



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Campus USP “Luiz de Queiroz”
Centro de Energia Nuclear na Agricultura



USO DO SOLO NA AGRICULTURA: DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E MEDIDAS MITIGATÓRIAS

Wanderlei Bieluczyk

wanderleibieluczyk@gmail.com

Piracicaba, 17 de Agosto de 2023



1. O QUE É UM SOLO POLUÍDO?

2. CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR AGROTÓXICOS

3. DEJETOS E ADUBOS AGROPECUÁRIOS COMO POLUENTES DO SOLO

4. EROSÃO: DO SOLO EXPOSTO AOS CORPOS HÍDRICOS

5. EUTROFIZAÇÃO, SALINIZAÇÃO, DESERTIFICAÇÃO

6. MITIGAÇÃO: SISTEMAS CONSERVACIONISTAS

POLUIÇÃO VS CONTAMINAÇÃO

LEI Nº 6.938: Art 3º - Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:

III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm

LEI Nº 13.577: Seção III – Art 3º:

Artigo 3º - Para efeitos desta lei, são adotadas as seguintes definições:

I - água subterrânea: água de ocorrência natural na zona saturada do subsolo;

II - Área Contaminada: área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria que contenha quantidades ou concentrações de matéria em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger;

<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13577-08.07.2009.html>

RESOLUÇÃO Nº 420: CAPÍTULO 1 – Art 6º: ...são adotados os seguintes termos e definições:

V - Contaminação: presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico;

<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acs.pdf>

POLUIÇÃO VS CONTAMINAÇÃO

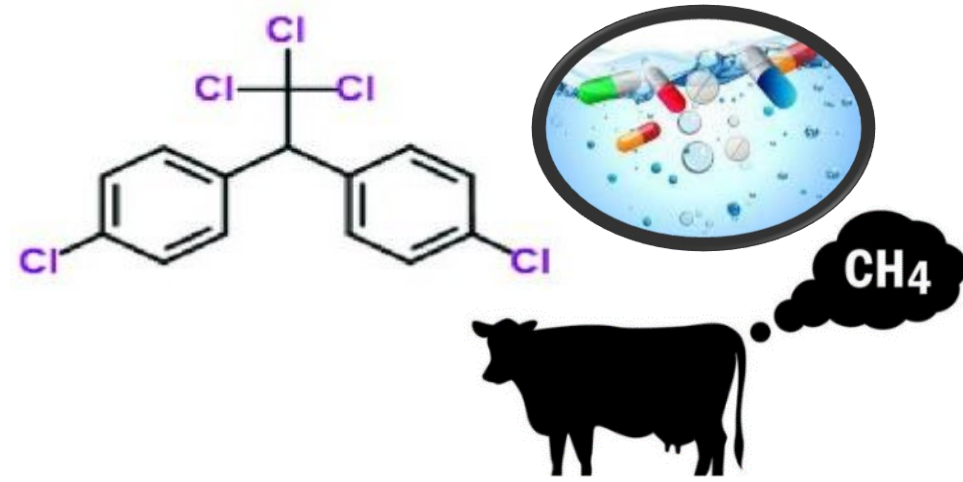


▪ VAMOS SIMPLIFICAR:

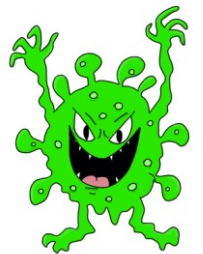
Poluição: “degradação da qualidade meio ambiente, causada pela ação do ser humano ou qualquer outro fator, tornando-o prejudicial à saúde ou alterando o funcionamento do ecossistema”.



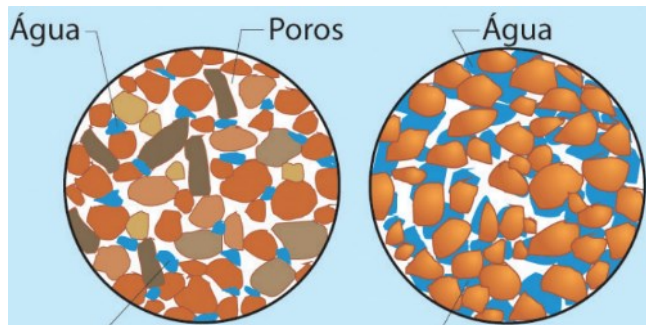
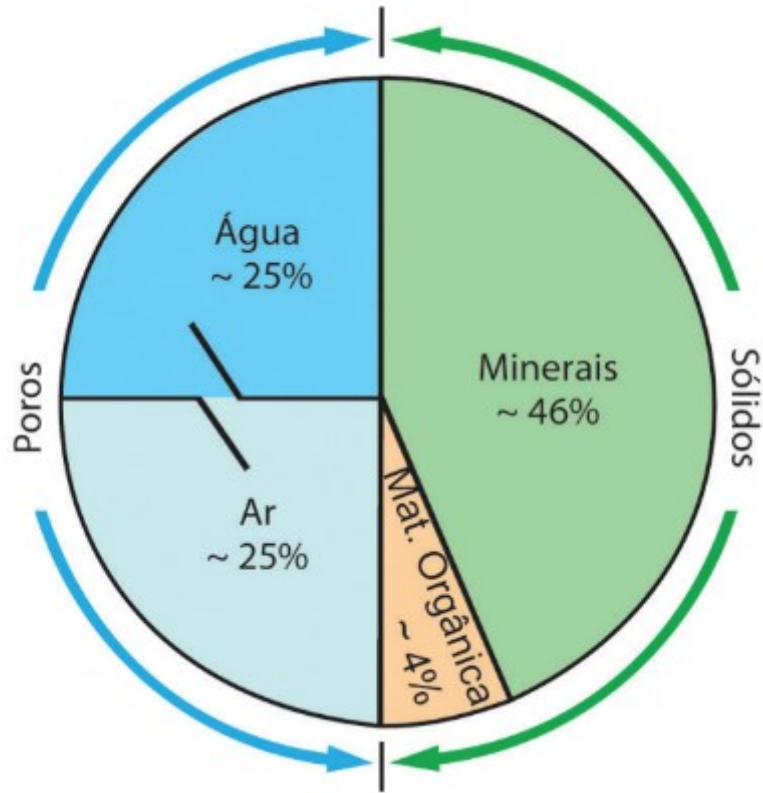
Contaminação: “presença de uma substância em quantidade que não deveria existir no meio”. Conforme aumento de sua quantidade se torna nociva à vida.



CH₄



SOLO



Latossolo



Gleissolo



Neossolo



$$S = f(m, r, o, c, v, t)$$

<https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>

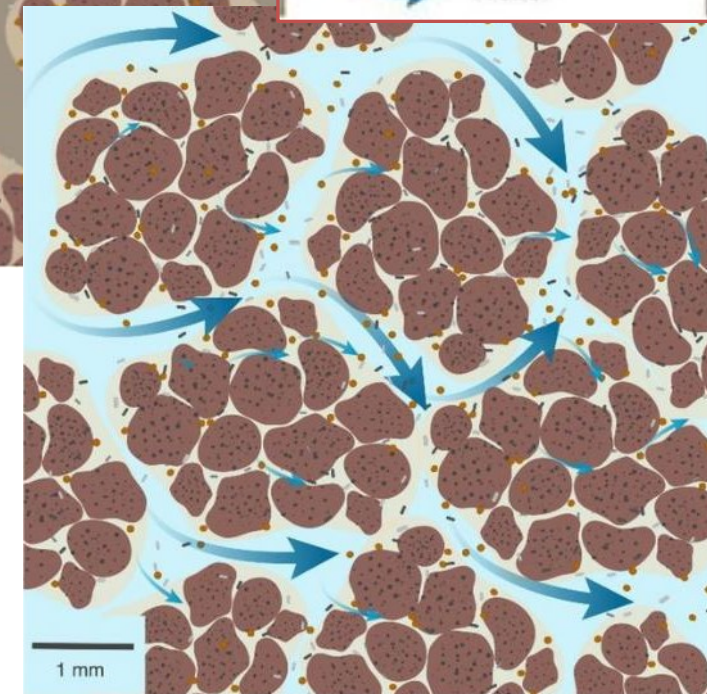
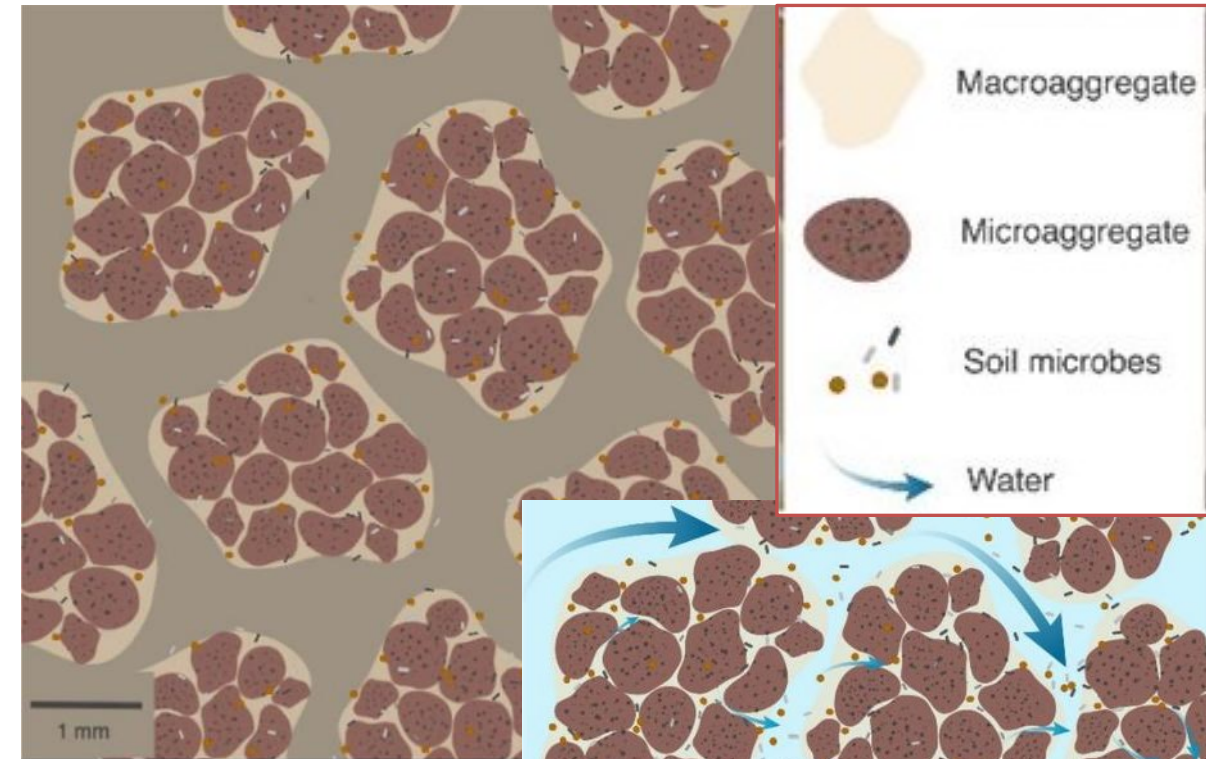
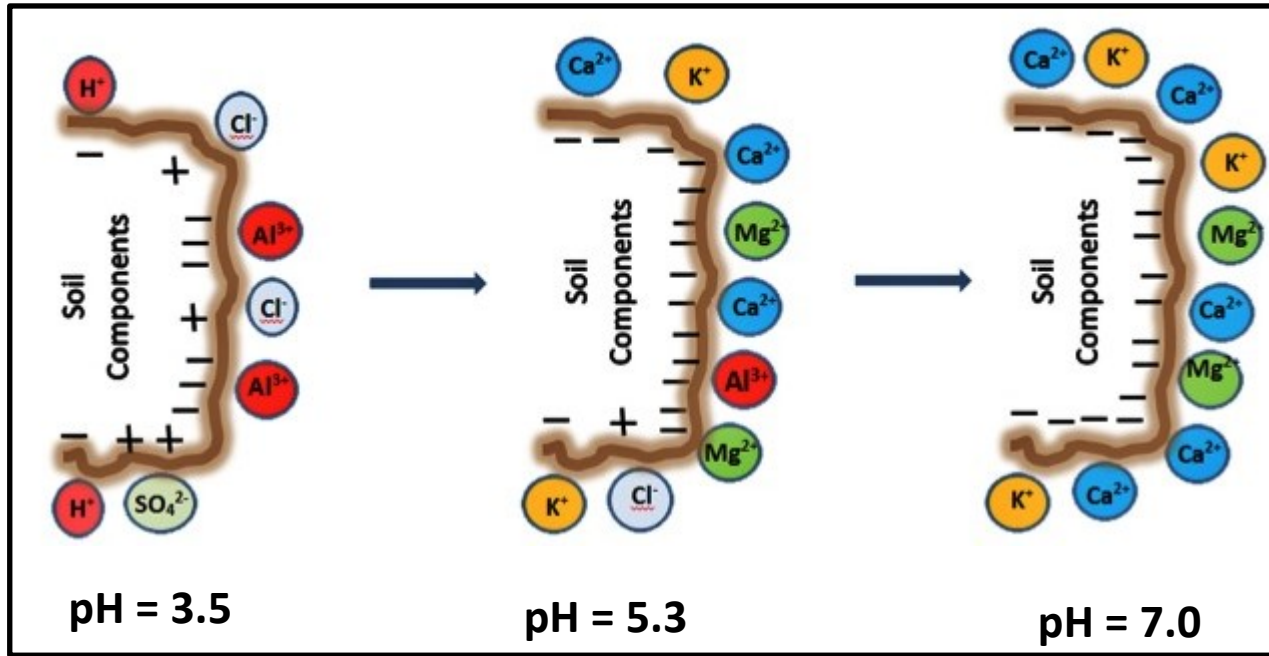
Composição?
Formação?



Química?

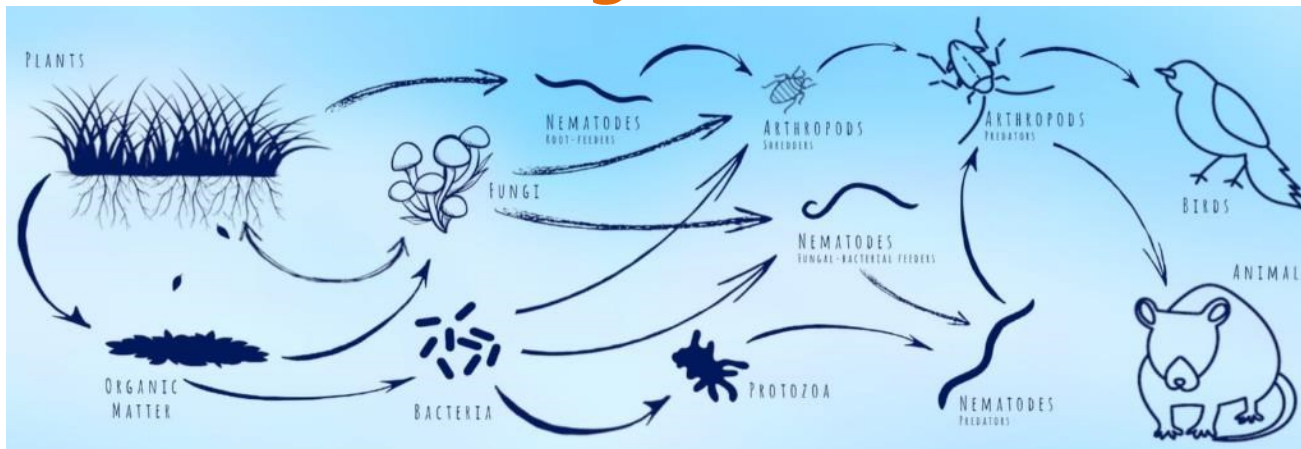
SOLO

Física?



<https://aem.asm.org/content/aem/85/14/e00324-19.full.pdf>

Biologia?



<https://www.soilfoodweb.com/how-it-works/>

FUNÇÕES DO SOLO

O solo é vivo!



**O solo é o alfa e o ômega,
o início e o fim de tudo.**

(Ana Primavesi)



<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/23945400/o-solo-e-vivo-e-responsavel-pelos-servicos-ecossisticos-necessarios-a-vida>

SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

O solo é o componente chave do funcionamento dos ecossistemas (Vezzani, 2015)

Serviços de provisão (abastecimento):

São produtos que adquirimos dos ecossistemas como: fontes de energia, alimentos e medicamentos.

Serviços de suporte:

São os necessários para produção dos outros serviços ecossistêmicos. Exemplos: ciclagem de nutrientes, formação do solo e produção de oxigênio.

Serviços culturais:

Incluem toda a diversidade cultural, uma vez que os ecossistemas influenciam na diversidade cultural como: ecoturismo e recreação.

Serviços de regulação:

Estão relacionados com as características regulatórias dos ecossistemas: regulação climática, manutenção da qualidade do ar, entre outros.



❖ VAMOS SIMPLIFICAR:

Contexto mais utilizado:

Poluição do solo: “contaminação por substâncias indesejáveis ou tóxicas que causem danos aos organismos vivos, incluindo (obviamente) o ser humano”.

“A poluição do solo é um processo de degradação que consome solos férteis, pode ser invisível aos olhos dos homens, mas **compromete a comida que comemos, a água que bebemos e o ar que respiramos**. A poluição não conhece fronteiras – os contaminantes movem-se através do solo, do ar e da água”.

<http://www.fao.org/3/cb4827en/cb4827en.pdf>



O solo é um filtro...

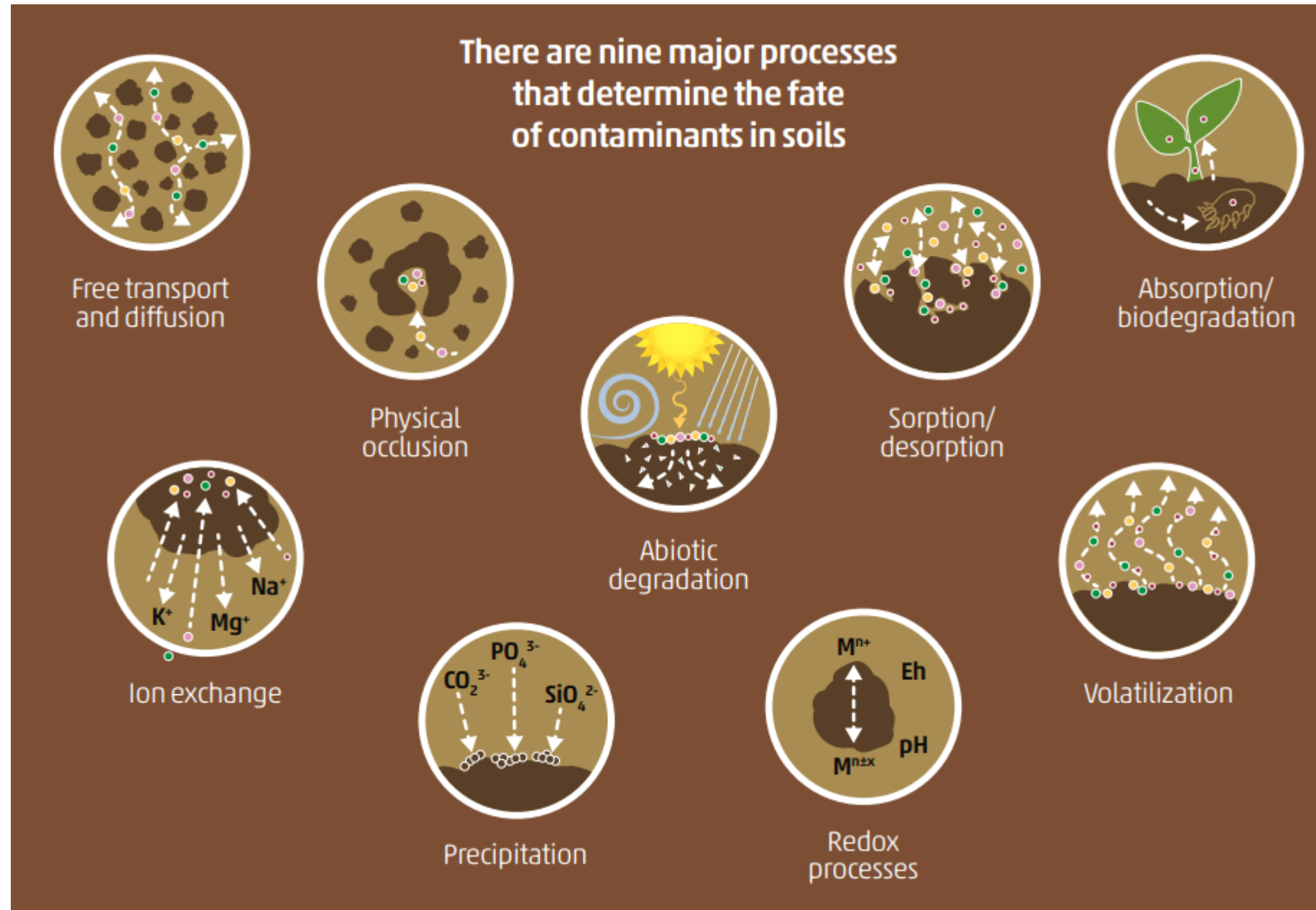


Bomba-Relógio

...que pode saturar.

