



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

1ª aula - ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DA BIOSFERA

- . Fluxo de energia na biosfera
- . Circulação da matéria nos ecossistemas
- . Formas de energia; fontes de energia e suas origens

À propósito das atividades metalúrgicas:

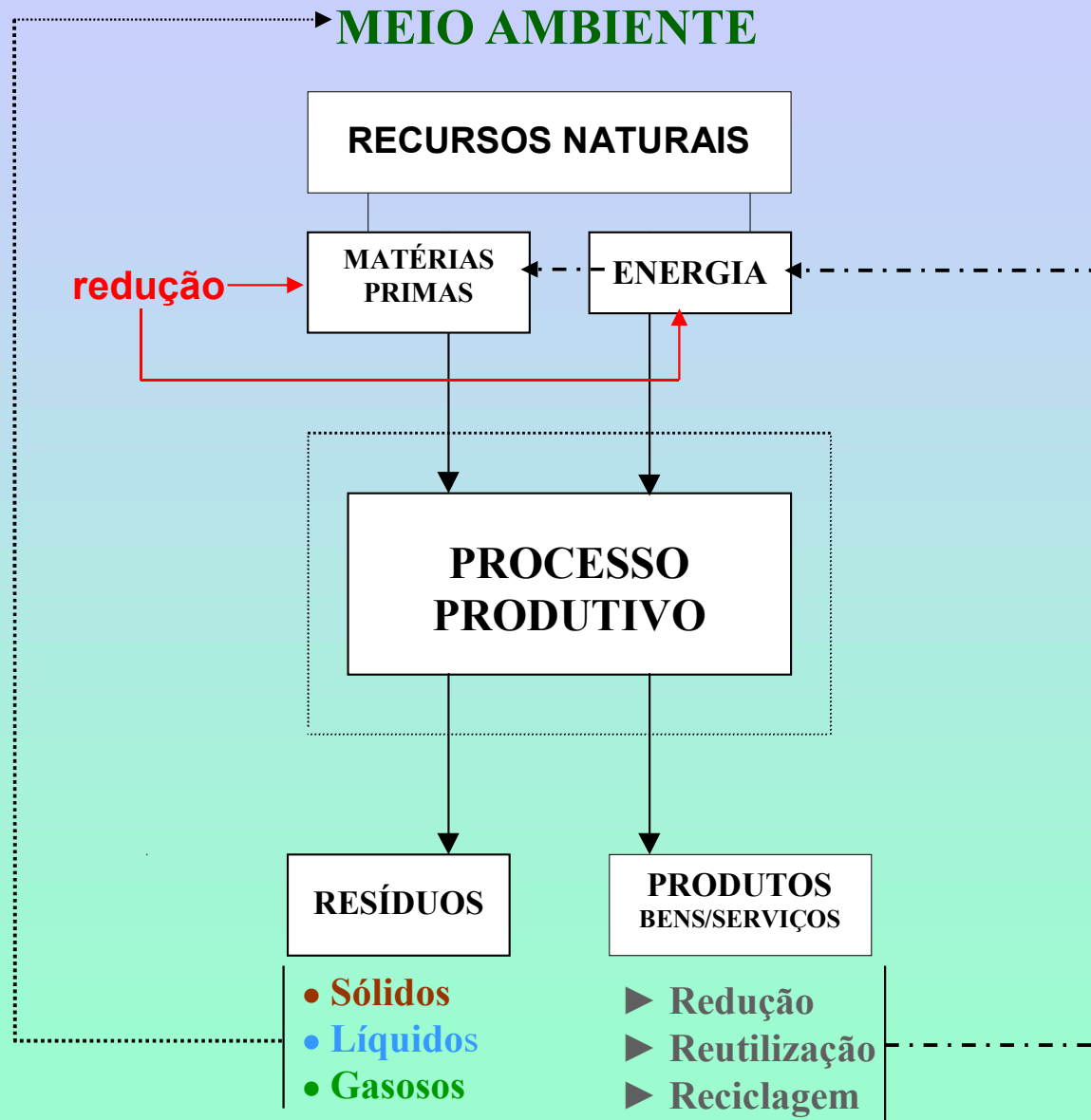
“Um dos argumentos mais fortes dos detratores desta atividade é a devastação do campo; por isso a lei proíbe aos italianos escavar a terra para extrair dela minérios, danificando o campo fértil, os vinhedos e os olivais. Eles deploram que árvores sejam derrubadas para a construção de máquinas e fundição de metais. O corte das matas leva ao extermínio das aves e outros animais que fornecem alimentos. A água utilizada na lavagem do minério, devolvida aos rios ou aos riachos, envenena os peixes e a caça. Conseqüentemente, os habitantes das regiões mineiras, devido aos estragos feitos no campo, nos bosques e rios, têm dificuldade para obter o necessário para viver.”

Giorgio Agrícola, 1546.

