



Programa de Pós-Graduação em Energia - PPGE

Instituto de Energia e Ambiente - IEE

Universidade de São Paulo - USP

Prof. Célio Bermann

PEN 5007: Fundamentos Ambientais dos Processos Energéticos

2ª aula - ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DA BIOSFERA

- . Formas de energia; fontes de energia e suas origens
- . os grandes ciclos biogeoquímicos da água, carbono, nitrogênio e enxôfre
- . produtividade dos ecossistemas

Energia – conversões

Formas de energia; Fontes de energia

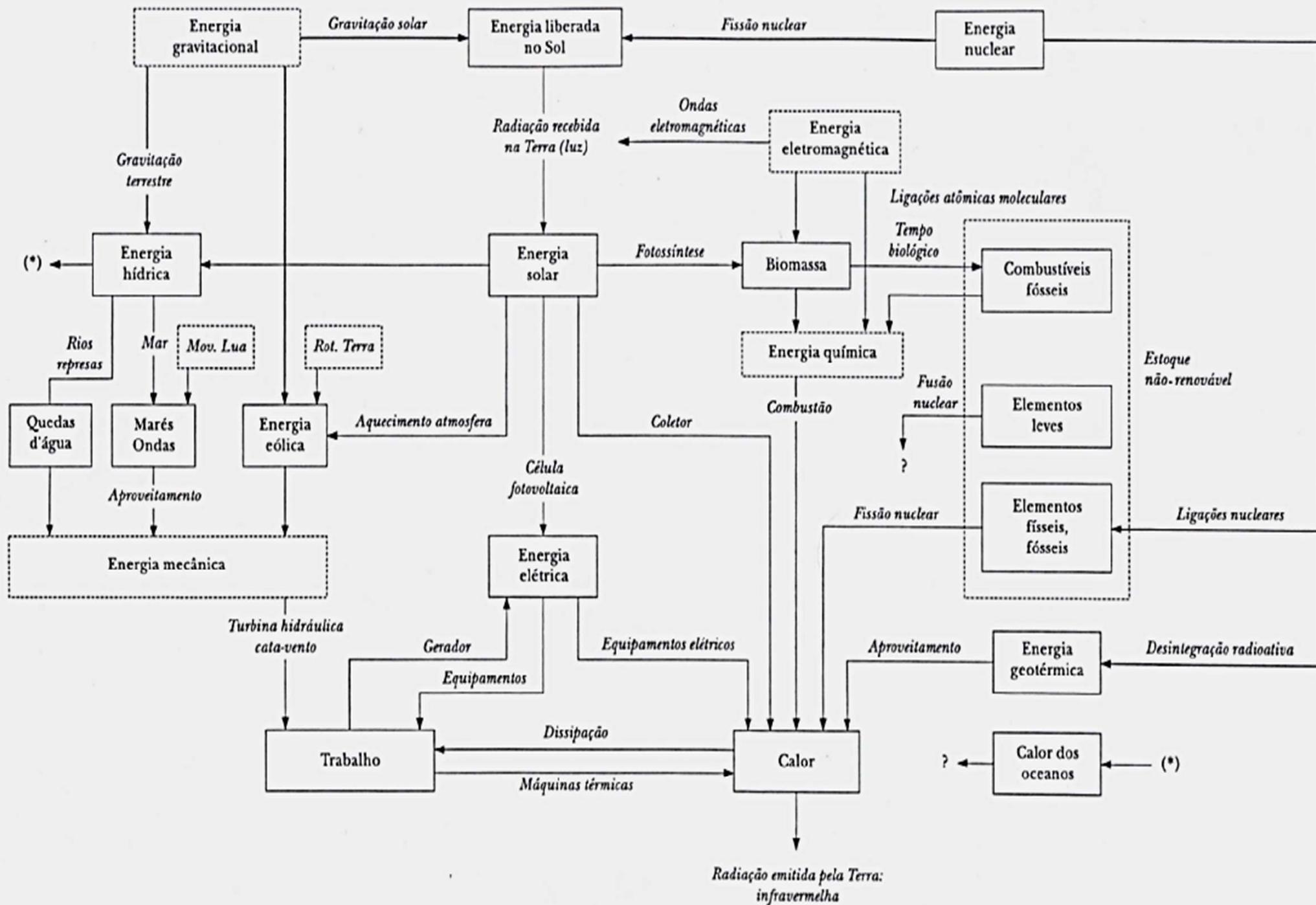


Figura 2.1 Origem das fontes de energia.
 Fonte: La Rovere et al., 1985.

As Formas de energia

1. A energia das ondas eletromagnéticas

A energia do Sol é gerada pela fusão termonuclear de elementos leves (Hidrogênio), produzindo Deutério e Hélio.

Nessa reação, uma parte da massa de partículas que interagem é transformada em energia, segundo a fórmula

$$E = m.c^2$$

A energia liberada pelo Sol por meio de ondas eletromagnéticas, irradiada para todos os lados, implica numa enorme perda de massa diária, da ordem de trilhões de toneladas. Uma pequena parte dessa energia chega à Terra, especialmente sob luz visível.

biomassa – combustíveis fósseis – energia hídrica – energia eólica

As Fontes de energia

a) Energia solar

A energia solar é originada da fusão termonuclear de elementos leves no Sol e transportada para a Terra sob a forma de radiação eletromagnética.

A radiação eletromagnética solar provoca a síntese dos materiais orgânicos que constituem a **biomassa** e cuja decomposição, há milhões de anos, deu origem aos **combustíveis fósseis**.

Ela pode ser convertida diretamente em *energia elétrica* por meio de células fotovoltaicas, ou ser utilizada para o *aquecimento de água* ou *secagem de grãos* através de painéis e coletores solares.

As Fontes de energia

b) Energia da biomassa

A energia da biomassa é originada da fotossíntese (vegetais) e constituída de todos os seres vivos, inclusive animais e seus dejetos orgânicos.

A biomassa armazena **energia química** por meio das forças de coesão dos átomos de natureza eletromagnética.

A energia é liberada pela reação de combustão do Carbono e Hidrogênio na presença de Oxigênio.

Ela pode ser obtida via exploração direta da natureza (lenha das florestas naturais) ou produzida pelas culturas energéticas (álcool, florestas plantadas, óleos vegetais), ou pela decomposição de dejetos (biogás).

As Fontes de energia

c) Combustíveis fósseis

São substâncias originadas da decomposição de materiais orgânicos (biomassa), durante um longo período de tempo (tempo geológico = milhões de anos).

- **Petróleo**
- **Gás Natural**
- **Carvão Mineral**

Assim como a biomassa, estas substâncias também armazenam **energia química** por meio das forças de coesão dos átomos.

A energia é liberada pela reação do Carbono e Hidrogênio na presença do Oxigênio (combustão)

As Formas de energia

2. A energia química

Energia armazenada nos combustíveis, devido às forças de coesão dos átomos nas moléculas que o constituem.

A combustão é uma reação química onde átomos de Carbono ou de Hidrogênio vão ligar-se ao Oxigênio liberando energia térmica.

As Formas de energia

3. A energia dos núcleos atômicos

Energia armazenada nos materiais devido às forças de coesão (atração) entre prótons e nêutrons dentro dos núcleos dos átomos.

Exemplos de reações nucleares com liberação de energia:
fusão e fissão dos núcleos

As Fontes de energia

d) A energia nuclear

Os “combustíveis” nucleares são materiais constituídos de certos átomos com núcleos pesados de alta probabilidade de fissionar-se em átomos mais leves, liberando grande quantidade de energia.

URÂNIO

Eles armazenam energia através das forças nucleares.

A energia é liberada quando os núcleos são atingidos por nêutrons provenientes de outros núcleos.

OBS: A tecnologia nuclear para gerar energia ainda está em desenvolvimento e poderá fornecer grandes quantidades de energia no futuro, através da utilização de núcleos leves e abundantes na natureza.



(3,0%) (enriquecimento)

o núcleo dos átomos pesados e nêutrons.

o meio dos núcleos por nêutrons.

As Formas de energia

4. A energia potencial gravitacional

A força de atração da gravidade terrestre é responsável pelas quedas d'água: **energia hídrica**.

O movimento de rotação da Terra, a atração gravitacional da Terra sobre a massa da atmosfera que a envolve, e a energia solar, são responsáveis pela energia dos ventos: **energia eólica**.

Forças de atração gravitacional mútua entre a Terra e a Lua: **energia das marés**.

As Fontes de energia

e) Energia hídrica

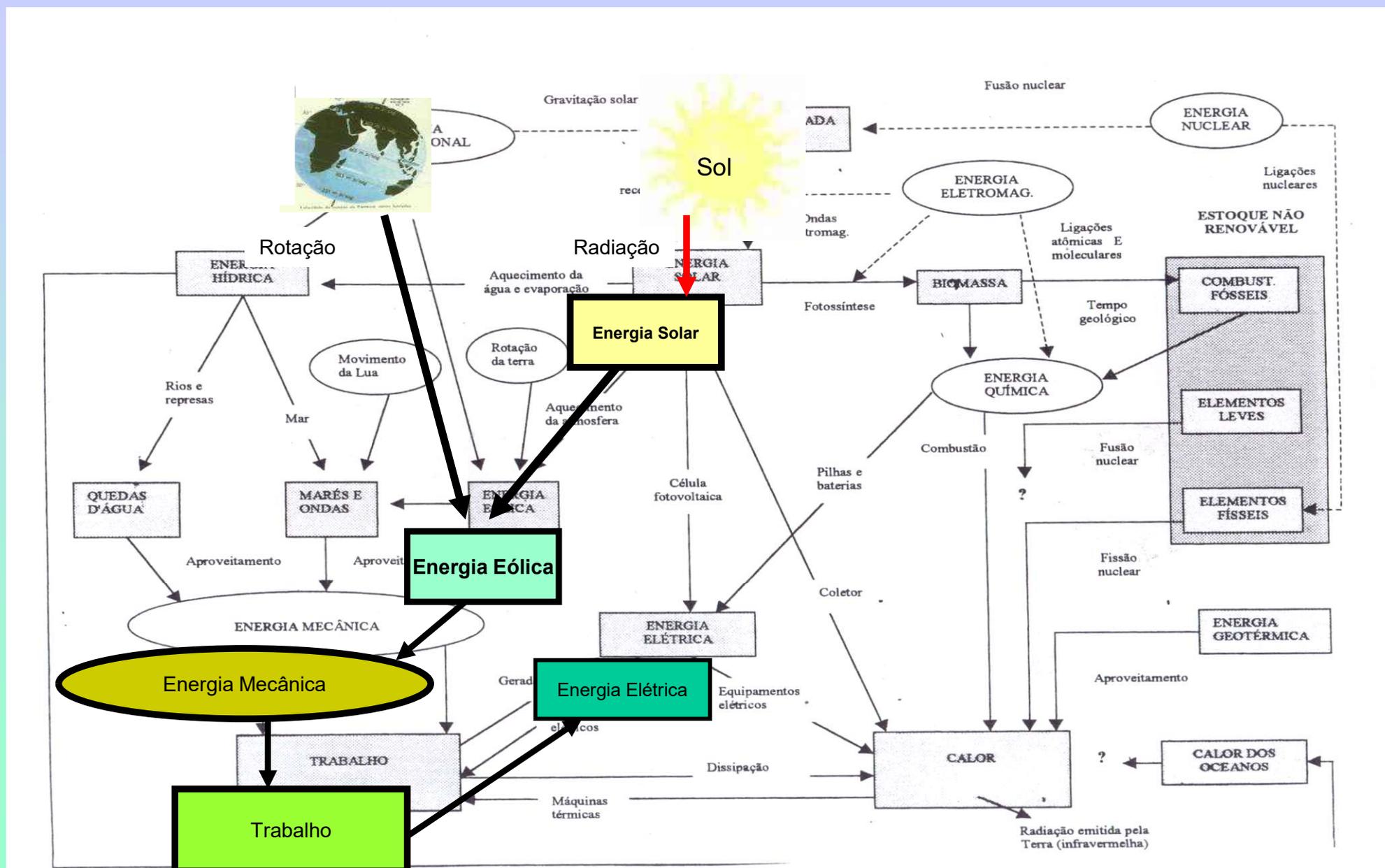
A energia hídrica é originada da atração gravitacional da Terra sobre os corpos na sua vizinhança.