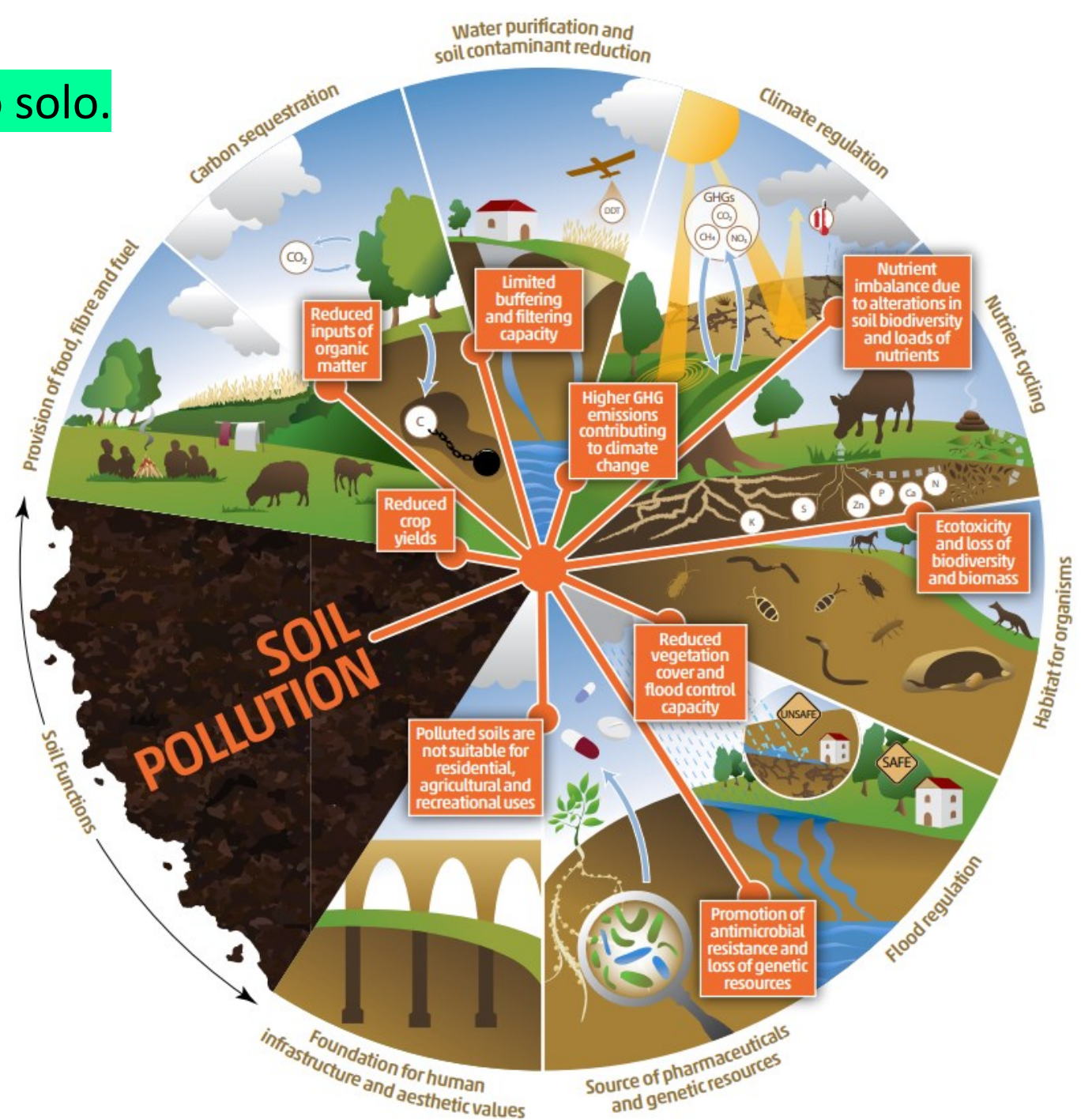
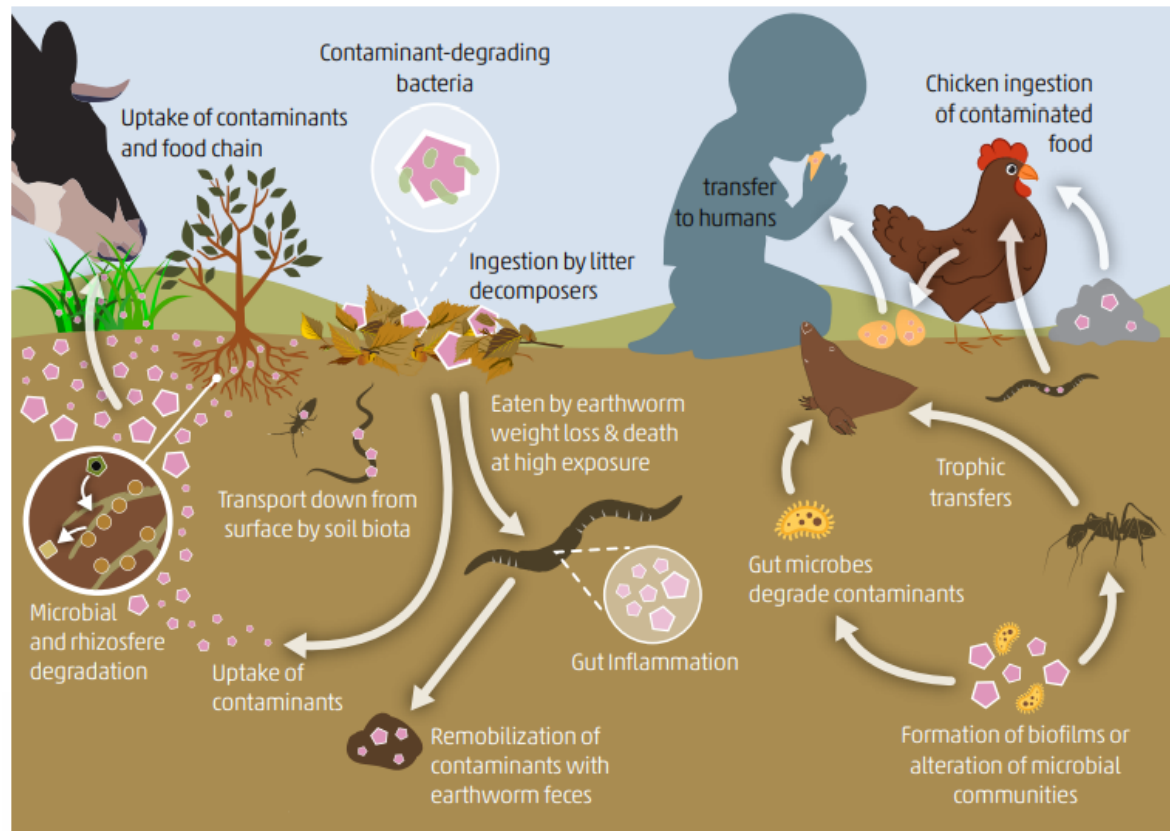
Cada caso é um caso!

Os solos naturalmente tem diversas propriedades físicas, químicas e biológicas! Portanto, os mecanismos envolvidos no processo de poluição do solo se diferem de acordo com as características edáficas iniciais.



Consequência final:

Perda de funções e serviços ecossistêmicos do solo.
Contaminação de toda cadeia trófica.



POLUIÇÃO DO SOLO NA AGRICULTURA

Aplicação de agrotóxicos

(água contaminada percola no perfil do solo)



Uso indiscriminado de fertilizantes

(alteração severa da composição do solo)



Erosão do solo

(transporte e acúmulo de poluentes)



Uso indiscriminado de dejetos animais

(metais pesados e antibióticos)



Efeitos nas águas: (nitratos, metais pesados (e.g. Cu e Zn), assoreamento, eutrofização, etc)



MUDANÇA DO USO DA TERRA

As queimadas poluem o solo?



 O QUE É UM SOLO POLUÍDO?

2. CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR AGROTÓXICOS

3. DEJETOS E ADUBOS AGROPECUÁRIOS COMO POLUENTES DO SOLO

4. EROSÃO: DO SOLO EXPOSTO AOS CORPOS HÍDRICOS

5. EUTROFIZAÇÃO, SALINIZAÇÃO, DESERTIFICAÇÃO

6. MITIGAÇÃO: SISTEMAS CONSERVACIONISTAS

QUANTO “PERIGOSO” É O AGROTÓXICO?

<https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxicos>

	CATEGORIA 1	CATEGORIA 2	CATEGORIA 3	CATEGORIA 4	CATEGORIA 5	NÃO CLASSIFICADO
	EXTREMAMENTE TÓXICO	ALTAMENTE TÓXICO	MODERADAMENTE TÓXICO	POUCO TÓXICO	IMPROVÁVEL CAUSAR DANO AGUDO	NÃO CLASSIFICADO
PICTOGRAMA					Sem símbolo	Sem símbolo
PALAVRA DE ADVERTÊNCIA	PERIGO	PERIGO	PERIGO	CUIDADO	CUIDADO	Sem advertência
CLASSE DE PERIGO						
ORAL	Fatal se ingerido	Fatal se ingerido	Tóxico se ingerido	Nocivo se ingerido	Pode ser perigoso se ingerido	-
DÉRMICA	Fatal em contato com a pele	Fatal em contato com a pele	Tóxico em contato com a pele	Nocivo em contato com a pele	Pode ser perigoso em contato com a pele	-
INALATÓRIA	Fatal se inalado	Fatal se inalado	Tóxico se inalado	Nocivo se inalado	Pode ser perigoso se inalado	-
COR DA FAIXA	VERMELHO	VERMELHO	AMARELO	AZUL	AZUL	VERDE

Fonte: Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva, 2019

Classe I e II

DL 50 Extremamente tóxico

Via Oral: < 5 mg/kg p.c.
Via Cutânea: < 50 mg/kg p.c.
Via de exposição: <100 ppm/V

DL 50 Altamente tóxico

Via Oral: > 5 – 50 mg/kg p.c.
Via Cutânea: > 50 - 200 mg/kg p.c.
Via de exposição: > 100 - 500 ppm/V



PERIGO

EXTREMAMENTE TÓXICO

Fatal se ingerido, em contato com a pele ou inalado.



PERIGO

ALTAMENTE TÓXICO

Idem. A diferença para o pior grau está na quantidade de exposição ao produto.

Classe III

Via Oral: > 50 – 300 mg/kg p.c.
Via Cutânea: > 200 – 1000 mg/kg p.c.
Via de exposição: > 500 - 2500 ppm/V



CUIDADO

MODERADAMENTE TÓXICO

Causa intoxicação se ingerido, em contato com a pele ou inalado.

Classe IV e V

DL 50 Pouco tóxico

Via Oral: > 300 – 2000 mg/kg p.c.
Via Cutânea: > 1000 – 2000 mg/kg p.c.
Via de exposição: > 2500 - 20000 ppm/V

DL 50 Improvável de causar dano agudo

Via Oral: > 2000 – 5000 mg/kg p.c.
Via Cutânea: > 2000 – 5000 mg/kg p.c.
Via de exposição: > 20000 ppm/V



CUIDADO

POUCO TÓXICO

Nocivo se ingerido, em contato com a pele ou inalado.



CUIDADO

IMPROVÁVEL DE CAUSAR DANO AGUDO

Pode ser perigoso se ingerido, em contato com a pele ou inalado.

Não classificados



CUIDADO

NÃO CLASSIFICADO

Sem riscos ou recomendações.

Via Oral: > 5000 mg/kg p.c.
Via Cutânea: > 5000 mg/kg p.c.

QUANTO “PERIGOSO” É O AGROTÓXICO?

Dose Letal 50 (DL 50):

Expressa o grau de toxicidade aguda de um produto. Indica a quantidade de ingrediente ativo de uma substância tóxica (como agrotóxico) necessária para matar 50% de animais testados. Expressa-se em miligramas por quilograma (mg/kg) de peso do corpo do animal intoxicado.

Consulta do Registro e Bula do Agrotóxico
https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons

QUAL O TEMPO PARA DEGRADAÇÃO COMPLETA DA MOLÉCULA?

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

PubChem

About Blog Submit Contact

Search PubChem

COMPOUND SUMMARY

Glyphosate

Cite

Download

CONTENTS

Title and Summary

1 Structures

2 Biologic Description

3 Names and Identifiers

4 Chemical and Physical Properties

5 Spectral Information

6 Related Records

7 Chemical Vendors

8 Agrochemical Information

9 Pharmacology and Biochemistry

10 Use and Manufacturing

11 Identification

12 Safety and Hazards

13 Toxicity

14 Associated Disorders and Diseases

15 Literature

16 Patents

17 Biomolecular Interactions and Pathways

18 Biological Test Results

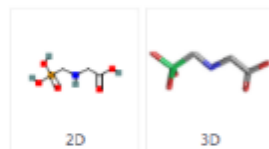
19 Classification

20 Information Sources

PubChem CID

3496

Structure



[Find Similar Structures](#)

Chemical Safety



[Laboratory Chemical Safety Summary \(LCSS\) Datasheet](#)

Molecular Formula

$C_3H_8NO_5P$ or $HOOCCH_2NHCH_2PO(OH)_2$

Synonyms

glyphosate
1071-83-6
N-(Phosphonomethyl)glycine
N-Phosphonomethyl-glycine
Roundup

[More...](#)

Molecular Weight

169.07

Dates

Modify Create
2021-08-28 2004-09-16

Meia vida:

~ 60 dias

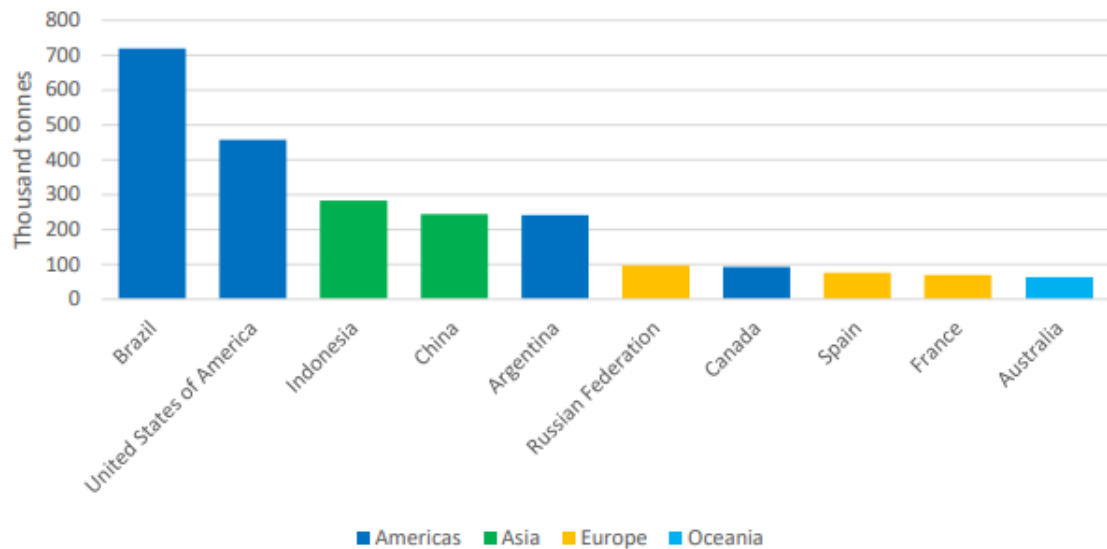
Metabólitos secundários:

Ex.: aminomethylphosphonic acid (AMPA)

Publicação recente:

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116178>

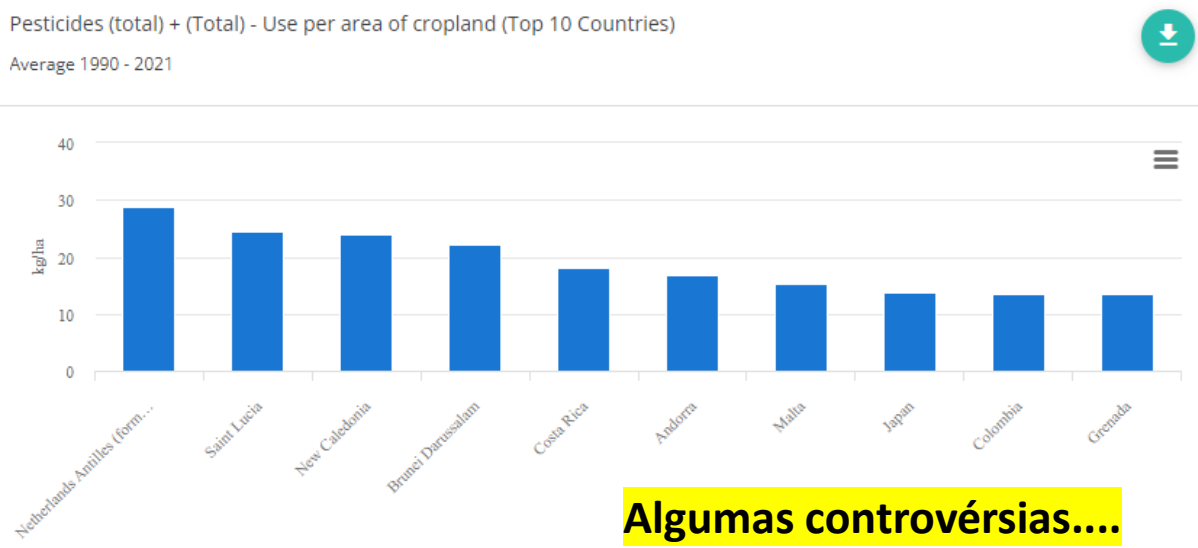
Figure 8: Pesticides use, top countries (2021)



QUANTO USAMOS DE AGROTÓXICO?

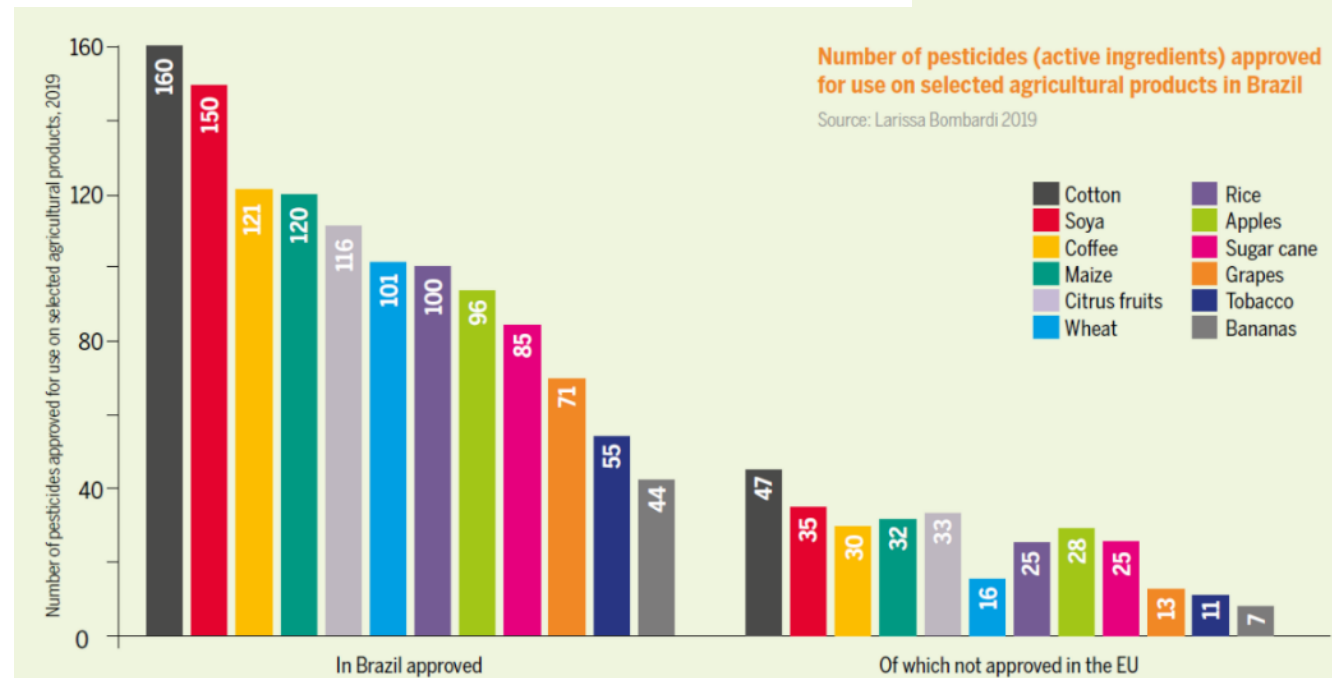
<https://1nk.dev/YaoUj>

Source: FAO. 2023. Pesticides Use. In: FAOSTAT. Rome. [Cited July 2023]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>



Algumas controvérsias....

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>
<https://www.fao.org/3/cc6958en/cc6958en.pdf>



<https://www.iatp.org/documents/eu-mercosur-agreement-increasing-pesticide-use-and-agmos-and-undermining-healthy-food>

LAVAGEM E DESTINAÇÃO DA EMBALAGEM

TRÍPLICE LAVAGEM

3 vezes



Esgotar todo o conteúdo da embalagem do produto



Colocar 1/4 de água do volume total



Agitar bem para lavar a embalagem



Despejar a água da lavagem dentro do pulverizador



Furar o fundo da embalagem para não ser reutilizada e conserve o rótulo

Logística Reversa

Brasil é referência: mais de 90% das embalagens retornam para a empresa.

Sistematização: prazo para devolver embalagem é de um ano na maioria dos estados.

Empresa: recolhimento e reciclagem.

Poder público: fiscalização.

POR QUE TEMOS CONTAMINAÇÃO POR AGROTÓXICOS?

Por um lado...

Engenheiro Agrônomo:

Responsável pelo Receituário Agrícola

Rigorosos estudos e testes para aprovação de agrotóxicos:

Legislação e órgãos de saúde.

Órgãos de Fiscalização:

Mapa, Ibama, Anvisa...

Mas por outro...

2.182 produtos liberados em 4 anos...

Produtos “genéricos”.

Produtos proibidos em outros países.

Alimentos e água contaminados.

O uso de agrotóxicos aumentou 97% entre 1990 e 2020 no mundo (FAO).

Agrônomos de ar condicionado: máquinas de assinar receituário.

Agricultores que “colocam um pouco a mais para garantir”.

Resíduos de agrotóxicos no leite humano. Menck, Cossella e Oliveira.



