UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Ciência do Solo

LSO - 0257 - Fundamentos de Ciência do Solo

ORIGEM DA POLUIÇÃO E CONCEITO DE QUALIDADE DO SOLO

Prof. Dr. Jussara Borges Regitano
Prof. Dr Antonio Roque Dechen
Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello

Piracicaba
2017

Introdução:

Três principais atividades poluidoras do solo:

Mineração

↑ qtd. material geológico estéril e rico em metais tóxicos (Pb, Cd e sais)

Agricultura

↑ qtd. de fertilizantes, pesticidas e resíduos animais

Desmatamento de florestas

↑ erosão do solo e transporte de sedimentos, acelerando a perda da camada superficial do solo rica em nutrientes

1. Mineração superficial (céu-aberto)

Mineração de carvão e jazidas de metais → fundamental para revolução industrial e industria moderna (carros, computador, celular até pinturas), explorando **Fe, Al, Cu** e outros (Pb, Zn, Mn, Cd, Ni, Hg, As e Se),

Industrias **mineradoras, petrolíferas e elétricas** (queima de carvão): geram grandes **qtds de rejeitos** contendo ↑ **[sais]:** Na^{+}, Ca^{2+}, SO_4^{-2}, Cl^{-} e CO_3^{-2}, entre outros poluentes.

- **Mineração de Cu:**

  [Cd e Pb] nos rejeitos = 100 a 10.000 mg kg^{-1}

- **Jazidas de Cu, Ag e Pb associadas à presença de pirita** (FeS_2), que tem efeito devastador em ambientes aquáticos:

$$\mathbf{FeS_2} + 3{,}75\ \mathbf{O_2} + 3{,}5\ H_2O \rightarrow Fe(OH)_3(s) + 2\ SO_4^{-2} + \mathbf{4\ H^+}$$

- **Uso de ácidos para extração de metais:** ↑ [efluentes ou lixiviados metálicos ácidos].

Cu de baixa pureza solubilizado com **ácido sulfúrico** → efluente ácido, precisa ser neutralizado e mantidos em lagoas ou represas.

Mineração de ouro: rejeitos líquidos com ↑ [CN^-], extremamente tóxico aos peixes.

<u>Emissões aéreas</u>: fundições e refinarias

- Produz **resíduos** com **Pb, Zn, Ni, Cu, Cd, Cr, Hg, Se, As, Co** (liga metálica), que precisam ser adequadamente tratados e descartados.
- Requer ↑ **T ºC de fusão**: Fe = 1536 ºC
  Cu = 1083 ºC
  Al = 660 ºC

Por outro lado: Hg = 357 ºC
Cd = 765 ºC
Zn = 906 ºC
As = 613 ºC

- Necessidade de **lavadores de gases** eficientes para evitar perda de **metais tóxicos voláteis** em altas temperaturas.

2. Desmatamento

Erosão → escoamento superficial de contaminantes (nutrientes, metais pesados, pesticidas etc.)

Agricultura
Exploração de madeira

Hg no sangue de pessoas de áreas rurais no Brasil, que consomem muito peixe.

↓ **Estabilidade do solo**

↑ **Erosão e transporte de sedimentos**

↓ **Biodiversidade** (perda de habitat)

Altera microclima da região (↑ T ^{o}C) → ilhas de calor

Perda de vegetação

Queima de restos culturais → material particulado e CO

Liberação de gases de efeito estufa: CO_2

Quebra do balanço de C: ↓Fotossíntese x ↑Queima (↑CO_2)

3. Acidez Solo

- **Processo natural resultante do intemperismo:**

Principais elementos encontrados nos solos:

Si, Al, Fe, O, Ca, Mg, K, Na e Mn

Com a intemperização:

Si, Ca, Mg, K, Na

- Não são precipitados como compostos insolúveis

- São levados pela H_2O de drenagem

Fe, Al, Mn

- Formam óxidos, hidróxidos e oxidróxidos de baixíssima solubilidade

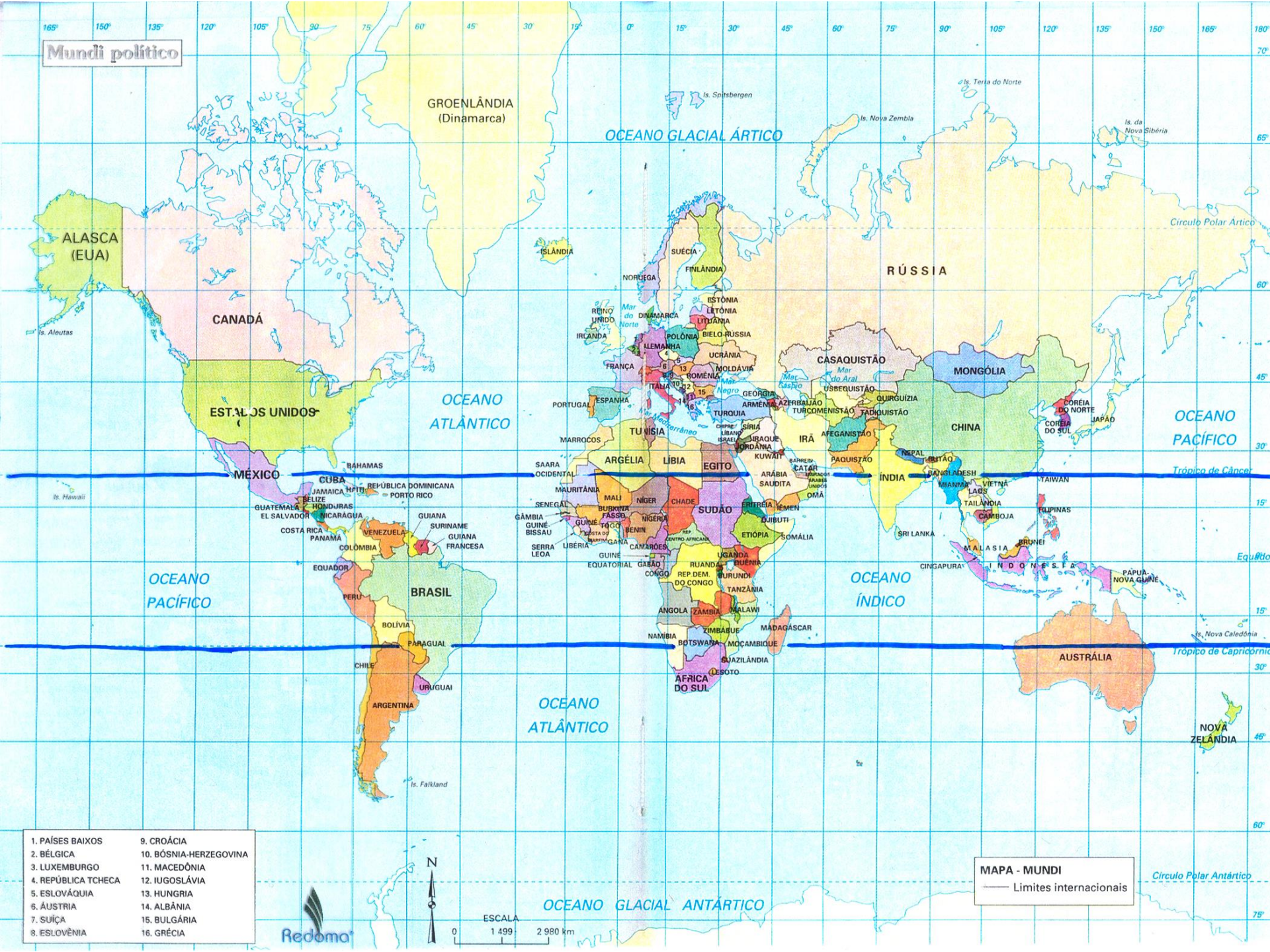
$$Al^{3+}(l) + H_2O \rightarrow Al(OH)_3(s) + 3H^+$$