A água é utilizada como fluido e a energia a ser obtida é decorrente da altura da queda d'água e da vazão.

É uma fonte de energia realimentada pelo ciclo de evaporação-condensação da água causado pela energia solar.

f) Energia eólica

A energia eólica é originada pelo deslocamento do ar (ventos) na atmosfera próxima à superfície da Terra, devido a diferenças de pressão (centros de alta e de baixa), provocadas pelo aquecimento diferenciado do ar pela energia solar e também pelo movimento de rotação da Terra.



As Fontes de energia

g) Energia das marés

Energia das marés, decorrente do movimento de revolução da Lua em torno da Terra, atraindo gravitacionalmente a massa de água dos oceanos, fazendo variar a altura da superfície do mar.

h) Energia dos oceanos

1- Energia das ondas, provocada por efeitos combinados de movimentos do mar e dos ventos que se atiram com a superfície dos oceanos.

2- Energia térmica, devido à diferença de temperatura entre a água da superfície aquecida pela energia solar e as águas mais profundas dos oceanos.

As Fontes de energia

i) Energia geotérmica

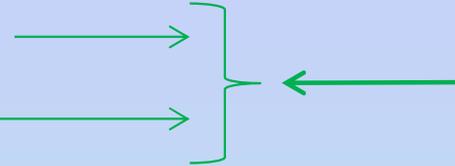
A energia geotérmica é originada da alta temperatura do núcleo da Terra de onde provém o magma dos vulcões, e também as fontes de águas quentes naturais.

Esta energia é alimentada pela desintegração radioativa de núcleos atômicos instáveis no interior da Terra.

Quadro-Síntese

As Formas de energia:

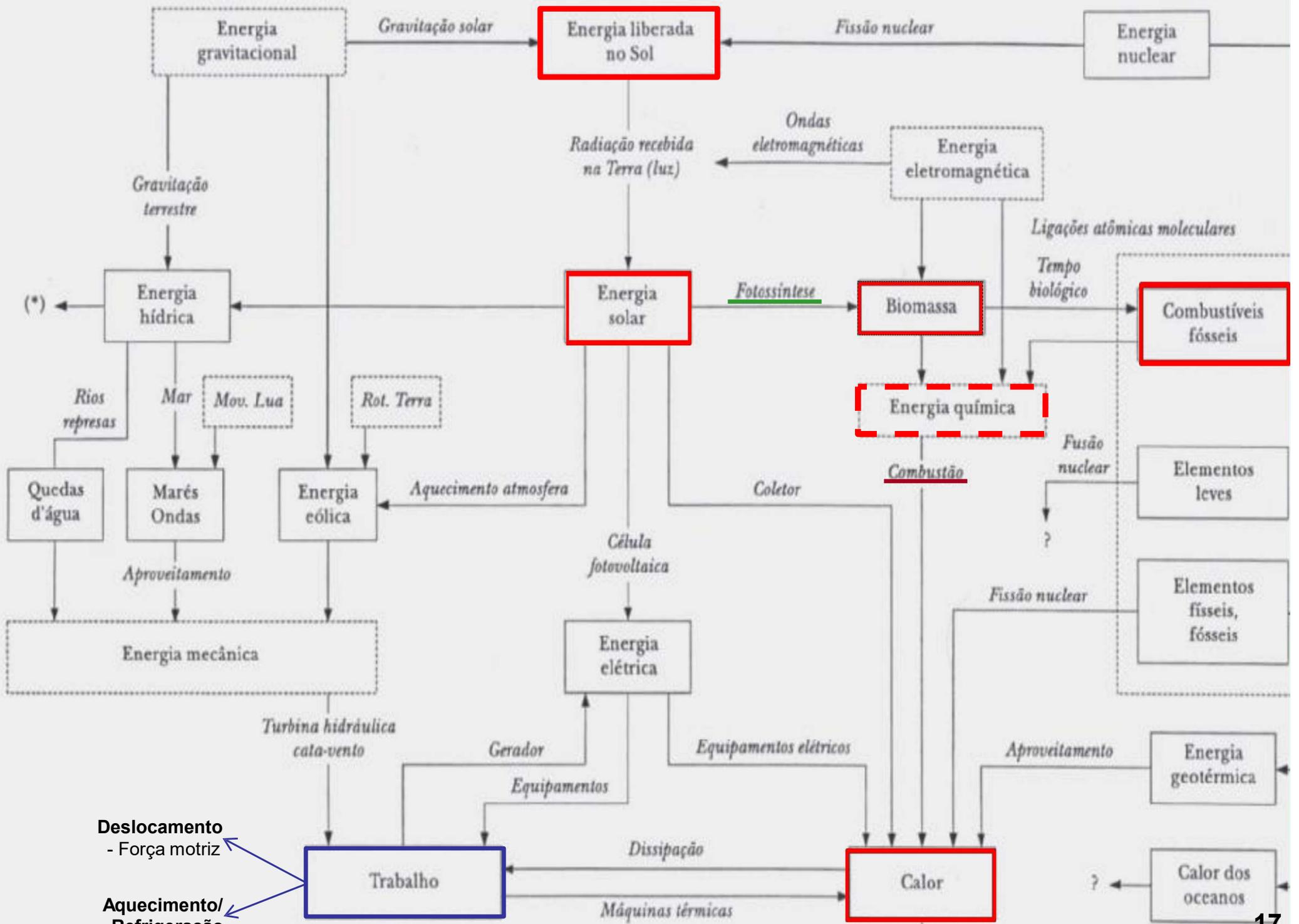
- A energia das ondas eletromagnéticas
- A energia química
- A energia dos núcleos atômicos
- A energia potencial gravitacional

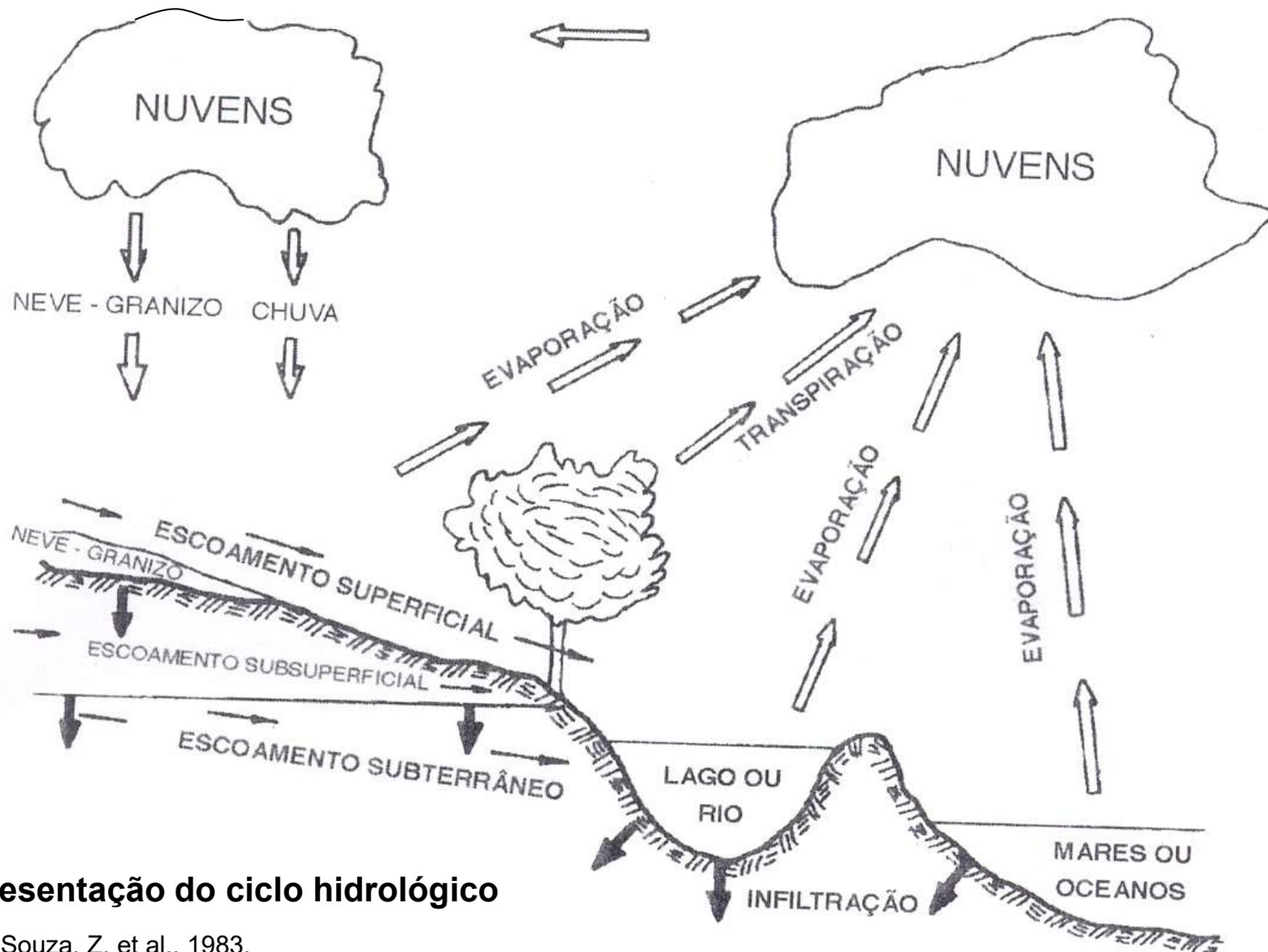


As Fontes de energia:

- Energia solar
- Energia da biomassa
- Combustíveis Fósseis petróleo
- Energia nuclear
- Energia hídrica
- Energia eólica
- Energia das marés e oceanos
- Energia geotérmica







Representação do ciclo hidrológico

Fonte: Souza, Z. et al., 1983.

ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DA BIOSFERA

Recursos de Água Doce e Retiradas

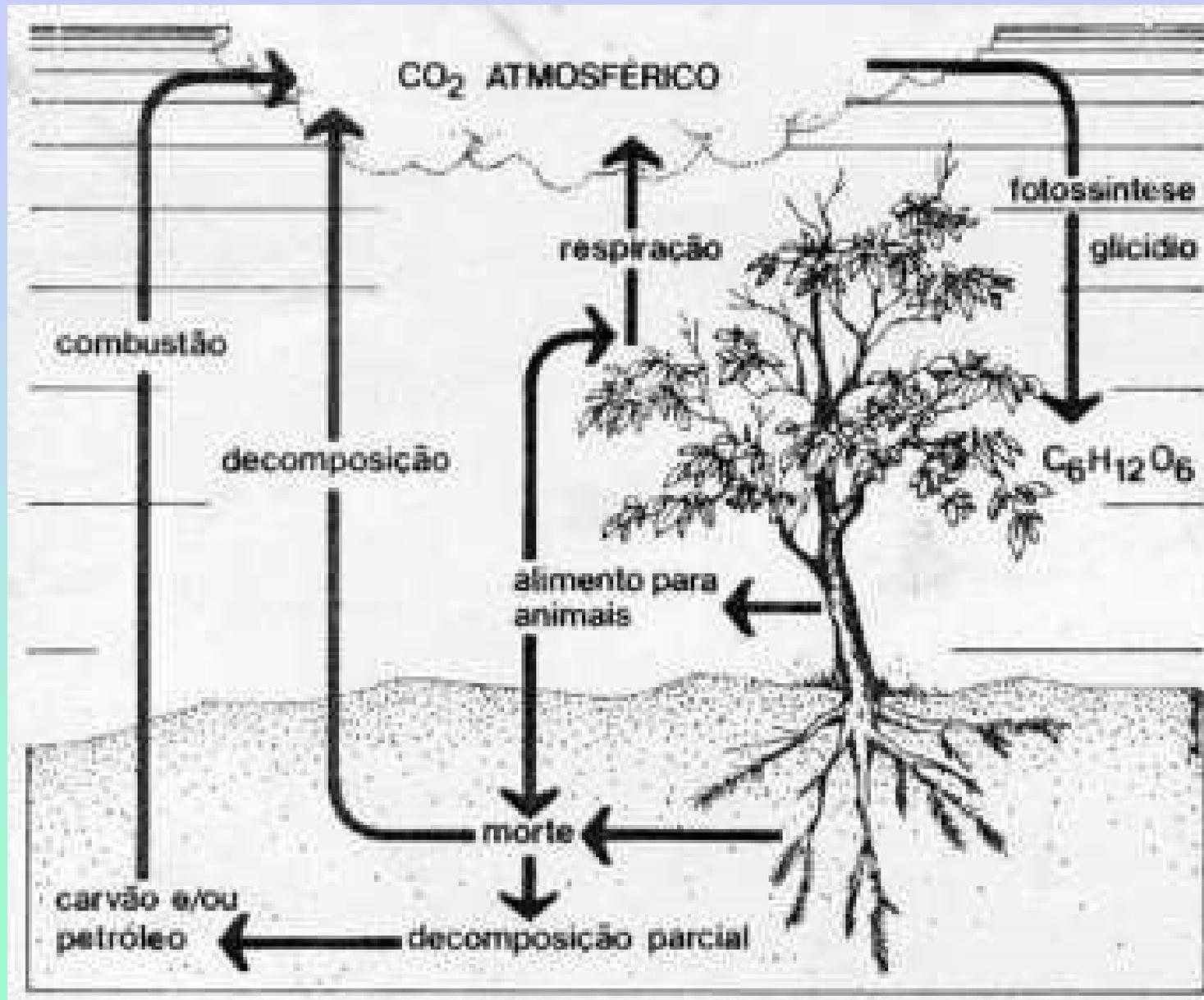
Fonte: WRI 2000-2001

	Recursos Médios Anuais		Retiradas Anuais			Retiradas Setoriais (porcentagem)		
	Total (km ³)	Per capita (m ³)	Total (km ³)	Porcentagem dos rec. internos	Per capita (m ³)	Residencial	Indústria	Agricultura
Austrália	352,0	18.638	15,06	1	839	12	6	70
Bangladesh	105,0	813	14,64	14	134	12	2	86
China	2812,4	2.201	525,46	19	439	5	18	77
India	1260,6	1.244	500,00	40	588	5	3	92
Japão	430,0	3.393	91,40	21	735	19	17	64
França	180,0	3.047	40,67	23	704	15	73	12
Itália	160,7	2.804	47,88	30	840	14	33	53
Espanha	111,8	2.821	35,52	32	897	13	18	68
Iran	128,5	1.898	70,03	55	1165	6	2	92
Argélia	13,9	442	4,50	32	180	25	15	60
Egito	1,8	26	55,10	3061	920	6	8	86
África do Sul	44,8	1.110	13,30	30	391	17	11	72
Canadá	2274,0	87.971	45,10	2	1623	11	68	7
EUA	2460,0	8.838	468,62	19	1844	11	44	40
México	409,0	4.136	77,81	19	812	17	5	78
Brasil	5410,0	31.049	54,07	1	359	21	10	61
Peru	1746,0	68.039	18,97	1	849	7	7	86
MUNDO	42655,0	7.045	3760,00	9	664	9	19	67

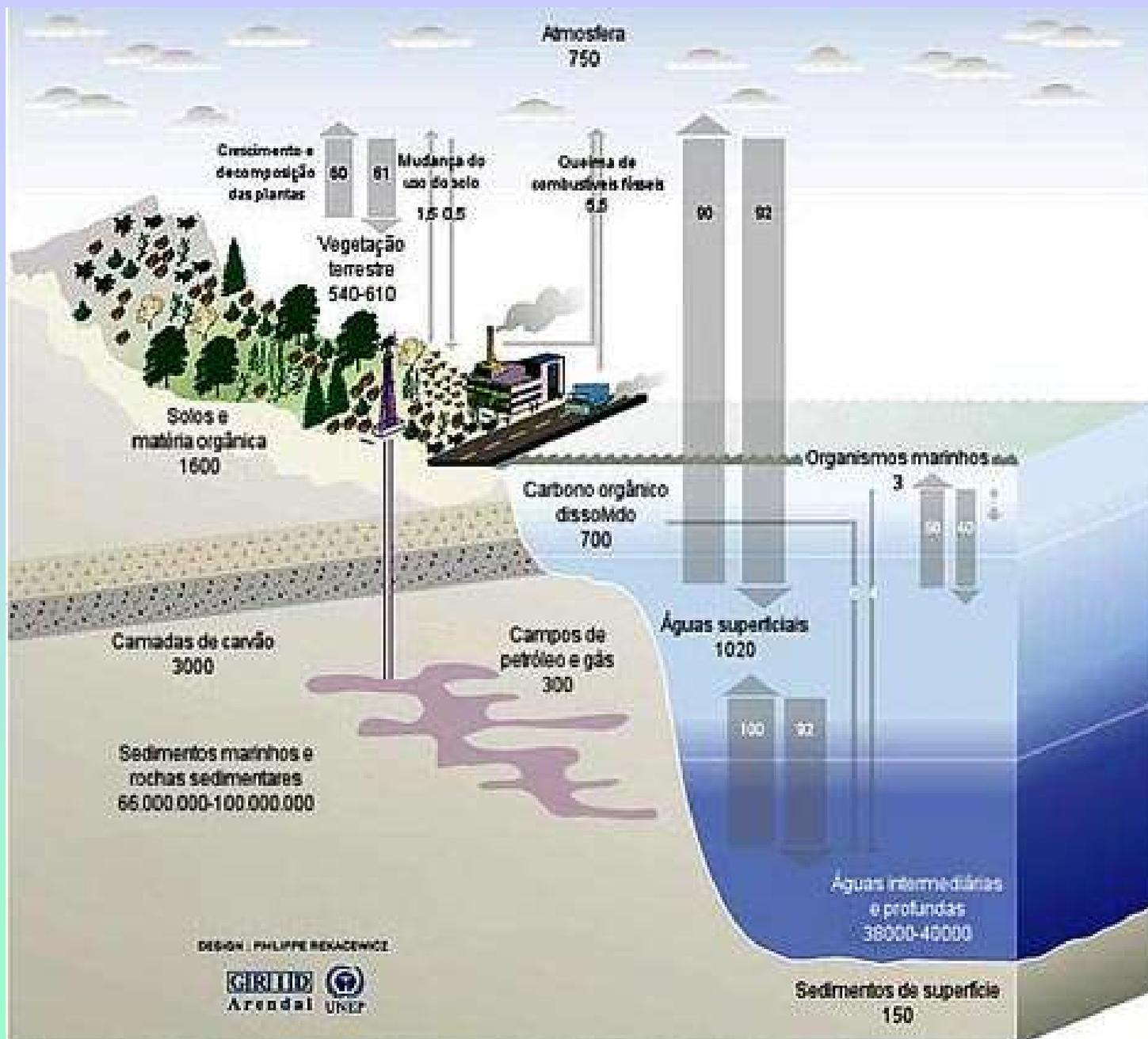
Tabela 19 – Disponibilidade hídrica social e demandas por estado no Brasil (Rebouças, 1994)

Estados	Potencial hídrico* (km ³ /ano)	População habitantes**	Disponibilidade hídrica social (m ³ /hab/ano)	Densidade população (hab/km ²)	Utilização *** total (m ³ /hab/ano)	Nível de utilização 1991
Rondônia	150,2	1.229.306	115.538	5,81	44	0,03
Acre	154,0	483.593	351.123	3,02	95	0,02
Amazonas	1.848,3	2.389.279	773.000	1,50	80	0,00
Roraima	372,3	247.131	1.506.488	1,21	92	0,00
Pará	1.124,7	5.510.849	204.491	4,43	46	0,02
Amapá	196,0	379.459	516.525	2,33	69	0,01
Tocantins 1	122,8	1.048.642	116.952	3,66		
Maranhão	84,7	5.22.183	16.226	15,89	61	0,35
Piauí	24,8	2.673.085	9.185	10,92	101	1,05
Ceará	15,5	6.809.290	2.279	46,42	259	10,63
R. G. do Norte	4,3	2.558.660	1.654	49,15	207	11,62
Paraíba	4,6	3.305.616	1.394	59,58	172	12,00
Pernambuco	9,4	7.399.071	1.270	75,98	268	20,30
Alagoas	4,4	2.633.251	1.692	97,53	159	9,10
Sergipe	2,6	1.624.020	1.625	73,97	161	5,70
Bahia	35,9	12.541.675	2.872	22,60	173	5,71
M. Gerais	193,9	16.672.613	11.611	28,34	262	2,12
E. Santo	18,8	2.802.707	6.714	61,25	223	3,10
R. Janeiro	29,6	13.406.308	2.189	305,35	224	9,68
São Paulo	91,9	34.119.110	2.209	137,38	373	12,00
Paraná	113,4	9.003.804	12.600	43,92	189	1,41
Sta. Catarina	62,0	4.875.244	12.653	51,38	366	2,68
R. G. do Sul	190,0	9.634.688	19.792	34,31	1.015	4,90
M. G. do Sul	69,7	1.927.834	36.684	5,42	174	0,44
M. Grosso	522,3	2.235.832	237.409	2,62	89	0,03
Goiás	283,9	4.514.967	63.089	12,81	177	0,25
D. Federal	2,8	1.821.946	1.555	303,85	150	8,56
BRASIL	5.610,0	157.070.163	35.732	18,37	273	0,71

FONTES: *DNAEE, 1985, 1 SRH/MMA, ** Censo IBGE, 1996, *** Rebouças, 1994,



Ciclo do Carbono



Fonte: Center for climatic research, Institute for environmental studies, university of Wisconsin at Madison, Okanagan university college in Canada, Department of Geography; World Watch, November-December 1998; Climate change 1995. The science of climate change, contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1998. Modificado pelo CEPAC-PUCRS, 2007.