SEGURANÇA
alimentar e nutricional

Resíduos de agrotóxicos no leite humano e seus impactos na saúde materno-infantil: resultados de estudos brasileiros

Vanessa Fracaro Menck¹, Kathleen Grace Cossella² e Julicristie Machado de Oliveira³

Agência  **FAPESP**

NOTÍCIAS

AGENDA

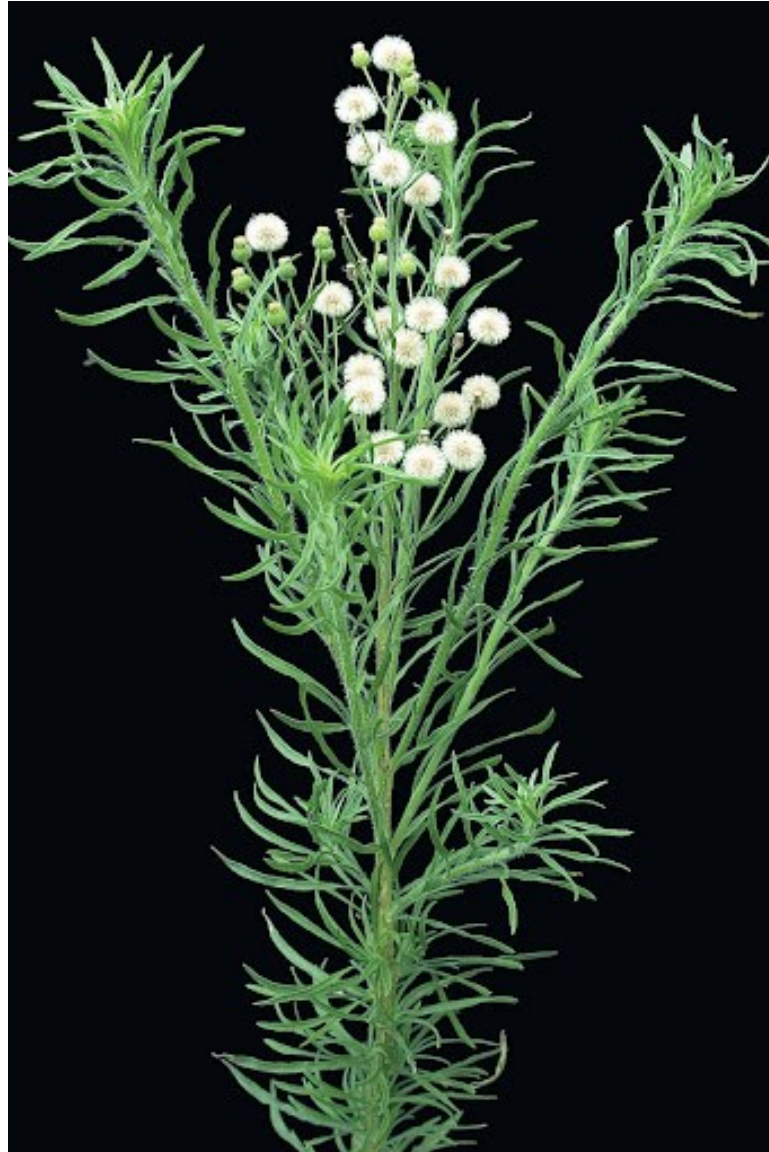
VÍDEOS

Desmatamento na Amazônia favorece aumento de bactérias resistentes a antibióticos no solo

12 de fevereiro de 2021

RESISTÊNCIA E NOVAS PRAGAS

[Conyza bonariensis](#)



Dalbulus maidis



Espigas e plantas com sintomas de Enfezamento

CONTAMINAÇÃO POR AGROTÓXICOS

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/987245/1/Doc98.pdf>

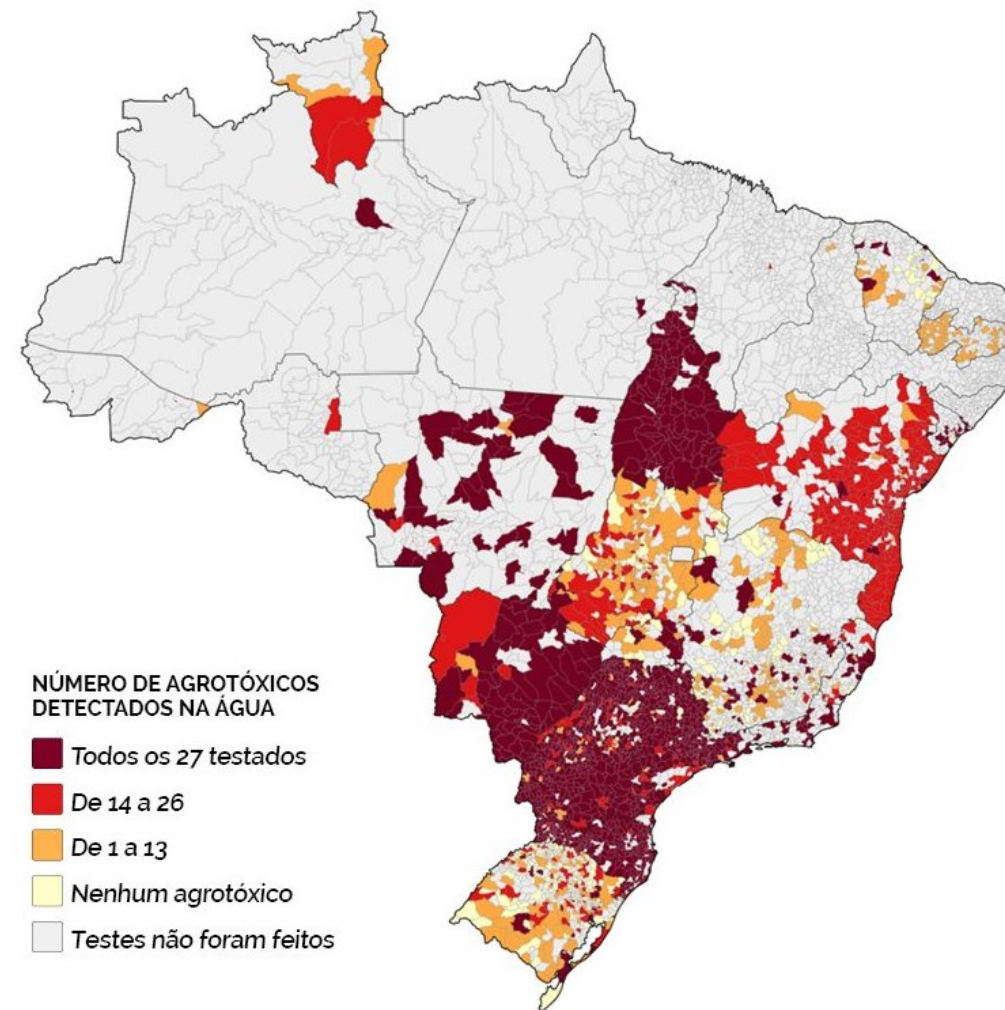
“Ao se tratar de resíduos químicos no ambiente deve-se pensar na saúde dos diversos organismos, entre eles o homem. Nesse aspecto, há de se questionar, ainda, a necessidade de estabelecer padrões aceitáveis (concentração) no ambiente para várias moléculas de compostos químicos, além de reavaliar os padrões vigentes para muitos deles.”

<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/programa-de-analise-de-residuos-em-alimentos>

Do total das amostras analisadas, 3.544 (77%) foram consideradas satisfatórias quanto aos agrotóxicos pesquisados, sendo que em 2.254 (49%) não foram detectados resíduos e 1.290 (28%) apresentaram resíduos com concentrações iguais ou inferiores ao LMR. Foram consideradas insatisfatórias 1.072 amostras (23%).

Agrotóxicos são um mal necessário?

O que você está fazendo para reduzir o uso de agrotóxico e produzir matéria prima suficiente para a população? Só criticando?



Fonte: Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua) - 2014-2017

DOIS EXEMPLOS DE MITIGAÇÃO PARA REDUZIR O USO DE AGROTÓXICOS...

AGROECOLOGIA

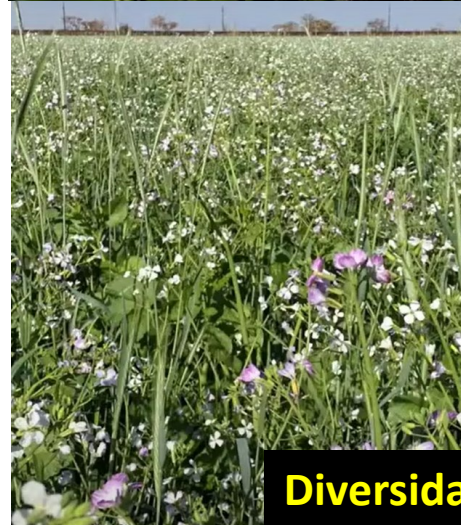
AGRICULTURA DE PRECISÃO



Agrofloresta
Agricultura Orgânica



ILPF



Diversidade de Plantas e Plantio no Verde

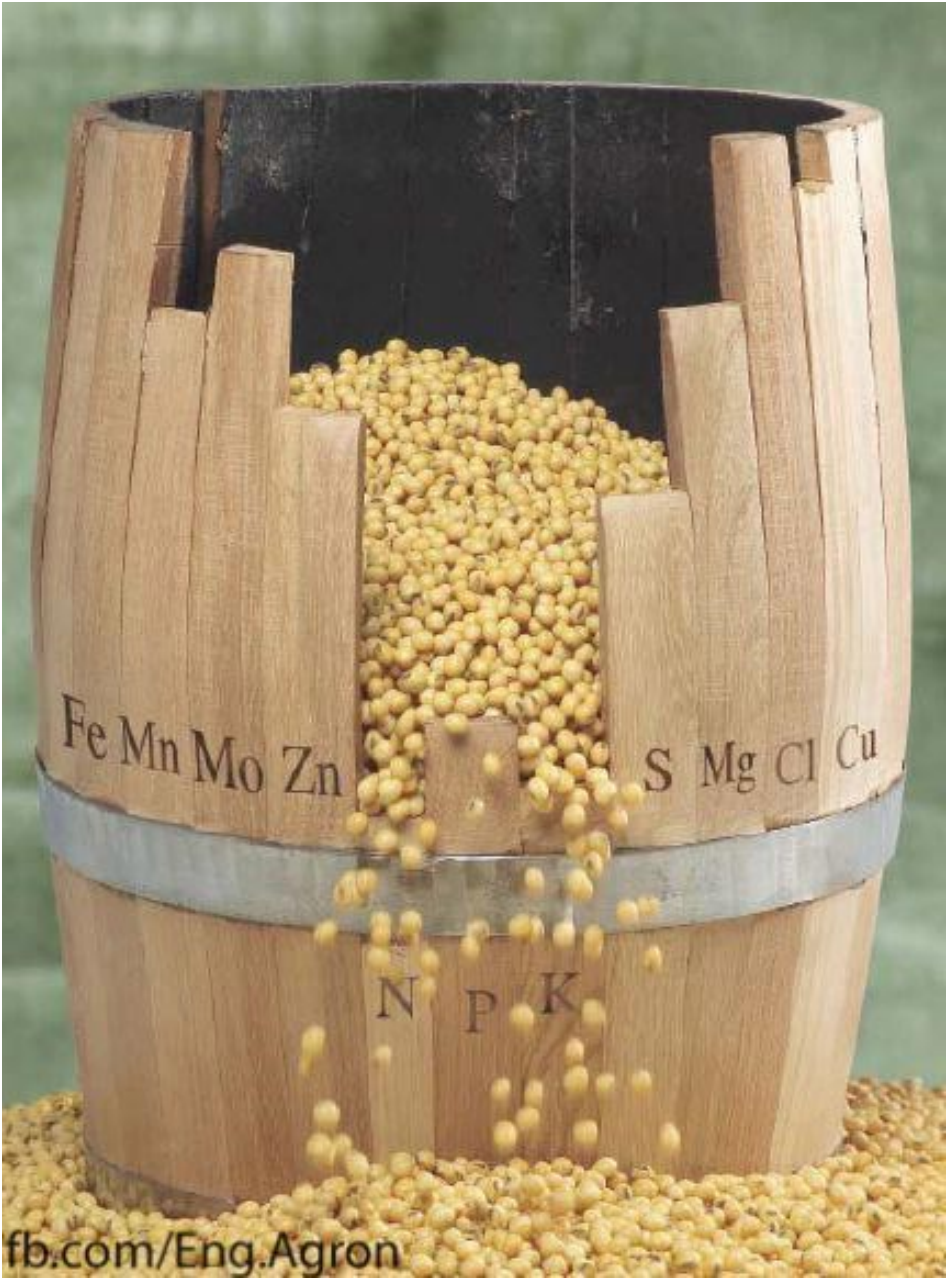
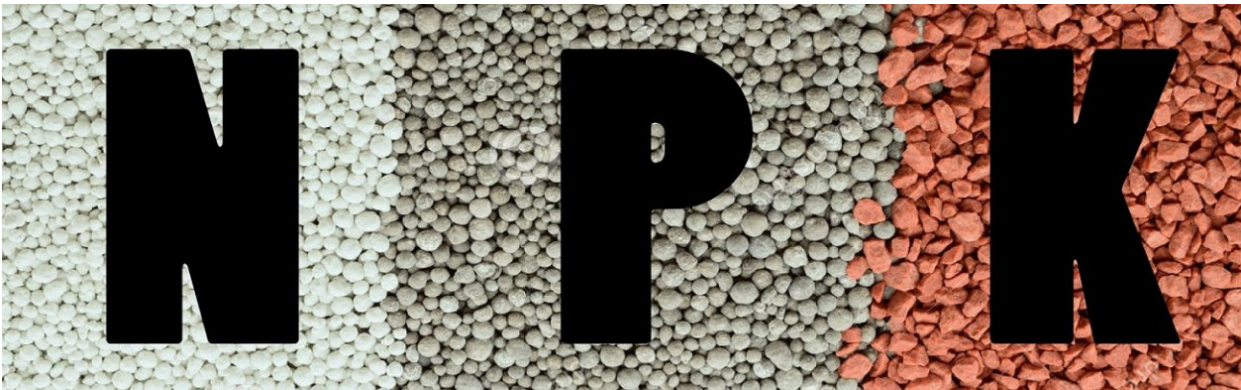
- ✓ O QUE É UM SOLO POLUÍDO?
- ✓ CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR AGROTÓXICOS

3. DEJETOS E ADUBOS AGROPECUÁRIOS COMO POLUENTES DO SOLO

4. EROSÃO: DO SOLO EXPOSTO AOS CORPOS HÍDRICOS

5. EUTROFIZAÇÃO, SALINIZAÇÃO, DESERTIFICAÇÃO

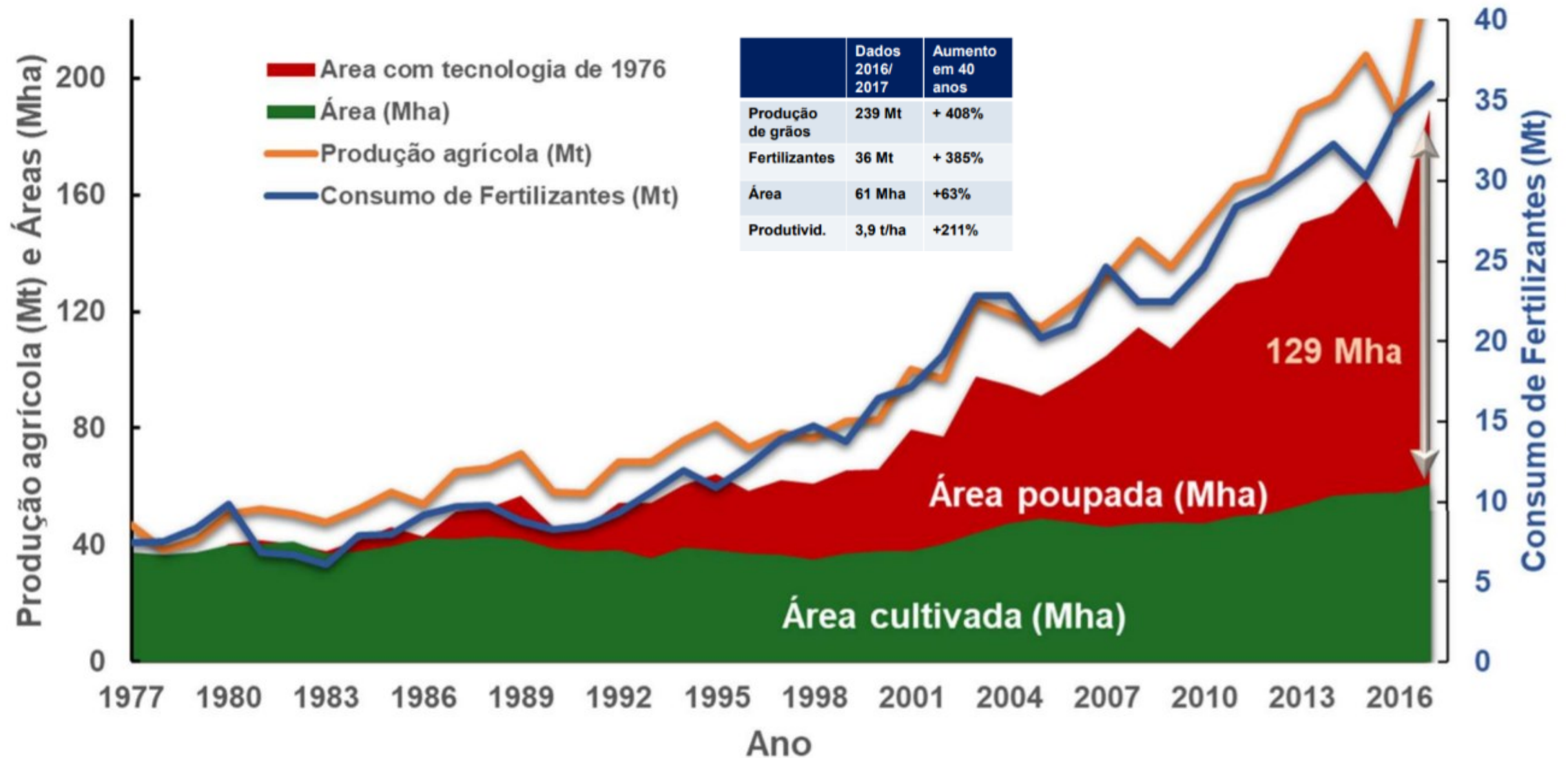
6. MITIGAÇÃO: SISTEMAS CONSERVACIONISTAS



fb.com/Eng.Agron



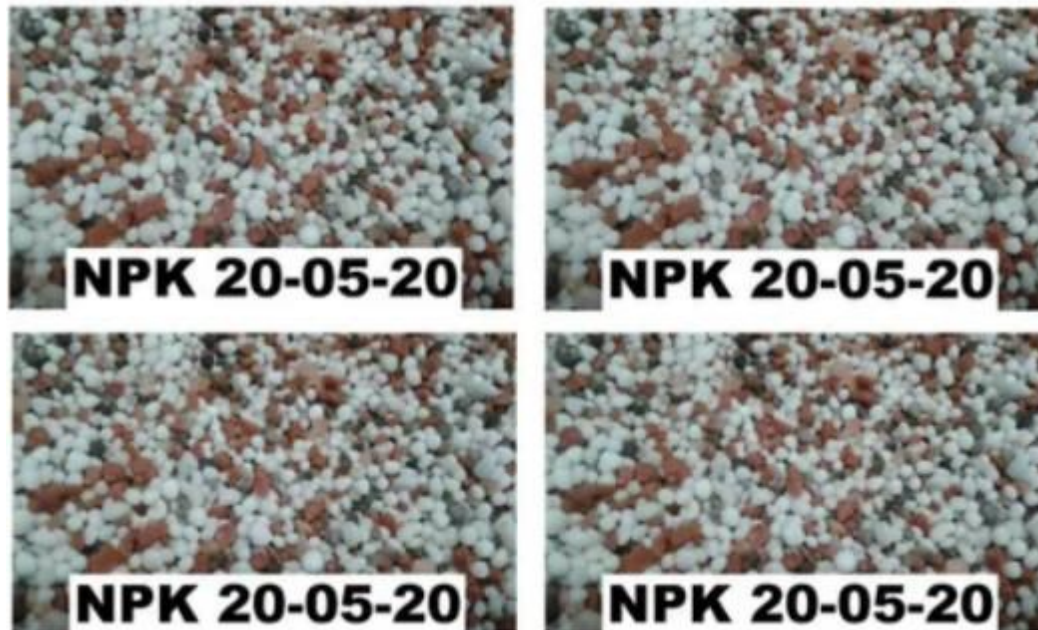
EFEITOS DOS FERTILIZANTES NO SOLO: POSITIVOS



⚠ Acúmulo de metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso contínuo de adubação fosfatada e água de irrigação

Heavy metal accumulation by continuous use of phosphate fertilization and irrigation water in sugar cane-cultivated soils

“Os fertilizantes fosfatados, utilizados por mais de 25 anos em um Podzólico Amarelo e em dois Latossolos Amarelos, causaram aumentos significativos dos teores de Cd, sem, contudo elevá-los a níveis críticos.”



Quadro 2. Valores médios de cádmio e chumbo nos fertilizantes fosfatados e quantidade dos metais pesados incorporados por hectare de solo pela aplicação de fertilizantes fosfatados

Fertilizante	Cádmio		Chumbo	
	mg kg ⁻¹ (¹)	g ha ⁻¹ (²)	mg kg ⁻¹ (¹)	g ha ⁻¹ (²)
Superfosfato Simples	15 ± (2)	1,50	54 ± (4)	5,40
Superfosfato Triplo	14 ± (4)	1,40	21 ± (3)	2,10
Termofosfato Yoorin	10 ± (1)	1,00	99 ± (1)	9,90
Fosfato de Araxá	8 ± (1)	0,80	49 ± (4)	4,90
Fosfato de Gafsa	35 ± (2)	3,50	234 ± (10)	23,40

(¹) Teor médio dos metais nos fertilizantes. (²) Valores considerando uma aplicação a lanço de uma dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Valores entre parênteses correspondem ao desvio-padrão das médias.

EFEITOS DE APLICAÇÃO DE DEJETOS NO SOLO: NEGATIVOS vs POSITIVOS



Macro e micronutrientes e Matéria Orgânica!



Poluição da água, solo e ar...



EFEITOS DE APLICAÇÃO DE DEJETOS NO SOLO: NEGATIVOS

- ❖ Adições frequentes de dejetos de animais aumentam o teor de fósforo no solo, potencializando a contaminação/poluição de mananciais hídricos.
- ❖ Os dejetos podem possuir em sua composição elementos traço como o cobre e o zinco. Estes metais podem causar sérios efeitos sobre as comunidades de microrganismos do solo.
- ❖ **Superdosagem** → excede adsorção do solo → bioacumulação → fitotoxicidade → água contaminada e prejuízos produtivos e ambientais.