- Permanecem até final da intemperização

AMBIENTE QUENTE E ÚMIDO + BOA DRENAGEM

TEMPO →

SOLOS ALTAMENTE INTEMPERIZADOS


Mundi político
GROENLÂNDIA (Dinamarca)
Is. Spitsbergen
Is. Terra do Norte
Is. Nova Zembla
Is. da Nova Sibéria
OCEANO GLACIAL ÁRTICO
Círculo Polar Ártico
ALASCA (EUA)
Is. Aleutas
CANADÁ
ESTADOS UNIDOS
ISLÂNDIA
SUÉCIA
FINLÂNDIA
NORUEGA
RÚSSIA
ESTÔNIA
LETÔNIA
LITUÂNIA
REINO UNIDO
DINAMARCA
IRLANDA
POLÔNIA
BIELO-RÚSSIA
ALEMANHA
UCRÂNIA
FRANÇA
MOLDÁVIA
ROMÊNIA
CASAQUISTÃO
MONGÓLIA
USBEQUISTÃO
GEORGIA
ARMÊNIA
AZERBAIJÃO
TURCOMENISTÃO
QUIRGUÍZIA
TADJIQUISTÃO
PORTUGAL
ESPANHA
ITÁLIA
TURQUIA
SÍRIA
IRAQUE
IRÃ
AFEGANISTÃO
CHINA
COREIA DO NORTE
COREIA DO SUL
JAPÃO
MARROCOS
TUNÍSIA
ARGÉLIA
LÍBIA
EGITO
KUWAIT
PAQUISTÃO
NEPAL
BUTÃO
ÍNDIA
BANGLADESH
MIANMA
VIETNÃ
LAOS
TAILÂNDIA
CAMBOJA
TAIWAN
FILIPINAS
SRI LANKA
BRUNEI
MALÁSIA
CINGAPURA
INDONÉSIA
PAPUA-NOVA GUINÉ
SAARA OCIDENTAL
MAURITÂNIA
MALI
NÍGER
CHADE
SUDÃO
ERITREIA
IÊMEN
DJIBUTI
ETIÓPIA
SOMÁLIA
SENEGAL
GÂMBIA
GUINÉ BISSAU
GUINÉ
BURKINA FASSO
TOGO
BENIN
NIGÉRIA
SERRA LEOA
LIBÉRIA
COSTA DO MARFIM
GANA
CAMARÕES
REP. CENTRO-AFRICANA
GUINÉ EQUATORIAL
GABÃO
CONGO
REP. DEM. DO CONGO
UGANDA
QUÊNIA
RUANDA
BURUNDI
TANZÂNIA
ANGOLA
ZÂMBIA
MALAWI
ZIMBABUE
MADAGÁSCAR
NAMÍBIA
BOTSWANA
MOÇAMBIQUE
SUAZILÂNDIA
LESOTO
ÁFRICA DO SUL
MÉXICO
BAHAMAS
CUBA
JAMAICA
HAITI
REPÚBLICA DOMINICANA
PORTO RICO
BELIZE
GUATEMALA
HONDURAS
EL SALVADOR
NICARÁGUA
COSTA RICA
PANAMÁ
VENEZUELA
GUIANA
SURINAME
GUIANA FRANCESA
COLÔMBIA
EQUADOR
PERU
BRASIL
BOLÍVIA
PARAGUAI
CHILE
URUGUAI
ARGENTINA
Is. Falkland
Is. Hawaii
OCEANO PACÍFICO
OCEANO ATLÂNTICO
OCEANO ÍNDICO
OCEANO PACÍFICO
OCEANO ATLÂNTICO
OCEANO GLACIAL ANTÁRTICO
AUSTRÁLIA
NOVA ZELÂNDIA
Is. Nova Caledônia
Trópico de Câncer
Equador
Trópico de Capricórnio
Círculo Polar Antártico
1. PAÍSES BAIXOS
2. BÉLGICA
3. LUXEMBURGO
4. REPÚBLICA TCHECA
5. ESLOVÁQUIA
6. ÁUSTRIA
7. SUÍÇA
8. ESLOVÊNIA
9. CROÁCIA
10. BÓSNIA-HERZEGOVINA
11. MACEDÔNIA
12. IUGOSLÁVIA
13. HUNGRIA
14. ALBÂNIA
15. BULGÁRIA
16. GRÉCIA
N
ESCALA
0 1 499 2 980 km
Redoma
MAPA - MUNDI
Limites internacionais

Outras fontes de acidez:

- **Adição de fertilizantes ácidos:**
  - Uréia
  - Amoniacais: $NH_4^+ \rightarrow NO_3^- + 2\ H^+$

- **Queima de carvão** $\rightarrow$ emissão atmosférica de **SO_2 e N_xO**

↓

Hidrolisado e removido da atmosfera pela chuva

- **Presença de pirita (FeS_2)**

4. Salinização:

952 milhões ha

~ 7% do território global

~ 33% das terras agricultáveis

Salinidade do solo: mede [minerais e sais] solúveis em água (EC)

Íons solução do solo: Na^+, Cl^-, Ca^{2+}, SO_4^{2-}, HCO_3^-, K^+, Mg^{2+}, NO_3^-

Ocorrência:

Solos de regiões **quentes áridas e semi-áridas** (< 270 mm de chuva)

Solos com **lençol freático raso** → evaporação de água e ↑[sais]

Solos **irrigados** com **água de baixa qualidade**

Efeitos:

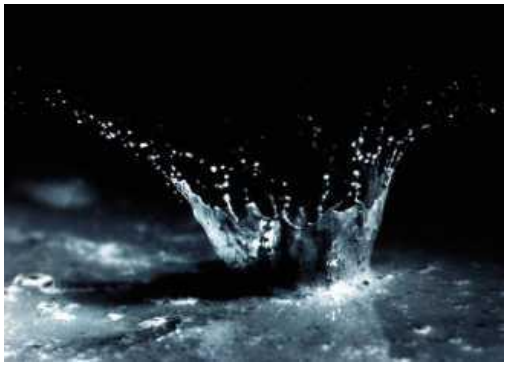
Estrutura do solo (Na^+ agente dispersante)

Diversidade microbiana

Atividade das plantas

5. Erosão do solo:

Processo natural, acelerado por atividades humanas (agricultura, construção civil e estradas, mineração, desmatamento, exploração pedreiras etc.).



$$A = 2{,}24\ R + K + LS + C + P$$

Partículas do solo = carreadores de **contaminantes** (nutrientes, pesticidas, solventes, fármacos, combustíveis, preservativos etc.)

