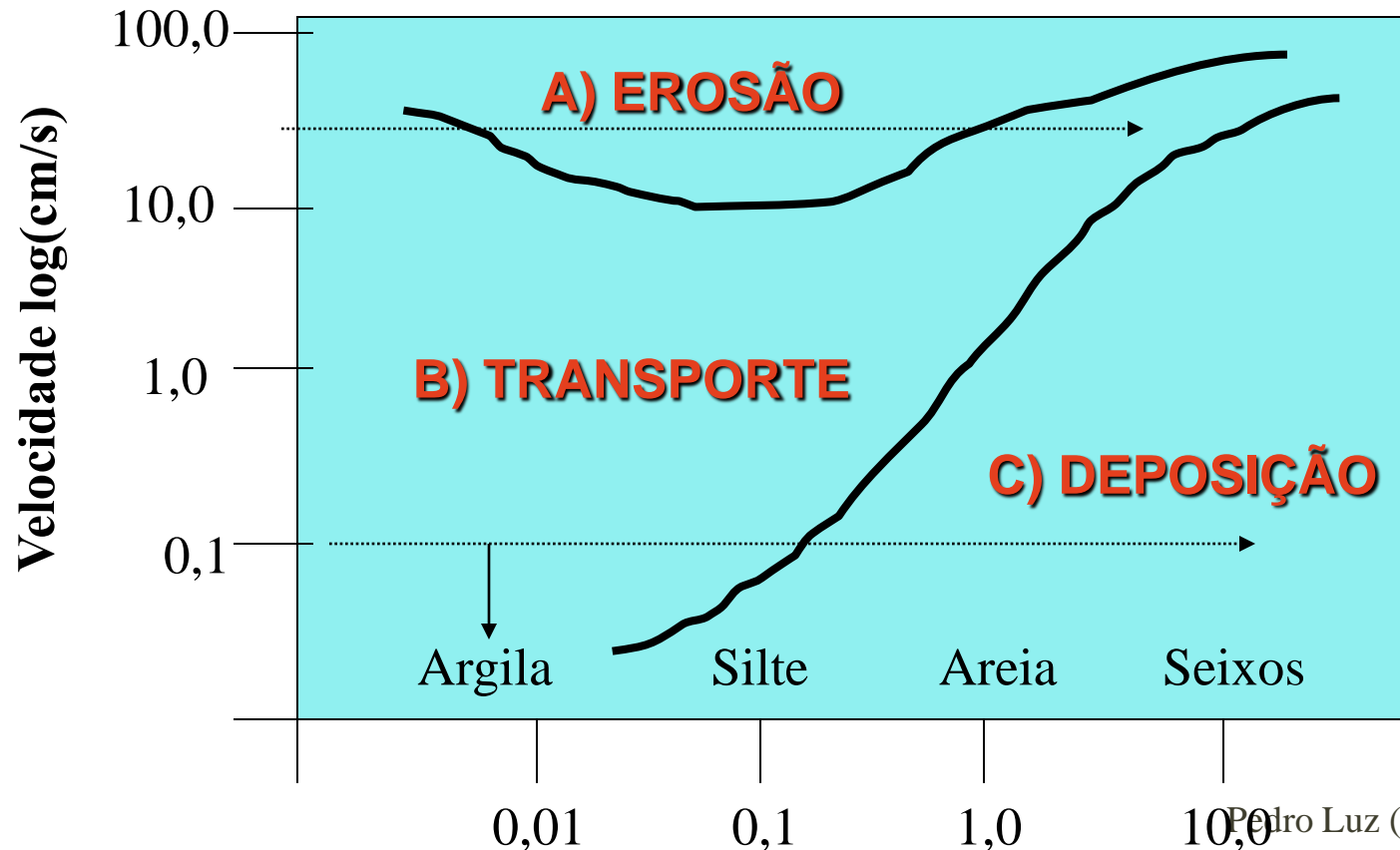


ENXURRADA

## 2) TRANSPORTE



## ENXURRADA

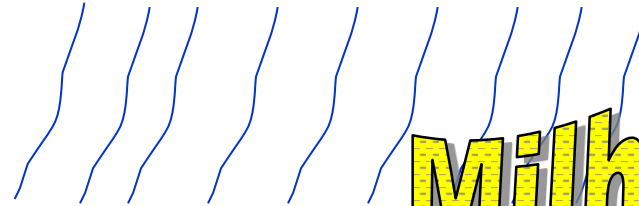


Peiro Luz (2018)

