



# UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO



## ECOLOGIA APLICADA À ENGENHARIA

Prof. Alena Torres Netto  
Email: [alenanetto@eng.uerj.br](mailto:alenanetto@eng.uerj.br)





# Processos Ecológicos

## CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

"No mundo nada se cria, nada se perde, tudo se transforma..."

Lei da Conservação da Massa  
Lavoisier - Pai da Química Moderna (1745-1794)

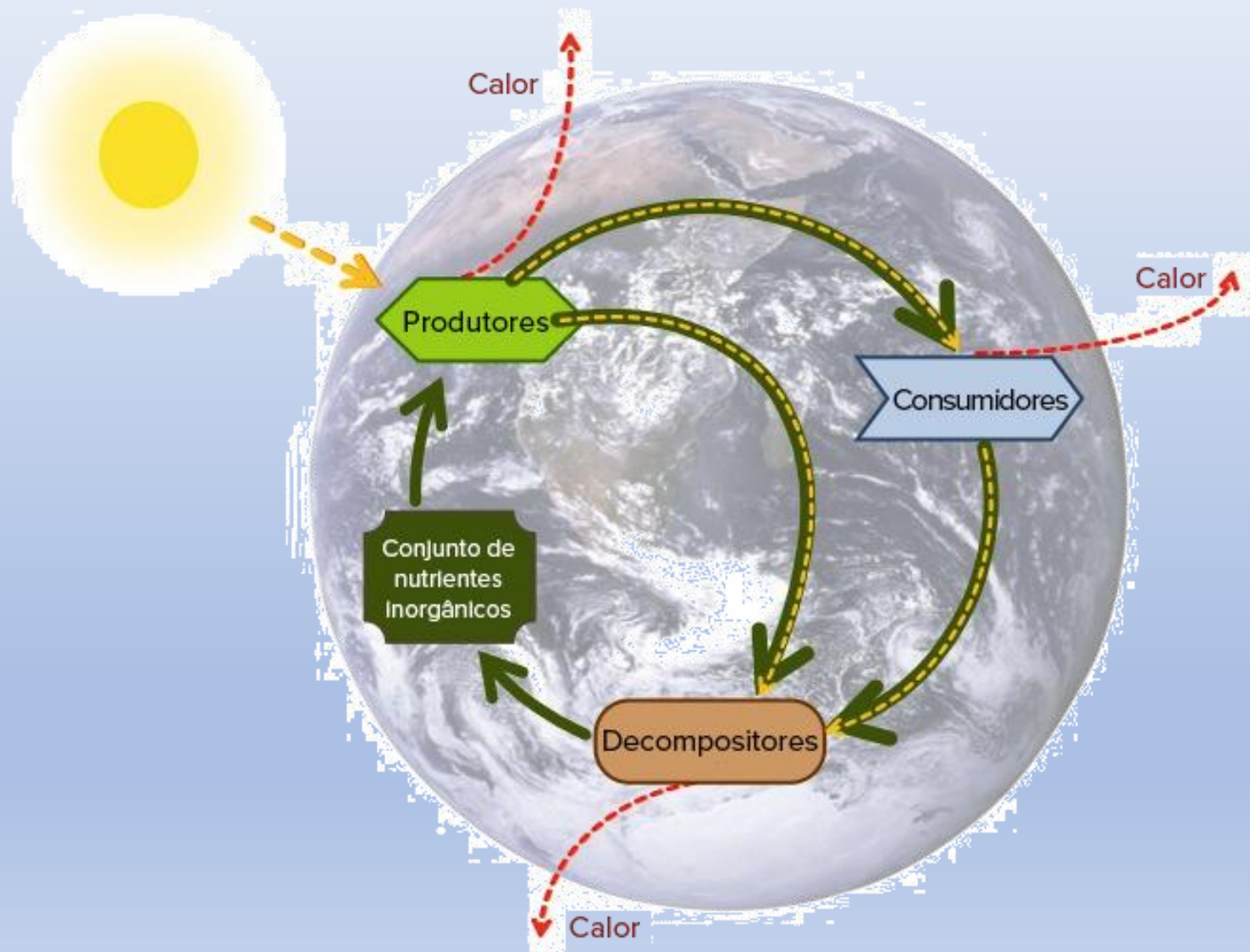
# CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Movimento cíclico de elementos e compostos químicos entre os seres vivos (biótico) e o meio ambiente (abiótico).

- Ocorre por processos naturais e/ou vias metabólicas presentes nos ecossistemas, como no caso das cadeias e teias alimentares.
- Os elementos e os compostos químicos, essenciais à vida, são absorvidos ou ingeridos por organismos e posteriormente retornam ao meio ambiente por processos como decomposição, excreta, transpiração, respiração entre outros.



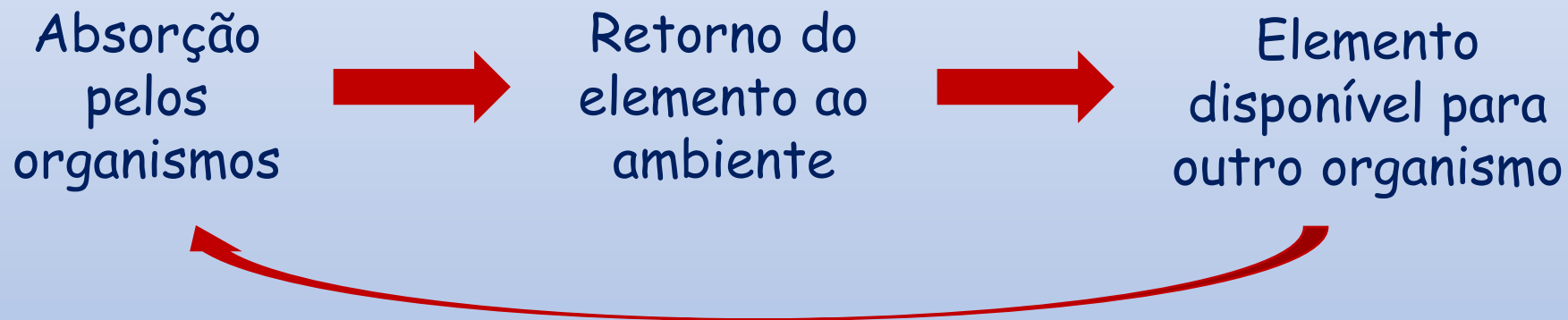
# CICLOS BIOGEOQUIMICOS





# CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Todos esses elementos são absorvidos pelos organismos, voltam ao ambiente e se tornam novamente disponíveis para outros organismos.



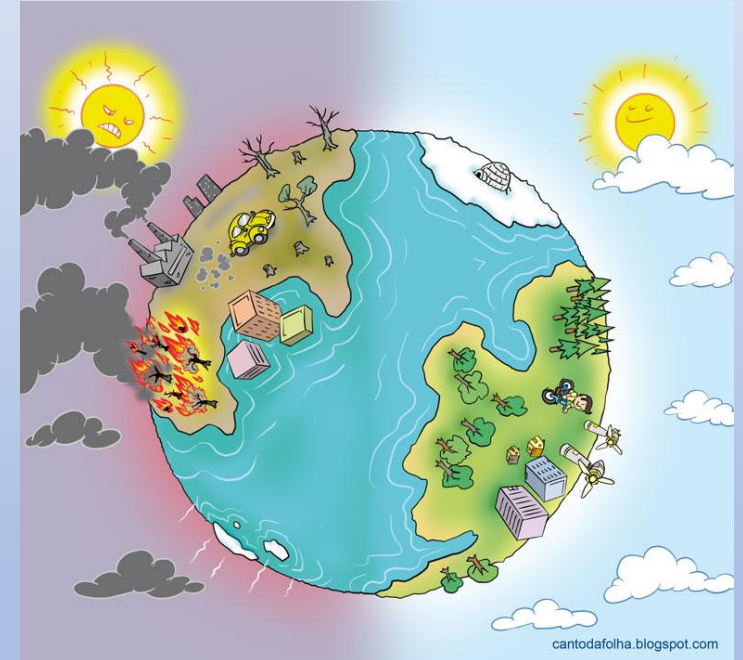
Essa "ciclagem" dos elementos, envolvendo os organismos e o ambiente, ocorre através de

## *CICLOS BIOGEOQUÍMICOS*

*Bio* = organismos vivos e *geo* = Terra

# CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

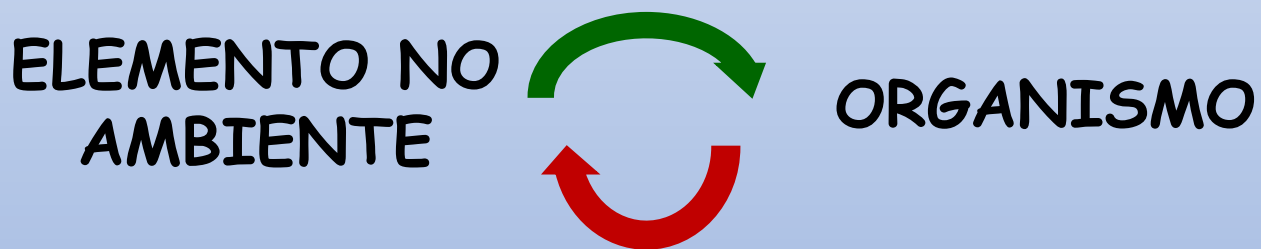
- Nas últimas décadas, as constantes e desmedidas interferências humanas no meio ambiente, e as consequentes mudanças climáticas vêm comprometendo o equilíbrio e a dinâmica dos ciclos biogeoquímicos.
- Esse desequilíbrio global dos ciclos biogeoquímicos vem causando impactos ambientais em muitos ecossistemas aquáticos e terrestres.
- O estudo da interferência humana no desequilíbrio desses ciclos se torna cada vez mais importante, para avaliar possíveis impactos ambientais e as consequências na saúde humana.





# CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Um *ciclo biogeoquímico* é o percurso realizado, no ambiente, por um determinado elemento químico que é essencial à vida. Desta forma, esses ciclos promovem a circulação de tais elementos na biosfera em caminhos característicos.



Movimento circular => **Ciclagem de nutrientes**  
(Ciclo da matéria)



**Bio** = Organismos Vivos

**Geo** = Meio terrestre é fonte dos elementos

**Químicos** = São os elementos químicos que participam do ciclo

É O PERCURSO REALIZADO NO MEIO AMBIENTE POR UM ELEMENTO  
QUÍMICO ESSENCIAL À VIDA.



Ao longo do ciclo, cada elemento é absorvido e reciclado por componentes bióticos (seres vivos) e abióticos (ar, água, solo) da biosfera.