P → carreado para o ambiente aquático → ↑ [P na água] → ↑ Fitoplâncton (algas etc.) ↓O_2 → Eutrofização

6. Atividades agrícolas:

Tabela 1 – Principais culturas da produção agrícola em 2008.

Colocação	Cultura	Safra Produção 2008
1º Produto	Cana-de-açúcar	648.970.000 t
2º Produto	Soja (em grão)	59.916.000 t
3º Produto	Milho (em grão)	59.011.000 t
4º Produto	Mandioca	26.300.000 t
5º Produto	Laranja	18.300.000 t
6º Produto	Arroz	12.100.00 t

Fonte: IBGE/Cepagro (2010). Levantamento sistemático da produção agrícola – 2008.

6.1 Fertilizantes

EUA: ~ 20.079 milhões kg ano^{-1}
~ 70 kg/pessoa ano^{-1}

Monocultivo intenso: consumo excessivo de nutrientes

C,H,O, **N, P, K, Ca**, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B, Cl

↑ **Uso de fertilizantes** (inclui esterco animal e resíduos urbanos)

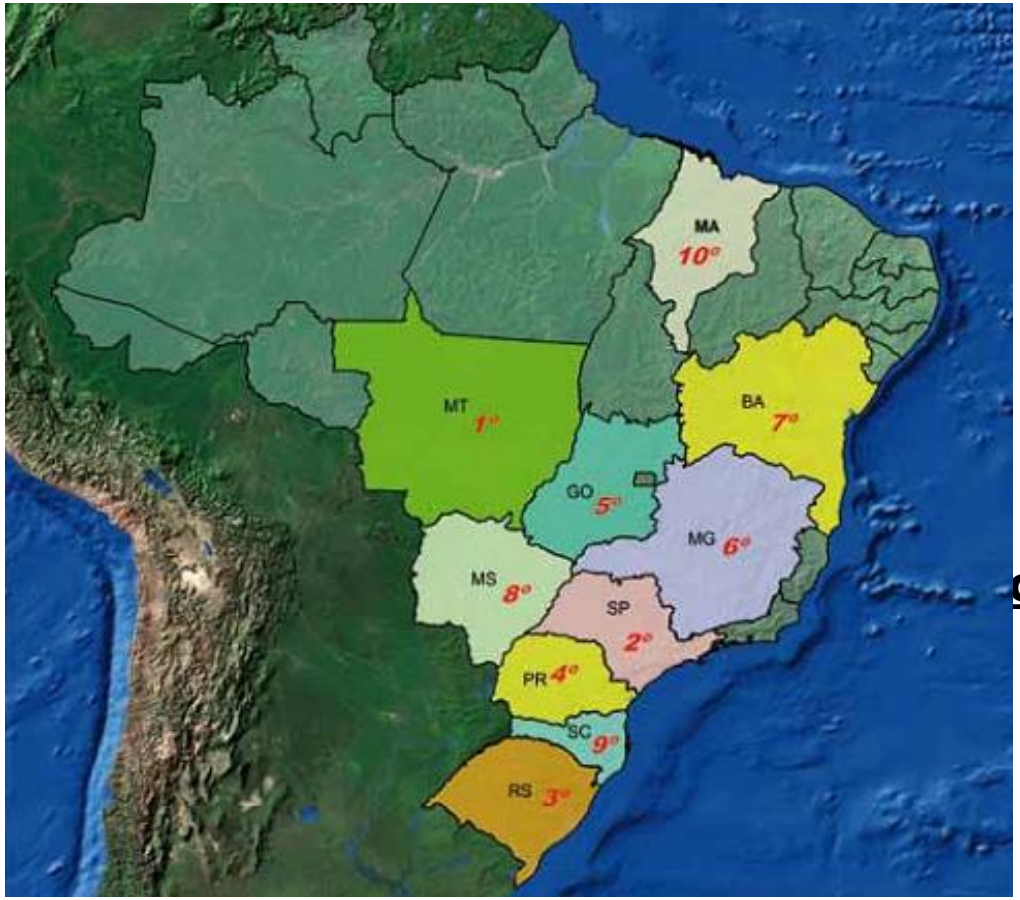
Até 1980, quando atingiu relativo equilíbrio:
Menor rentabilidade das atividades agrícolas
Preocupação ambiental

Poluição de fontes de água superficial (N e P) e subterrânea (N)