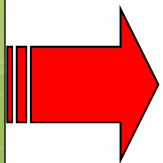
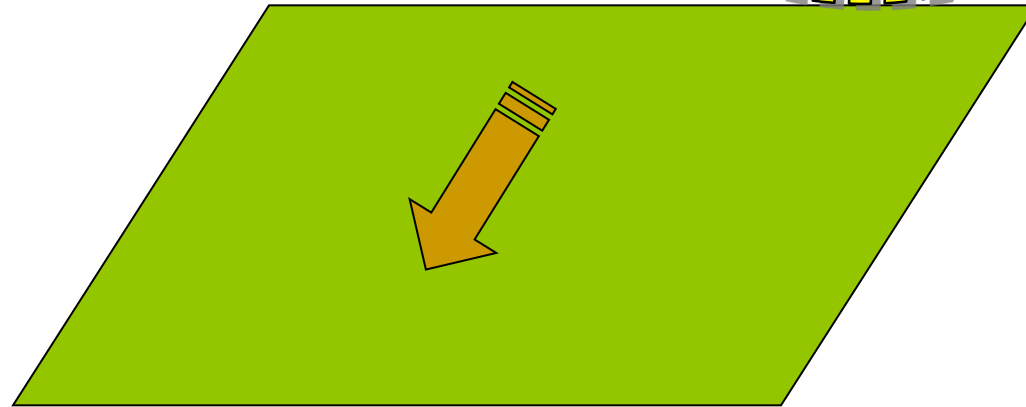
Tamanho Partícula – log (D) mm