- **Ciclos Sedimentares** → Litosfera. Exemplos: Fósforo, Enxofre, Cálcio, Magnésio e Potássio.
- **Ciclos Gasosos** → Atmosfera. Exemplos: Carbono, Nitrogênio e Oxigênio
- **Ciclo Hidrológico** → hidrosfera. Exemplo: água



# PORQUE A ÁGUA É TÃO IMPORTANTE?

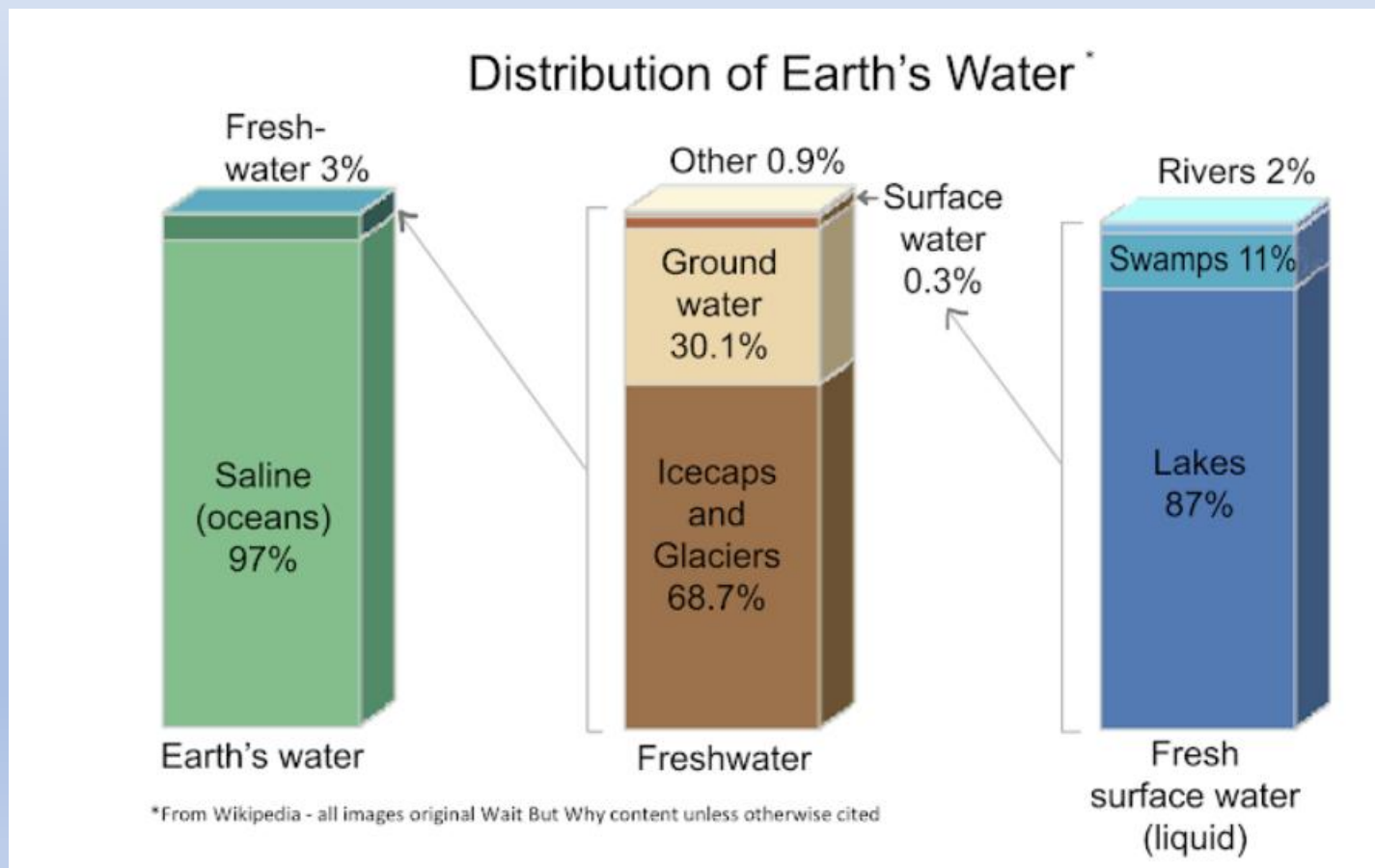


- ✓ Alta capacidade de absorver e reter calor
- ✓ É fundamental no metabolismo dos seres vivos (dissolve compostos e reage para formar moléculas complexas)
- ✓ Alta tensão superficial: movimentação e retenção da água em pequenos poros
- ✓ Solidificação: molécula que se expande ao congelar

**Caso contrário:** gelo afundaria e congelaria reservatórios de água líquida de baixo para cima, modificaria drasticamente os ecossistemas (células vivas se romperiam com a contração da água congelada).

# RESERVATÓRIOS GLOBAIS

Onde se localiza, qual a quantidade?





# Ciclo hidrológico



- ✓ Processo de circulação da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, modulado principalmente pela energia solar; a força dos ventos, que transportam o vapor d'água; a força da gravidade, responsável pelos processos de precipitação, infiltração e deslocamento das massas de água.



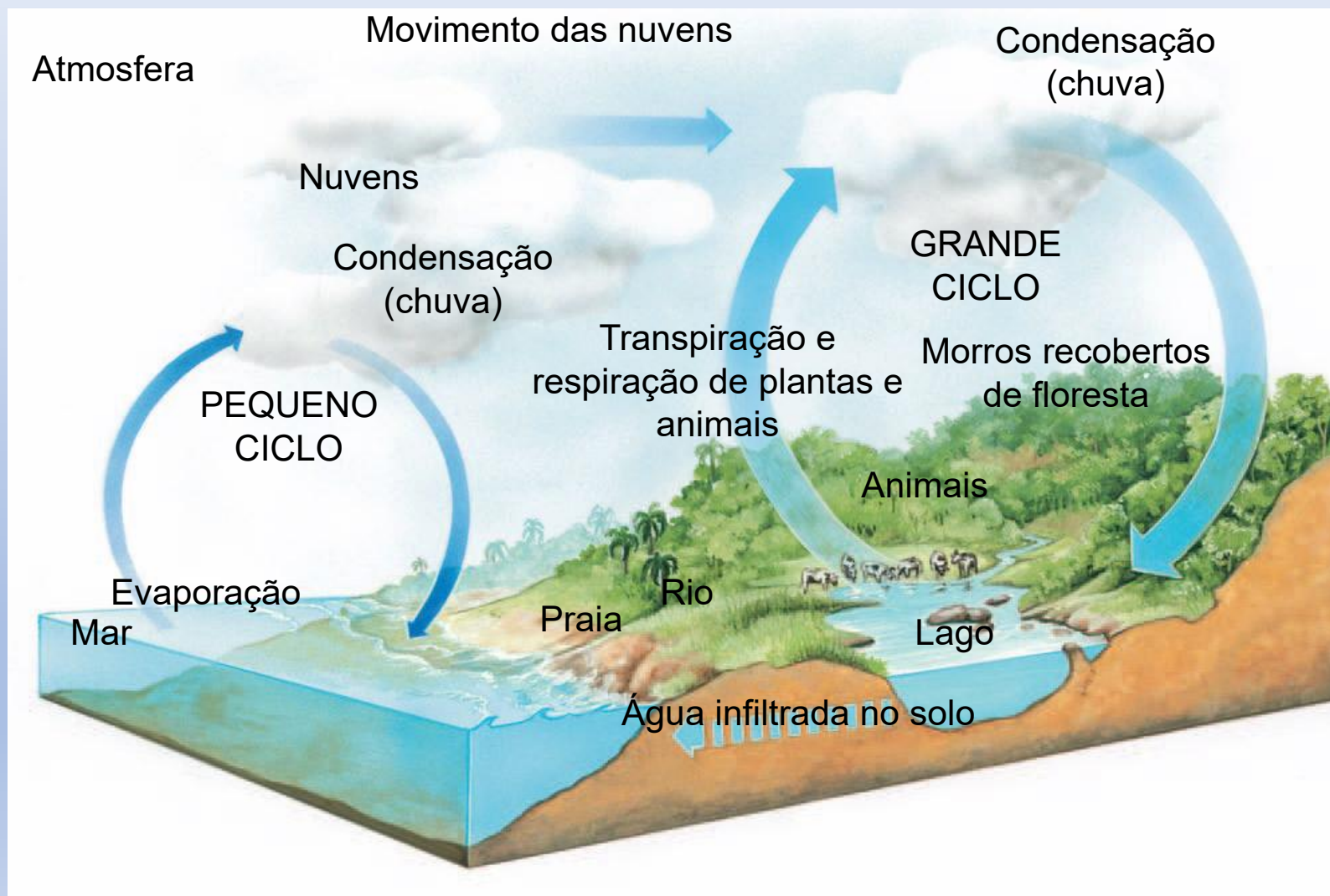


# Ciclo hidrológico

- ❖ A interferência humana no ciclo da água ocorre principalmente:
  - ✓ derrubada das florestas e matas nativas (urbana e rural);
  - ✓ abastecimento das grandes cidades gerando um consumo exacerbado de águas superficiais e subterrâneas e poluição dos corpos hídricos;
  - ✓ desvio de corpos hídricos para irrigação e consumo humano.



# CICLO DA ÁGUA





# RIOS VOADORES



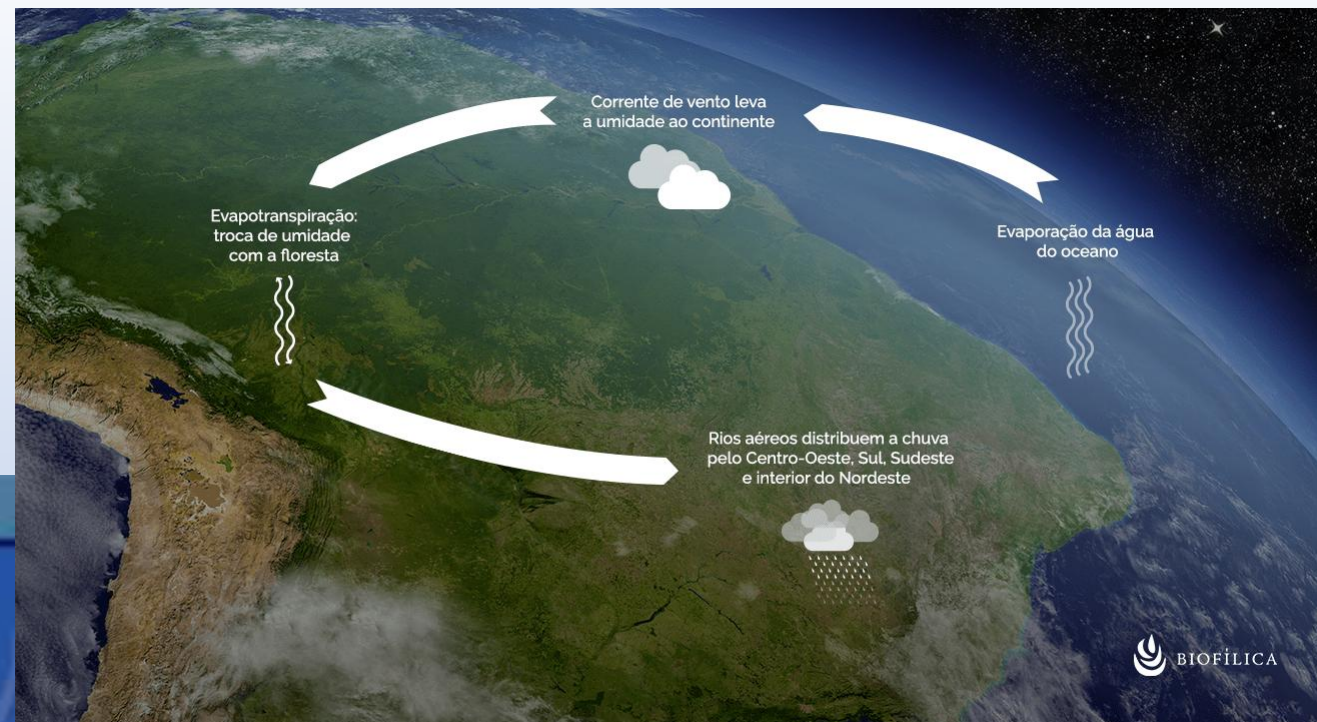
## Rios voadores

São volumes de vapor de água que vêm do oceano Atlântico (próximo à linha do Equador), caem sob a forma de chuva na Amazônia - onde ganham corpo - e seguem até os Andes, encontrando a barreira montanhosa presente nessa região, que os faz desviar e flutuar sobre a Bolívia, o Paraguai e os estados brasileiros de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo; às vezes alcançando Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.