6.2 Pesticidas

•EUA: ~ 545 milhões kg ano^{-1}, ~1,9 kg pessoa^{-1} ano^{-1}

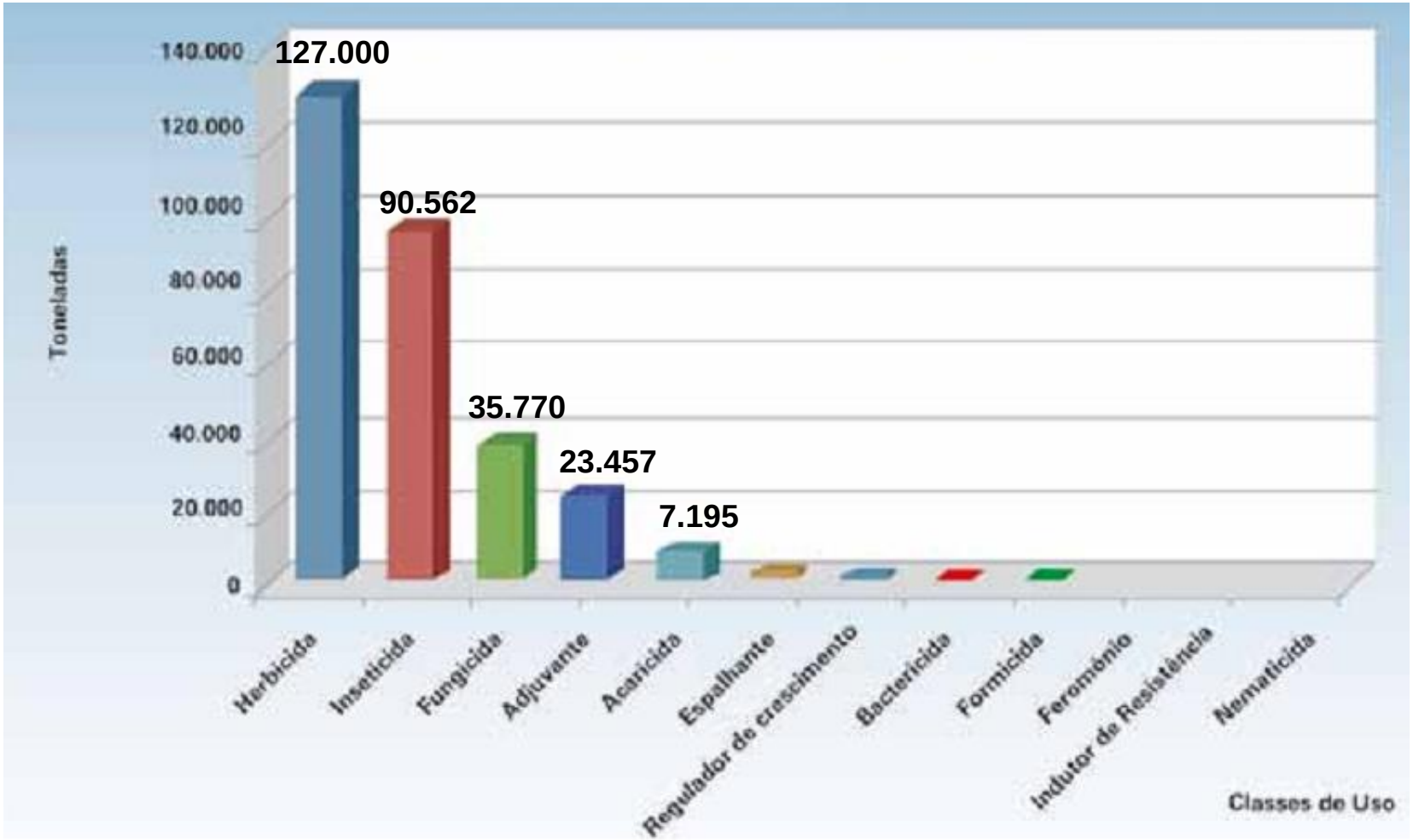
Mercado de Pesticidas no Brasil



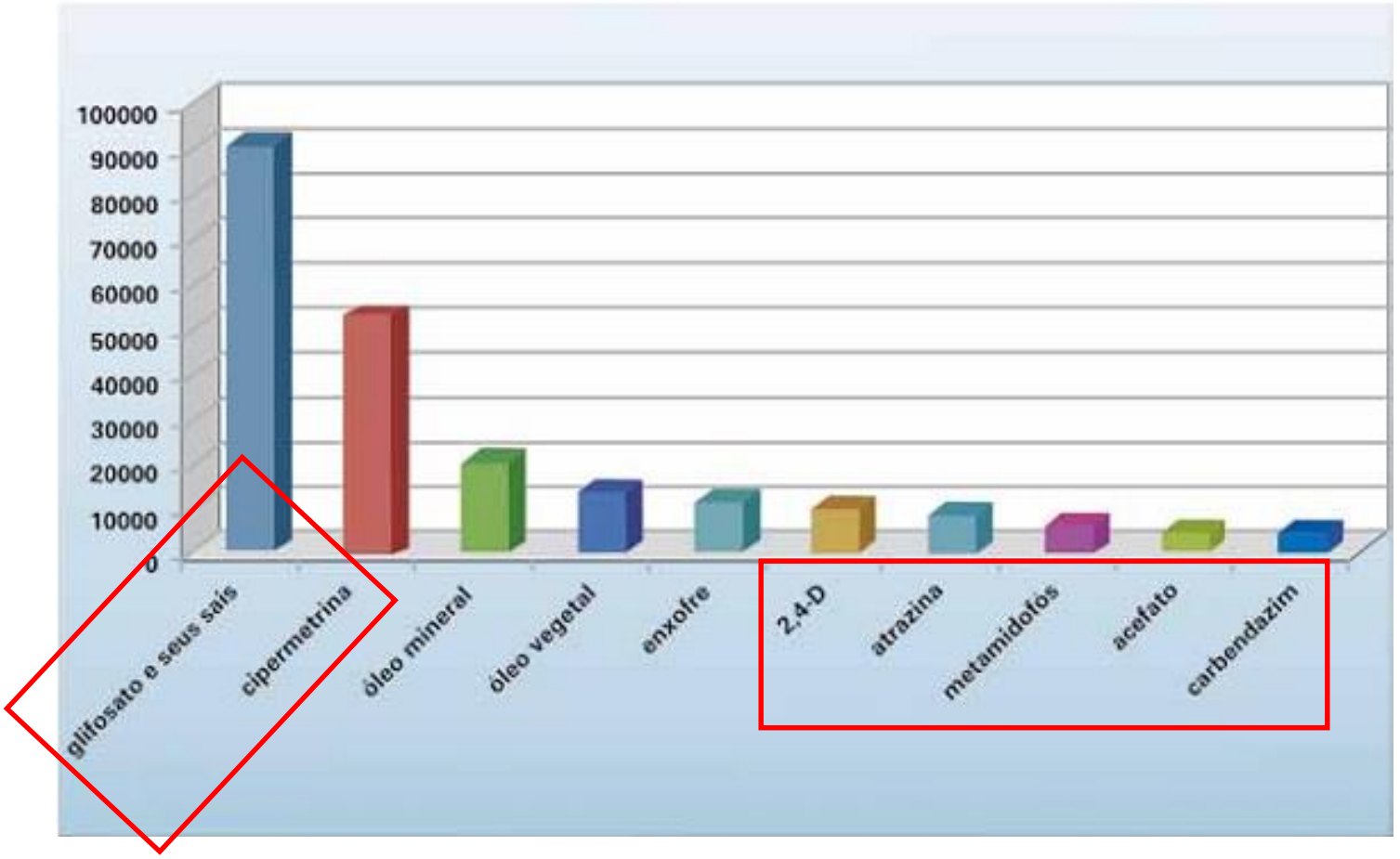
cado

Mapa de localização das empresas registrantes, fabricantes, formuladoras e manipuladoras.

Comercialiazação de pesticidas por classe



Pesticidas mais comercializados no Brasil em 2009 (em toneladas i.a.)



Fonte: IBAMA (2009)

Avaliação do Potencial de Periculosidade Ambiental - IBAMA

Classe I - Altamente Perigoso (1% comercialialiazado)

Classe II - Muito Perigoso (38%)

Classe III - Perigoso (50%)

Classe IV - Pouco Perigoso (11%)