# CONSERVAÇÃO DO SOLO

CHUVA



Milho



**PROCESSO EROSIVO**

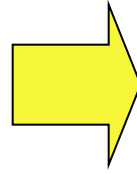
**1o DESPRENDIMENTO**

**2o TRANSPORTE**

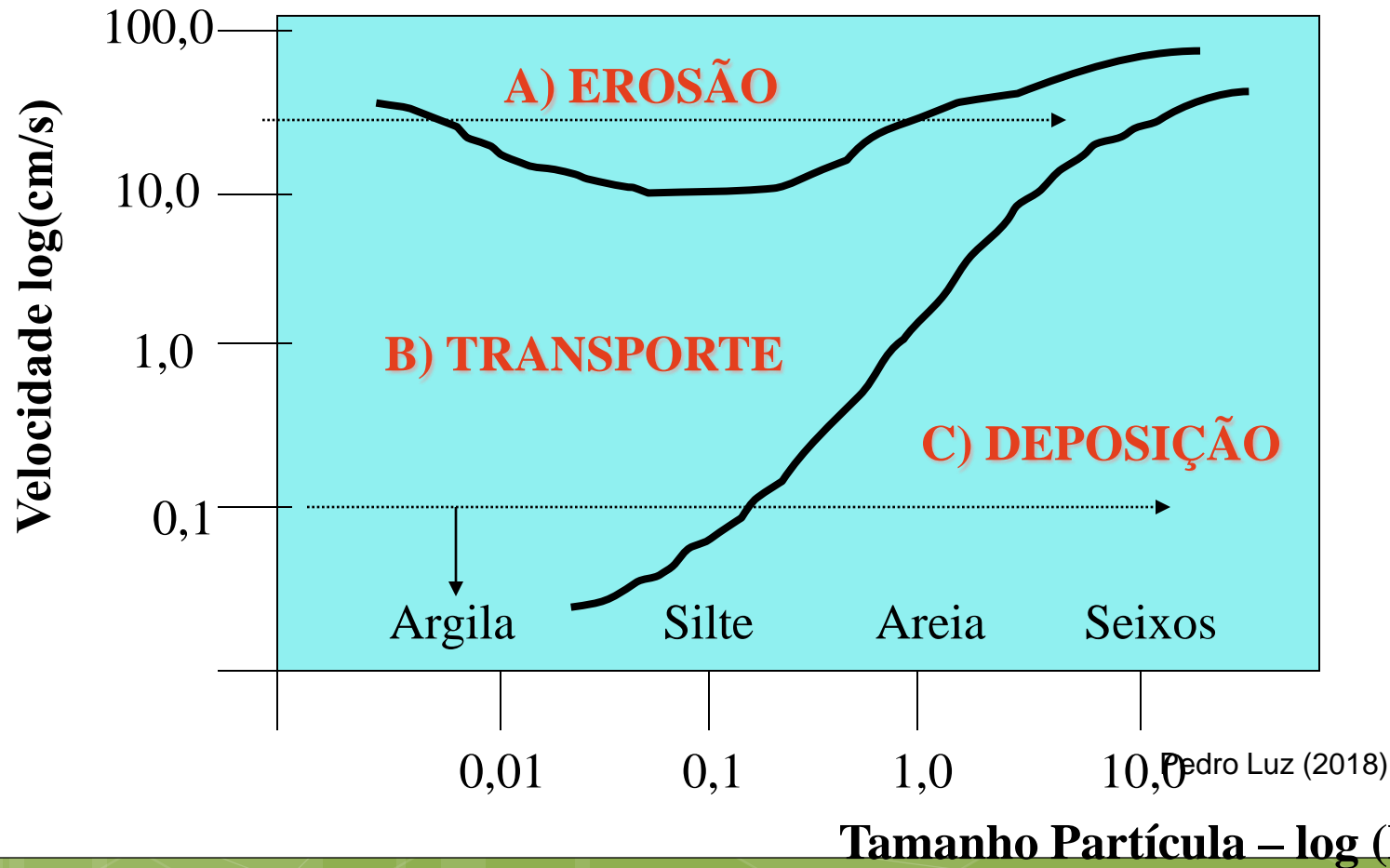
**3o DEPOSIÇÃO**

Pedro Luz (2018)