#### 4 passos para os rios voadores

- 1** A água evapora do Oceano Atlântico e forma nuvens que são levadas pelos ventos para a floresta Amazônica
- 2** Essas nuvens carregadas fazem chover sobre a floresta
- 3** A água que se acumulou no solo e nas árvores evapora, fornecendo água para a formação de nuvens
- 4** As novas nuvens vão para o centro-oeste, sudeste e sul, fazendo chover nessas regiões, e seguem viagem pela América do Sul





# Impacto humano

## ✓ Impacto Humano: Principais Mudanças no Ciclo Global

- 1 - **Aumento do escoamento superficial** ou **Runoff** - (mudança de uso da terra)
- 2 - **Diminuição da disponibilidade** de água em rios e **aquíferos** devido ao consumo agrícola, industrial e doméstico
- 3 - **Poluição** da água de rios e **aquíferos** por efluentes agrícolas, industriais e domésticos
- 4 - **Confinamento** da água em represas e barragens

# Impacto Humano: Principais Mudanças no Ciclo Global

## 1 - Aumento do Runoff (escoamento superficial)

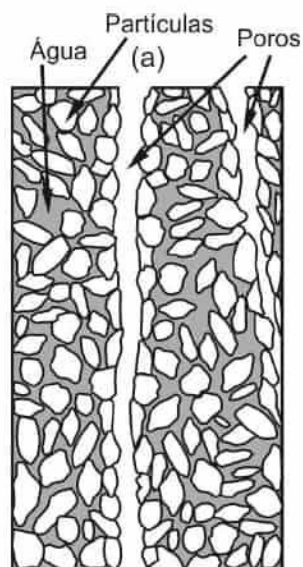


✓ Estradas

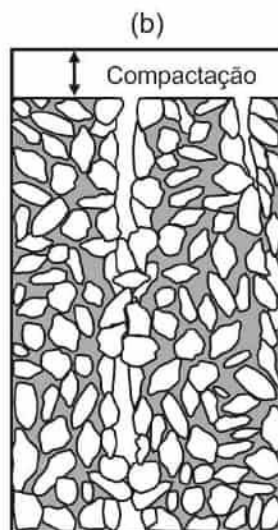
✓ Agricultura

- Compactação do solo (máquinas de grande porte)
- Perda da proteção da cobertura vegetal nativa

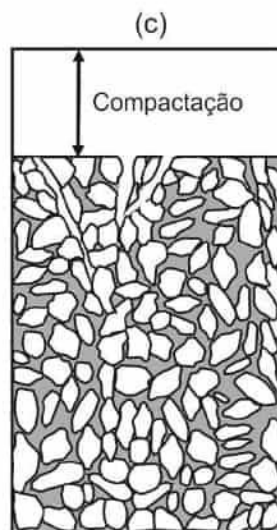
# 1 - Aumento do Runoff (escoamento superficial)



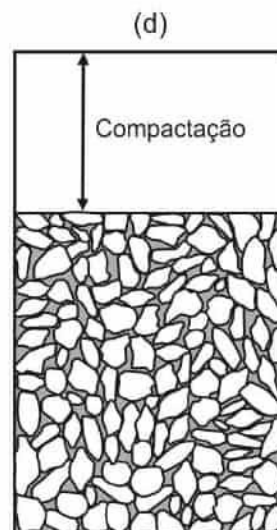
Solo nas condições originais



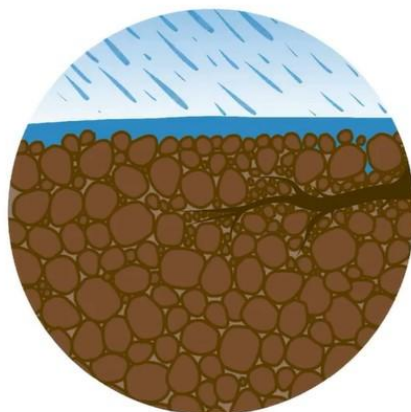
Diminuição da porosidade e do fluxo de água. Aumento da saturação.



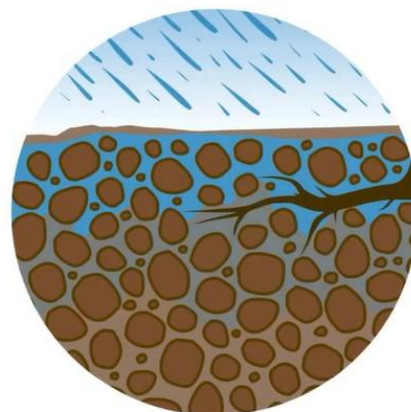
Rearranjo das partículas e dos poros



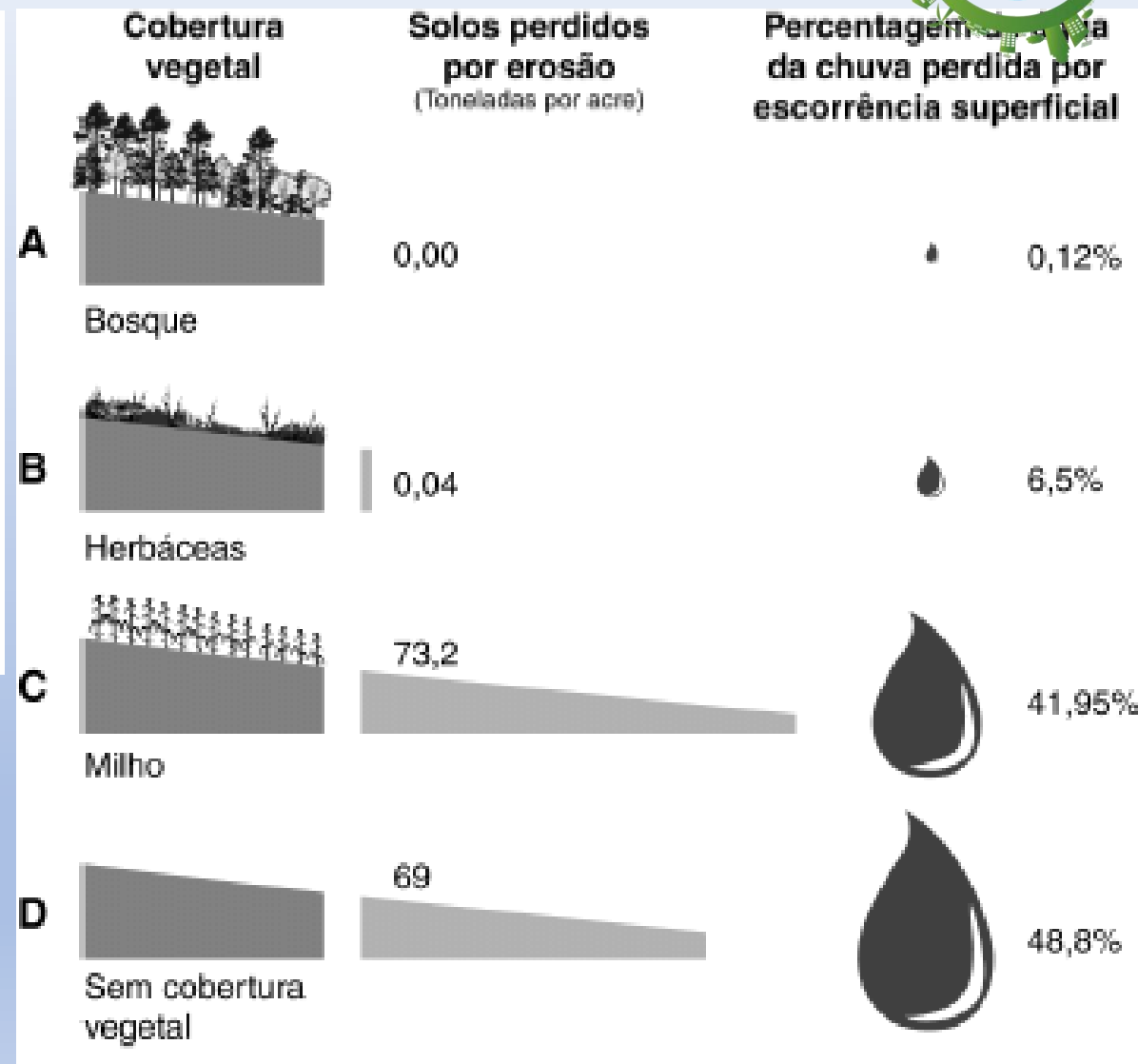
Anisotropia por rearranjo total de poros e partículas



Solo compactado



Solo bem estruturado



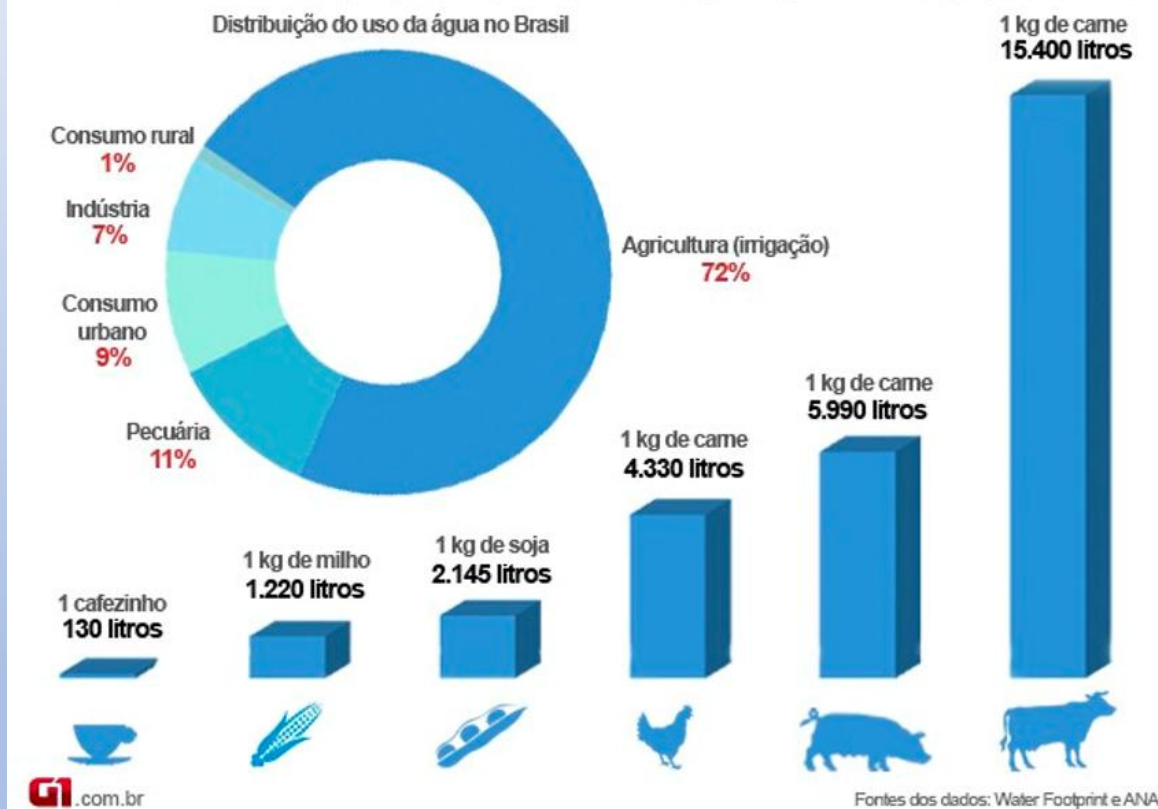
# Impacto Humano: Principais Mudanças no Ciclo Global

## 2 - Uso não renovável de água em rios e aquíferos

- ✓ Aumento do consumo na Agricultura
- ✓ Perfuração de poços e uso excessivo da água subterrânea



### Consumo médio de água para a produção de alguns produtos agropecuários





# Água virtual



- ✓ Todos os produtos e serviços que a sociedade consome - de alimentos e computadores a eletricidade e transporte público - dependem da água, como matéria-prima ou como insumo, para ser fabricados ou executados.
- ✓ O total de água consumida direta ou indiretamente por um indivíduo ou toda uma população em determinado período recebe o nome de **pegada hídrica**, que leva em conta não apenas a água agregada aos produtos, mas também o volume poluído na cadeia produtiva.
- ✓ Países pobres em água importam alimentos ou produtos industriais e, com eles, na forma de água virtual, os recursos hídricos de outras regiões do globo.

(ex: chineses afetam indiretamente as bacias hidrográficas brasileiras quando compram nosso frango e, no sentido inverso, os brasileiros gastam parte da água das bacias chinesas em cada eletroeletrônico "made in China").