Ciclo do Carbono (em Gt)

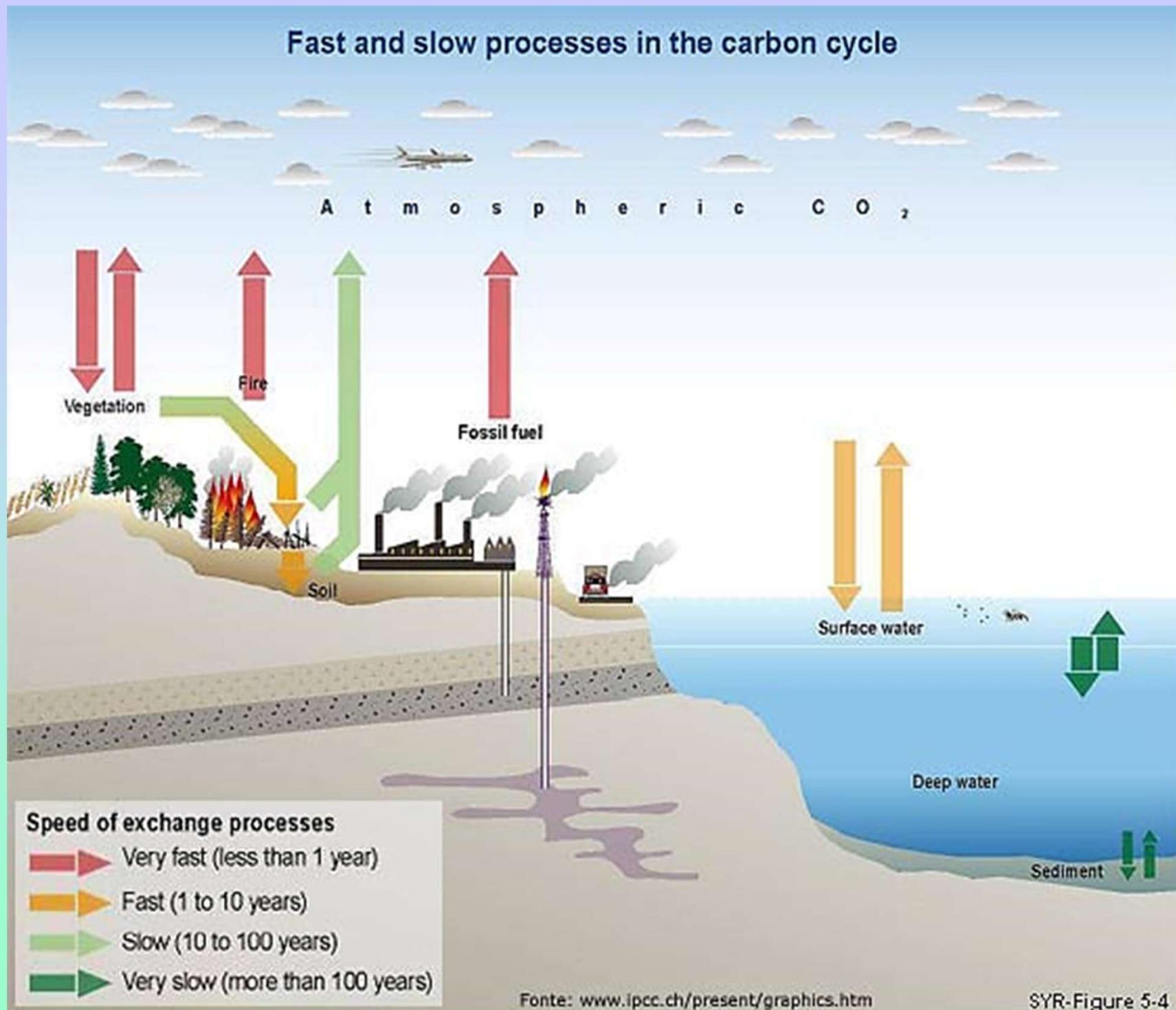
A maior parte do carbono da Terra está em compostos encontrados em sedimentos e em rochas sedimentares. Comparativamente pouco está na atmosfera.

	Bilhões de toneladas métricas (ou Giga toneladas métricas)
Sedimentos sob as águas e rochas sedimentares	80.000.000
Água oceânica, conchas e organismos	40.000
Combustível fóssil (petróleo, gás e carvão)	4.000
Material orgânico no solo	1.500
Atmosfera	825
Plantas terrestres	580

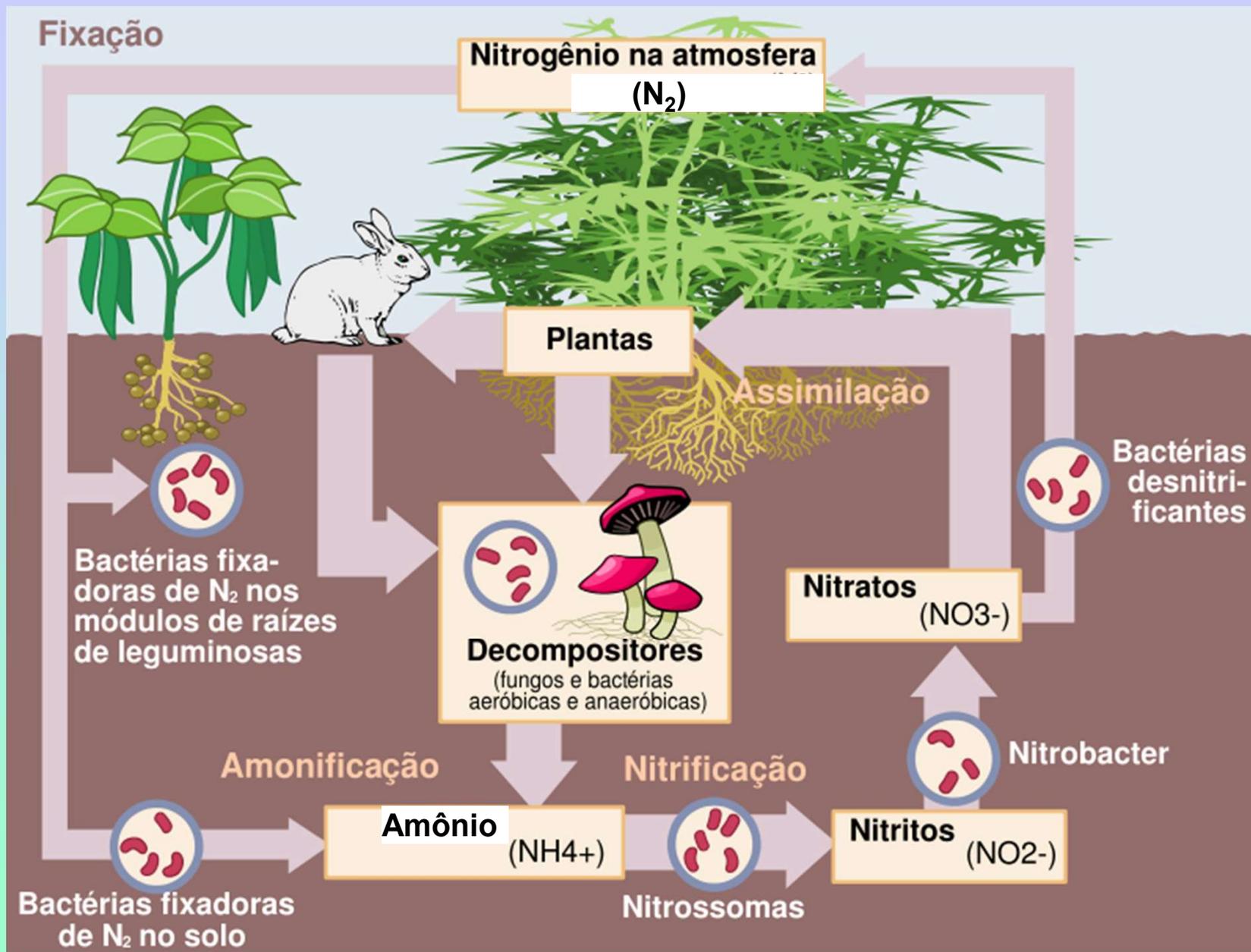
Fonte: Dados adaptados de Science 290:291-295,2000.