## 2) TRANSPORTE

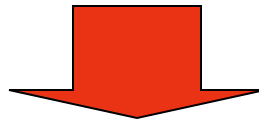


# ENXURRADA

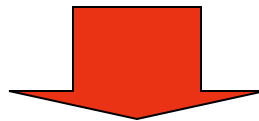


# ENXURRADA x PLANTIO DIRETO

**IMPORTÂNCIA DO SOLO COBERTO**



**AUMENTA A RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE**

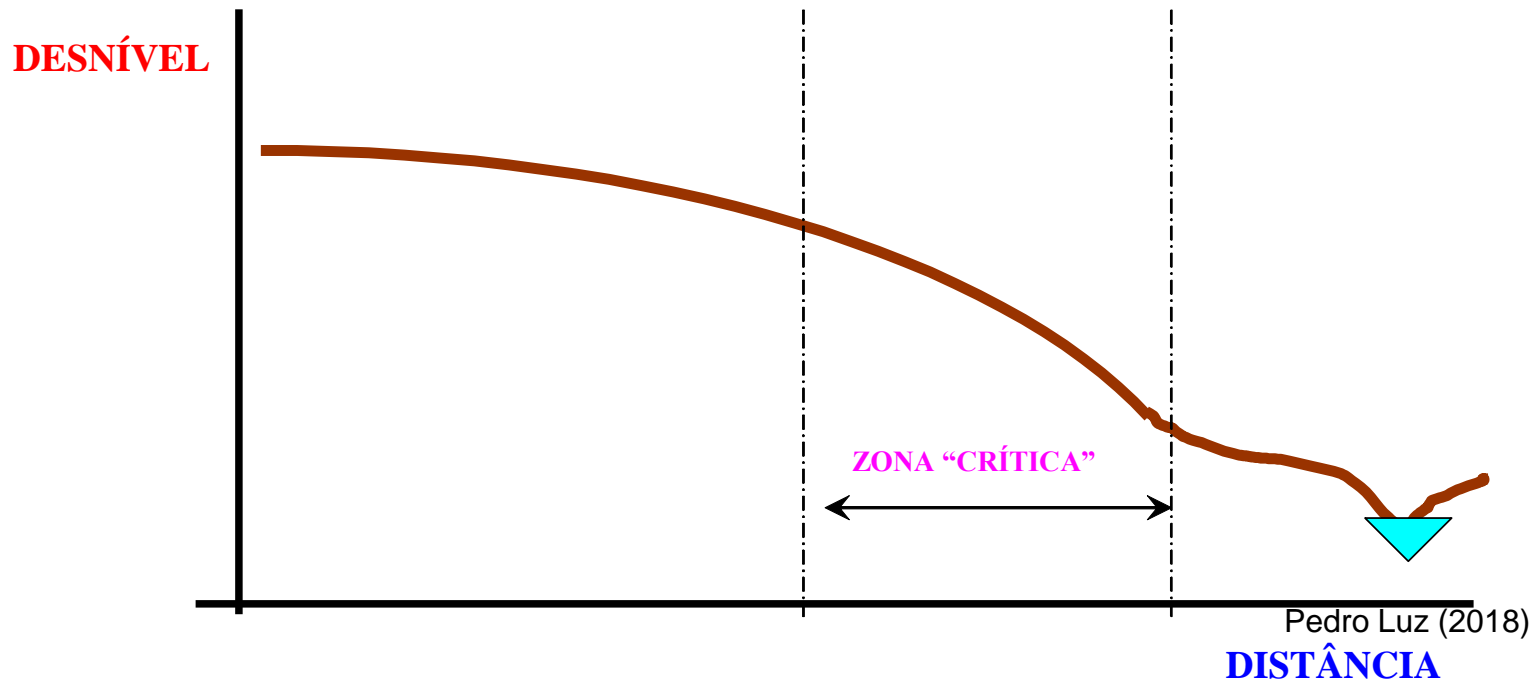


**REDUZ A ENERGIA DA ENXURRADA**

# RELÊVO - DIRETO

## MODELO DE RELÊVO DE UMA PENDENTE - DIRETO

### A) PENDENTE DIRETA – DECLIVIDADE CRESCENTE





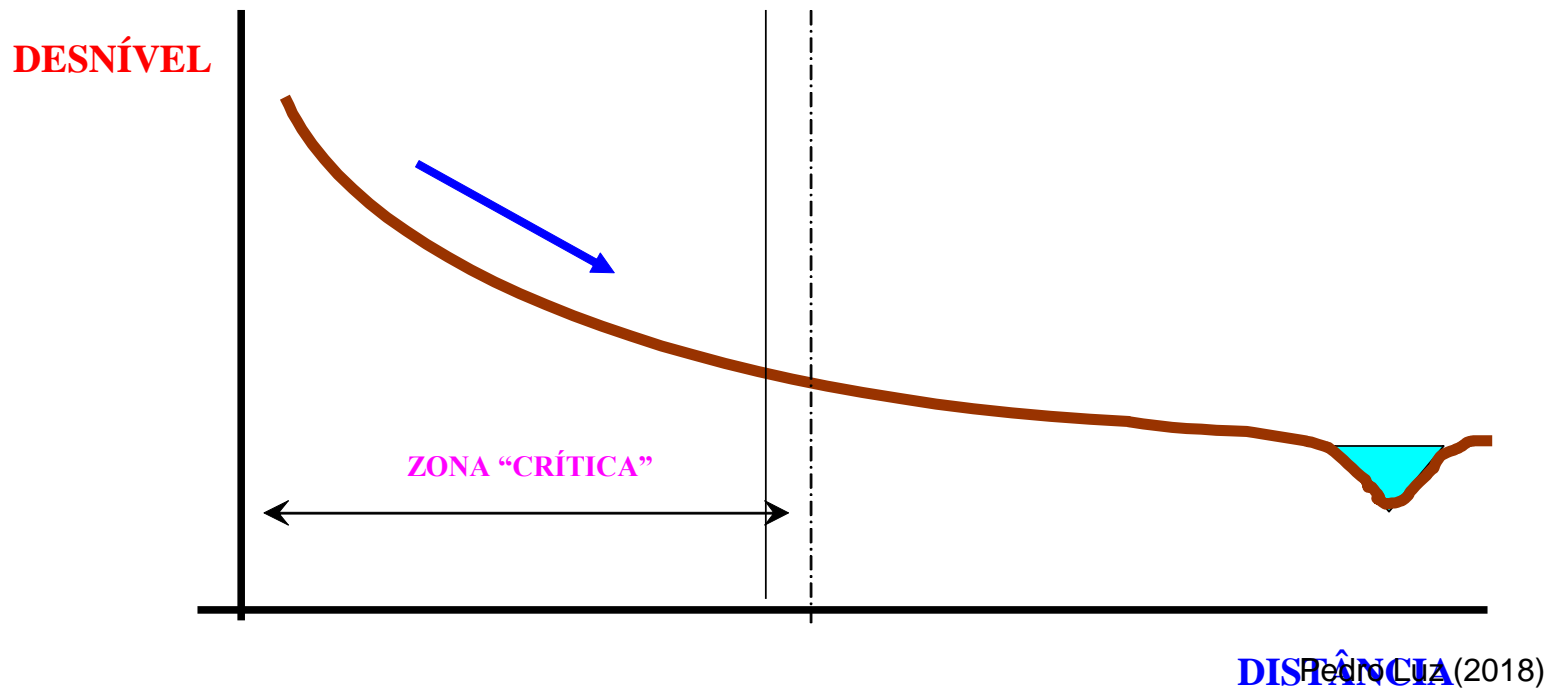




# RELÊVO - INDIRETO

## MODELO DE RELÊVO DE UMA PENDENTE - INVERTIDO

### B) PENDENTE INVERTIDA – DECLIVIDADE DECRESCENTE





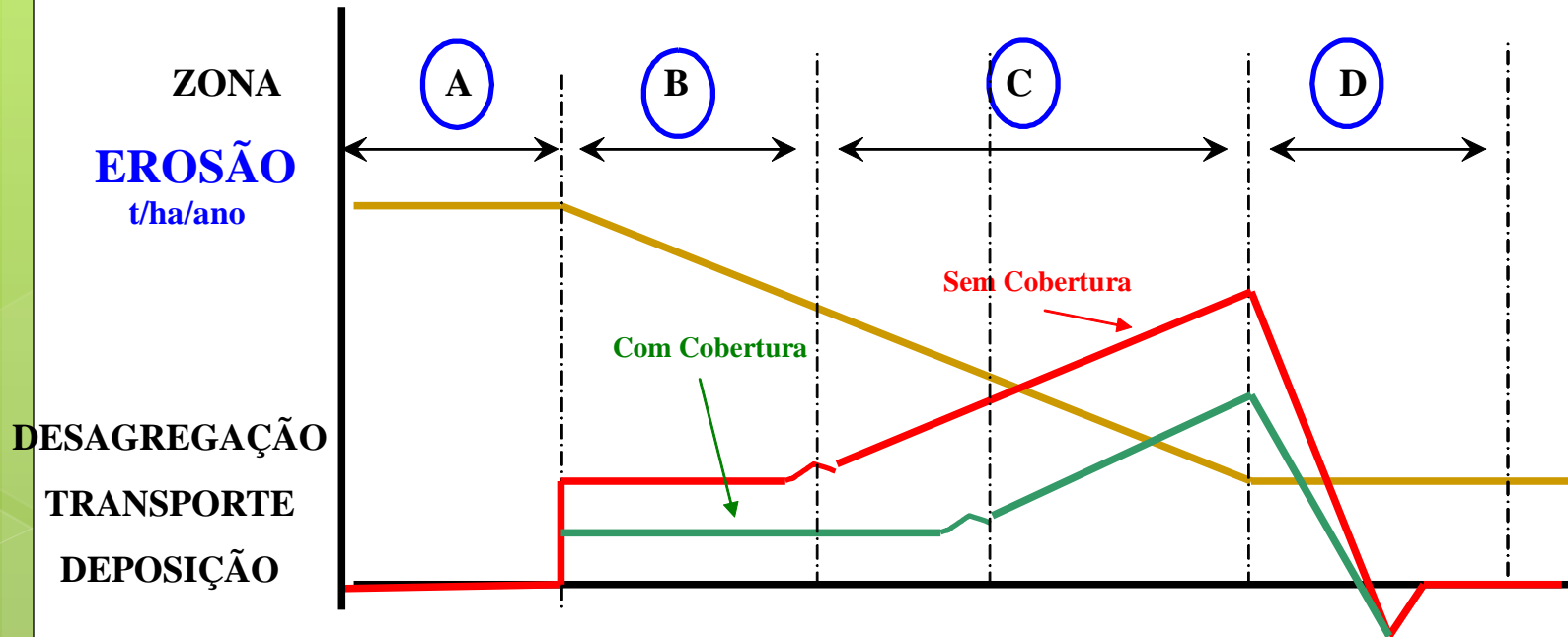
20 2 2006



20 2 2006

# PROCESSO EROSIVO

## MODELO DO PROCESSO DE EROSÃO EM UMA PENDENTE



ZONA	EROSÃO	AÇÃO
A	"ZERO"	Só despreendimento
B	"AEROLAR" ou "LAMINAR"	Transporte por enxurrada de baixa velocidade