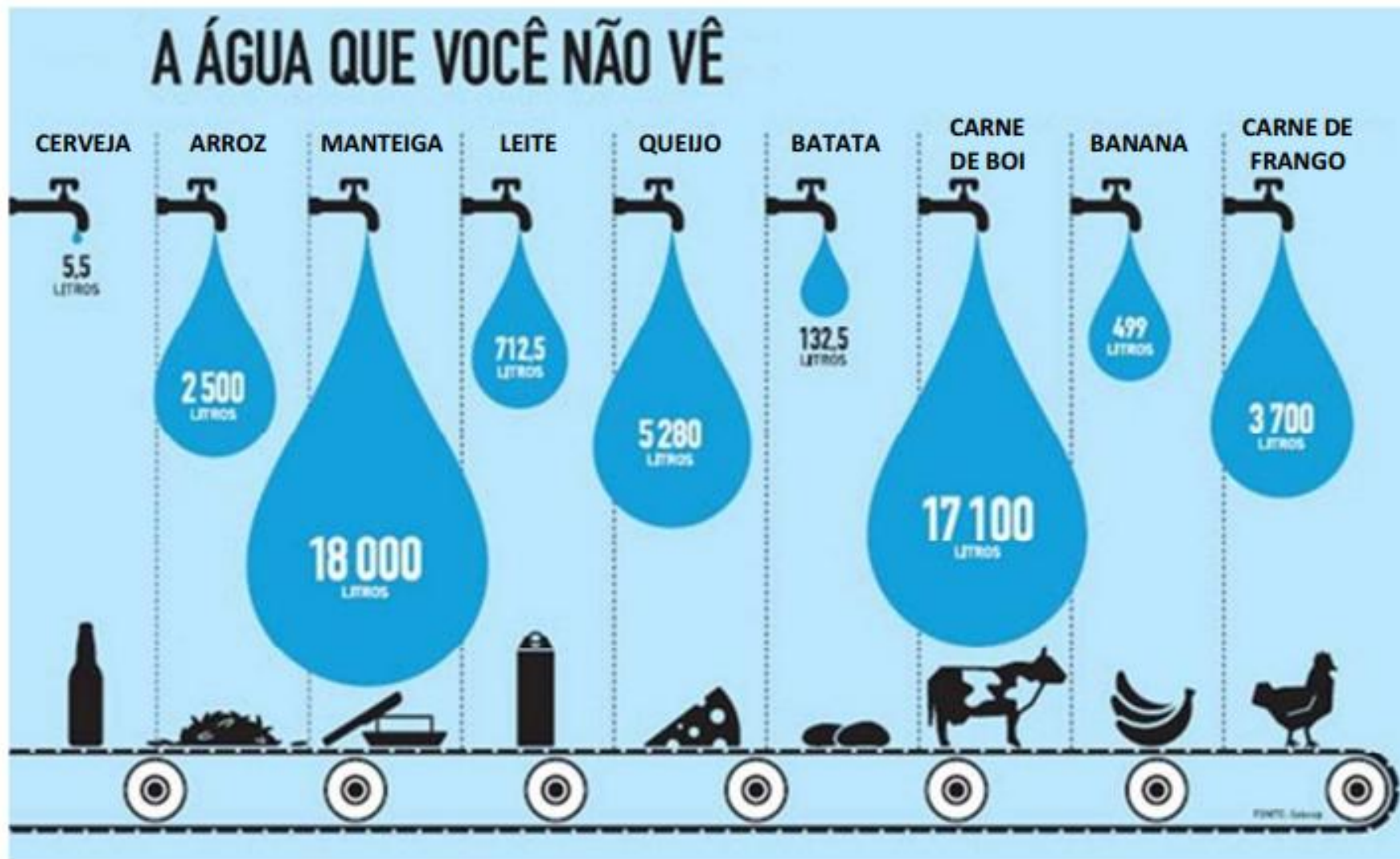
# Água virtual



- ✓ No ranking de água virtual o Brasil é o 4º colocado, ficando atrás apenas de Índia (125 trilhões litros/ano), China (143 trilhões litros/ano) e os Estados Unidos (314 trilhões litros/ano).
- ✓ Anualmente o país envia ao exterior cerca 112 trilhões de litros de água doce, o suficiente para abastecer uma 1,5 bilhões de pessoas. Os principais mercados da água virtual brasileira são a Europa e a Ásia, especialmente a China.
- ✓ Entre os principais produtos exportados pelo Brasil seis têm origem agrícola: soja, frango, carne bovina, farelo de soja, açúcar e café.
- ✓ No Brasil, assim como na média geral mundial, o consumo de água na agricultura é o mais extensivo dentro dos três grandes grupos de demandantes, chegando a representar 72% do consumo total de água. Os setores industrial e agropecuário correspondem a 2/3 do consumo de água no Brasil.



# Impacto humano



## Impacto Humano: Principais Mudanças no Ciclo Global

### 3 - Poluição da água de rios e aquíferos por efluentes agrícolas, industriais e domésticos



- ✓ Resíduos (fezes, urina) de humanos e de animais
- ✓ Uso de fertilizantes e agrotóxicos no campo
- ✓ Efluentes da agroindústria

Encarecem o tratamento e as vezes inviabilizam o uso

## 4 - Confinamento da água

- ✓ Cerca de 50% da água que escoa em rios é interceptado e armazenado em represas
- ✓ Represas e barragens: agricultura, hidrelétricas, cidades



Uso urbano (São Paulo)



Uso agrícola  
(Moçambique)



Hidroeletricidade  
(Usina Itaipu)



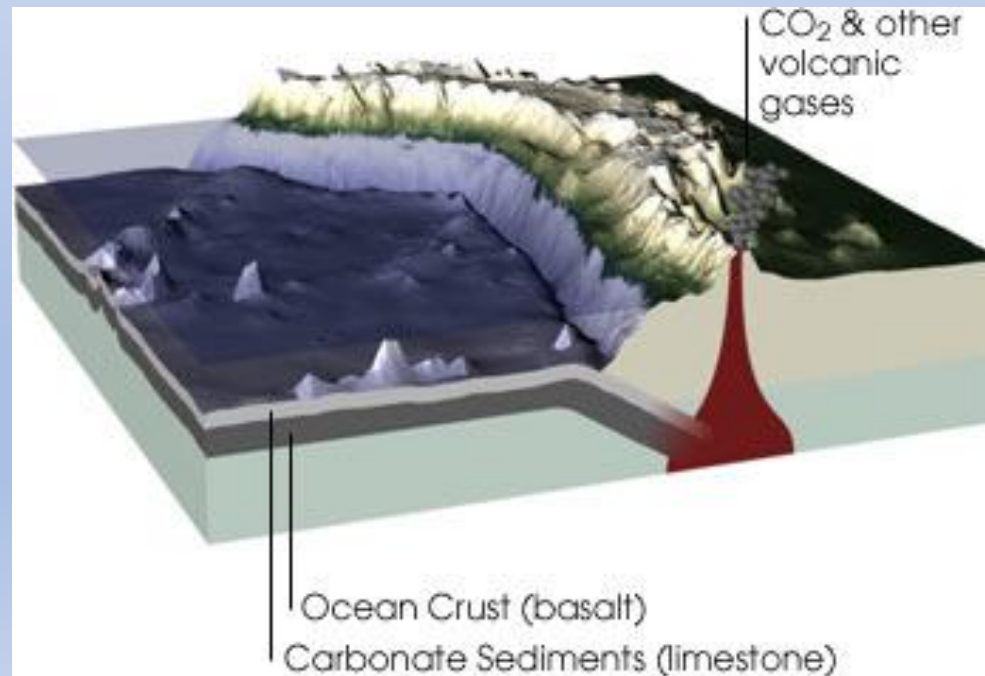
# CICLO DO CARBONO



- ✓ O carbono (C) é o quarto elemento mais abundante no Universo, depois do hidrogênio, hélio e oxigênio, e é fundamental para a vida.
- ✓ Existem basicamente duas formas de carbono, uma orgânica, presente nos organismos vivos e mortos, não decompostos, e outra inorgânica, presente nas rochas.
- ✓ No planeta Terra o carbono circula através dos oceanos, da atmosfera, da terra e do seu interior, num grande ciclo. Este ciclo pode ser dividido em dois tipos: o “ciclo lento” ou geológico, e o “ciclo rápido” ou biológico.

# CICLO GEOLÓGICO DO CARBONO

- ✓ Mais de 99% do carbono terrestre está contido na litosfera, sendo a maioria carbono inorgânico, armazenado em rochas sedimentares como as rochas calcárias. O carbono orgânico contido na litosfera está armazenado em depósitos de combustíveis fósseis.





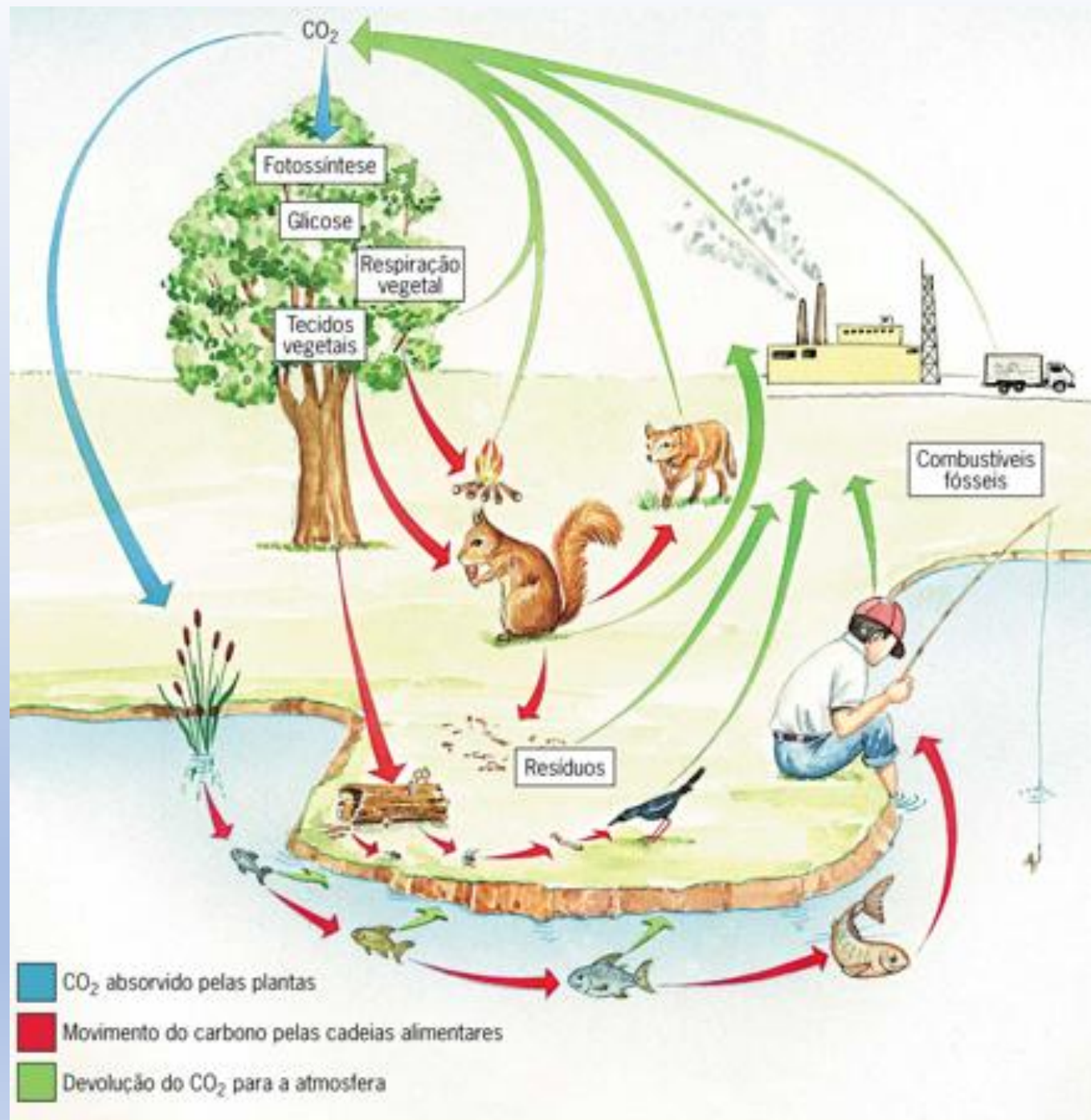
# CICLO DO CARBONO: *Geológico*



## ❖ Reservatórios de carbono

- ✓ Rochas da crosta terrestre - maior reservatório de carbono do planeta.
- ✓ Longos tempos de ciclagem, sendo a transferência de carbono considerada como insignificante.
- ✓ Depósitos fósseis de carvão mineral, petróleo e gás natural.
- ✓ Reservatórios de carbonato encontrado nos oceanos atua como um tampão entre os reservatórios atmosférico e do sedimento (O  $\text{CO}_2$  reage quimicamente com a molécula de água produzindo ácido carbônico que é ionizado em íons bicarbonato e carbonato)