Water Air Soil Pollut (2020) 231: 195
<https://doi.org/10.1007/s11270-020-04572-4>

Effect of Manure Compost on Distribution of Cu and Zn in Rhizosphere Soil and Heavy Metal Accumulation by *Brassica juncea*

Hongli Huang · Lin Luo · Liuhui Huang · Jiachao Zhang · Petros Gikas · Yaoyu Zhou



Review

Veterinary antibiotics in animal manure and manure laden soil: Scenario and challenges in Asian countries

Shlrene Quaik ^a, Asha Embrandiri ^b, B. Ravindran ^{c, d, * 吳}, Kaizar Hossain ^a, Naif Abdullah Al-Dhabi ^f, Mariadhas Valan Arasu ^{f, g}, Savarimuthu Ignacimuthu ^h, Norli Ismail ^{a 吳}

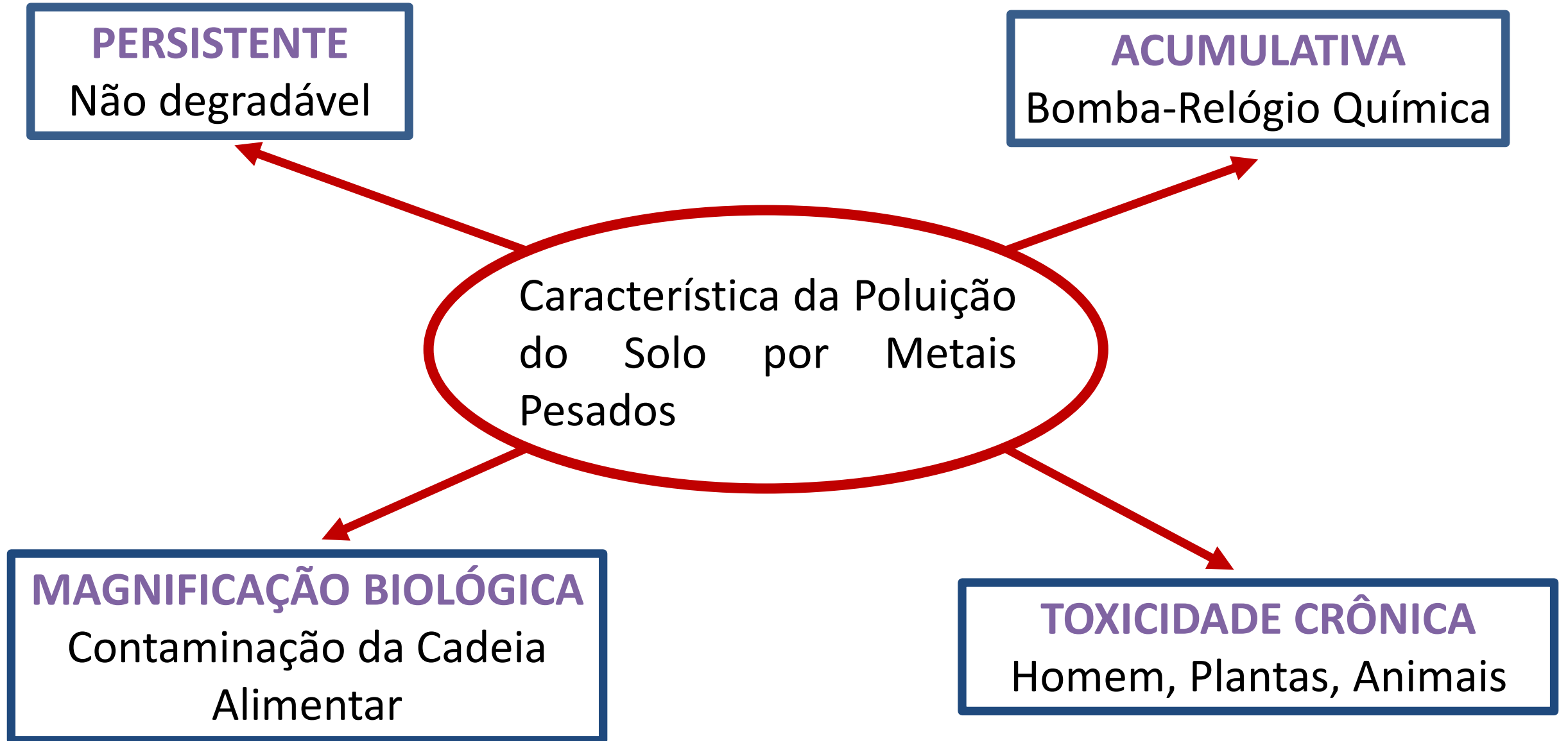
Show more

+ Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.11.015>

Get rights and content

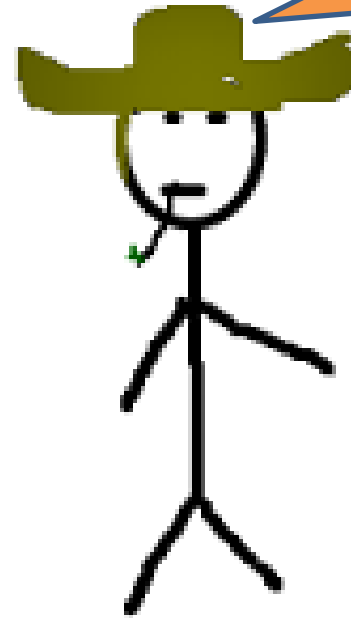
METAIS PESADOS



O uso de fertilizantes e dejetos na agricultura é bom ou ruim?



Depende...



Depende de que?

Alguns fatores principais:

- ❖ dose, do tipo e da eficiência do uso do fertilizante.
- ❖ conhecimento da química/física/biologia do dejetos animal que está trabalhando.
- ❖ conhecimento do solo em que se está trabalhando: ANÁLISE DE SOLO É ESSENCIAL!
- ❖ maximização da ciclagem dos nutrientes no sistema de cultivo, reduzindo o uso de fertilizantes.
- ❖ sinergismos no agroecossistema (exemplo: simbiose).

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- ✓ O QUE É UM SOLO POLUÍDO?
- ✓ CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR AGROTÓXICOS
- ✓ DEJETOS E ADUBOS AGROPECUÁRIOS COMO POLUENTES DO SOLO

4. EROSÃO: DO SOLO EXPOSTO AOS CORPOS HÍDRICOS

5. EUTROFIZAÇÃO, SALINIZAÇÃO, DESERTIFICAÇÃO

6. MITIGAÇÃO: SISTEMAS CONSERVACIONISTAS

O QUE É EROSIÃO DO SOLO?

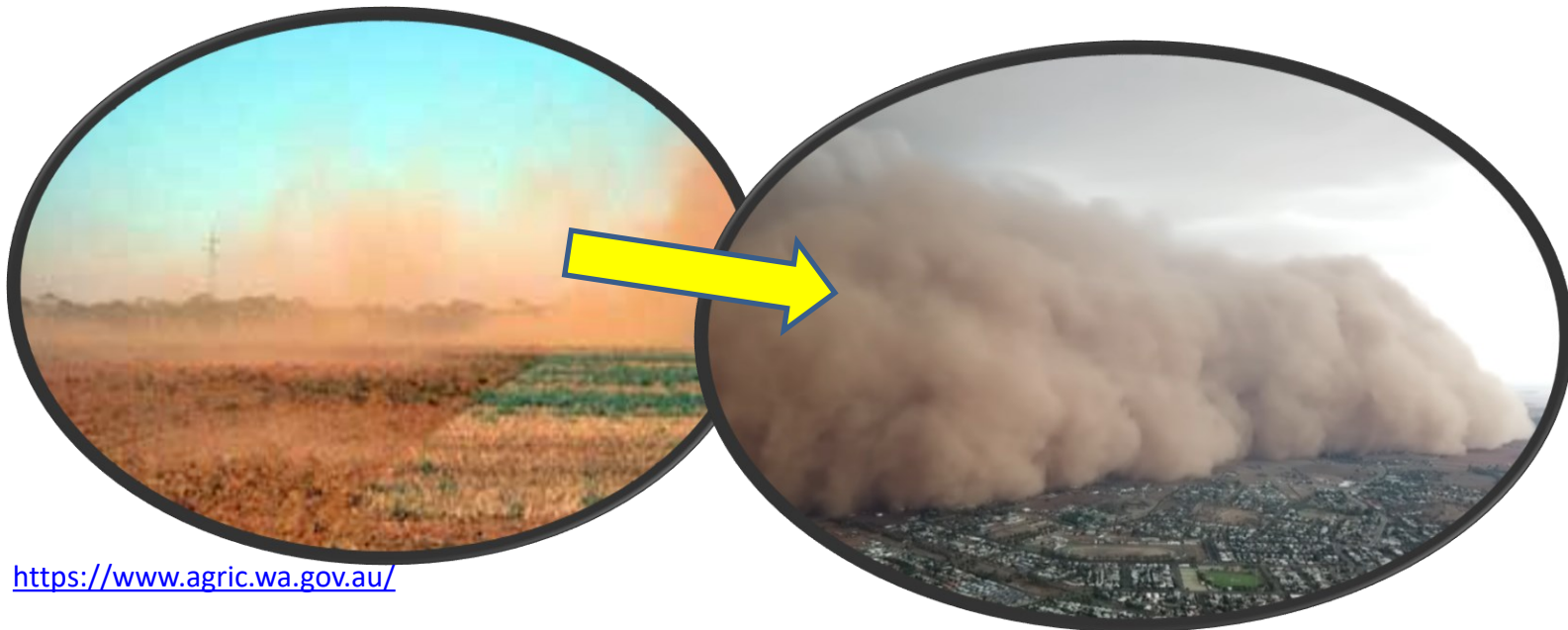
- CONCEITOS SIMPLIFICADOS:

“**Desgaste** superficial do solo pela ação dos **agentes erosivos**, principalmente a **água** e o **vento**”.

“Processo de **desagregação, transporte e deposição** de partículas de solo por meio da **energia** de **agentes erosivos**”.



<https://doi.org/10.14393/Hygeia196720>



<https://www.agric.wa.gov.au/>

<https://youtu.be/Esz6ne9x9yM>

Fotos: Karina Cavalieri

O solo é a rocha no seu caminho para o mar (Reichert, 2004).

TIPOS DE EROÇÃO DO SOLO – QUANTO A NATUREZA:



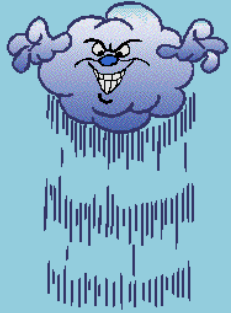
Natural (ou Geológica)

Antrópica (ou Acelerada)

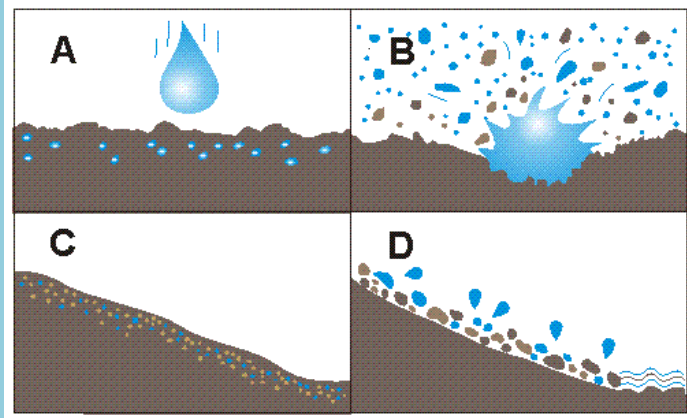
QUAIS AS PRINCIPAIS CLASSES DE EROSIÃO DO SOLO?

Erosão Hídrica → água

Pluvial



Fluvial



Derpsch (2009)

Glacial



“Dust in the Wind”



VS

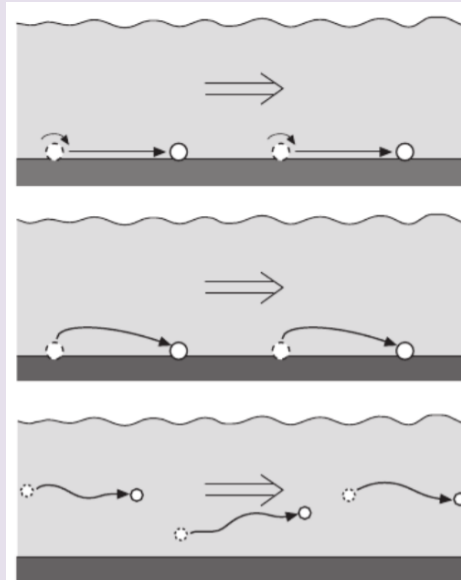
“Muddy Waters”



Depende do agente erosivo!



Erosão Eólica → vento



Rolamento

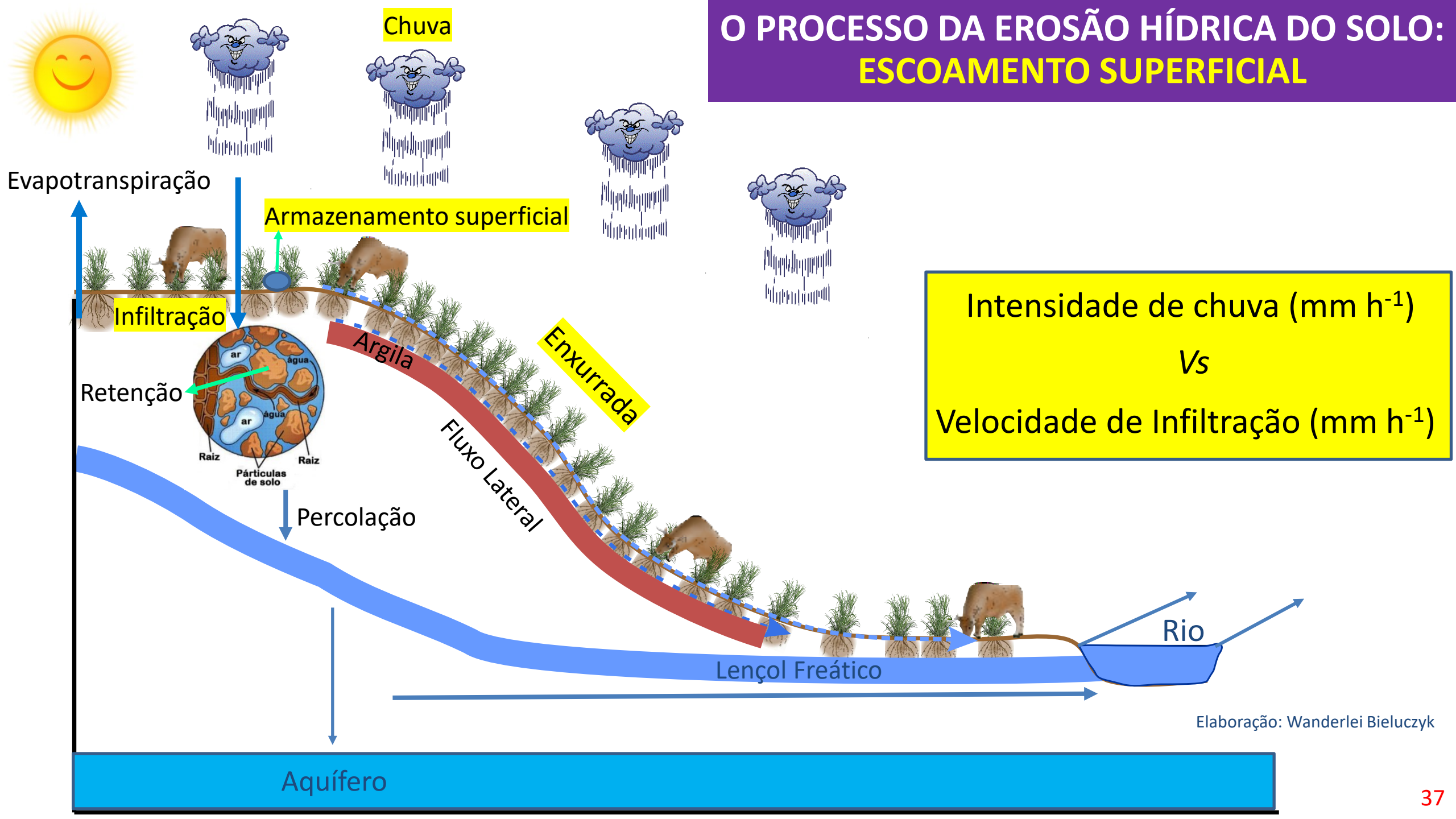
Saltamento

Suspensão

Finura da partícula

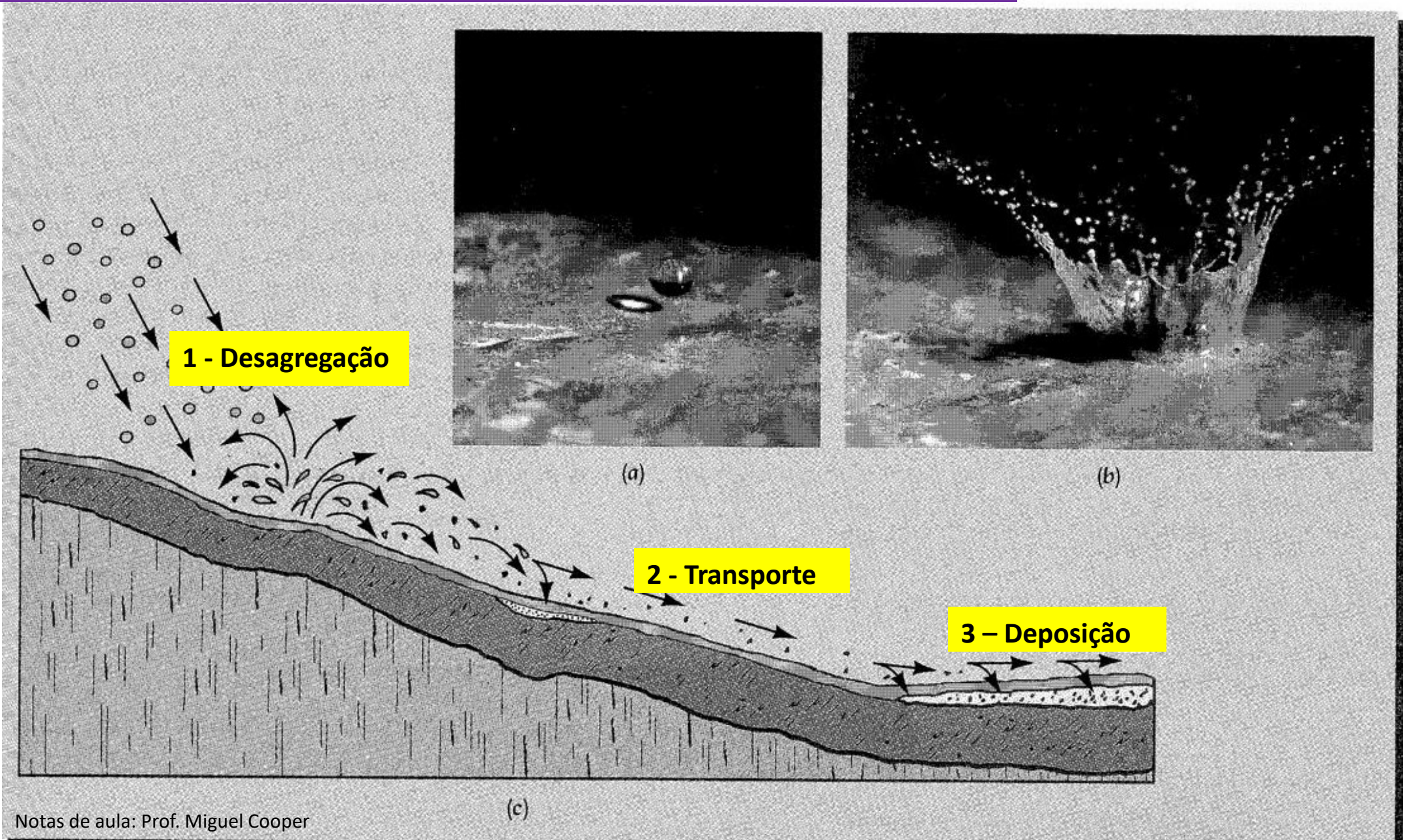
<https://edisciplinas.usp.br/>

O PROCESSO DA EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO: ESCOAMENTO SUPERFICIAL



Elaboração: Wanderlei Bieluczyk

O PROCESSO DA EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO: ETAPAS



DESAGREGAÇÃO



Derpsch (2009)

OBSTRUÇÃO DOS MACROPOROS

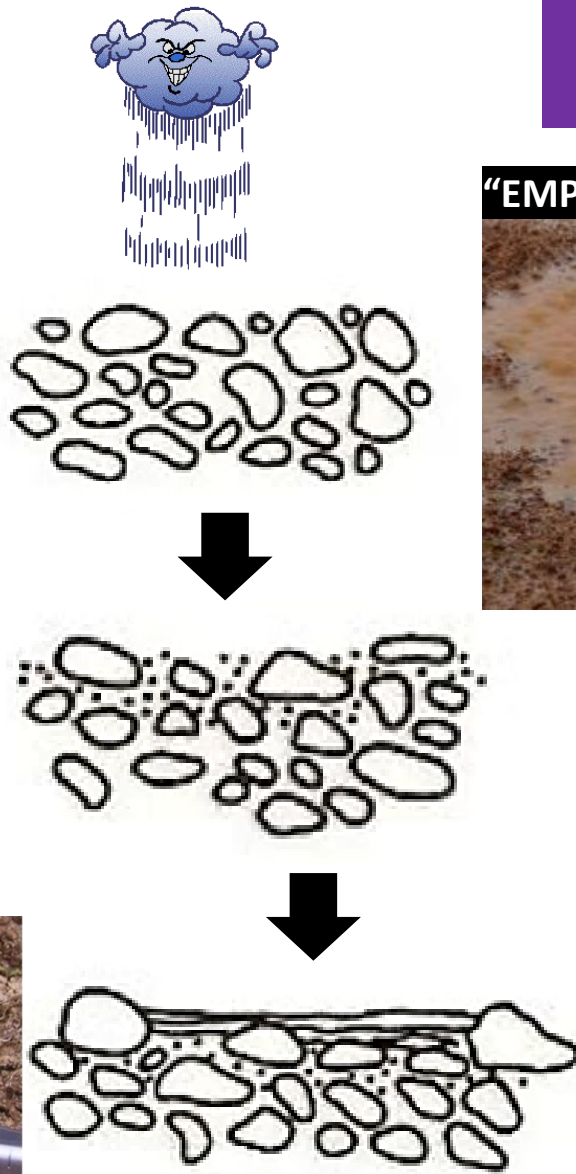


Foto: Miguel Cooper

SELAMENTO SUPERFICIAL



Foto: Miguel Cooper



O PROCESSO DA EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO: AGRAVANTE → SELAMENTO SUPERFICIAL

“EMPOÇAMENTO” DE ÁGUA



Foto: Google

ENERGIA CINÉTICA - TURBIDEZ



Foto: Jean Minella

PARTÍCULAS CARREADAS ATÉ OS RIOS



Foto: Jean Minella

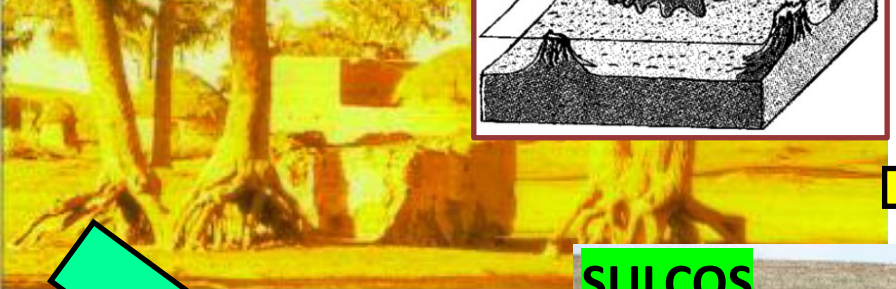
ASSOREAMENTO DE RIOS



Foto: cortesia USDA - NRCS

O PROCESSO DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

EROSÃO LAMINAR



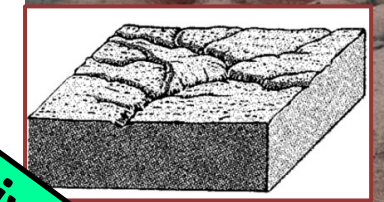
Muito seletivo

SULCOS

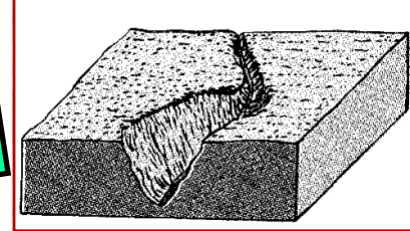


Pouco seletivo

VOÇOROCAS EFÊMERAS



VOÇOROCAS PERMANENTES



Energia cinética dos processos erosivos



Fonte: Karina Cavaliere

Fonte: Notas de Aula do Prof. Miguel Cooper

Esses fatores podem ser expressos matematicamente através da USLE (ou RUSLE)

“Universal Soil Loss Equation” = Equação Universal de Perda de Solo (USLE)

Modelo matemático empírico de previsão de perdas de solo.