C	"LINEAR" ou "SULCO"	Despreendimento pela enxurrada e transporte
D	DEPOSIÇÃO	Deposição do material erodido

# CONSERVAÇÃO DO SOLO



**EROSÃO**

# Estradas





# Assoreamento



Pedro Luz (2018)

11-16-08



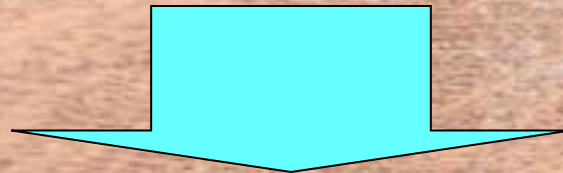
# Danos ambientais

Pedro Luz (2018)  
17 2 2005

# Desprendimento



# Transporte



# Deposição



Pedro Luz (2018)

11 18:01



# DEPOSIÇÃO

- Quando cessa o efeito de transporta da enxurrada
- Acúmulo nas posições de “ baixadas”

## Melhorar a Fertilidade do Solo

- *Enriquecer solo com matéria orgânica*
- *Fertilizar racionalmente as culturas*
- *Corrigir a acidez do solo*

## Defender o Solo Contra Erosão

- *Terraceamento;*
- *Rotação de Culturas;*
- *Racionalizar a mobilização do solo;*
- *Cultivo em Nível ;*
- *Evitar a Compactação do Solo;*
- *Cordão de Vegetação Permanente;*
- *Associação de Culturas;*

### Melhor Fertilidade do Solo



## Proteção e Conservação da Água

- *Uso racional da água na Irrigação*
- *Proteger a qualidade da água da poluição dos fertilizantes e produtos fitofarmacêuticos.*
  
- *Proteger os rios e as ribeiras contra assoreamento.*

## Praticas de Conservação de Solo e Água

- *Tem como objetivo minimizar as perdas e escassez dos recursos naturais que são os fatores básicos para uma boa produção.*

### Praticas Usadas na Conservação do Solo e Água

- *Praticas Vegetativas*
- *Praticas Edáficas*
- *Praticas Mecânicas*

**USP**  
**Pirassununga SP**



*Prof. Dr. Pedro Henrique Luz*

**SETOR DAS AGRÁRIAS**  
**FZEA/USP**

**OBRIGADO**

Tel. 19 – 3565.4195 ou 3565.4267 ou 9784.5913  
E- mail – phcerluz@usp.br ou pedrohenriqueluz51@gmail.com.