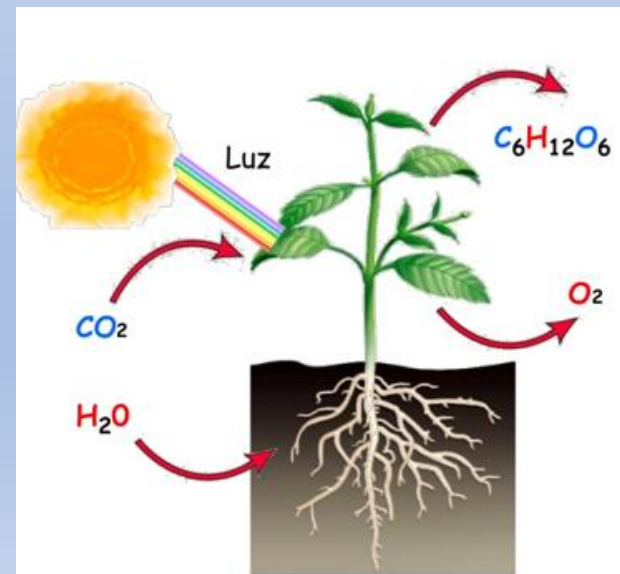
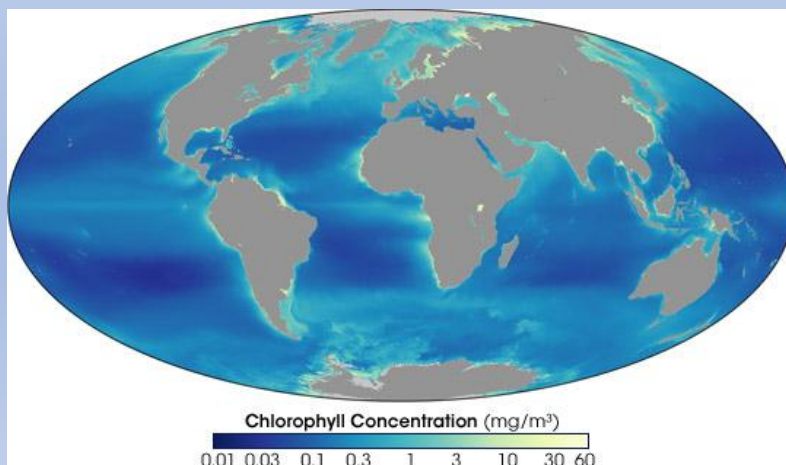
# CICLO BIOLÓGICO DO CARBONO



# CICLO DO CARBONO

- **Fixação de  $\text{CO}_2$**

- ✓ Oceanos apresentam uma produtividade inferior quando comparados aos ecossistemas terrestres, mas por ocuparem grande parte da superfície do planeta, são os que mais contribuem para a fixação do  $\text{CO}_2$  por organismos fotossintetizantes.
- ✓ O dióxido de carbono é removido da atmosfera principalmente pela fotossíntese das plantas terrestres e microrganismos marinhos, sendo devolvido por meio da respiração de organismos quimiorganotróficos





# Como o ser humano afeta o Ciclo do Carbono?



## Impacto Humano: Mudanças no Ciclo Global do carbono

1 - Mudança de uso da terra e decomposição da matéria orgânica do solo (emissão de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ )



2 - Consumo de combustíveis fósseis e decomposição de resíduos da economia humana (emissão de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ )

Principal implicação: elevação da temperatura média global

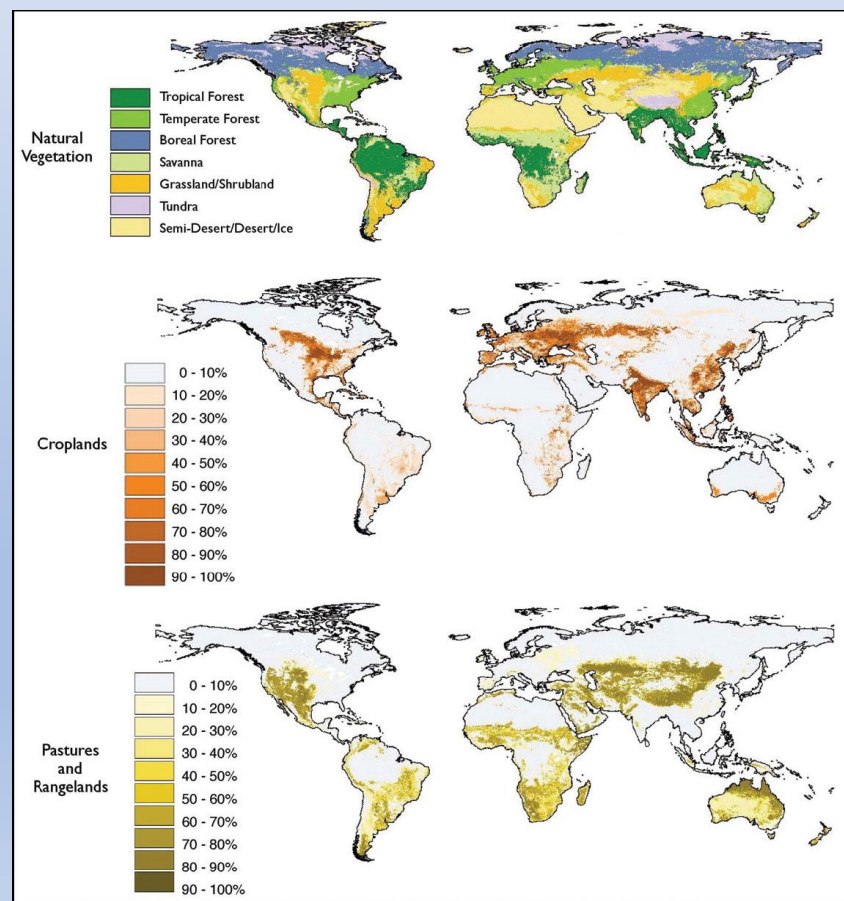


# Impacto Humano: Mudanças no Ciclo Global do carbono

## 1 - Mudança de uso da terra e perda da Matéria orgânica do solo.

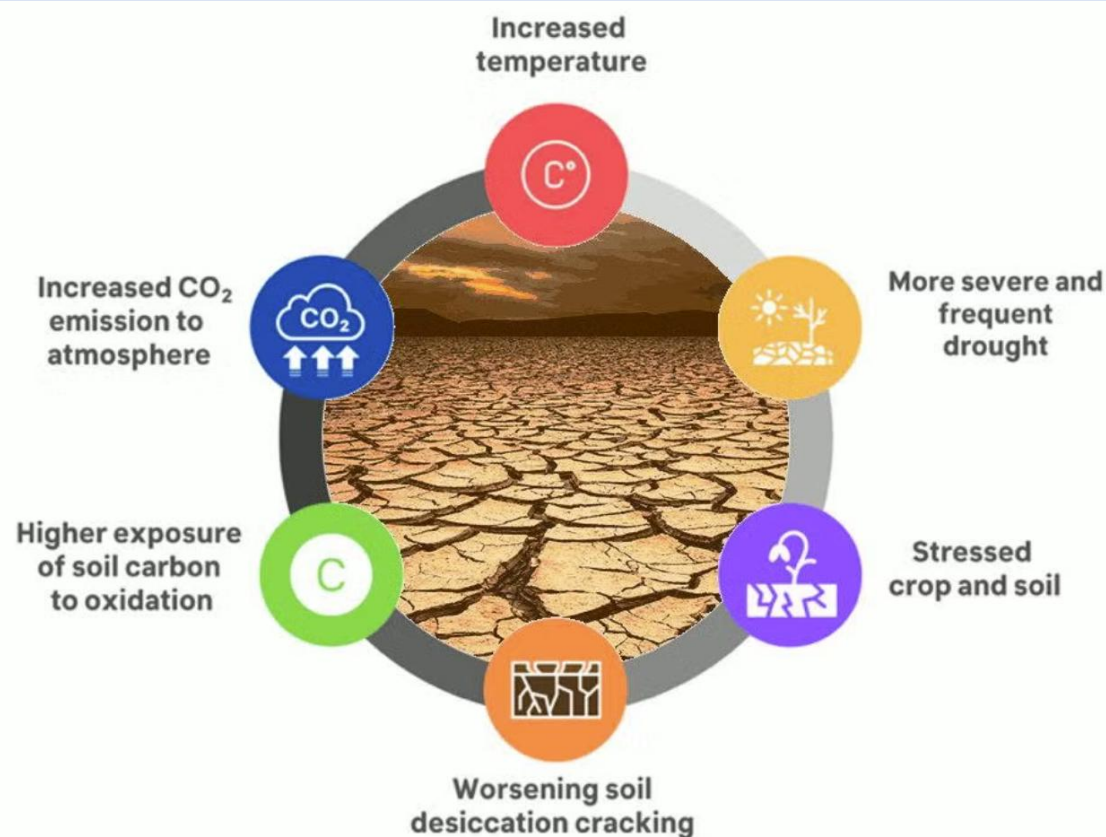
### Ocupação por pastagens/plantações

✓ Eliminação do carbono da vegetação para implantação de pastagens, plantações e sistemas urbanos