Desenvolvimento Sustentável:

Desenvolvimento que satisfaz as necessidades das gerações presentes sem afetar a capacidade de gerações futuras de também satisfazerem suas próprias necessidades (Relatório Brundtland, 1987).

“Seis por cento da população mundial consomem 1/3 dos recursos naturais do mundo. É uma ilusão, portanto, apresentar ao Terceiro Mundo o mesmo modelo de desenvolvimento dos países industrialmente avançados. Com os 2/3 dos recursos restantes, poder-se-ia levar, no máximo, 18% da população até aquele nível, reduzindo definitivamente à fome os outros 82%” (TIEZZI, 1988).



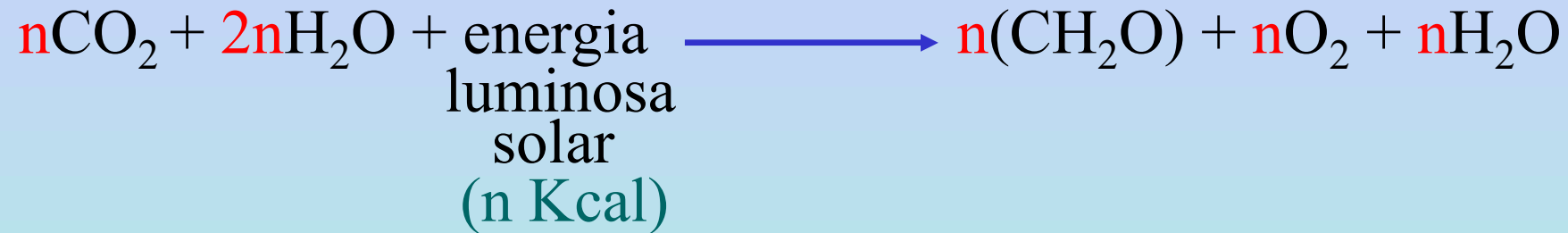
BIOSFERA: Região do planeta que abriga o conjunto dos seres vivos e na qual a vida é possível em permanência. (Vernadsky, 1926)

- litosfera: camada superficial da crosta terrestre (11.000 m)
- hidrosfera: meio líquido (7/10 da superf. terrestre)
- atmosfera: camada homogênea; zona periférica do planeta que cobre os dois meios precedentes (9.000 m)

continentes (28,3%)	{	culturas (2,8%)
		pastagens; estepes (5,3%)
		florestas (8,4%)
		desertos (11,2%)

Fotossíntese

1. Fixação do Carbono



$n(\text{CH}_2\text{O})$: hidrocarbonetos

estoque de energia química resultante
do fluxo de energia solar

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.

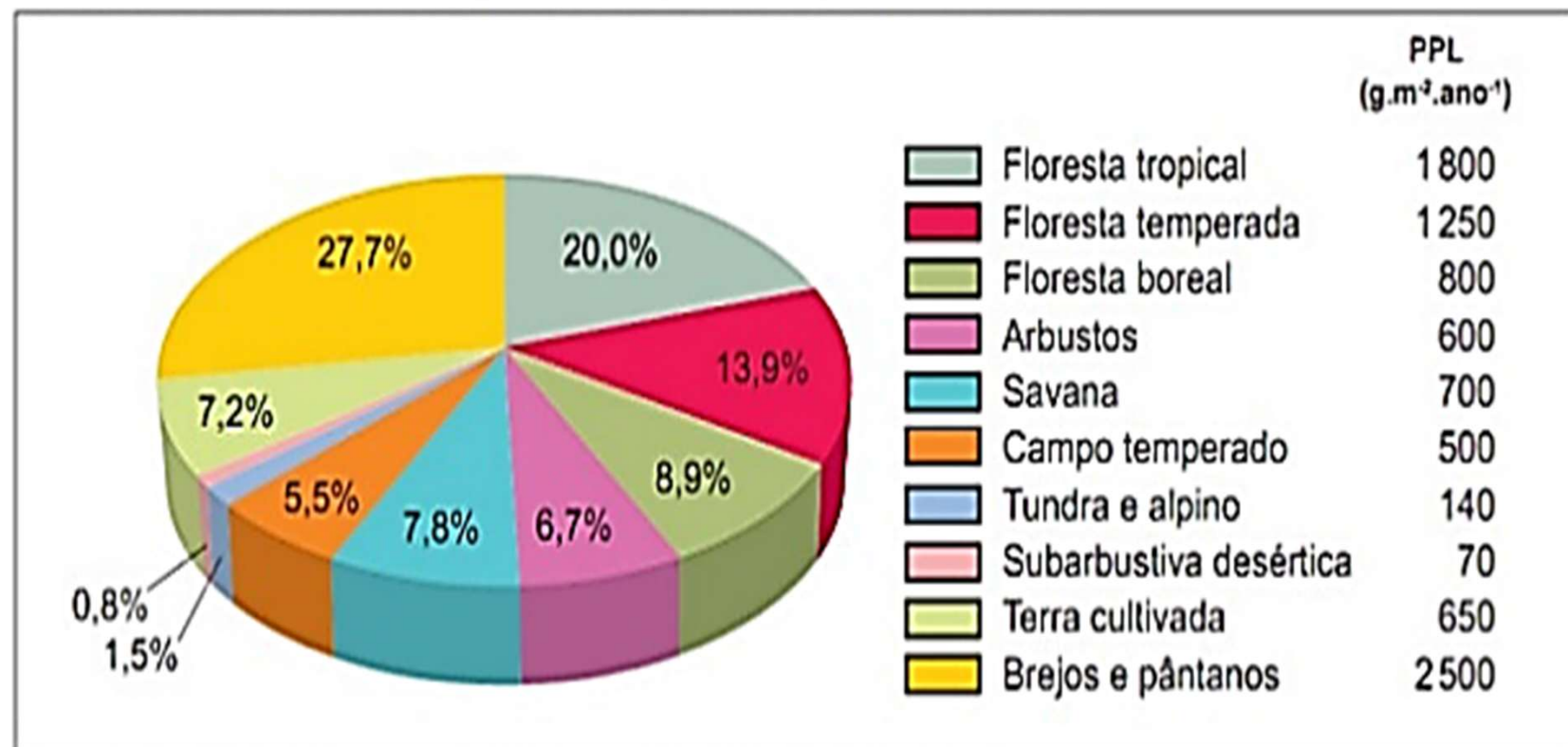
TABLE 24.1 Net Primary Productivity and Plant Biomass of World Ecosystems