Década de 90 - hoje: RUSLE (USLE revisada).

Equação Universal de Perdas de Solo (USLE)

$$A = R K L S C P$$

Onde: A= perda de solo ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)

R = fator erosividade chuva (*Rain*) ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)

K = fator erodibilidade do solo ($t \text{ h MJ mm}^{-1}$)

L = fator comprimento do declive (*Length*) (adimensional)

S = fator grau do declive (*Slope*) (adimensional)

C = fator manejo e cobertura do solo (*Cropping*) (adimensional)

P = fator práticas conservacionistas complementares (adimensional)

$$A = R K L S C P$$

A = perda de solo

R = Erosividade

K = erodibilidade

L = comp. do declive

S = grau do declive

C = cultivo

P = prát. conservacionistas

FATORES DETERMINANTES DA EROÇÃO HÍDRICA - USLE ou RUSLE

Tolerado: Taxa máxima de perda de solo que permite um alto potencial de produtividade e ganho econômico infinitamente.

Leva em consideração a taxa de formação do solo.

Uso da USLE

Guia para a seleção do uso e manejo do solo (**fator C**) e de práticas conservacionistas (**fator P**) a serem adotadas, de forma que as perdas médias anuais (**fator A**) fiquem igual ou abaixo da Tolerância (**T**).

$$A \leq T$$

Tolerância de perda de solo (T). São Paulo. Lombardi-Neto & Bertoni (1975)

CLASSE DE SOLO (antiga)	CLASSE (nova)	T (t/ha/ano)
<u>B TEXTURAL</u>		
Podzólico Vermelho Amarelo orto	Argissolo	6,6
Podzólico Vermelho Amarelo v. Piracicaba	Argissolo	7,9
Podzólico Vermelho Amarelo v. Laras	Argissolo	9,1
Podzólico com cascalho	Argissolo	5,7
Podzolizado Lins e Marília v. Lins	Argissolo	4,5
Podzolizado Lins e Marília v. Marília	Argissolo	6,0
Terra Bruna estruturada	Nitossolo	12,1
Terra Roxa estruturada	Nitossolo	13,4
<u>B LATOSSÓLICO</u>		
Latossolo Roxo	Latossolo Vermelho	12,0
Latossolo Vermelho Escuro orto, argiloso	Latossolo Vermelho	12,3
Latossolo Vermelho Escuro, fase arenosa	Latossolo Vermelho	15,0
Latossolo Vermelho Amarelo orto	Latossolo Vermelho	12,6
Latossolo Vermelho Amarelo, fase rasa	Latossolo Vermelho	9,8
Latossolo Vermelho Amarelo, fase arenosa	Latossolo Vermelho	14,2
Latossolo Vermelho Amarelo húmico	Latossolo Vermelho	11,2
<u>POUCO DESENVOLVIDOS</u>		
Litosol	Neossolo Litólico	4,2
Regosol	Neossolo Regolítico	14,0

FATORES DETERMINANTES DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

Erosividade da Chuva (clima)

Relacionada à intensidade da chuva

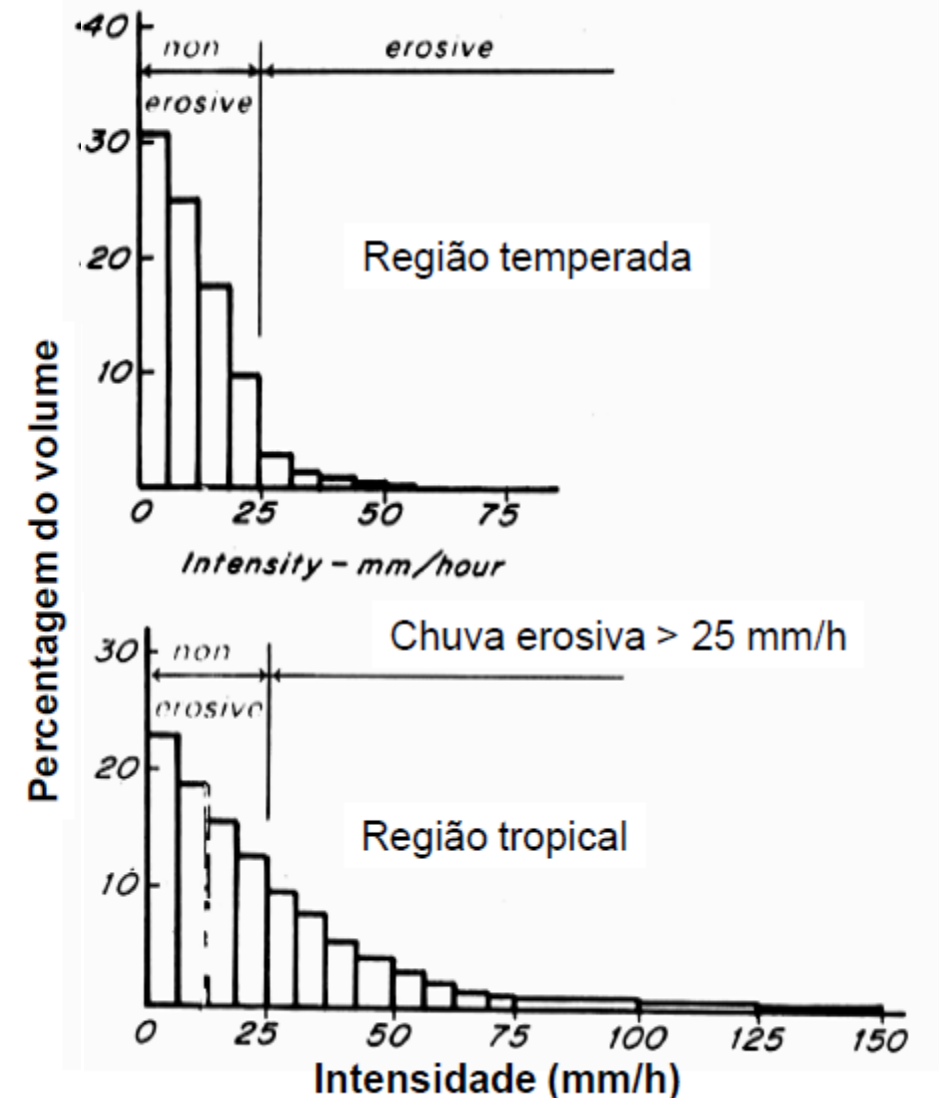
Conceito: Capacidade potencial da chuva em causar erosão; Assim, refere-se à **energia cinética das gotas e da enxurrada.**

Intensidade de chuva:

Unidade de medida: mm/h

Mensuração relativamente fácil em estações meteorológicas.

Temperado (<75 mm/h), tropical (até 150 mm/h)

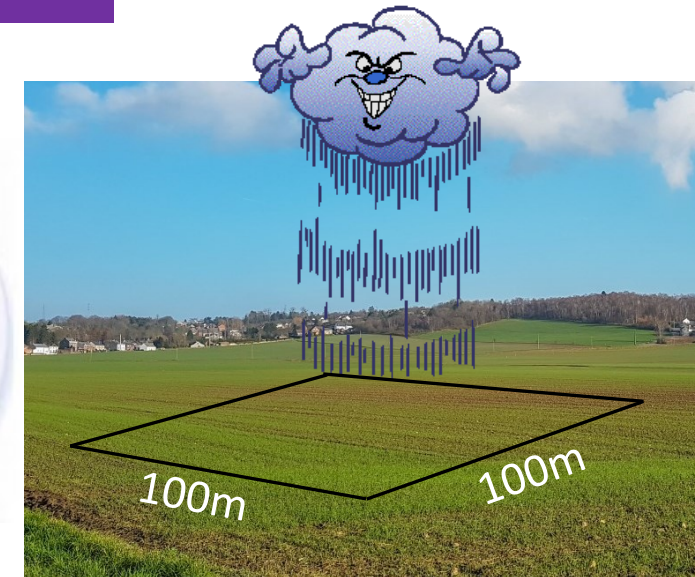


Hudson, 1995

Erosividade da Chuva (clima)

Índice de Erosividade (EI_{30}) - Wischmeier e Smith:

EI_{30} é definido como o produto da energia cinética da chuva pela intensidade máxima ocorrida em qualquer período de 30 minutos consecutivos.



Elaboração: Wanderlei Bieluczyk

→ Energia cinética da chuva

Equação de Wischmeier e Smith:

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log i$$

EC = energia cinética, $MJ ha^{-1} mm^{-1}$

i = intensidade da chuva, $mm h^{-1}$.

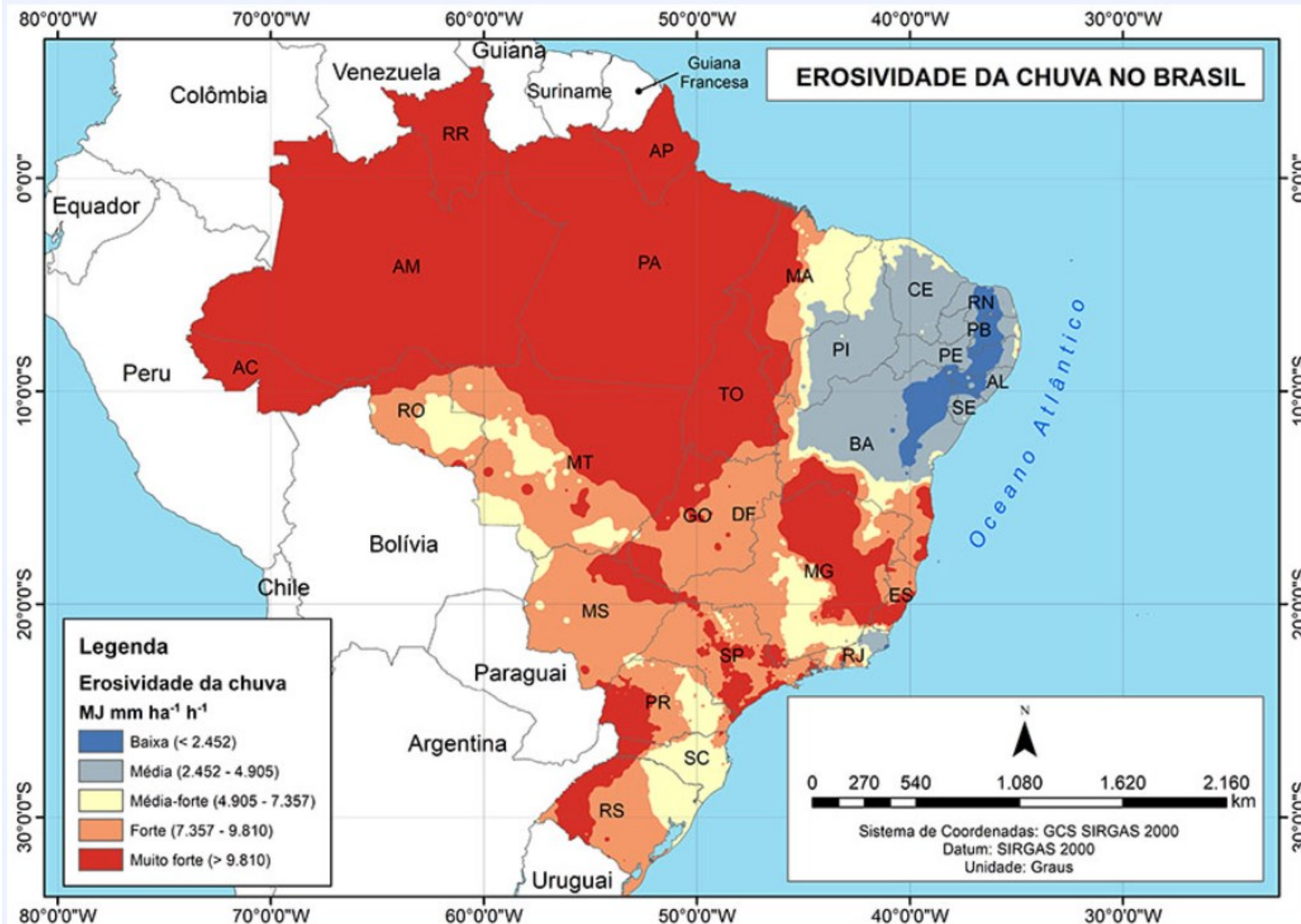
Para $i \geq 76 mm h^{-1}$, $EC = 0,283 MJ ha^{-1} mm^{-1}$.

→ Índice de erosividade:

$$EI_{30} = EC i_{30}$$

EI_{30} = índice de erosividade, $MJ ha^{-1}$ multiplicado pela intensidade máxima em 30 min. ($mm h^{-1}$);

i_{30} = intensidade máxima média de precipitação em 30 minutos, $mm h^{-1}$.



$$A = R K L S C P$$

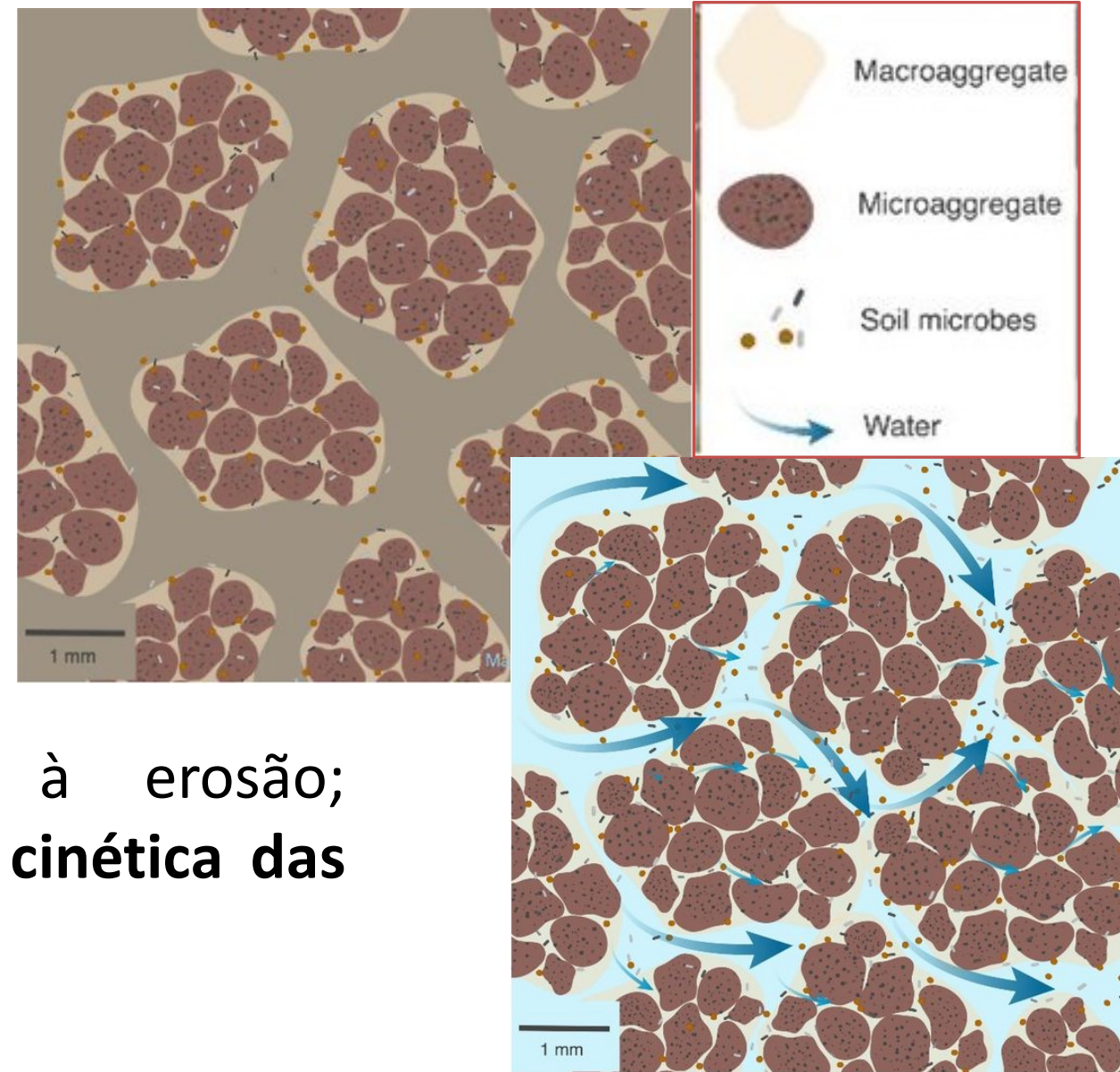
- A= perda de solo
- R = Erosividade**
- K = erodibilidade
- L = comp. do declive
- S = grau do declive
- C = cultivo
- P = prá.t. conservacionistas

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/58207136/pesquisadores-geram-mapas-de-suscetibilidade-e-vulnerabilidade-dos-solos-brasileiros-a-erosao-hidrica>

Erodibilidade do solo

(relacionada à velocidade de infiltração)

Conceito: suscetibilidade do solo à erosão;
Assim, em uma mesma chuva **energia cinética das gotas e da enxurrada.**



FATORES DETERMINANTES DA EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO

Erodibilidade do solo (relacionada à velocidade de infiltração)

Estabilidade de agregados:

Textura

Areia e silte tendem a diminuir a estabilidade.

Argila tende a aumentar a estabilidade.

Mineralogia

Ex. Óxidos de ferro conferem maior estabilidade de agregados.

Matéria Orgânica

Confere maior estabilidade de agregados e porosidade.