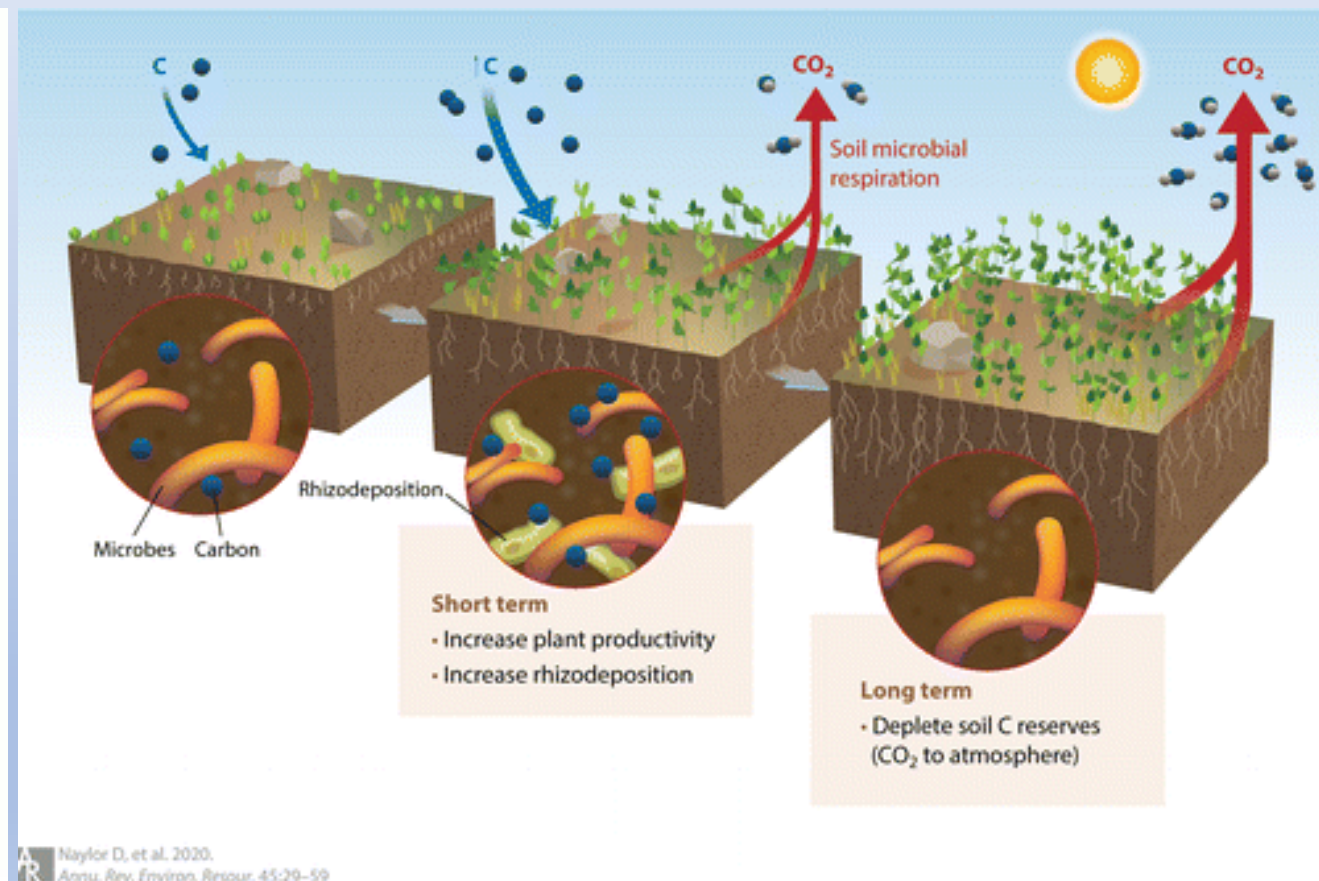


# Como o ser humano afeta o Ciclo do Carbono?

## Impacto Humano: Mudanças no Ciclo Global do carbono



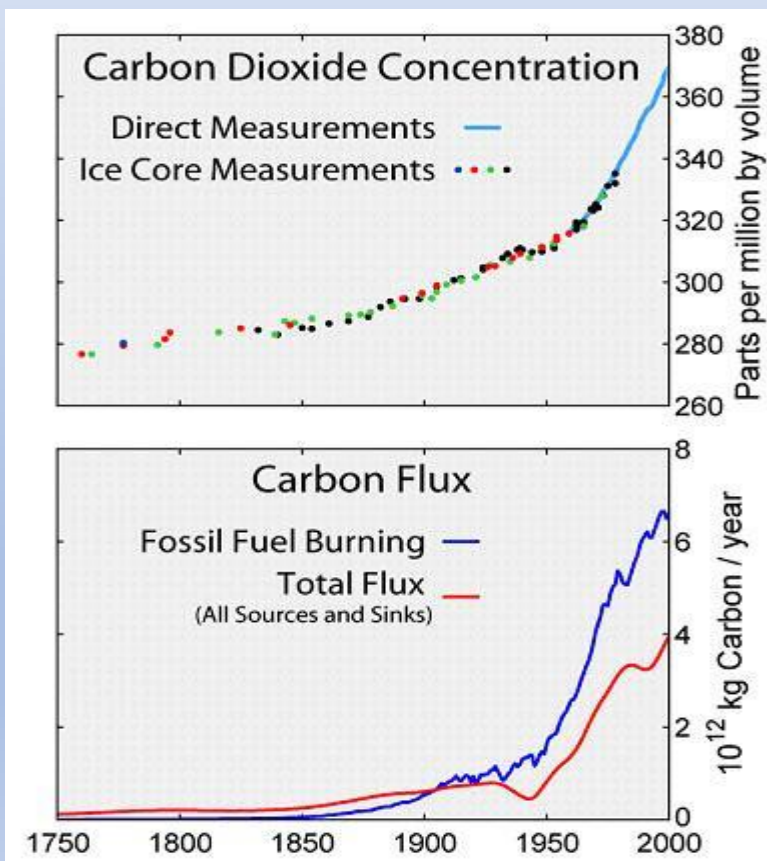
SECA



DESMATAMENTO

# Impacto humano

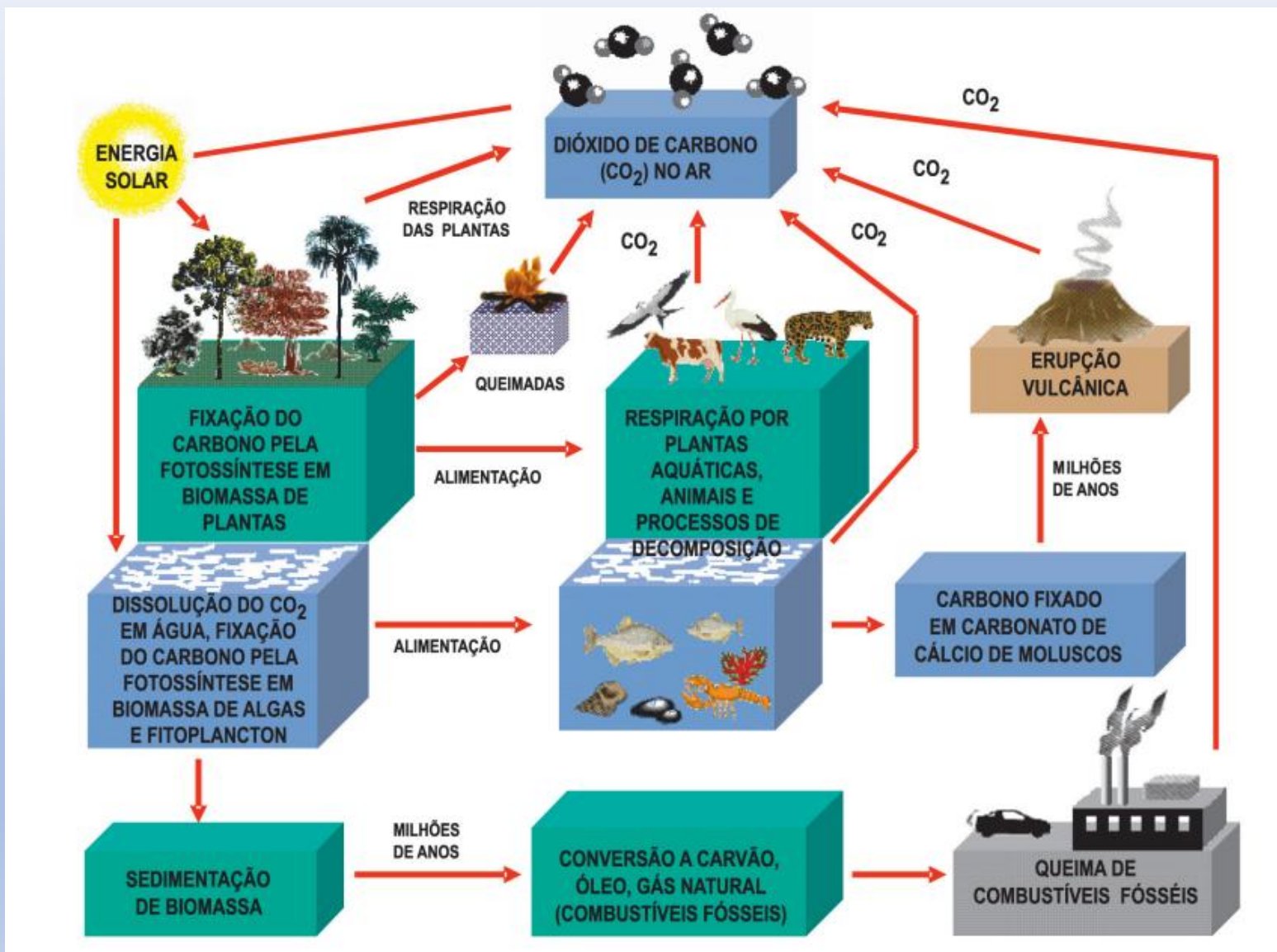
## 2 - Queima de carbono fóssil ✓ Liberação de estoques fósseis de carbono



Fonte: [www.sunkingsolarpv.com](http://www.sunkingsolarpv.com)



# CICLO DO CARBONO GLOBAL



# CICLO DO NITROGÊNIO

A atmosfera é composta por, aproximadamente, 78% de nitrogênio = é o **maior** reservatório (gasoso), seguido pela matéria orgânica no solo e nos oceanos. É um dos ciclos mais complexos, pois envolve várias etapas e várias formas químicas do nitrogênio.



**Atmosfera = principal  
reservatório**



Microrganismos e  
agentes físicos  
(relâmpagos)



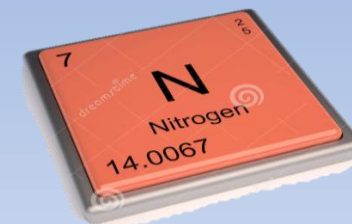
**Organismos**



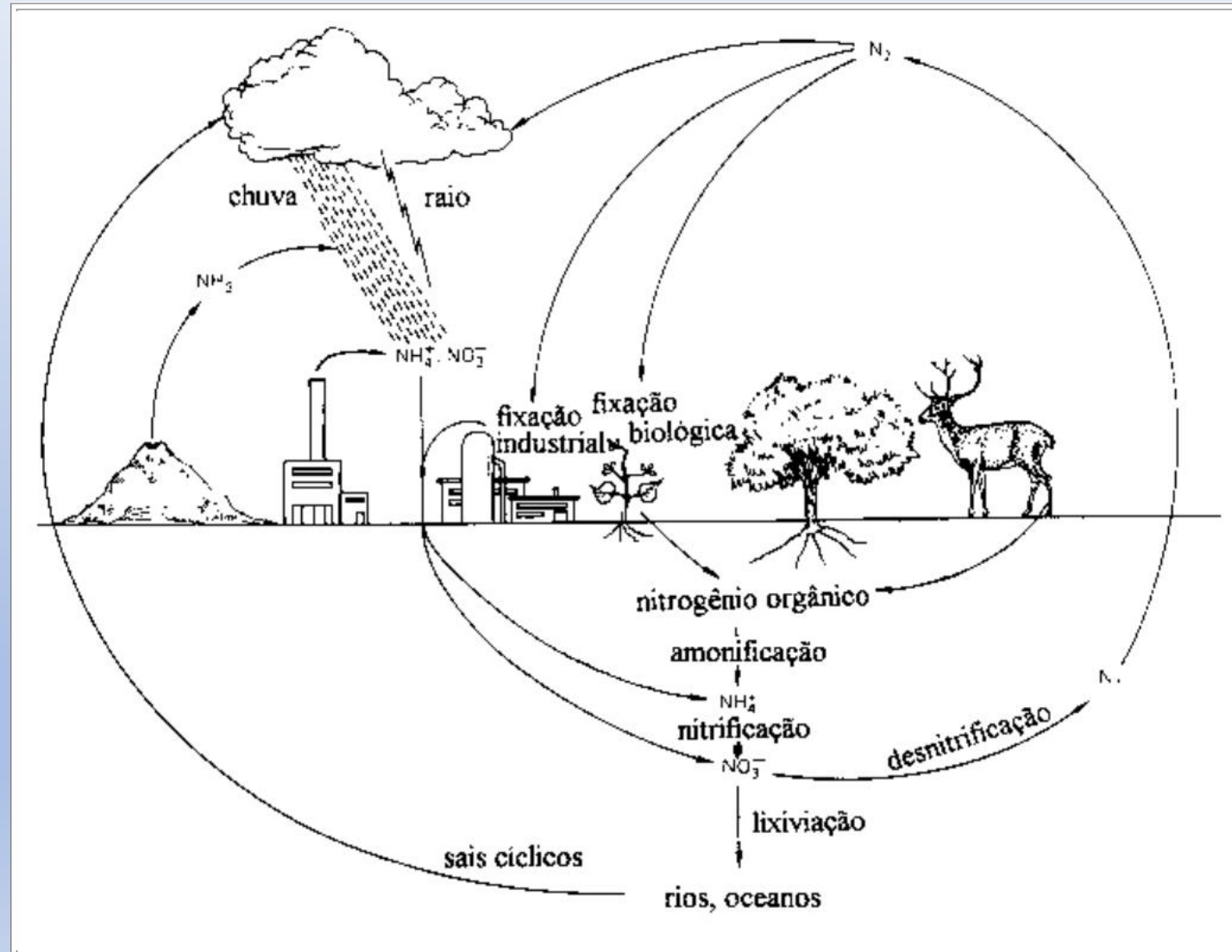
# IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO



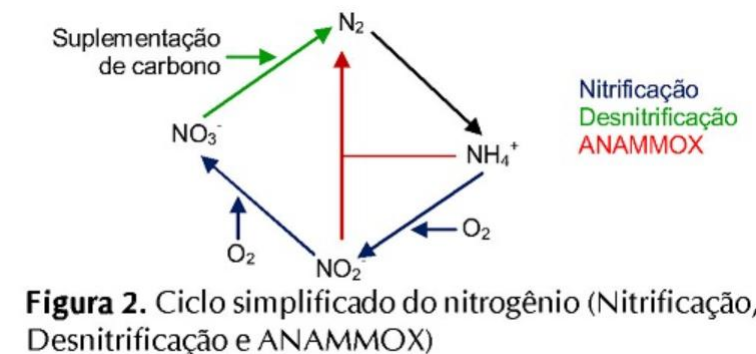
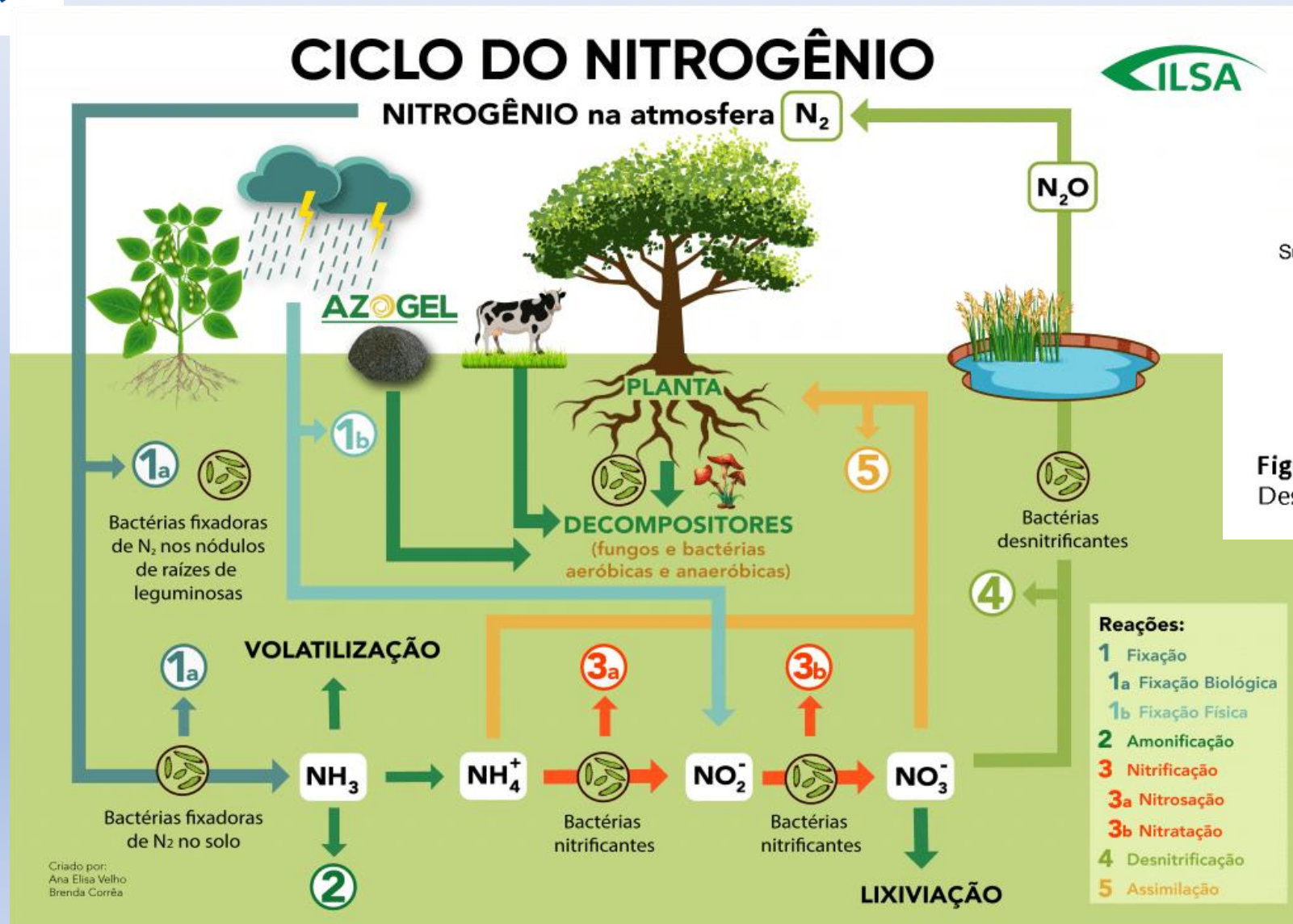
- ✓  $N_2$ : 78% da composição da atmosfera
- ✓ Compostos de nitrogênio: fundamentais para a vida (aminoácidos, proteínas em geral: tecidos musculares, hormônios, DNA, etc.)
- ✓ N: Macronutriente essencial para os seres vivos
- ✓ Aquecimento global: ênfase ao ciclo do carbono ( $CO_2$  e  $CH_4$ )
- ✓  $N_2O$ : óxido nitroso : gás de efeito estufa
- ✓ Contaminação da água, eutrofização, chuva ácida, formação de ozônio na troposfera (fertilizantes humanos).



# O ciclo do nitrogênio é composto por várias formas de fixação:



# Ciclo do nitrogênio





# Impacto Humano: Mudanças no Ciclo do Nitrogênio

1 - Fixação Industrial de nitrogênio (uso de fertilizantes)

2 - Queima de biomassa e combustíveis fósseis



**Principal implicação: contaminação da água e do solo, elevação da temperatura média global**



# Impacto Humano: Mudanças no Ciclo do Nitrogênio



## 1 - Fixação industrial de nitrogênio

- Fritz **Haber**: vencedor do premio Nobel de química em 1918. Síntese da amônia (NH<sub>3</sub>) a partir de hidrogênio (H<sub>2</sub>) e nitrogênio (N<sub>2</sub>).
- Carl **Bosch**: vencedor do prêmio Nobel da química em 1931: escala industrial na síntese de amônia.

Processo Haber-Bosch



Catalisadores, temperatura e pressão elevadas



- Uso alemão em explosivos da I e II Guerra Mundial

# 1 - Fixação industrial de nitrogênio

## Escoamento superficial e Lixiviação

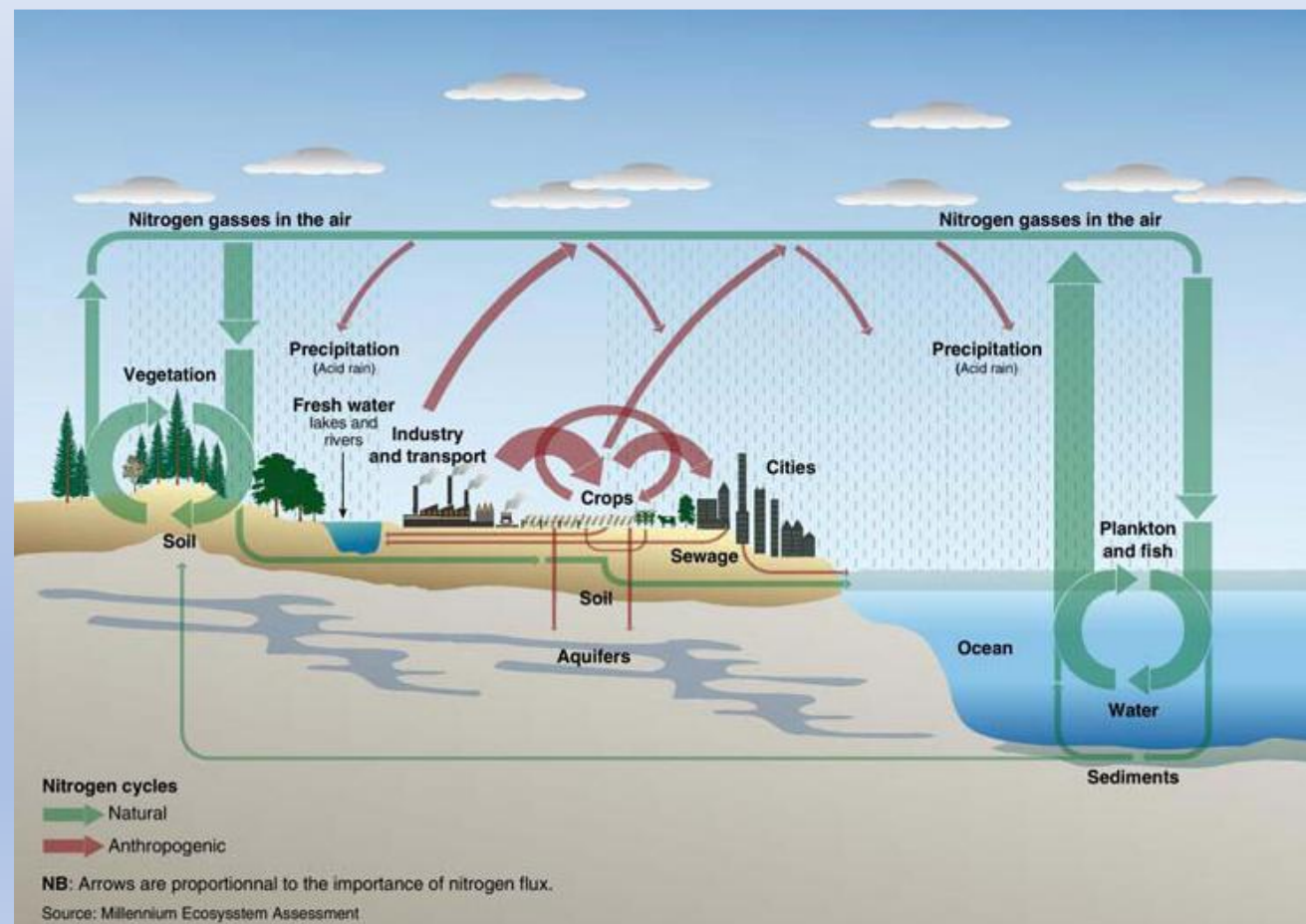
- Contaminação da água subterrânea com nitratos
- Eutrofização (proliferação de bactérias que consomem o oxigênio) - morte do ecossistema aquático



# Impacto humano

## 1 - Fixação industrial de nitrogênio

- Contaminação da água (mudança de composição e pH, afetando os recifes em escala global, eutrofização);
- Impacto no ciclo do carbono;
- Chuva ácida ( $\text{HNO}_3$ )





# Impacto humano



## 2 - Queima de biomassa e combustível fóssil

- NO<sub>x</sub>: gases tóxicos ao ser humano
- Terceiro gás em contribuição para o Efeito Estufa
- Óxido nitroso: molécula de efeito estufa 296 VEZES mais potente que o CO<sub>2</sub>
- Contribui para a destruição da camada de ozônio



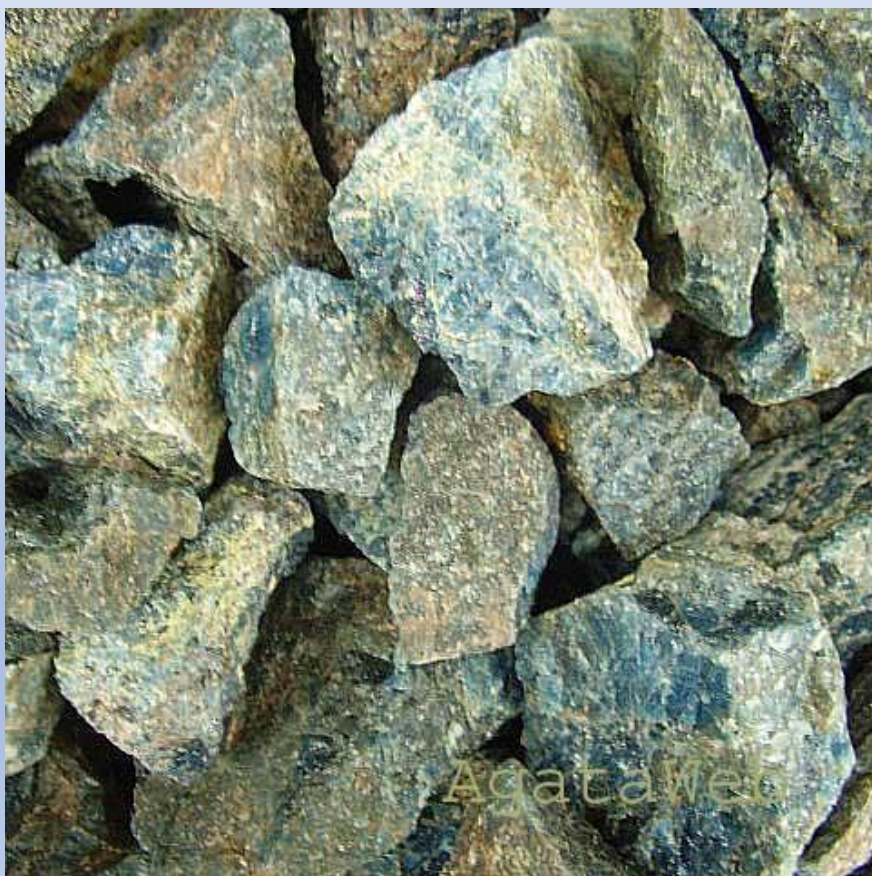


# CICLO DO FÓSFORO

- ✓ O fósforo também é um nutriente importante para todos seres vivos. Faz parte, por exemplo, do DNA e RNA e das moléculas energéticas, o ATP.
- ✓ Limita a produção das plantas em muitos *habitats* aquáticos.
- ✓ Influxos de fosforo nos rios e lagos, na forma de esgoto e escoamento superficial de agriculturas fertilizadas, podem estimular artificialmente a produção dos *habitats* aquáticos - perturbação do equilíbrio ecossistêmico

Ex: A poluição por detergentes portadores de fósforo foi uma grande contribuição para este problema até que produtos alternativos livres de fósforo fossem desenvolvidos.