Ciclo do Carbono

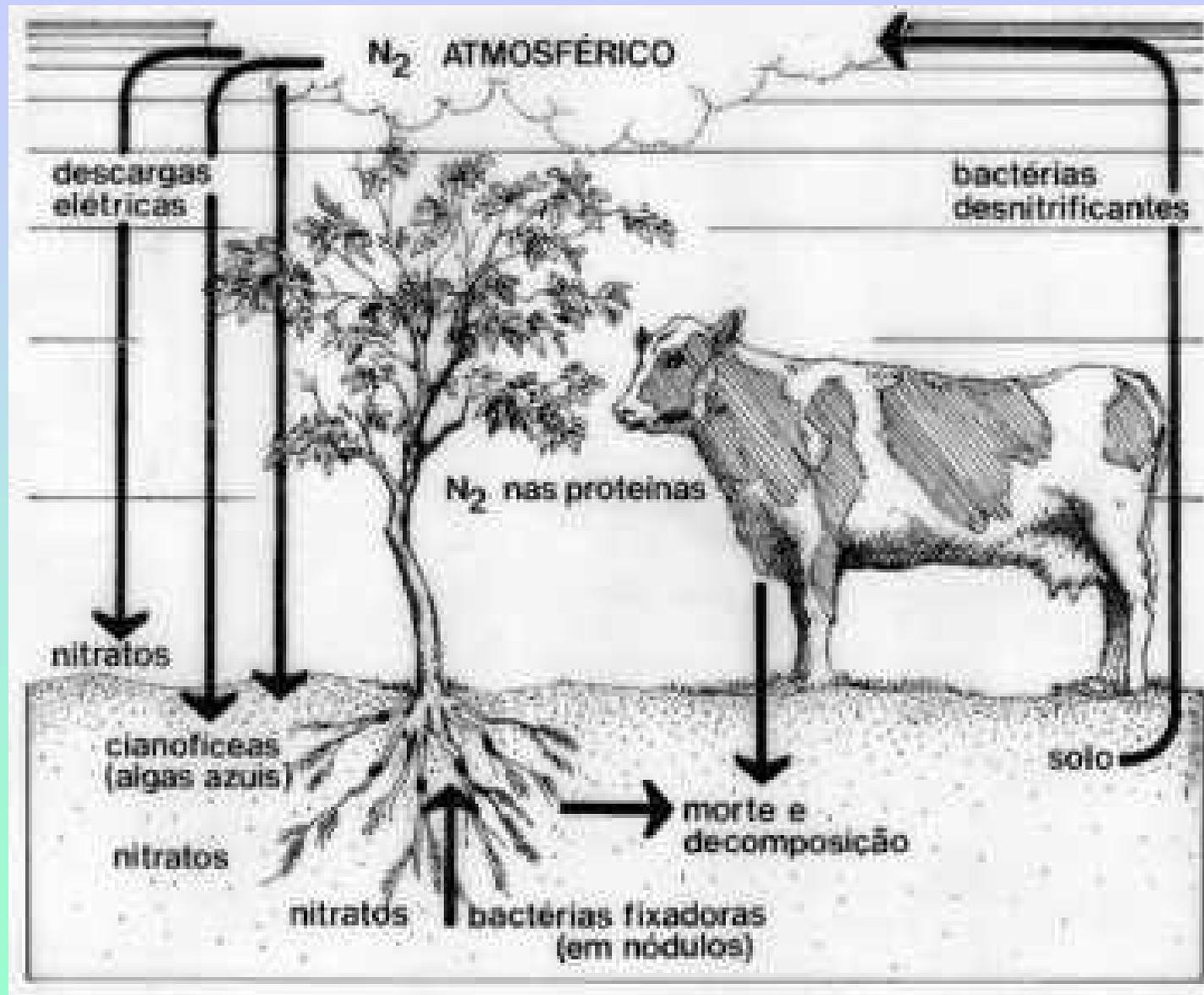
Fast and slow processes in the carbon cycle