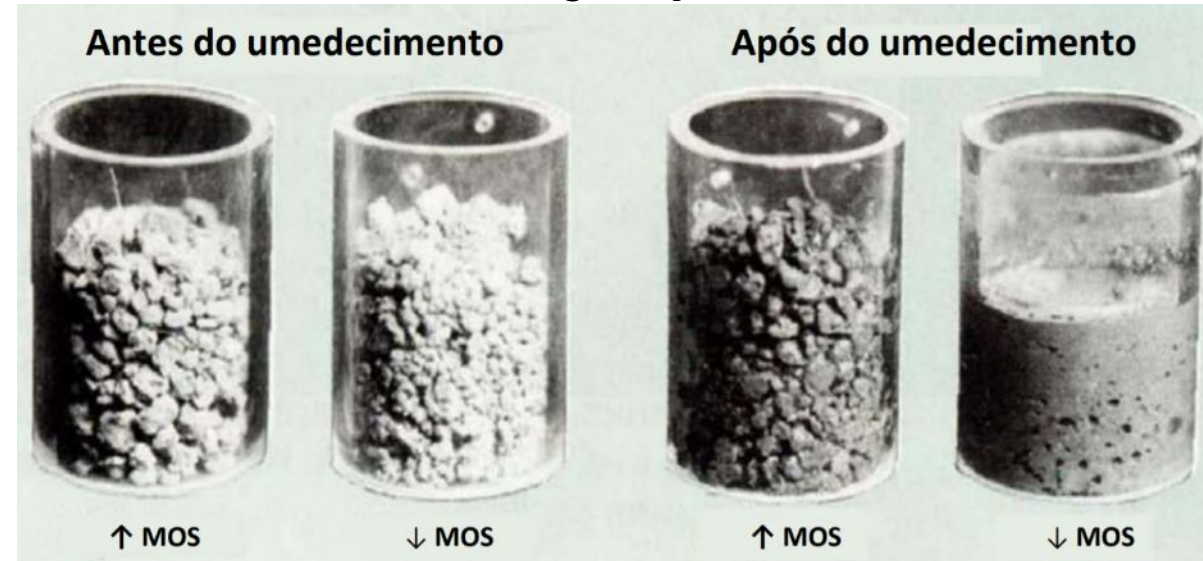


Imagem: N. C. Brady

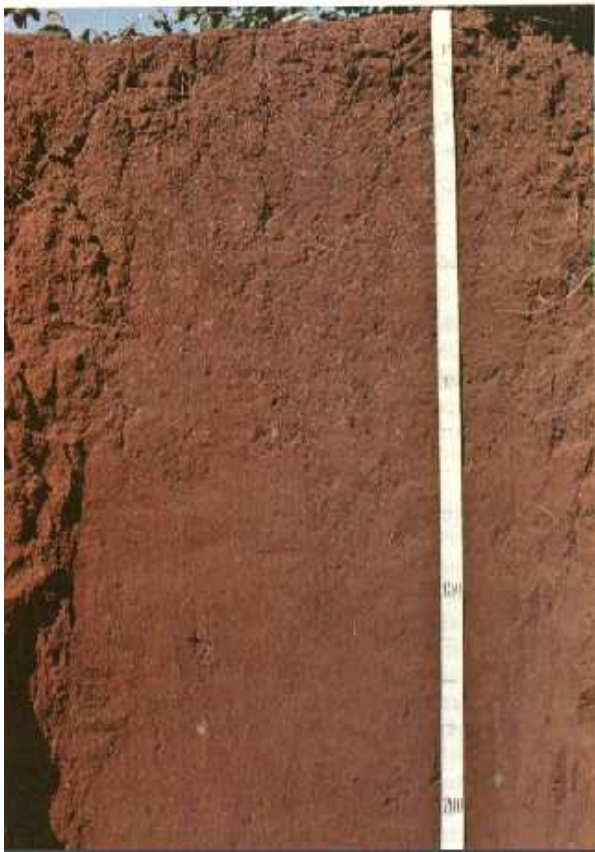


FATORES DETERMINANTES DA EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO

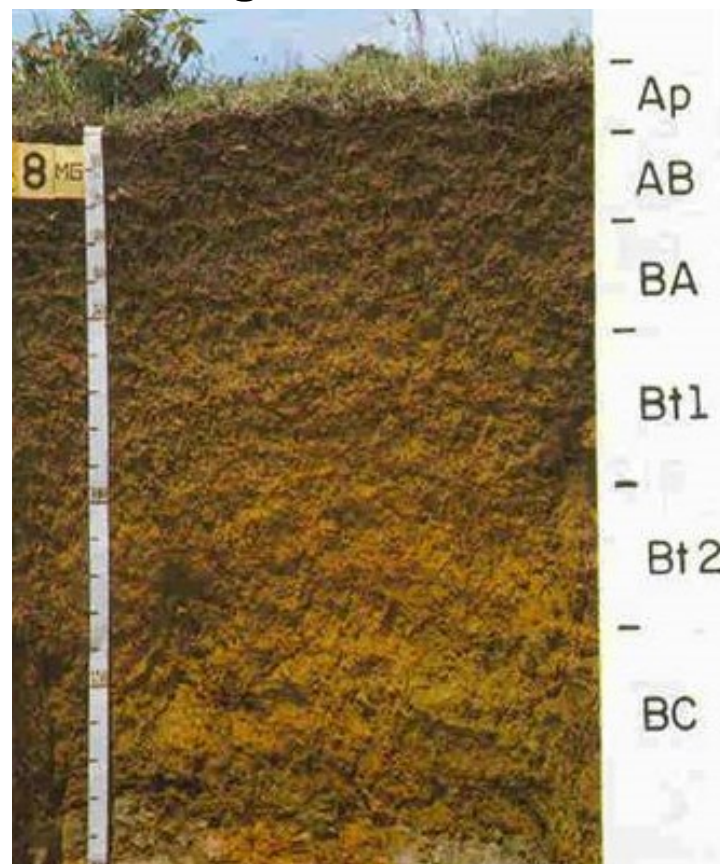
Erodibilidade do solo (relacionada à velocidade de infiltração)

Permeabilidade no perfil: Textura, estrutura e profundidade efetiva do solo.

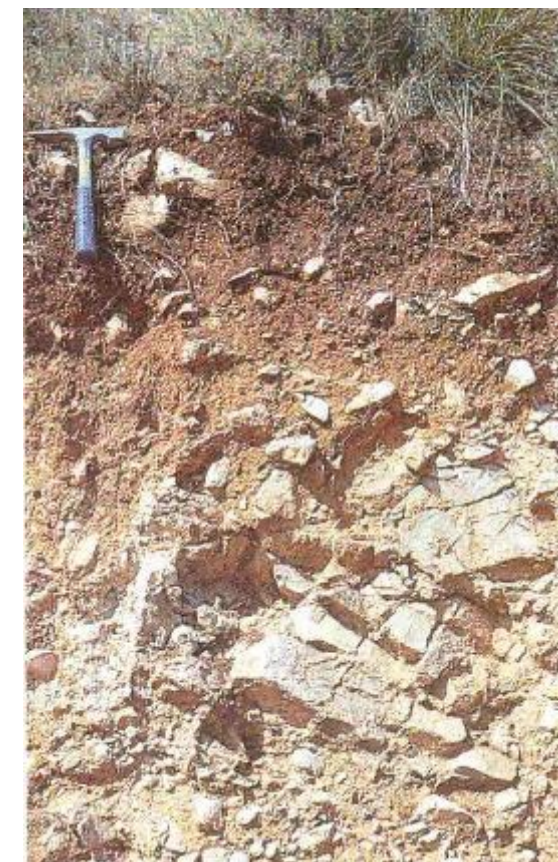
Latossolo



Argissolo



Neossolo



FATORES DETERMINANTES DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

$$A = R K L S C P$$

A= perda de solo

R = Erosividade

→ **K = erodibilidade**

L = comp. do declive

S = grau do declive

C = cultivo

P = prá. conservacionistas

Erodibilidade do solo

Determinação experimental para USLE



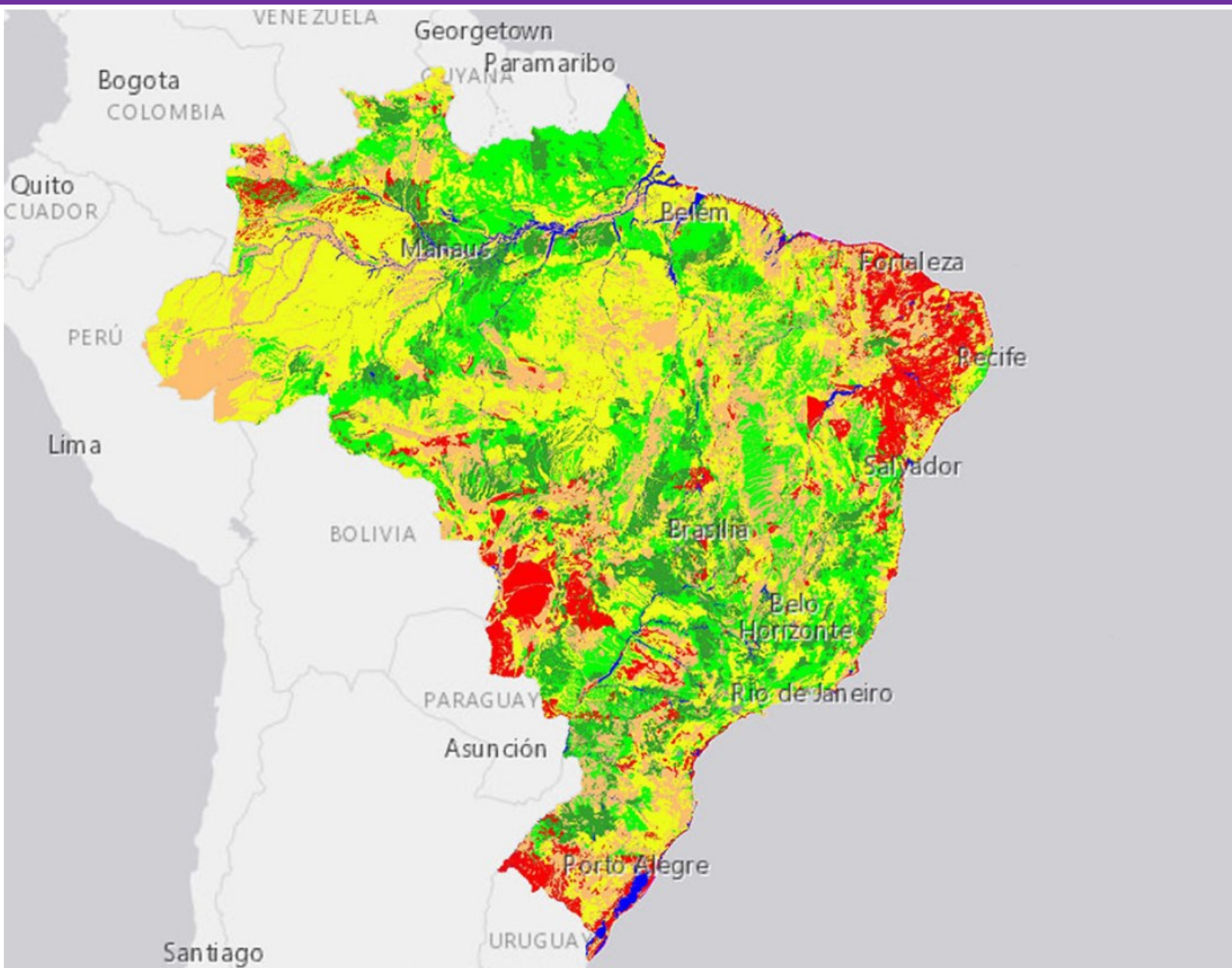
Foto: Elemar Antonino Cassol

Parcela Padrão USLE: 22,1 m x 3,5 m 9% declividade



Foto: Andre Amaral

FATORES DETERMINANTES DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO



$$A = R K L S C P$$

- A = perda de solo
- R = Erosividade
- K = erodibilidade**
- L = comp. do declive
- S = grau do declive
- C = cultivo
- P = prá. conservacionistas

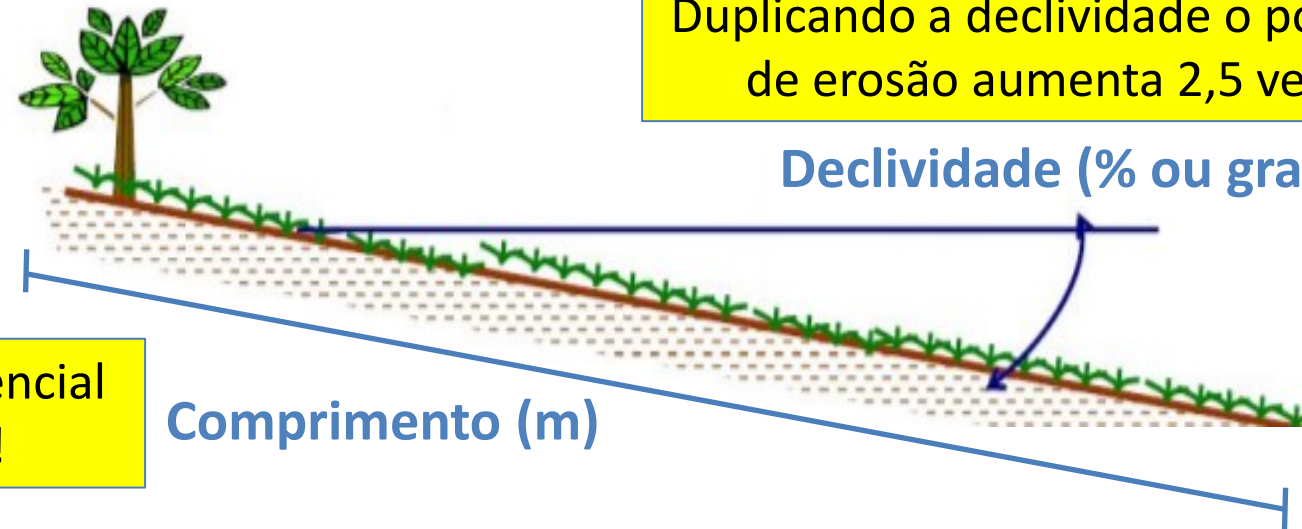


<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/58207136/pesquisadores-geram-mapas-de-suscetibilidade-e-vulnerabilidade-dos-solos-brasileiros-a-erosao-hidrica>

FATORES DETERMINANTES DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

Topografia do Relevo

Refere-se às características da encosta da vertente.



Curvatura

Uniforme

Côncava

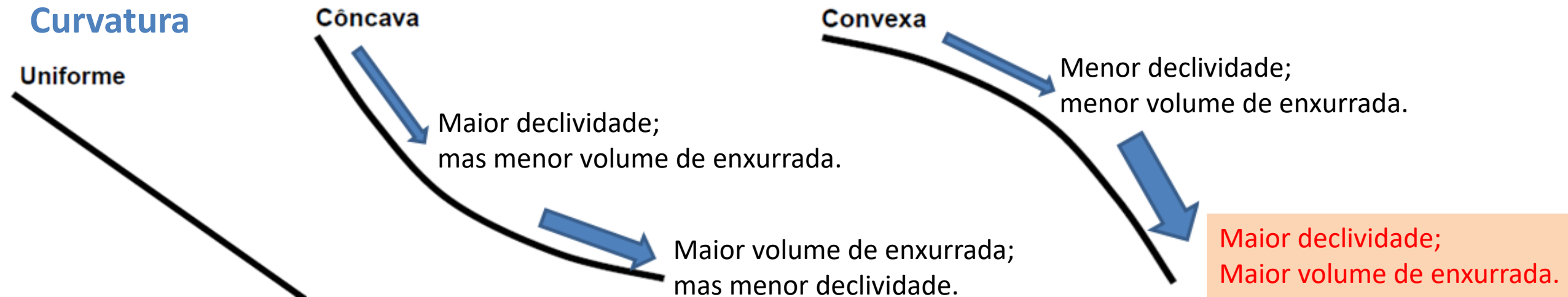
Maior declividade;
mas menor volume de enxurrada.

Maior volume de enxurrada;
mas menor declividade.

Convexa

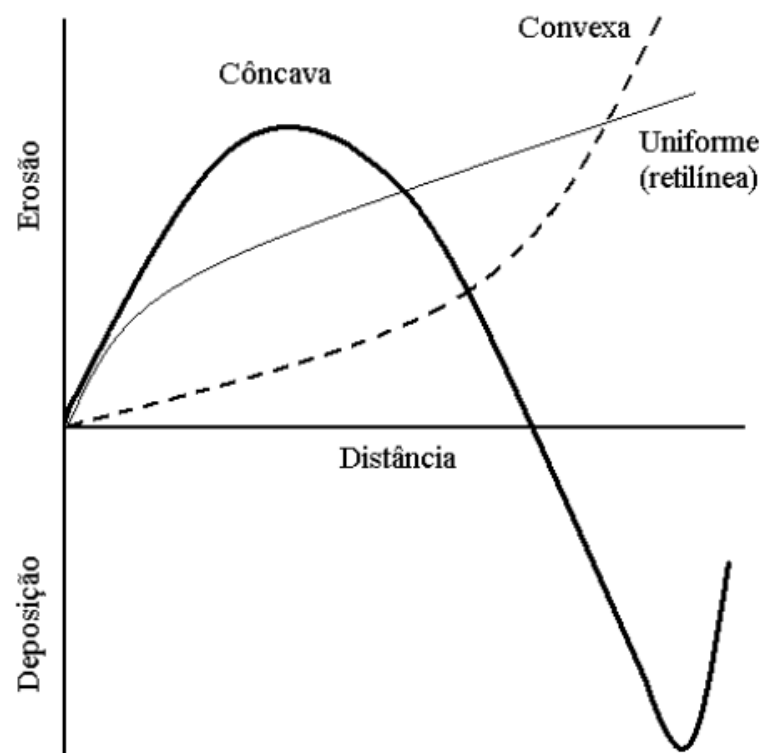
Menor declividade;
menor volume de enxurrada.

Maior declividade;
Maior volume de enxurrada.



FATORES DETERMINANTES DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

Topografia do Relevo Características da encosta da vertente.



$$A = R K L S C P$$

A = perda de solo

R = Erosividade

K = erodibilidade

L = comp. do declive

S = grau do declive

C = cultivo

P = prat. conservacionistas

Determinação quantitativa (USLE)

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

L = Comprimento da encosta (m)

S = Grau do declive (%)

Problema: Considera a curvatura da encosta como uniforme.

Figura 15. Modelo simplificado da variabilidade da erosão em rampas com diferentes curvaturas no perfil (TOY et al., 2002).

FATORES DETERMINANTES DA EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO

Cultivo (Uso e Preparo do solo) – fator C (contém influência antrópica)

Se inter-relacionam tanto à energia cinética da gota e enxurrada como à resistência do solo à erosão.

As diferenças nas perdas causadas por uso e manejo são maiores que as diferenças causadas por diferentes tipos de solo.

Uso do solo: refere-se aos principais grupos de culturas (ex., olericultura, lavoura anual, silvicultura etc.).

- Ciclo da cultura
- Área foliar
- Altura do dossel
- Resíduo superficial
- Sistema radicular



FATORES DETERMINANTES DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

Cultivo (Uso e Preparo do solo) – fator C

Preparo do solo: modo de preparo do solo incluindo adubação

PLANTIO DIRETO

Barreira física superficial ao impacto da gota da chuva

Maior armazenamento superficial de água

Melhor estrutura do solo – maior infiltração

Maior porosidade (sem barreiras ao longo do perfil)



PREPARO CONVENCIONAL

Ação direta da energia cinética da gota da chuva

Pé-de-arado e selamento superficial

Solo danificado estruturalmente

Perda de matéria orgânica e de porosidade



$$A = R K L S C P$$

A= perda de solo

R = Erosividade

K = erodibilidade

L = comp. do declive

S = grau do declive

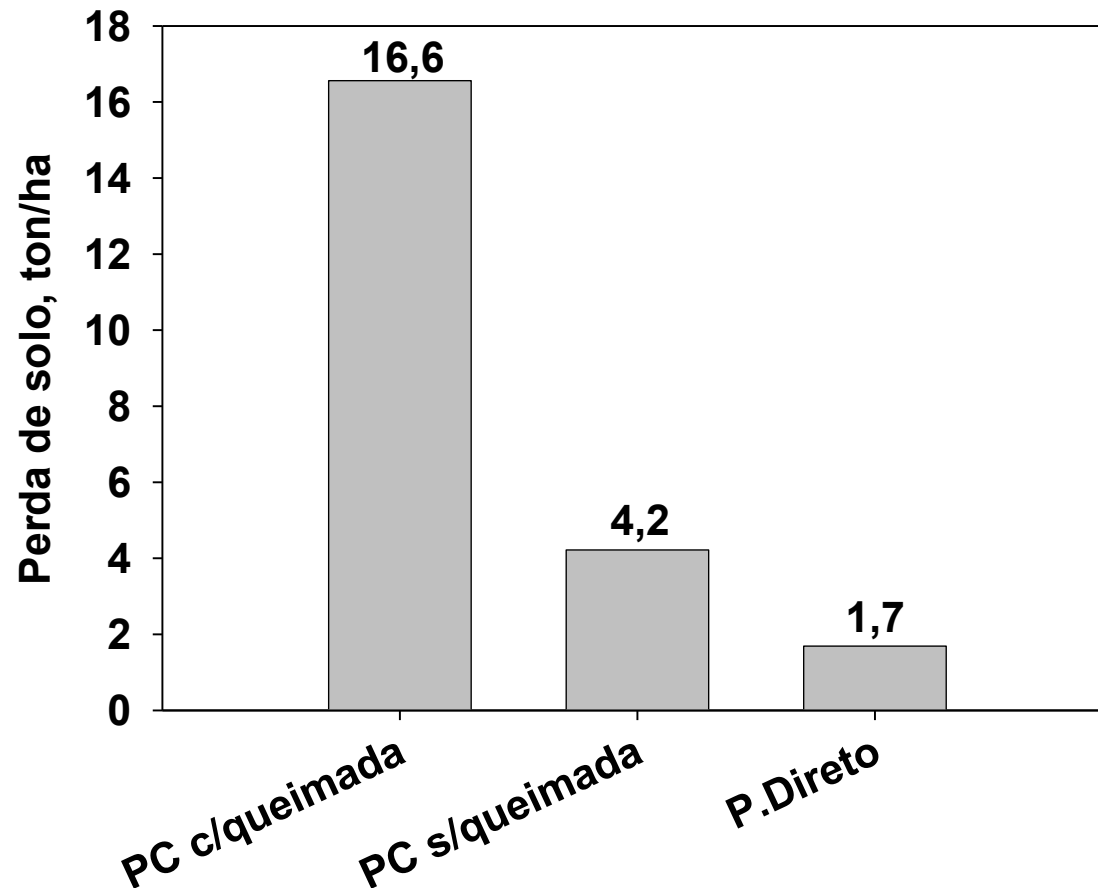
C = cultivo

P = prá. conservacionistas



Cultivo (Uso e Preparo do solo)

Perda de solo em função do preparo (Wünsche & Denardin, 1978)
Dados de um ano agrícola - Soja 76/77 e trigo 77
Embrapa Trigo, Passo Fundo RS



FATORES DETERMINANTES DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

Práticas conservacionistas complementares – fator P (antrópico)

CULTIVO MORRO ABAIXO



CULTIVO EM FAIXAS E EM NÍVEL



•Potencial de redução de perda de solo em 75%.