Periculosidade Ambiental dos Pesticidas

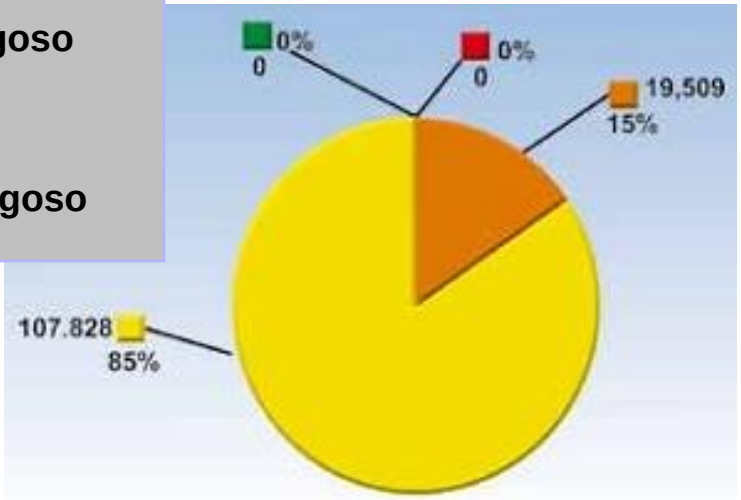
I - Altamente Perigoso

II - Muito Perigoso

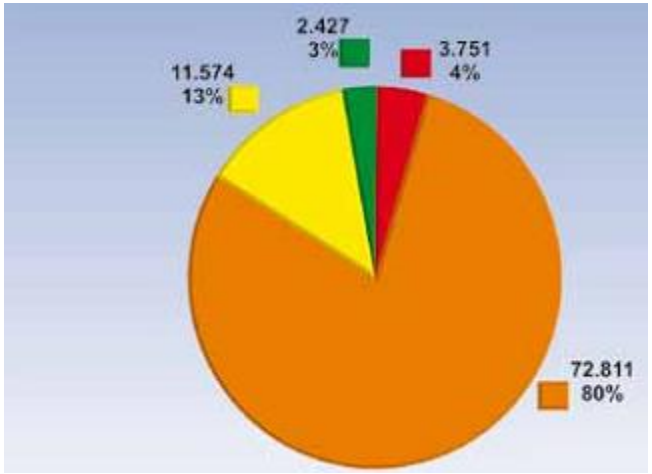
III - Perigoso

IV - Pouco Perigoso

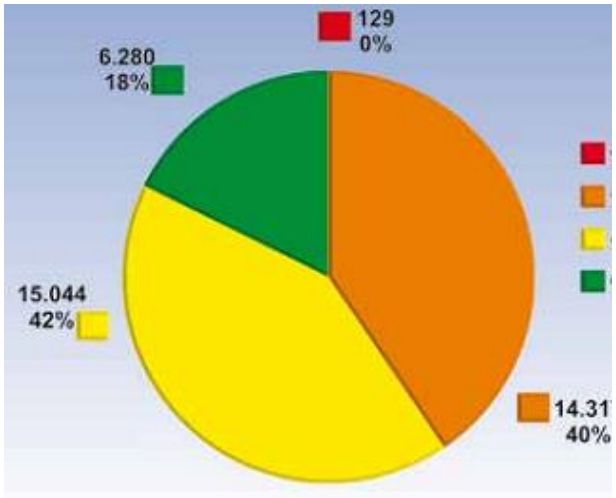
Herbicidas



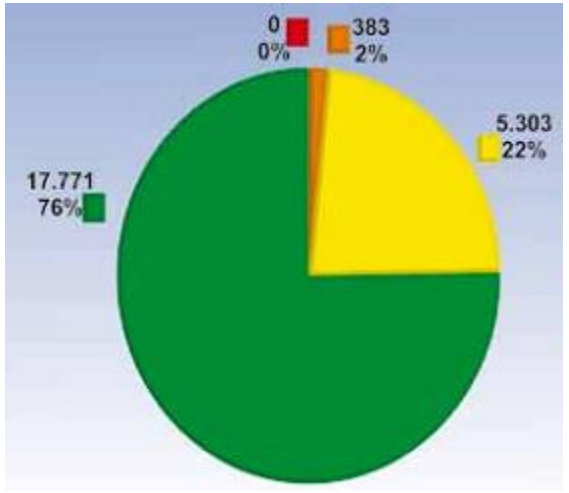
Inseticidas



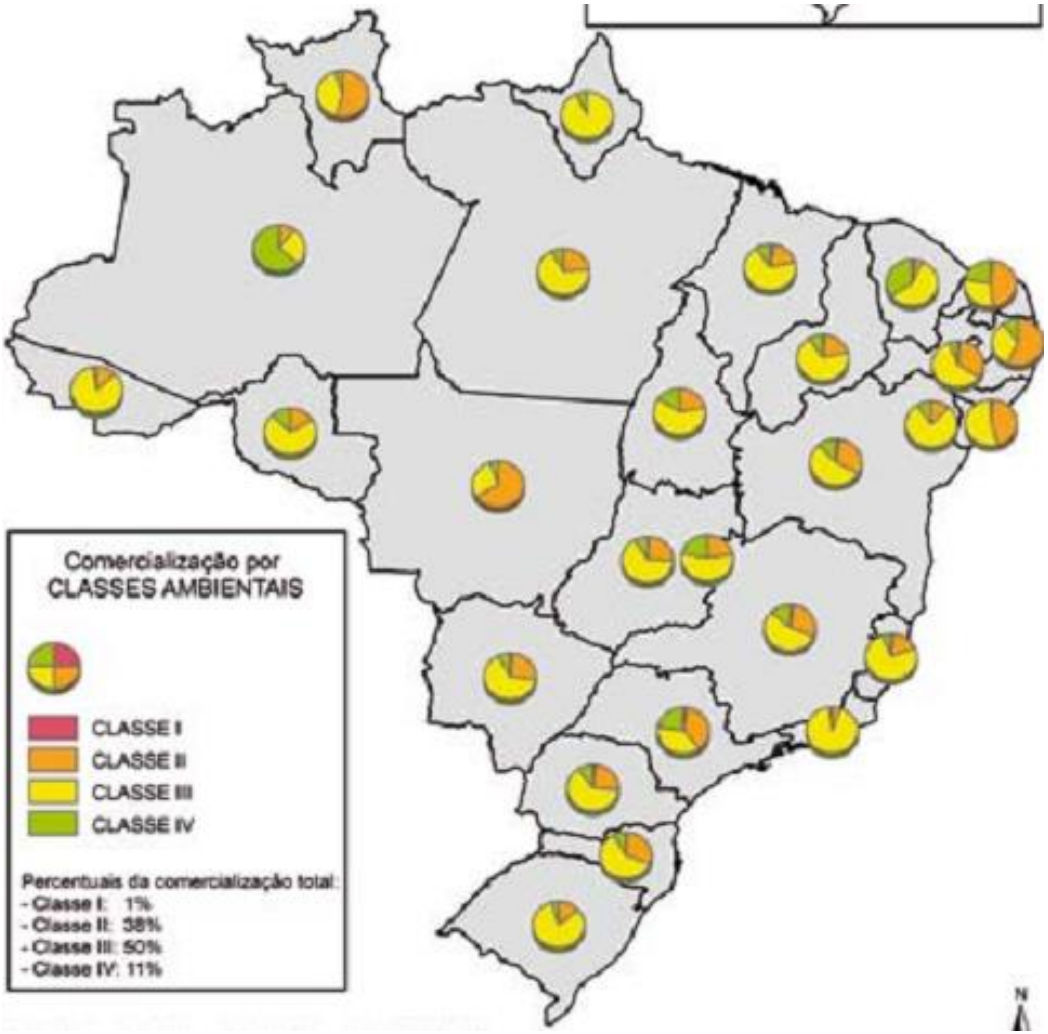
Fungicidas



Adjuvantes



Distribuição das classes de produto por estado



Curiosidades:

Pesticida	Profundidade lixiviação (cm)	Qtdd (%) no solo após 120 d da aplicação
Glifosato K_{oc} = 10.000 L kg^{-1} $T_{1/2}$ = 30 d	**25**	**6** → carreado
Atrazina K_{oc} = 163 L kg^{-1} $T_{1/2}$ = 48 d	**125**	**20**
Aldicarbe K_{oc} = 12 L kg^{-1} $T_{1/2}$ = 28 d	**250**	**6** → lixiviado

Apesar das **preocupações** com resíduos de pesticidas, **o maior crescimento** do segmento é nas **aplicações domésticas** (casa e jardins).

7. Resíduos Animais (esterco):

<u>Tipos de produção animal:</u>

1. Pastagem (animal solto no pasto):
↑ Turbidez em rios, córregos e lagos
↑ Coliformes fecais

2. Confinamento (muitos animais em áreas pequenas)
Empilhamento de resíduos
Construção de lagoas para armazenamento dos resíduos
Aplicação de resíduos em excesso da necessidade da cultura:
Nitrato-N: crescimento excessivo de planta e micróbios
Fosfatos: eutroficação de águas superficiais
Patógenos e As: contaminação de águas