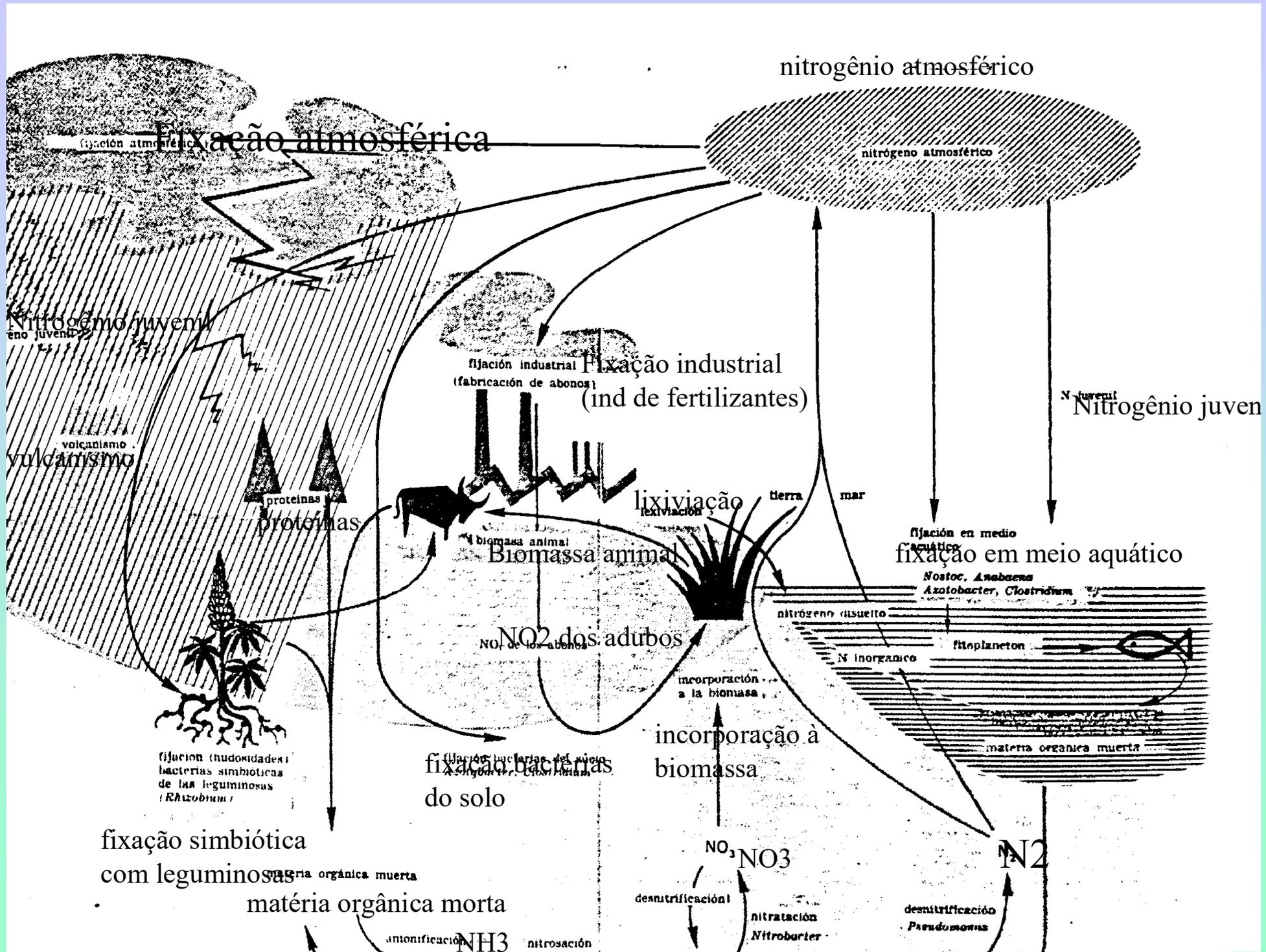
Ciclo do Carbono



Ciclo do Nitrogênio



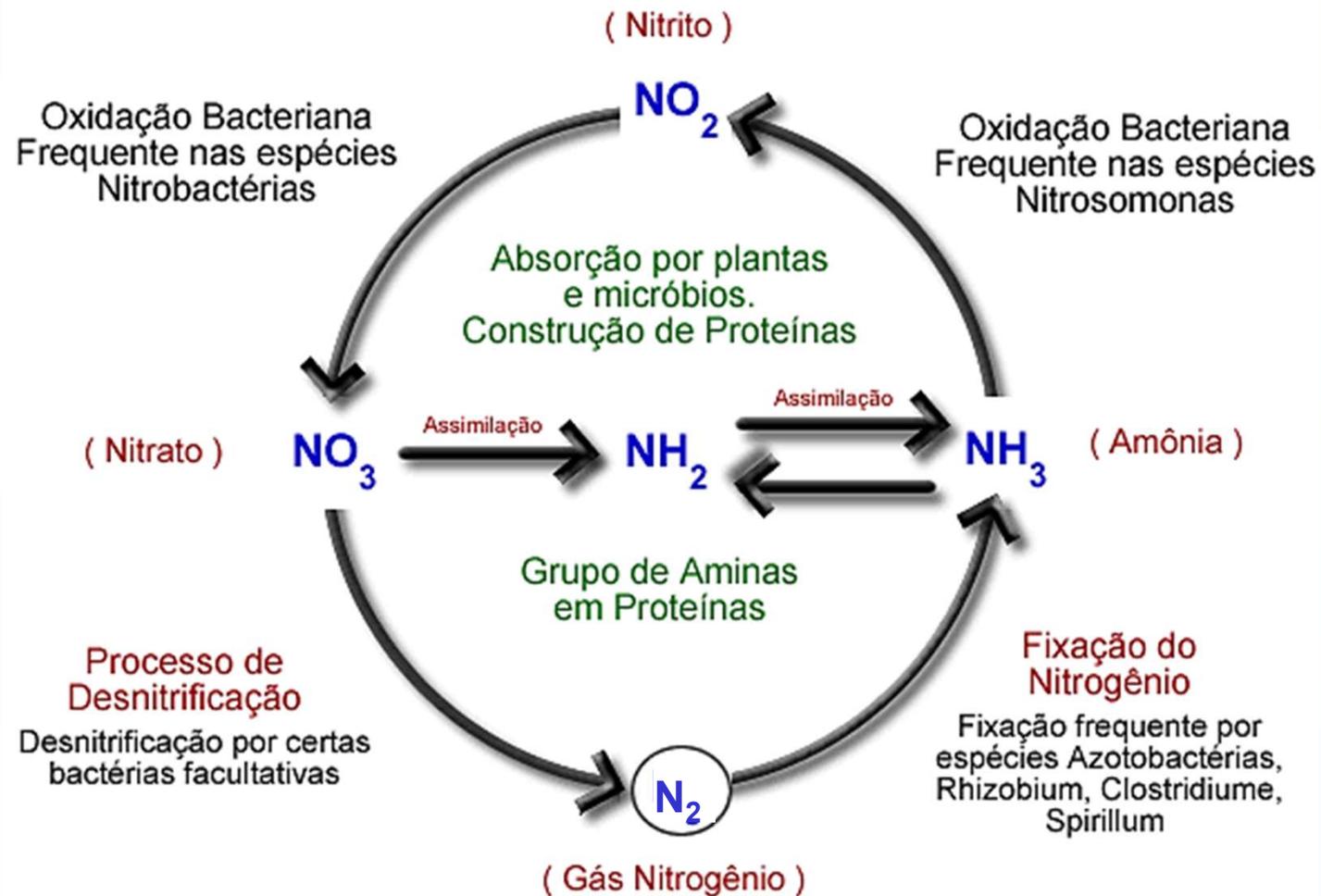
Ciclo do Nitrogênio



Ciclo do Nitrogênio

CICLO DO NITROGÊNIO

O Processo de Nitrificação



Ciclo do Nitrogênio

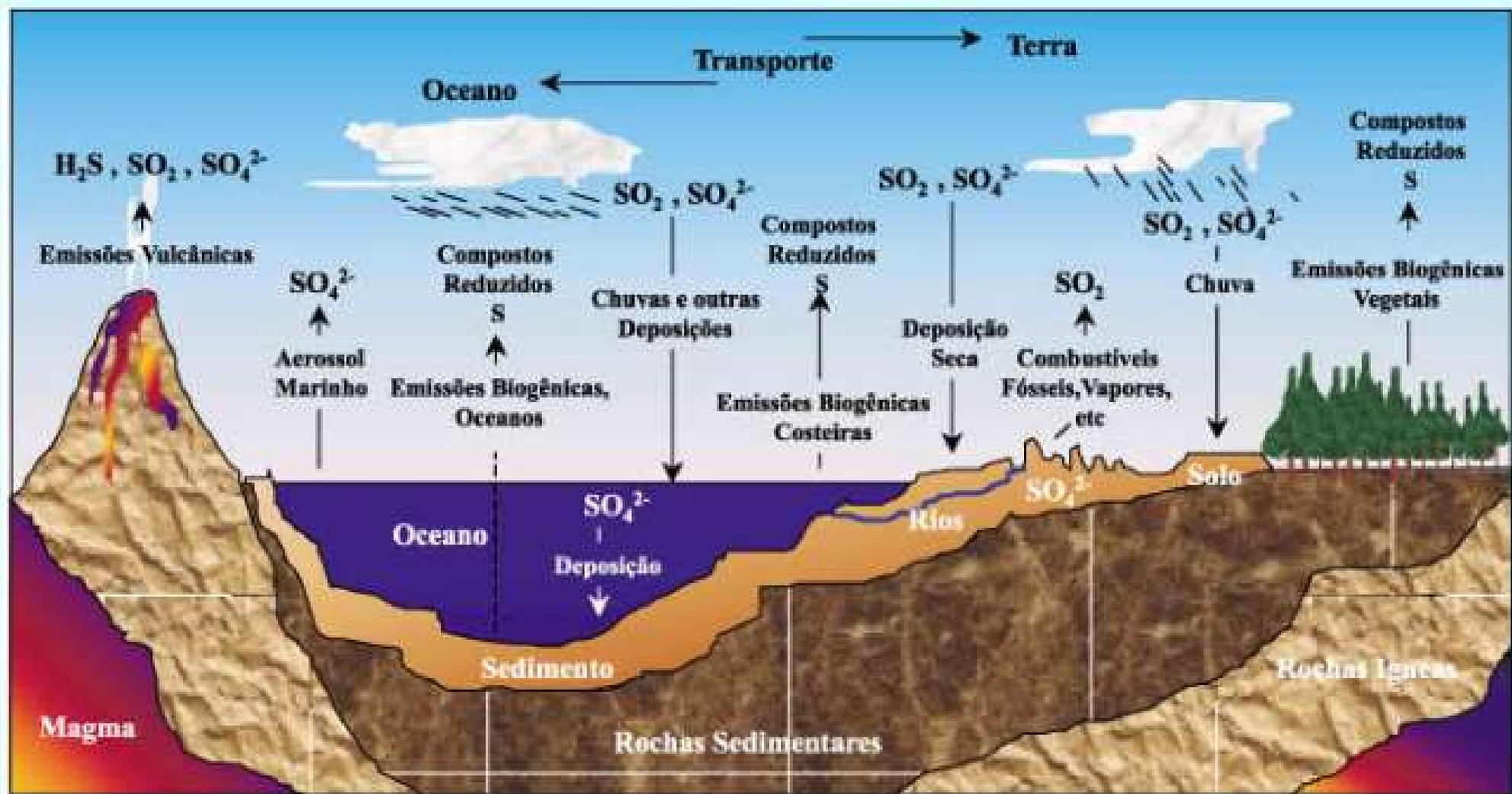
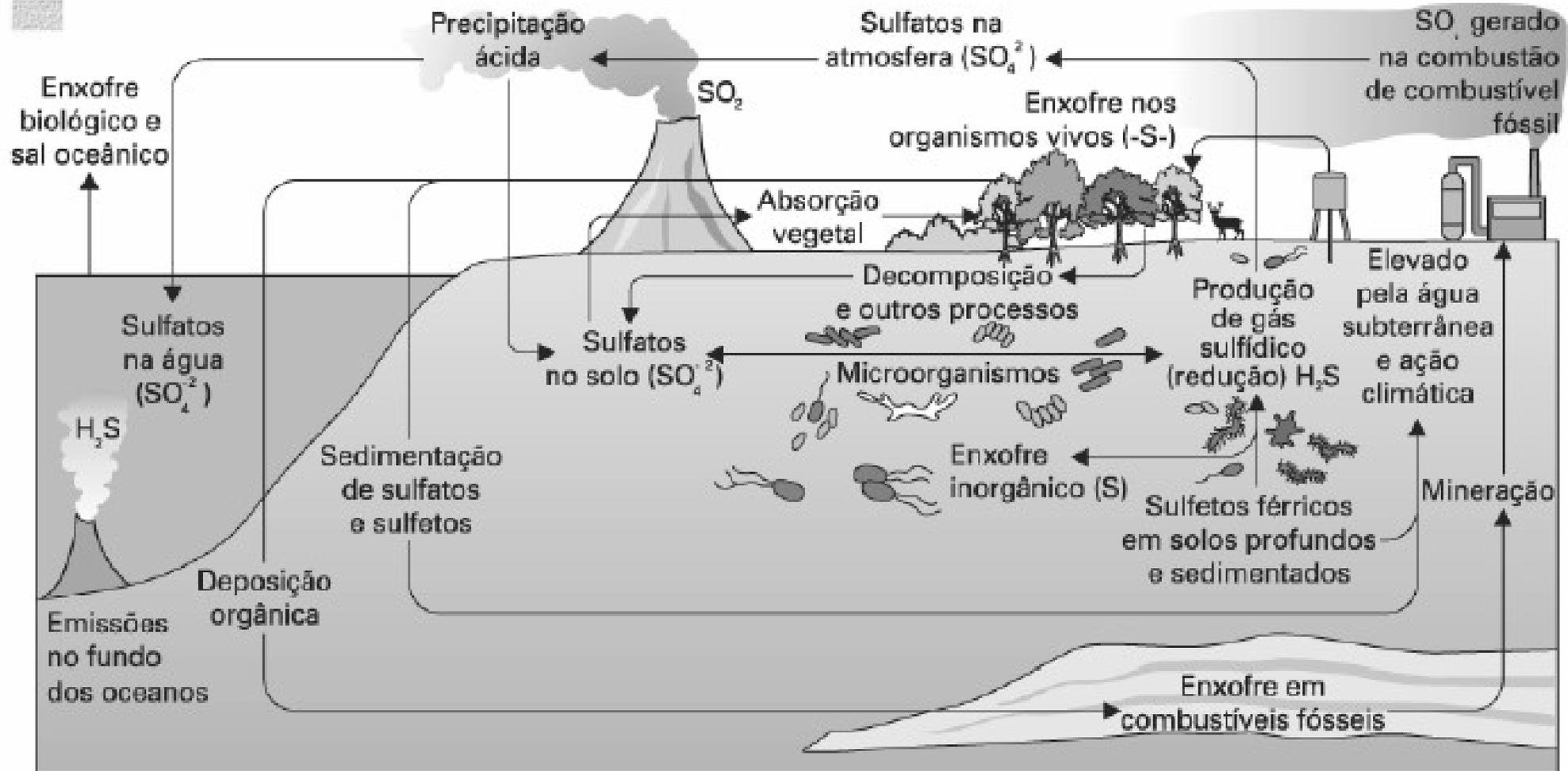


Figura 2. Ciclo do Enxofre (adaptado da Ref. 30)