FATORES DETERMINANTES DA EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO

Práticas conservacionistas complementares – fator P (antrópico)

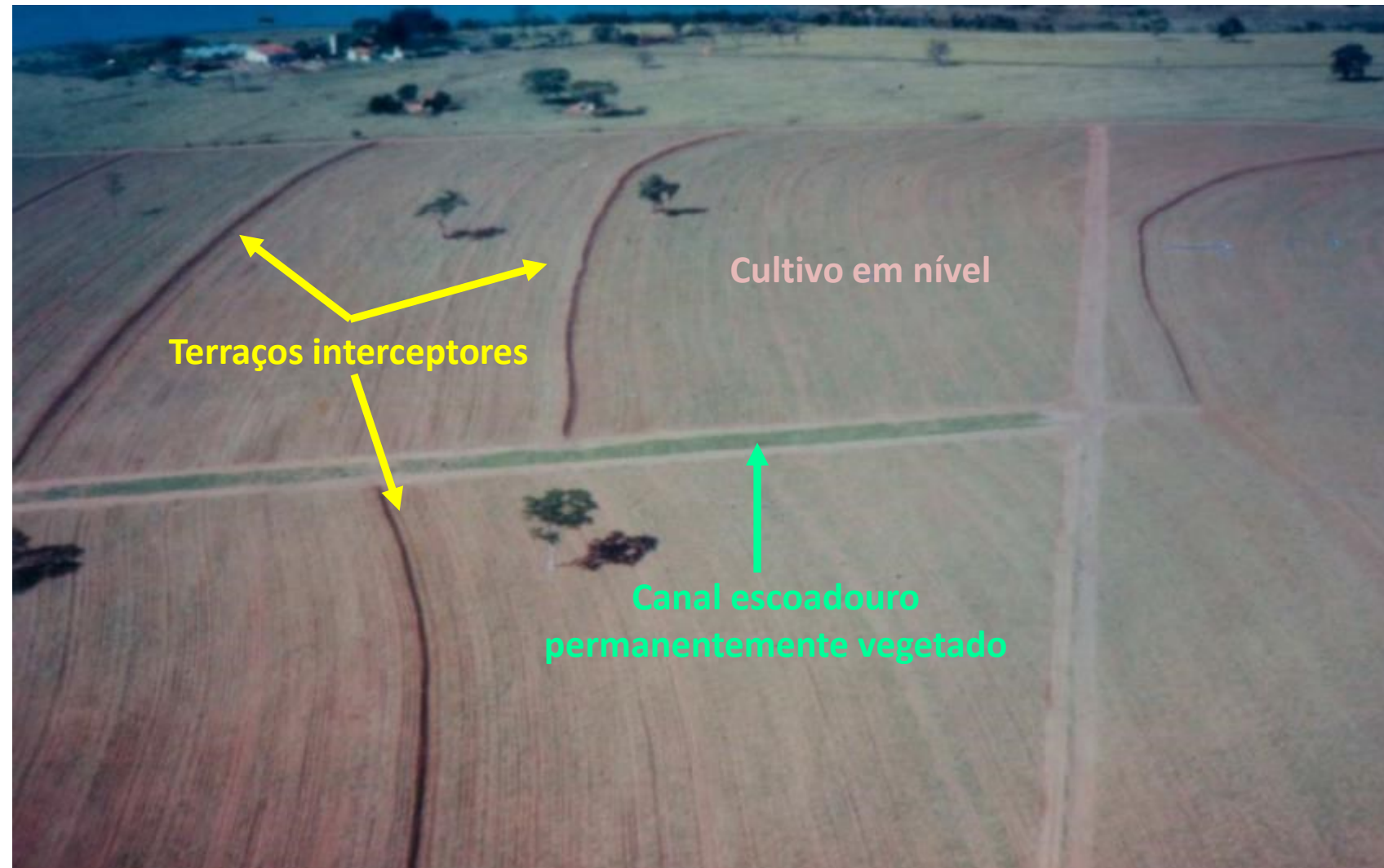
Terraço:

Estrutura longitudinal com canal e camalhão.

Segue curvas de nível.

“Reduz o comprimento da encosta.”

Pode reduzir a perda de solo em aproximadamente 50%.



FATORES DETERMINANTES DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

$$A = R K L S C P$$

A= perda de solo

R = Erosividade

K = erodibilidade

L = comp. do declive

S = grau do declive

C = cultivo

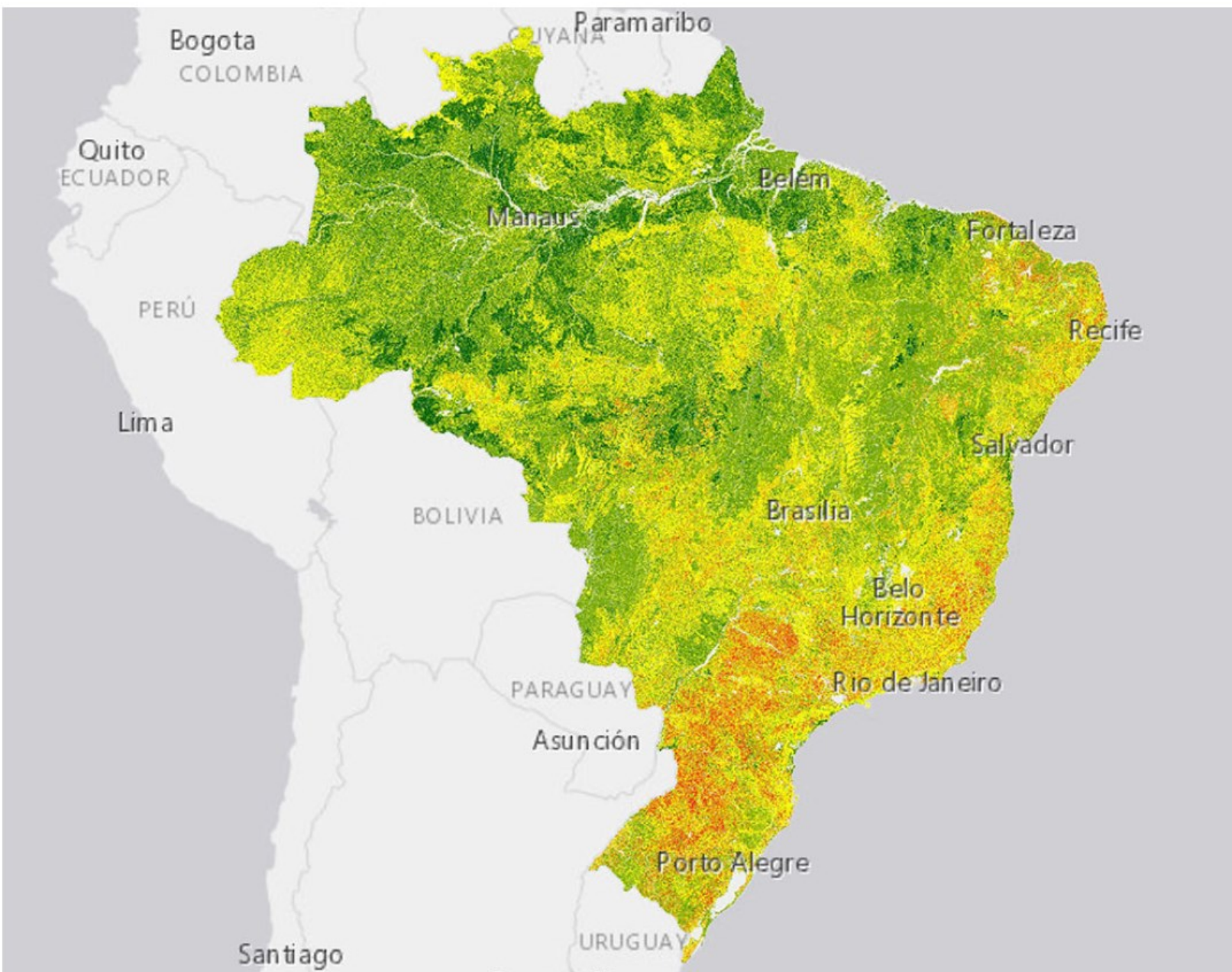
P = prát. conservacionistas



Prática conservacionista	Valor P
Plantio em nível (decliv <8%)	0,50
Plantio em nível (decliv 8 - 12%)	0,60
Plantio em nível (decliv 12 - 18%)	0,70
Plantio em nível (decliv >18%)	0,80
Plantio em faixa de rotação (decliv <8%)	0,70
Plantio em faixa de rotação (decliv 8-18%)	0,80
Plantio em faixa de rotação (decliv >18%)	0,90

Adaptado de Santa Catarina, 1994

AO FINAL TEMOS O MAPA DE VULNERABILIDADE À EROSÃO

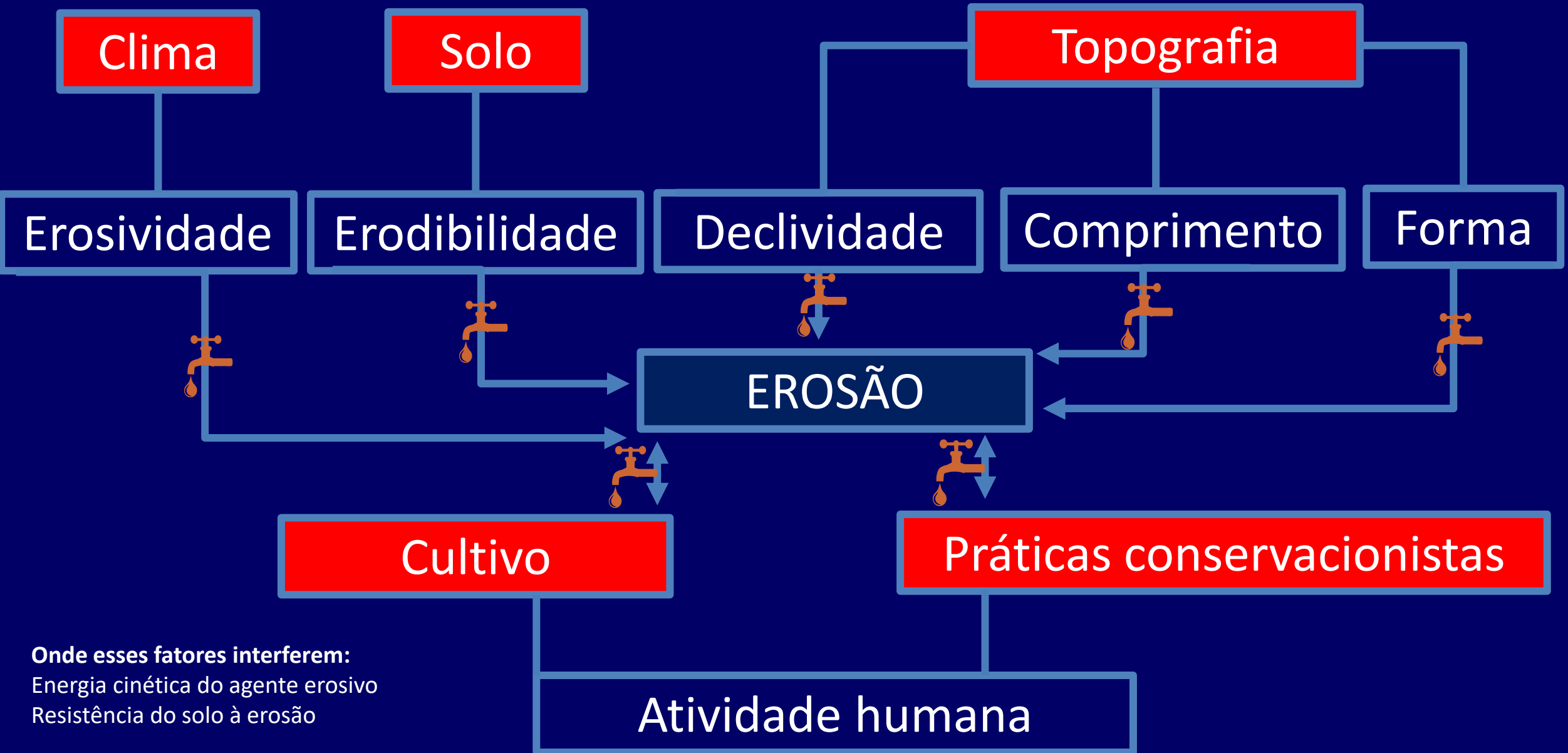


Vulnerabilidade - 2019



<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/58207136/pesquisadores-geram-mapas-de-suscetibilidade-e-vulnerabilidade-dos-solos-brasileiros-a-erosao-hidrica>

Erosão = f (clima, solo, topografia, uso, manejo e práticas conservacionistas)



Onde esses fatores interferem:
Energia cinética do agente erosivo
Resistência do solo à erosão

Como fazer experimentos na sua casa sobre erosão do solo?

https://www.youtube.com/watch?v=nZD_bD96Czc



Solo na Escola | Erosão do Solo (03/04/17)

<https://www.youtube.com/watch?v=FPCB-IIFFdk>



Solo na Escola - Impacto da gota de chuva (09/12/15)

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- ✓ O QUE É UM SOLO POLUÍDO?
- ✓ CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR AGROTÓXICOS
- ✓ DEJETOS E ADUBOS AGROPECUÁRIOS COMO POLUENTES DO SOLO
- ✓ EROSÃO: DO SOLO EXPOSTO AOS CORPOS HÍDRICOS

5. EUTROFIZAÇÃO, SALINIZAÇÃO, DESERTIFICAÇÃO

6. MITIGAÇÃO: SISTEMAS CONSERVACIONISTAS

EUTROFIZAÇÃO

Eu + Trófico: Bem Nutrido



“Águas calmas” → Superpopulação (fotossíntese) → “cortina de fitoplâncton”
→ bloqueio da luz → morte de algas
→ proliferação de bactérias aeróbicas decompositoras (DBO) → condições anaeróbicas
→ pH elevado → amônio → anoxia → morte de peixes e outros organismos

SALINIZAÇÃO



Presença elevada de sais no solo:

- Pode ser natural
- Material de origem
- Clima seco
- Zonas costeiras

+ Caráter sálico

É a propriedade referente à presença de sais mais solúveis em água fria que o sulfato de cálcio (gesso), em quantidade tóxica à maioria das culturas, indicada por condutividade elétrica no extrato de saturação igual ou maior que 7 dS m⁻¹ (a 25 °C), em alguma época do ano.

+ Caráter salino

É a propriedade referente à presença de sais mais solúveis em água fria que o sulfato de cálcio (gesso), em quantidade que interfere no desenvolvimento da maioria das culturas, indicada por condutividade elétrica do extrato de saturação igual ou maior que 4 dS m⁻¹ e menor que 7 dS m⁻¹ (a 25 °C), em alguma época do ano.

Este critério é derivado de Estados Unidos (1951, 1954).

+ Caráter sódico

É usado para distinguir horizontes ou camadas que apresentem saturação por sódio ($100 \text{ Na}^+ / T \geq 15\%$) em alguma parte da seção de controle que defina a classe.

Este critério é derivado de Estados Unidos (1954, 1999).

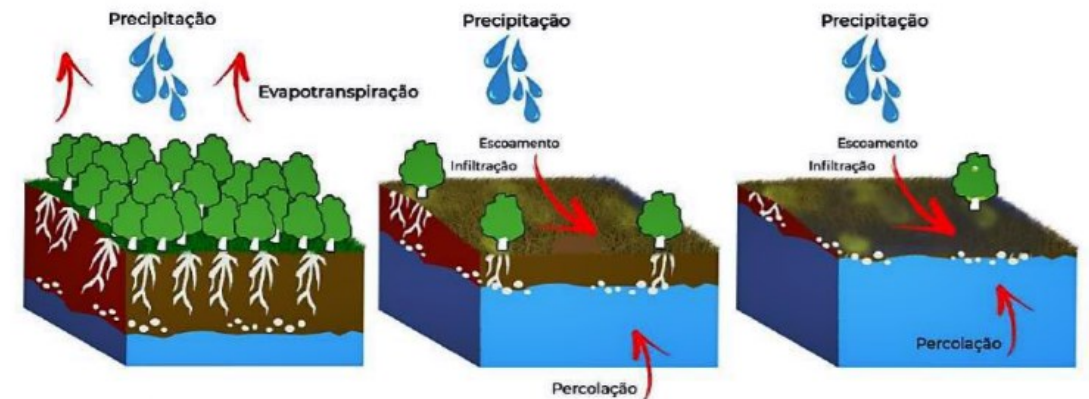
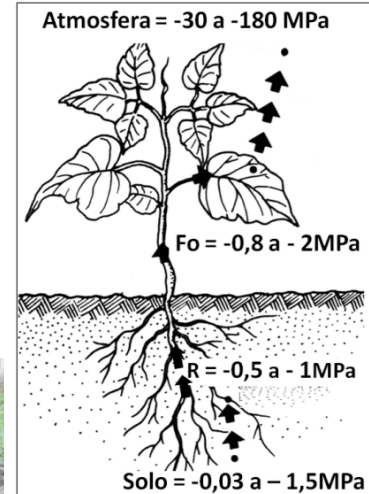
+ Caráter solódico

É usado para distinguir horizontes ou camadas que apresentem saturação por sódio ($100 \text{ Na}^+ / T$) variando de 6% a < 15% em alguma parte da seção de controle que defina a classe.

Este critério é derivado de IUSS Working Group WRB (2015).

Presença elevada de sais no solo:

- Água da irrigação com presença de sais.
- Irrigação sem drenagem: capilaridade.
- Desmatamento + água subterrânea salina.



Antes do desmatamento

O sistema está em equilíbrio. A maioria de água precipitada é usada.

Após o desmatamento

Elevação da água salina subterrânea à superfície e concentração de sais devido a evaporação.

Com o tempo

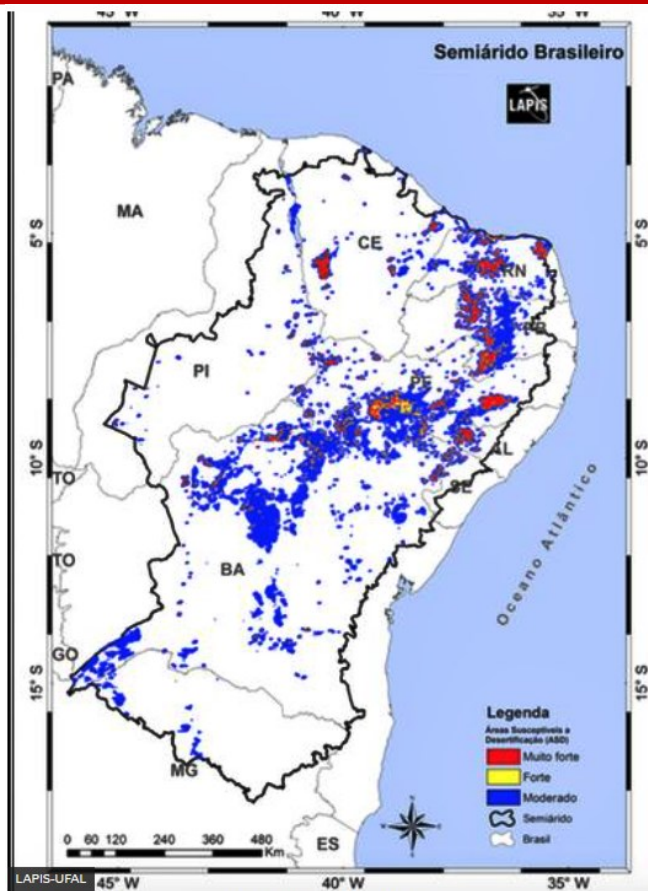
O excesso de sais na superfície mata a vegetação de proteção. O solo fica exposto à erosão.

DESERTIFICAÇÃO

→ Expansão dos desertos em áreas semiáridas.

Desertificação atinge 13% do semiárido brasileiro e ameaça conservação da caatinga

Estimativa é do Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (Lapis). Processo é causado pela ação humana e por mudanças climáticas.