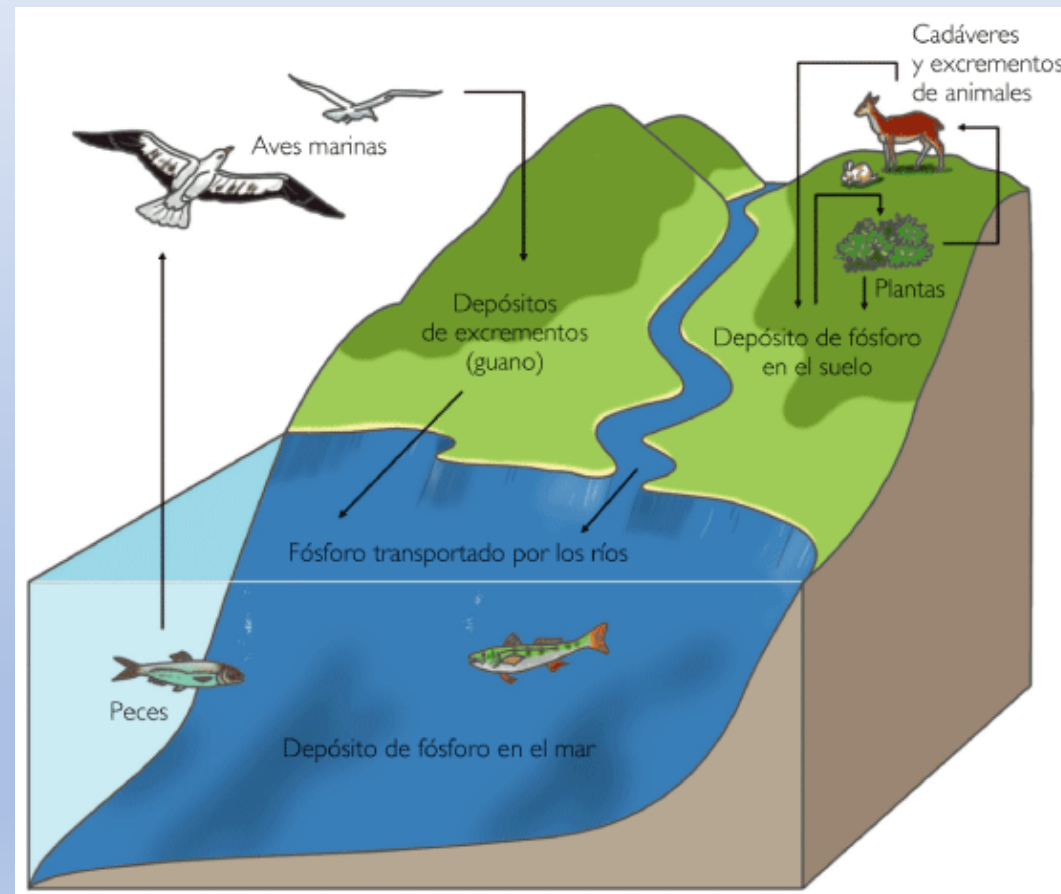
O grande estoque de fósforo não é o ar, mas os depósitos minerais de apatita formados em épocas geológicas passadas.



Mina de fosfato (apatita)



- As plantas obtêm fósforo do ambiente absorvendo os fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) dissolvidos na água e no solo.
- Os animais obtêm fosfato na água e nos alimentos. Esse fosfato teve origem pela decomposição das rochas.
- A decomposição da matéria orgânica devolve o fósforo ao solo e à água.





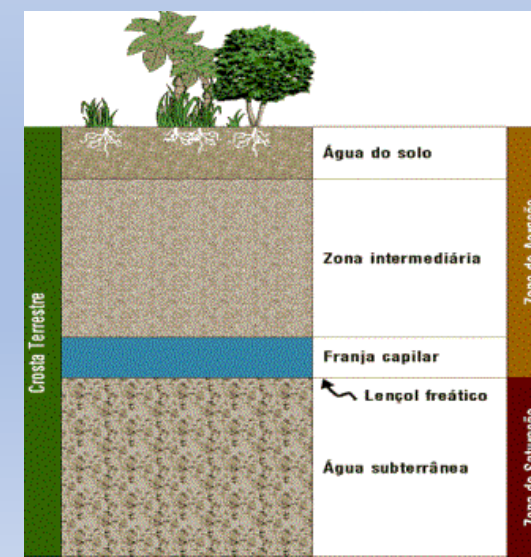
# Impacto humano



- ✓ Desde o século XX a humanidade quadriplicou o fluxo de fósforo no ambiente.
- ✓ Reservas de fosfatos são exploradas para produzir fertilizantes
- ✓ Fluxo de fósforo em sentido único:
  - Rochas - solo agrícola - rios, lagos e oceanos
- ✓ Por quanto tempo ainda teremos disponível depósitos de fosfato economicamente viáveis de serem minerados?

# CICLO DO ENXOFRE

- ✓ O enxofre é importante para a formação das proteínas.
- ✓ Três processos biogeoquímicos naturais liberam enxofre para a atmosfera: formação de borrifos do mar, respiração anaeróbica por bactérias redutoras de sulfato e atividade vulcânica.
- ✓ O enxofre apresenta um ciclo com dois reservatórios: um maior, nos sedimentos da **crosta terrestre** e outro, "menor", na **atmosfera**.



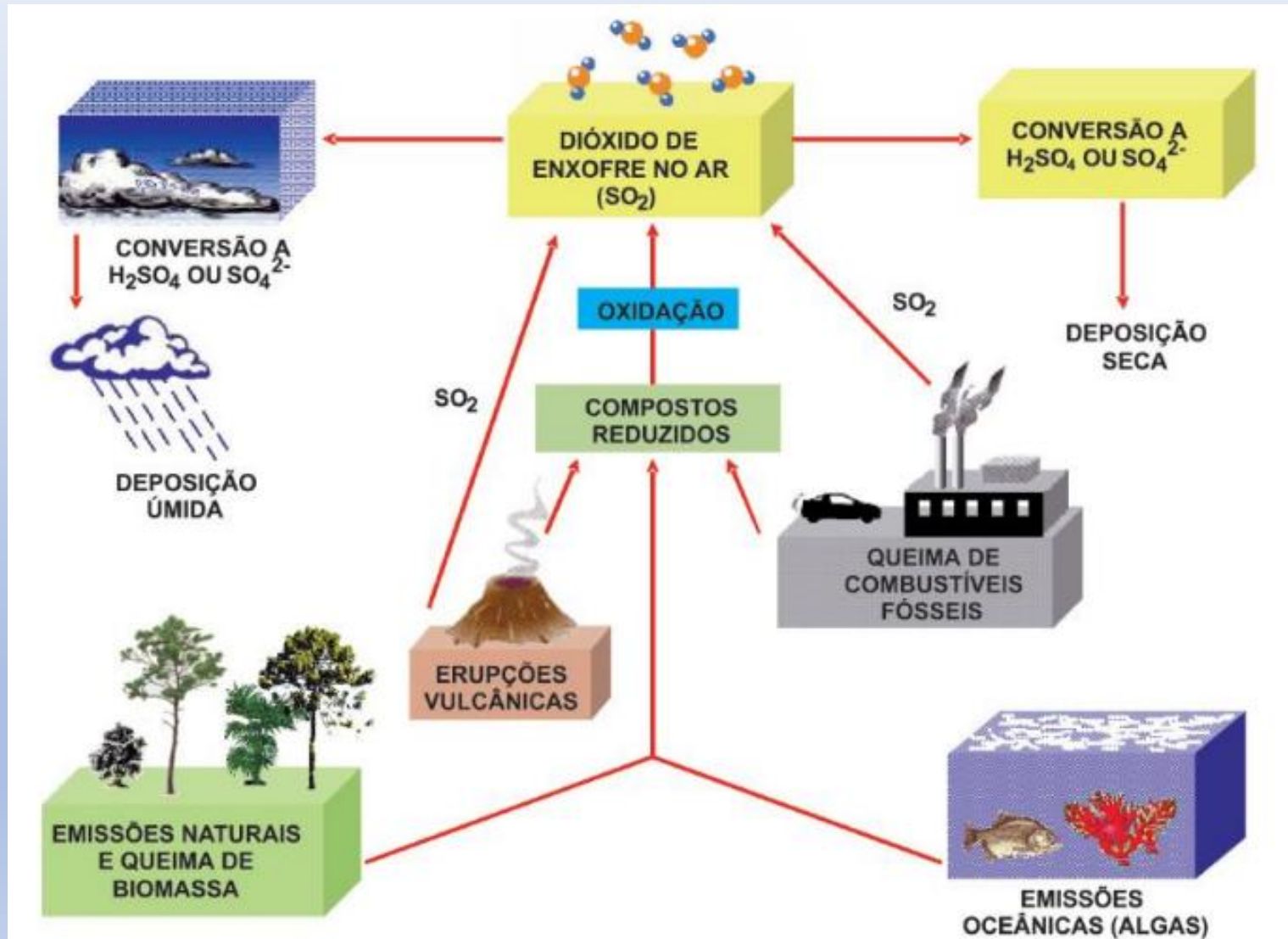


- ✓ Nos sedimentos, o enxofre permanece armazenado na forma de sulfato, que fica dissolvido na água do solo e assume a forma iônica de sulfato ( $\text{SO}_4^{--}$ ), sendo assim, facilmente absorvido pelas raízes dos vegetais.
- ✓ Na atmosfera, o enxofre existe combinado com o oxigênio formando:
  - o  $\text{SO}_2$  (**dióxido de enxofre** - cerca de 75%).
  - O  $\text{SO}_3$  (**anidrido sulfídrico**)
  - O  $\text{H}_2\text{S}$  (**gás sulfídrico**) - característico pelo seu cheiro de "ovo podre" - tem vida curta na atmosfera, apenas de algumas horas, sendo logo transformado em  $\text{SO}_2$ .



- ✓ Esses óxidos de enxofre ( $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$ ) reagem com a água na atmosfera formam as chuvas ácidas incorporando-se aos solos e corpos d'água, sendo então transformado em íons de sulfato ( $\text{SO}_4^{--}$ )
- ✓ O único retorno natural do enxofre para a atmosfera é através da ação de decompositores que produzem o gás sulfídrico.

# CICLO DO ENXOFRE





# Impacto humano

- ✓ Queima de combustíveis: petróleo, carvão e biomassa
- ✓ Uso de fertilizantes (sulfato de amônio), suplementos e produtos de higiene
- ✓ Tratamento das águas (uso de sulfato de alumínio)
- ✓ Chuva ácida – Indústria e comb. fósseis

EMISSÃO NATURAIS - 40 a 85 Tg/ANO

EMISSÃO ANTROPOGÊNICAS - 73 a 80 Tg/ANO



**“Ninguém comete erro maior do que não fazer nada  
porque só é possível fazer um pouco.”  
(Edmund Burke)**

**“Nós não salvaremos tudo que gostaríamos,  
mas salvaremos muito mais do que se nunca tivéssemos tentado!”  
(Sir P. S. - Fundador do WWF)**