Fonte: <http://www.scielo.br/img/fbpe/qn/v25n2/10454f2.jpg>

Ciclo do Enxôfre



Ciclo do Enxôfre

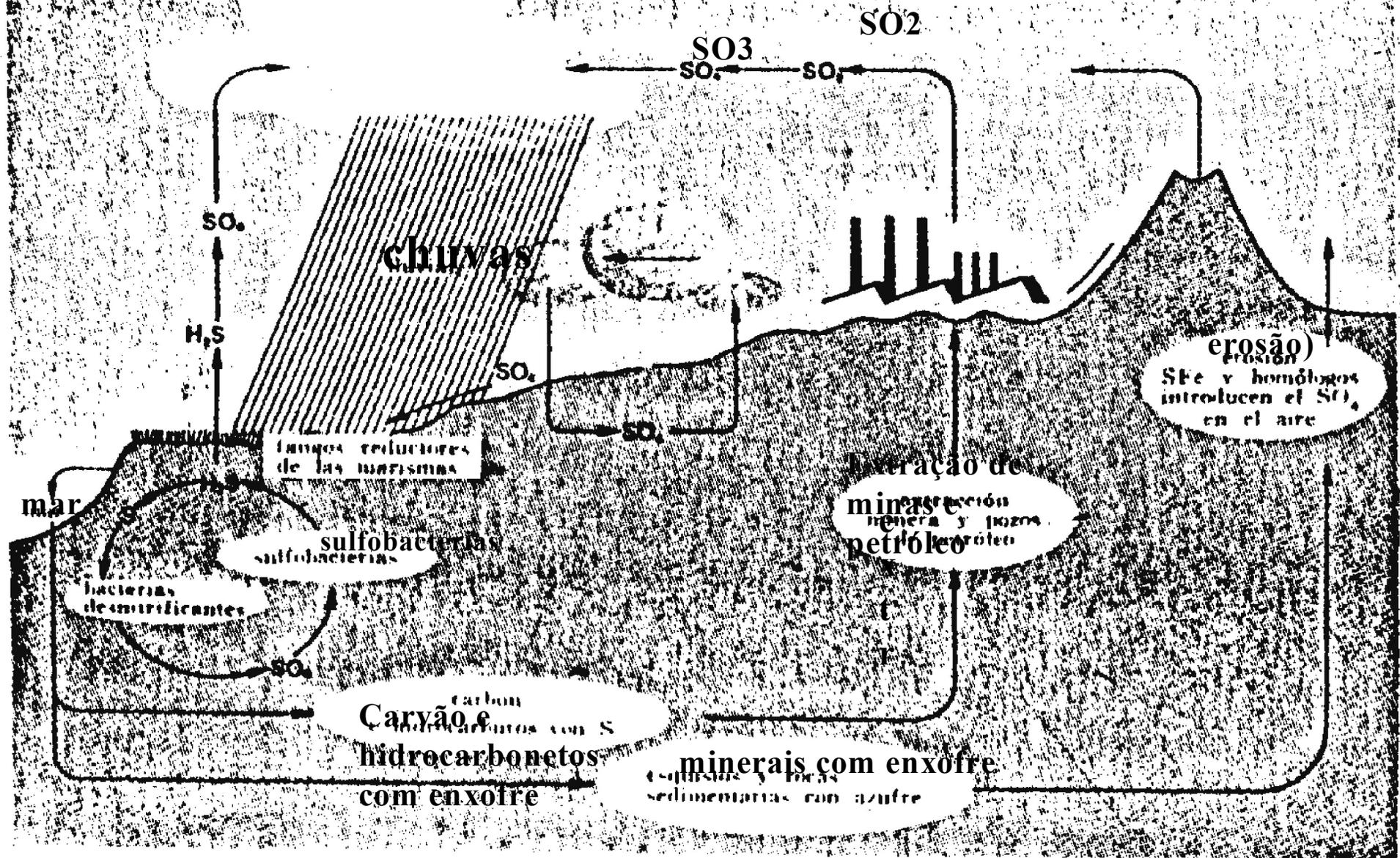


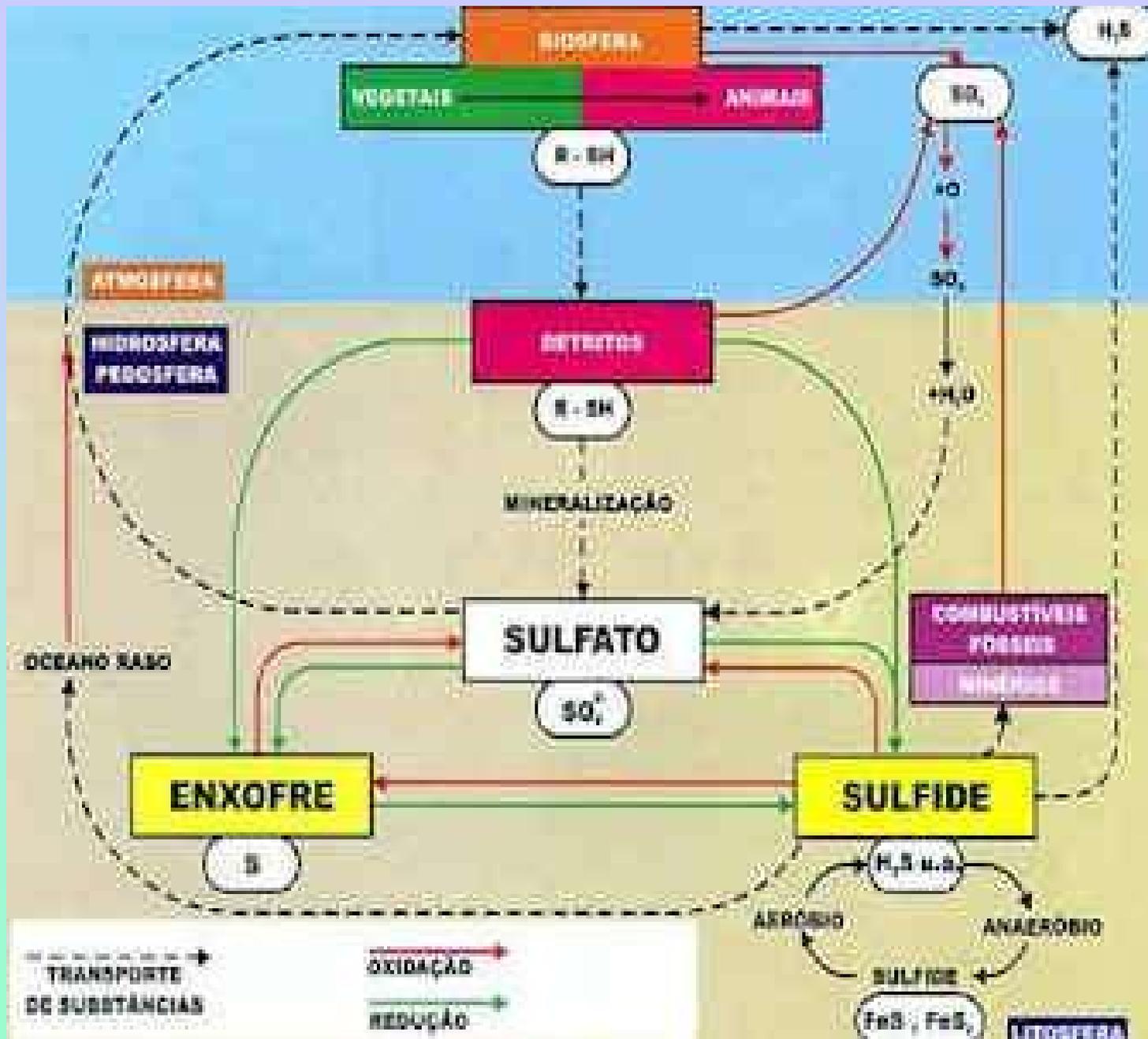
Fig. 1.25.—Ciclo del azufre. Según COEURVAUX, *Introduction to Ecology*, Wiley, 1973.

Ciclo do enxofre

TRANSFORMAÇÃO	MECANISMO
SO_2^{--} , SO_4^{--} - S orgânico	Assimilação por plantas
S orgânico - H_2S	Diversas bactérias aeróbicas e anaeróbicas
S orgânico - SO_4^{--}	Maioria das plantas e animais, muitas bactérias
SO_4^{--} - H_2S	Bactérias anaeróbicas (<i>Desulfovibrio</i> , <i>Desulfotomeculum</i>)
H_2S - S - SO_4^{--}	Bactérias aeróbicas (<i>Thiobacillus</i> , bactérias fotossintetizantes)

Principais etapas:

- As plantas absorvem compostos contendo enxofre além dos sulfatos
- Na produção de aminoácidos das plantas o hidrogênio substitui o oxigênio na composição dos sulfatos;
- Os seres vivos se alimentam das plantas;
- microorganismos decompõe os aminoácidos que contêm enxofre nos restos de animais e plantas, criando sulfeto de hidrogênio;
- o enxofre é extraído do sulfeto por bactérias e microorganismos;
- sulfatos são produzidos pela ação de microorganismos na combinação do enxofre com o oxigênio.



Fonte: HEINRICH&HERGT (1990).

Ciclo do Enxôfre

Produtividade primária anual dos grandes ecossistemas terrestres

Macro Ecossistemas	Superfície (em 10 ⁶ km ²)	% do total da litosfera	Fixação de Carbono (em t/ha/ano)	Produtividade primária líquida (em t,ms/ha/ano)	Biomassa orgânica total (em 10 ⁹ toneladas)	kcal 10 ¹⁶
Florestas	40,6	28	3,0	7	28,4	11,4
Agro-ecossistemas	14,5	10	2,5	6	8,7	3,5
Estepes + pastagens	26,0	17	1,5	4	10,4	4,2
Desertos + tundra	54,2	36	0,1	1	5,4	2,2
Calotas glaciares	12,7	9	0	0	0	0
	148,0	100			52,9	21,3

Fonte: Duvigneaud, 1967.

Bioma: conjunto dos animais e vegetais de uma comunidade* que se
(Biocenose) associam através da cadeia alimentar

* ecossistema (+biota: natureza físico-química)

Cadeias e Redes Tróficas:

I. Autotróficos – produtores organismos → fotossíntese

- . vegetais clorofilados
- . algas

fluxo solar + água + sais minerais

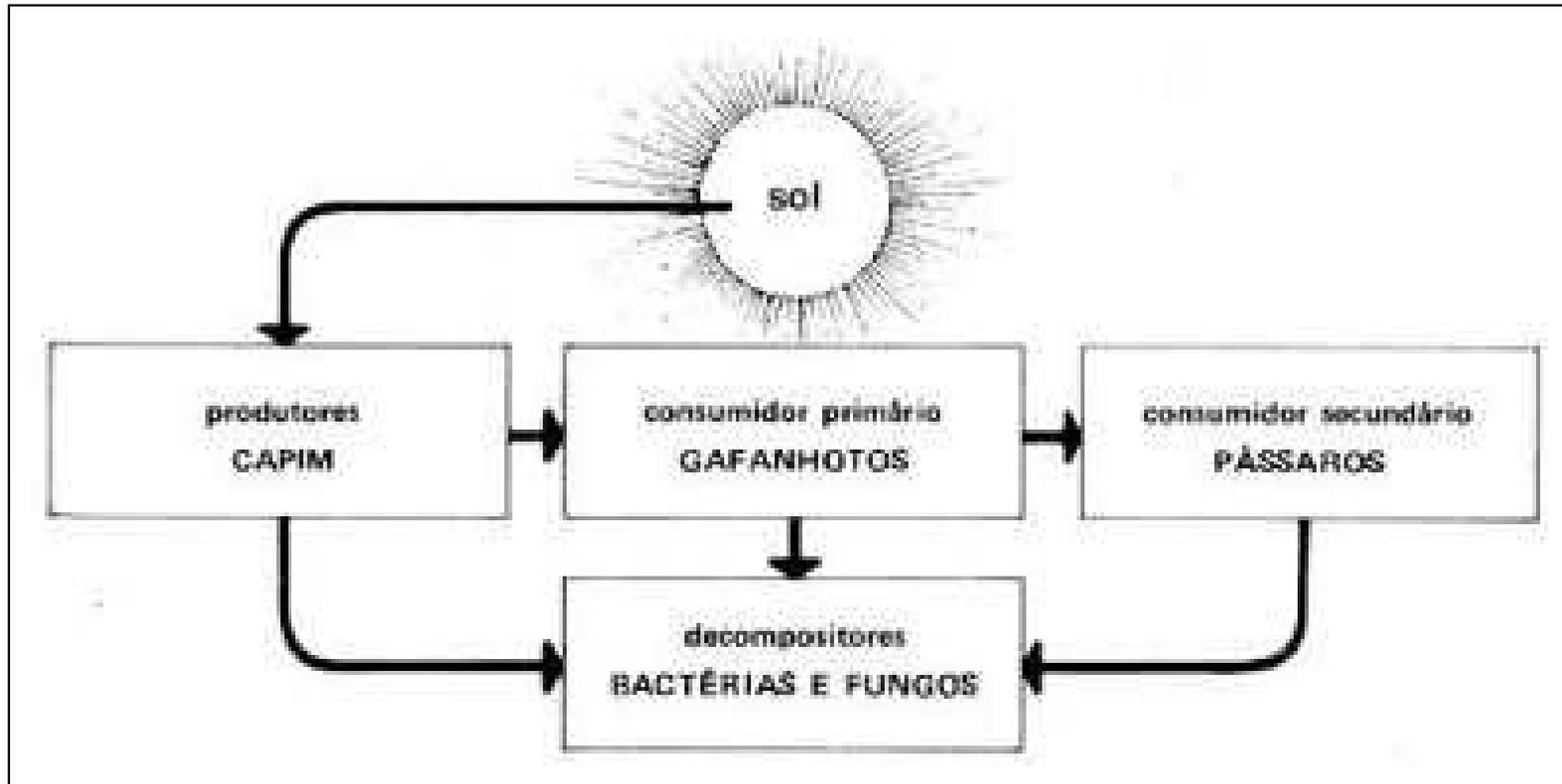
II. Heterotróficos – consumidores

- . primários (herbívoros)
- . secundários (carnívoros) -predadores

– decompositores

- . bactérias; micro-organismos; cogumelos

matéria orgânica morta → mineralização



Cadeia alimentar ou trófica

Ecossistema: contabilização

Fluxo energético fixado nos organismos de cada nível trófico como biomassa; o restante é utilizado para assegurar as necessidades metabólicas: manutenção; crescimento e reprodução

Procedimentos para contabilização:

Considerando 1 ha (100m x 100m = 10.000 m²) de campo natural (dados empíricos)

1.