Mapa aponta diferentes graus de desertificação no Semiárido

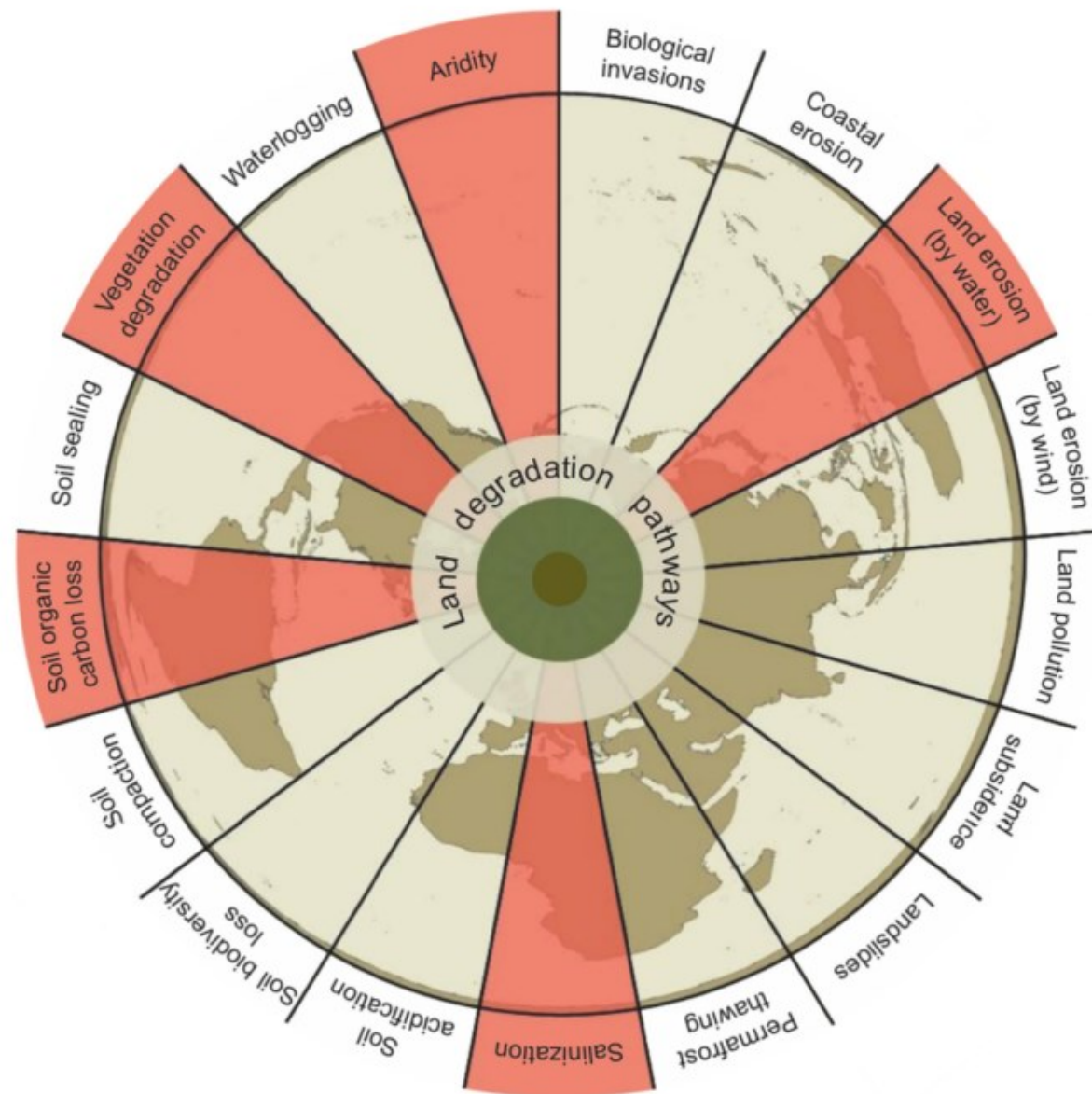


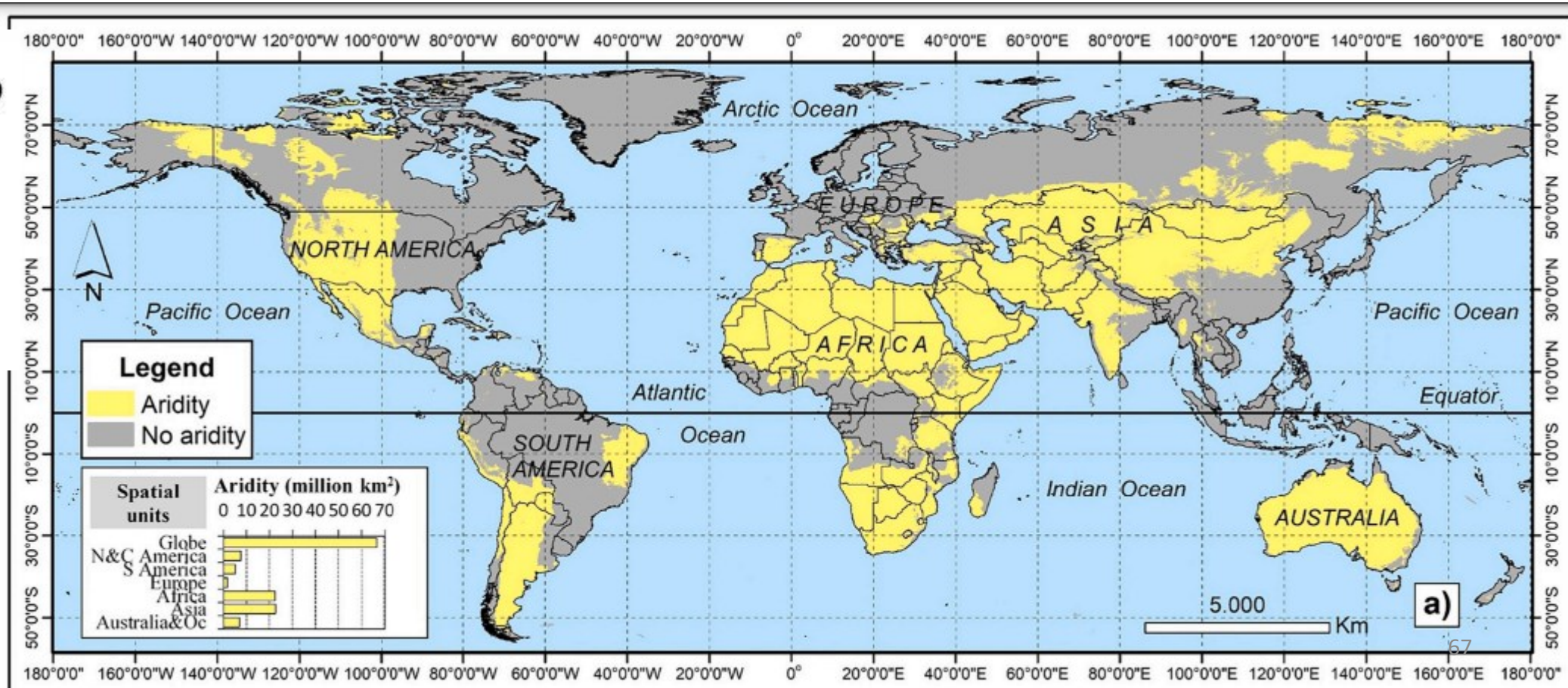
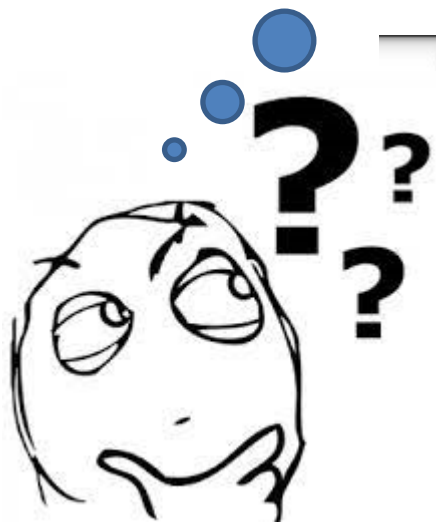
Fig. 1. Schematic approach to land degradation pathways currently occurring globally. Note: sections in red indicate land degradation pathways/processes that were considered to be major globally, according to the five previously mentioned criteria; however, there are also other remarkable degradation processes in addition to the 5 highlighted, which do not directly meet at least one criterion of the aforementioned five, but which can be considered major (in some cases, if one or several criteria are removed) in the overall spectrum of land degradation (e.g. wind erosion); this figure was created by adopting the style used in Rockström et al. (2009) for delimiting the planetary boundaries.

DESERTIFICAÇÃO

Na Amazônia ocorre o processo de desertificação?

<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103689>

A degradação da terra corresponde à **desertificação** quando ocorre sob **condições de aridez**, de acordo com a definição amplamente aceita pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), que define desertificação como "degradação da terra em **áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas**, resultante de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas".



CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- ✓ O QUE É UM SOLO POLUÍDO?
- ✓ CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR AGROTÓXICOS
- ✓ DEJETOS E ADUBOS AGROPECUÁRIOS COMO POLUENTES DO SOLO
- ✓ EROSÃO: DO SOLO EXPOSTO AOS CORPOS HÍDRICOS
- ✓ EUTROFIZAÇÃO, SALINIZAÇÃO, DESERTIFICAÇÃO

6. MITIGAÇÃO: SISTEMAS CONSERVACIONISTAS

INTEGRAR OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



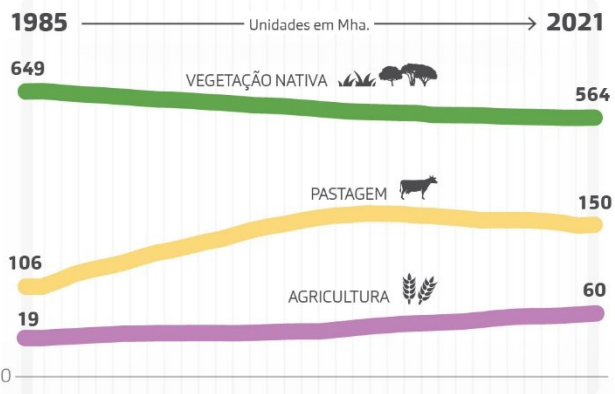
MONITORAR AS MUDANÇAS DO USO DA TERRA

<https://mapbiomas.org/>

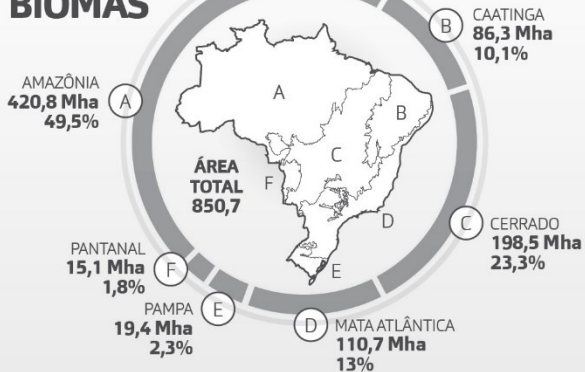
Para mais informações acesse mapbiomas.org MAPBIOMAS 7.1

Brasil

Evolução anual da cobertura e uso da terra (1985-2021)

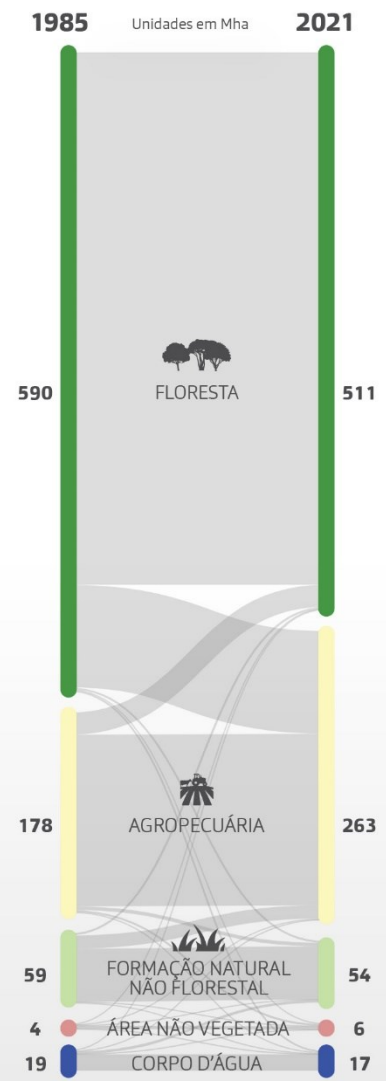
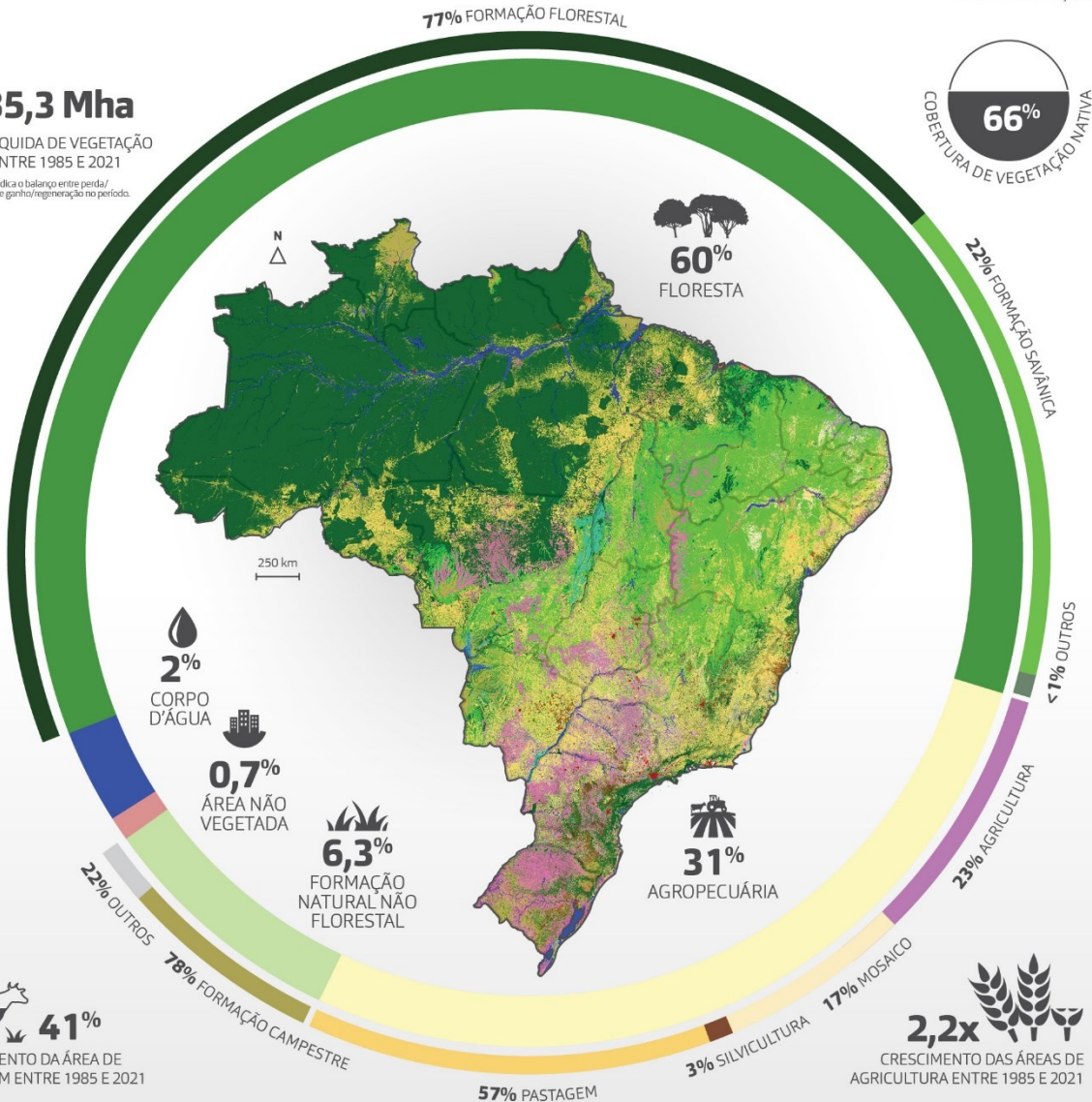


BIOMAS



85,3 Mha
5,7 x a área do estado do Ceará

PERDA LÍQUIDA DE VEGETAÇÃO NATIVA ENTRE 1985 E 2021
Perda líquida: indica o balanço entre perda/desmatamento e ganho/regeneração no período.



Fonte: MapBiomas. Coleção 7.1. O Projeto MapBiomas disponibiliza mapas anuais de cobertura e uso da terra, bem como mapas com as mudanças ocorridas ao longo do tempo para todo o período entre 1985 e 2021. Todos os e dados, bem como a metodologia e avaliação de acurácia das Categorias do MapBiomas ser acessadas no site do projeto www.mapbiomas.org.

MONITORAR AS MUDANÇAS DO USO DA TERRA











TerraBrasilis
PRODES (Desmatamento)

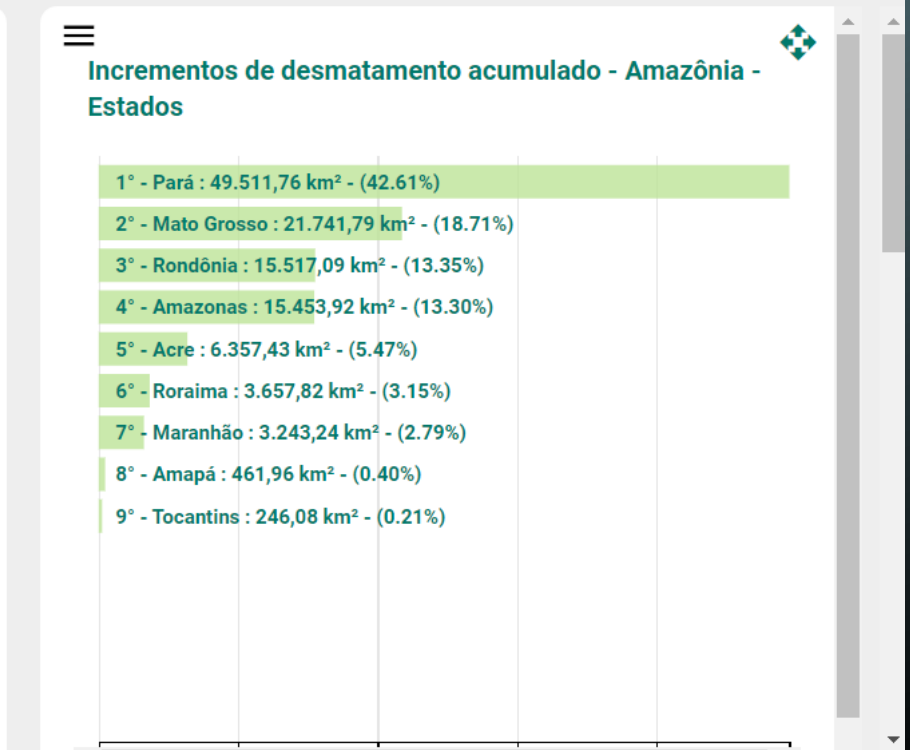
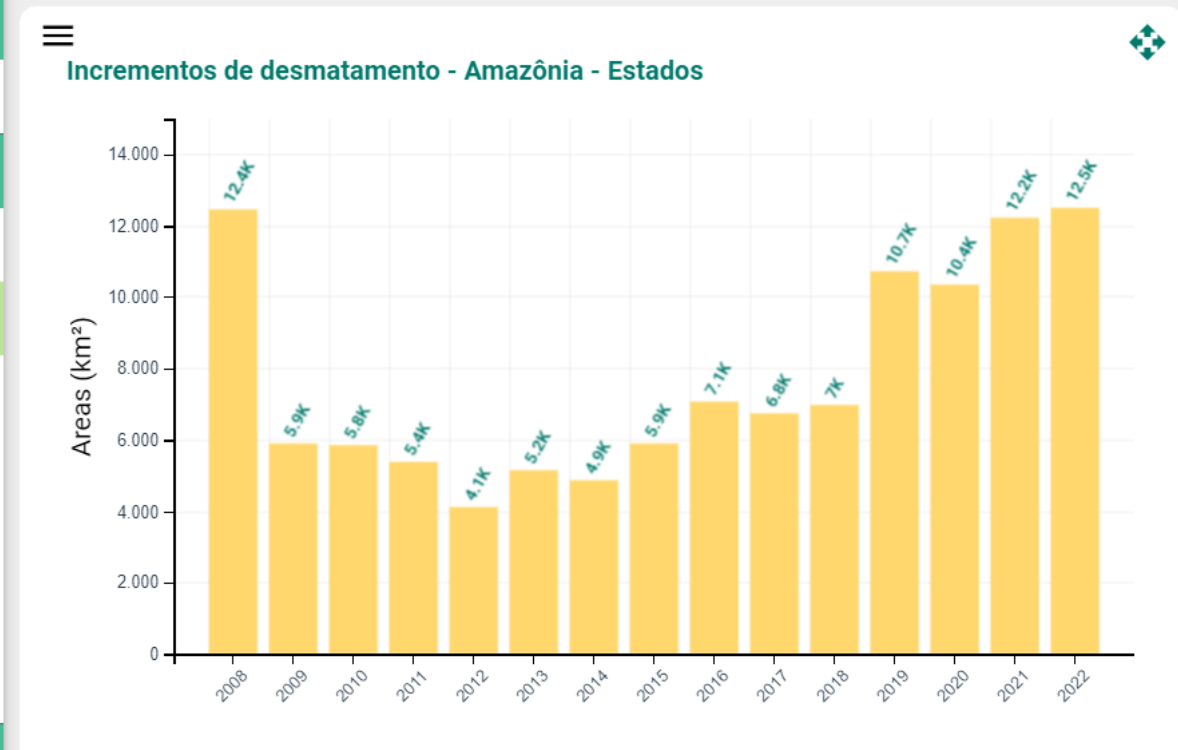
Filtros - Amazônia / Estados / Todos / Ano / Todos

Atualizado em: 28/04/2023

Taxas de Desmatamento

-  Amazônia Legal
-  Amazônia Legal
-  **Amazônia**
-  Cerrado
-  Caatinga
-  Mata Atlântica
-  Pampa
-  Pantanal

Ferramentas



TRANSFORMAR A AGRICULTURA PRÓ USO MAIS SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS

COVER CROPS

PERENNIALS & TREES

**REGENERATIVE
AGRICULTURE**
COMBINES 4 PRACTICES

NO TILL

COMPOST/MOB GRAZING

TRANSFORMAR A AGRICULTURA PRÓ USO MAIS SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS

<https://www.youtube.com/watch?v=ntJouJhLM48>



TRANSFORMAR A AGRICULTURA PRÓ USO MAIS SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS

INTEGRAÇÃO LAVOURA- PECUÁRIA



INTEGRAÇÃO LAVOURA- PECUÁRIA-FLORESTA



Não revolvimento do solo



Rotação de culturas

Cobertura permanente

SISTEMA PLANTIO DIRETO

TRANSFORMAR A AGRICULTURA PRÓ USO MAIS SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS

AGROECOLOGIA

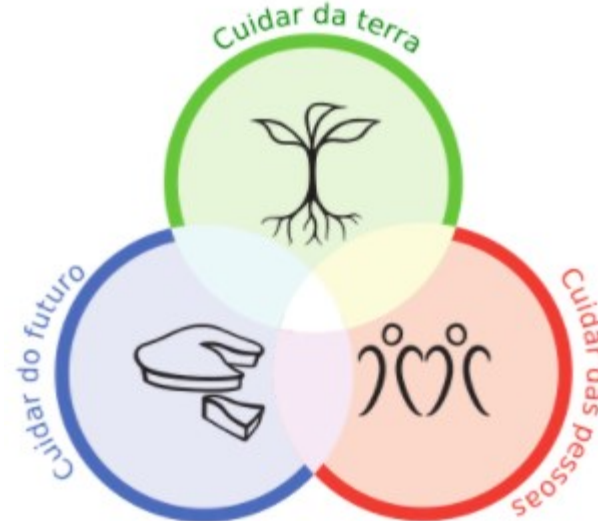


DIVERSIDADE E SOBERANIA
NA CONSTRUÇÃO DO **BEM VIVER**

AGROFLORESTA



PERMACULTURA



AGRICULTURA ORGÂNICA

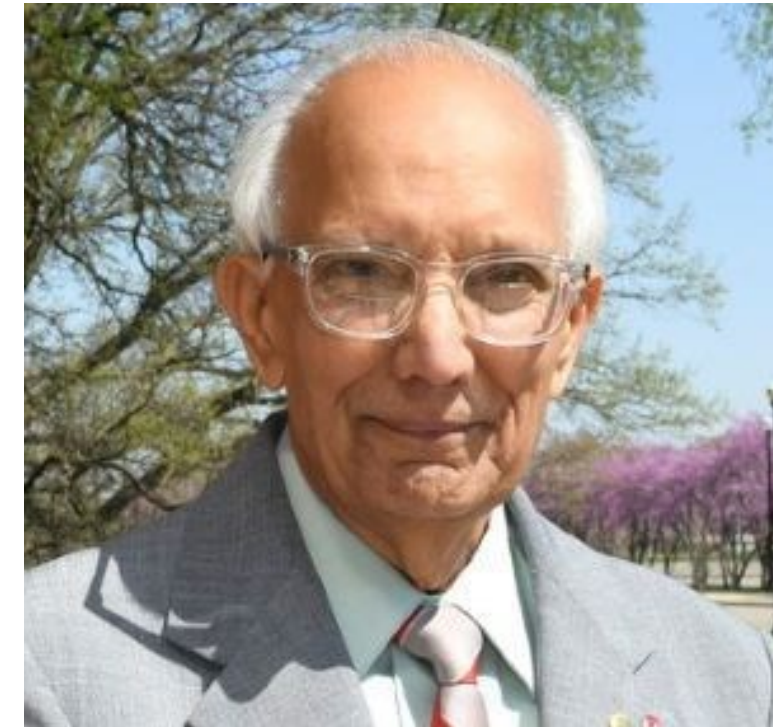


MUITO OBRIGADO!

wanderleibieluczyk@gmail.com

“Eu acredito que o solo é uma coisa viva. É isso que a saúde do solo significa, solo é vida. Toda coisa viva tem seus direitos. Desta forma, o solo também tem seus direitos.

Enquanto você estiver consumindo recursos naturais - alimento, água, elementos – vindos do solo, você deve ao solo retribuir em algo, dar algo em troca, o que você puder!”



Ratan Lal – World Food Prize de 2020