Hormônios crescimento, antibióticos e pesticidas: disrupt. endócrinos
CO_2 e CH_4: aquecimento global
H_2S e NH_3: odor

Sem legislação específica para aplicação no solo

7. Exploração de petróleo:

- **Uso de grandes qtds. de fluídos para perfuração:**

  Barita ($BaSO_4^{2-}$) $\rightarrow$ Ba é muito tóxico

  NaCl $\rightarrow$ muito solúvel e pode $\uparrow$ salinidade de águas superficiais

8. Plantas de eletricidade (queima de carvão)

Produz milhões de t:

- **Cinzas voadoras** (Si,Al,Ca,Na, Fe, Mg, K, Ti, S e elementos traços)
- **Resíduos de gases de chaminé dessulforizados** (70% água)

↓

Lagoas secadoras → tratadas com a água residuária

↓

↑[sais solúveis, NaCl] → ↑ salinidade do lodo

↓ **Emissões de gazes formadores de ácidos** (SO_2 e N_2O), mas não eliminados (> 10 milhões t ano^{-1})

Emissão significativas de Hg

9. Resíduos industriais (ricos em orgânicos):

(exceto resíduos de mineração a céu aberto e chapas metálicas)

- **Processos industriais (a partir 1950)**: materiais plásticos (base de C), solventes, reagentes, matéria prima etc.

- **Principais industrias:** refinarias de petróleo, petroquímicas, químicas, farmacêuticas, alimentos e papel.

- Nos **últimos anos redução** na descarga de **poluentes**:

  Tratamento das águas residuárias

  Reciclagem dos materiais

  Mudanças no processo de produção

  ↓

  ↓ geração de resíduos.