Pirâmide	5.842.425	plantas (produtores)	4x10⁹ decompositores (fitoplanctons ou zooplanctons)
De	708.624	insetos herbívoros	
Números	354.904	insetos carnívoros	
(unidade: indivíduos)	3	pássaros insetívoros	

Ecossistema: contabilização

Fluxo energético fixado nos organismos de cada nível trófico como biomassa; o restante é utilizado para assegurar as necessidades metabólicas: manutenção; crescimento e reprodução

Procedimentos para contabilização:

Considerando 1 ha (100m x 100m = 10.000 m²) de campo natural (dados empíricos)

1.	Pirâmide De Números (unidade: indivíduos)	5.842.425 plantas (produtores) 708.624 insetos herbívoros 354.904 insetos carnívoros 3 pássaros insetívoros	4x10⁹ decompositores (fitoplanctons ou zooplanctons)
2.	Pirâmide De Biomassa (unidade: g/m²)	809 g/m² produtores 37 g/m² insetos herbívoros 11 g/m² insetos carnívoros 1,5 g/m² pássaros insetívoros	5 g/m² decompositores

Ecossistema: contabilização

Fluxo energético fixado nos organismos de cada nível trófico como biomassa; o restante é utilizado para assegurar as necessidades metabólicas: manutenção; crescimento e reprodução

Procedimentos para contabilização:

Considerando 1 ha (100mx100m= 10.000 m²) de campo natural (dados empíricos)

1.	Pirâmide De Números (unidade: indivíduos)	5.842.425 plantas (produtores) 708.624 insetos herbívoros 354.904 insetos carnívoros 3 pássaros insetívoros	4x10⁹ decompositores (fitoplanctons ou zooplanctons)
2.	Pirâmide De Biomassa (unidade: g/m²)	809 g/m² produtores 37 g/m² insetos herbívoros 11 g/m² insetos carnívoros 1,5 g/m² pássaros insetívoros	5 g/m² decompositores
3.	Pirâmide De Energia (unidade: kcal/m²/ano)	20.810 kcal/m²/ano produtores 3.368 kcal/m²/ano insetos herbívoros 383 kcal/m²/ano insetos carnívoros 21 kcal/m²/ano pássaros insetívoros	5.060 kcal/m²/ano decompositores

Ecossistema: contabilização

Fluxo energético fixado nos organismos de cada nível trófico como biomassa; o restante é utilizado para assegurar as necessidades metabólicas: manutenção; crescimento e reprodução

Procedimentos para contabilização:

Considerando 1 ha (100m x 100m = 10.000 m²) de campo natural (dados empíricos)

1.

Pirâmide De Números (unidade: indivíduos)	5.842.425 plantas (produtores) 708.624 insetos herbívoros 354.904 insetos carnívoros 3 pássaros insetívoros	4x10⁹ decompositores (fitoplanctons ou zooplanctons)
---	--	---

2.

Pirâmide De Biomassa (unidade: g/m ²)	809 g/m ² produtores 37 g/m ² insetos herbívoros 11 g/m ² insetos carnívoros 1,5 g/m ² pássaros insetívoros	5 g/m² decompositores
---	--	---

3.

Pirâmide De Energia (unidade: kcal/m ² /ano)	20.810 kcal/m ² /ano produtores 3.368 kcal/m ² /ano insetos herbívoros 383 kcal/m ² /ano insetos carnívoros 21 kcal/m ² /ano pássaros insetívoros	5.060 kcal/m²/ano decompositores
---	--	--

Eficiência do Ecossistema

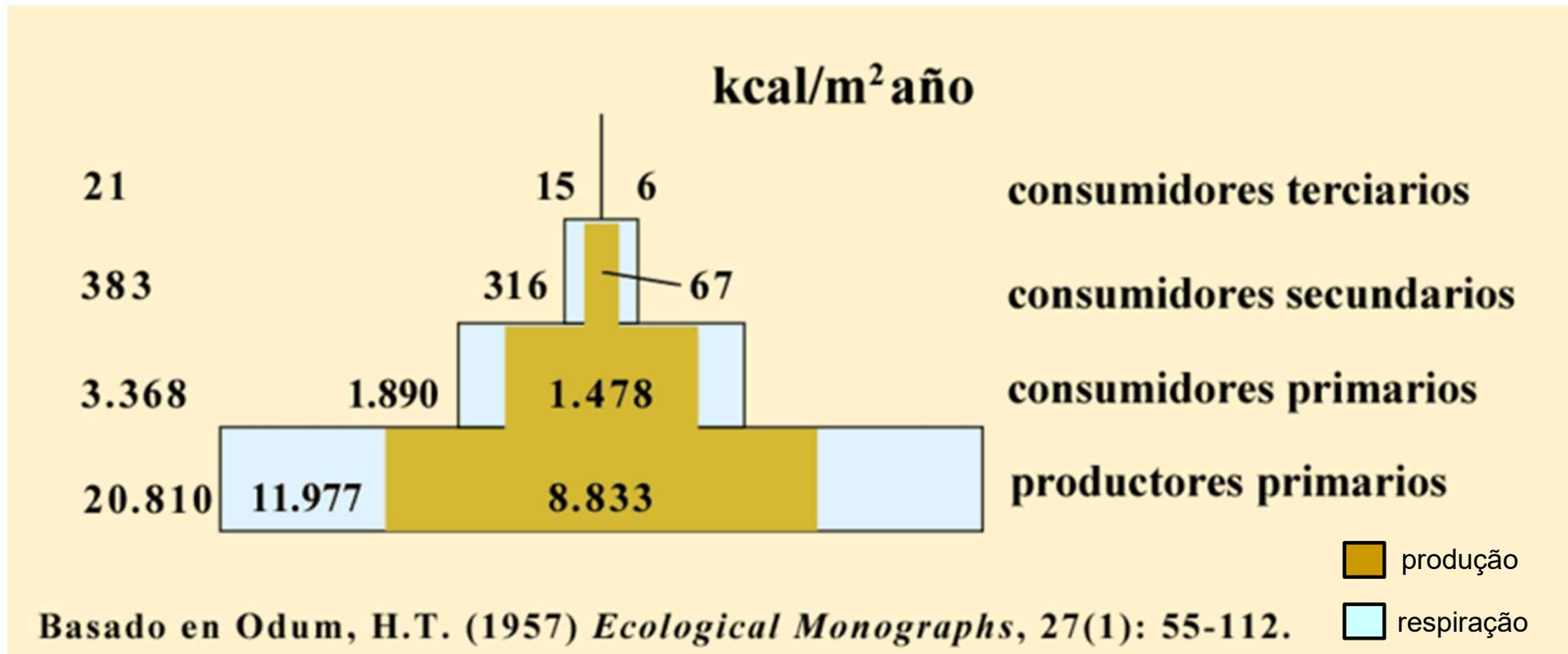
Lei dos 10% (Lindeman, 1942): somente uma fração (10 a 20%) da energia que penetra num nível trófico dado, é transmitida aos organismos situados nos níveis tróficos superiores → perda energética

fluxo solar → capim (0,24%) → bezerro (8%) → criança (0,7%) **(Odum, 1957): 1 milionésimo do fluxo solar inicial é transformado em biomassa na criança**

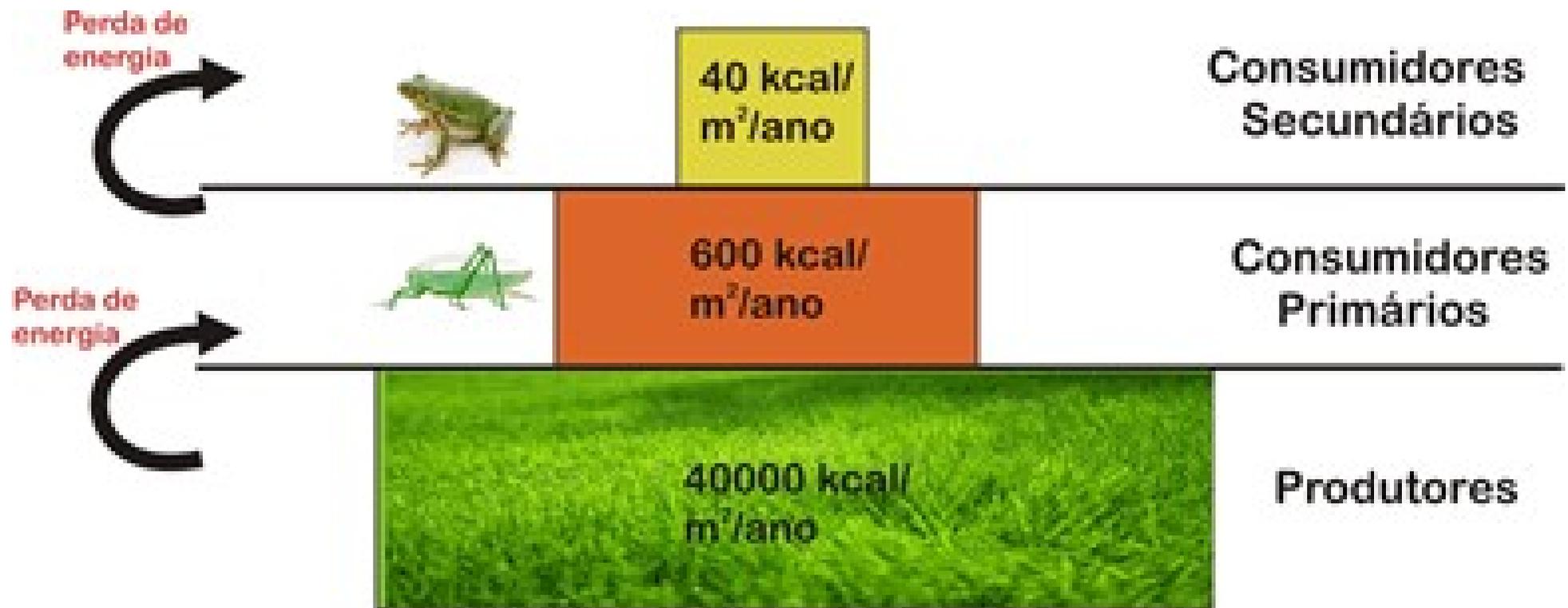
1 kcal [

boi	-	10 kcal alimento vegetal
porco	-	5 kcal alimento vegetal
frango	-	3,5 kcal alimento vegetal

] → rendimento energético (zootecnia)



Cadeia alimentar ou trófica



Fonte: www.sobiologia.com.br

Cadeia alimentar ou trófica



Cadeia alimentar ou trófica aquática

Tarefa para a próxima aula

- Levantar dados atualizados dos slides 19 e 20 e disponibilizá-los para a classe.

Possíveis fontes:

- p/ o slide 19 sobre dados internacionais: site do WRI
- p/ o slide 20 sobre dados do Brasil: site da ANA