<i>Ecosystems (in Order of Productivity)</i>	<i>Area (10⁶ km²)</i>	<i>Mean Net Primary Productivity per Unit Area (g/m²/yr)</i>	<i>World Net Primary Productivity (10⁹ mtr/yr)</i>	<i>Mean Biomass per Unit Area (kg/m²)</i>
CONTINENTAL				
Tropical rain forest	17.0	2000.0	34.00	44.00
Tropical seasonal forest	7.5	1500.0	11.30	36.00
Temperate evergreen forest	5.0	1300.0	6.40	36.00
Temperate deciduous forest	7.0	1200.0	8.40	30.00
Boreal forest	12.0	800.0	9.50	20.00
Savanna	15.0	700.0	10.40	4.00
Cultivated land	14.0	644.0	9.10	1.10
Woodland and shrubland	8.0	600.0	4.90	6.80
Temperate grassland	9.0	500.0	4.40	1.60
Tundra and alpine meadow	8.0	144.0	1.10	0.67
Desert shrub	18.0	71.0	1.30	0.67
Rock, ice, sand	24.0	3.3	0.09	0.02
Swamp and marsh	2.0	2500.0	4.90	15.00
Lake and stream	2.5	500.0	1.30	0.02
Total continental	149.0	720.0	107.09	12.30
MARINE				
Algal beds and reefs	0.6	2000.0	1.10	2.00
Estuaries	1.4	1800.0	2.40	1.00
Upwelling zones	0.4	500.0	0.22	0.02
Continental shelf	26.6	360.0	9.60	0.01
Open ocean	332.0	127.0	42.00	0.003
Total marine	361.0	153.0	55.32	0.01
World total	510.0	320.0	162.41	3.62

Source: Adapted from Whittaker and Likens 1973.

Smith and Smith, Ecology and Field Biology, 2001, Benjamin Cummings

Produção primária líquida em ambientes terrestres ($\text{g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$)*



* Produção primária líquida representa a taxa de armazenamento da matéria orgânica nos tecidos.

Elaborado por Raul Borges Guimarães especialmente para o *São Paulo faz escola*. Fonte: WHITAKER, R. H.; LIKENS, G. E. *Human Ecology*, 1: 357-369 (1973).

Produção primária líquida em ambientes terrestres. O gráfico mostra bem que áreas mais tropicais e iluminadas possuem maior PPL. Retirado de <http://pt.slideshare.net/paulotmo/produo-prinria-liquida-biomassa-ciclo-do-carbono-e-nitrognio-desenvolvimento-sustentvel>.

Quadro 9.2 » Comparações entre a área total e a produção primária total dos biomas do mundo

Bioma	Área relativa dos biomas no mundo (%)	Produção primária global dos biomas no mundo (%)
Floresta tropical	4	26
Floresta temperada	4	16
Floresta boreal	3	6
Savana	3	7
Pradaria temperada	2	3
Tundra e prado alpino	2	3
Arbustiva de deserto	4	3
Pântanos e charcos	<1	<3
Recifes de coral e estrados de algas	<1	<3
Estuário	<1	<3
Lagos e lagoas	<1	<3
Plataforma continental	6	6
Oceano aberto	72	27

Fontes das informações: Brown e Lomolino (2006).

2.880 cal / cm² / dia

Reflexão das nuvens e atmosfera:

Materiais sólidos em suspensão no ar:

Absorção pelo vapor d'água, ozônio e outros gases:

52% chega à superfície terrestre (1.500 cal / cm² / dia)

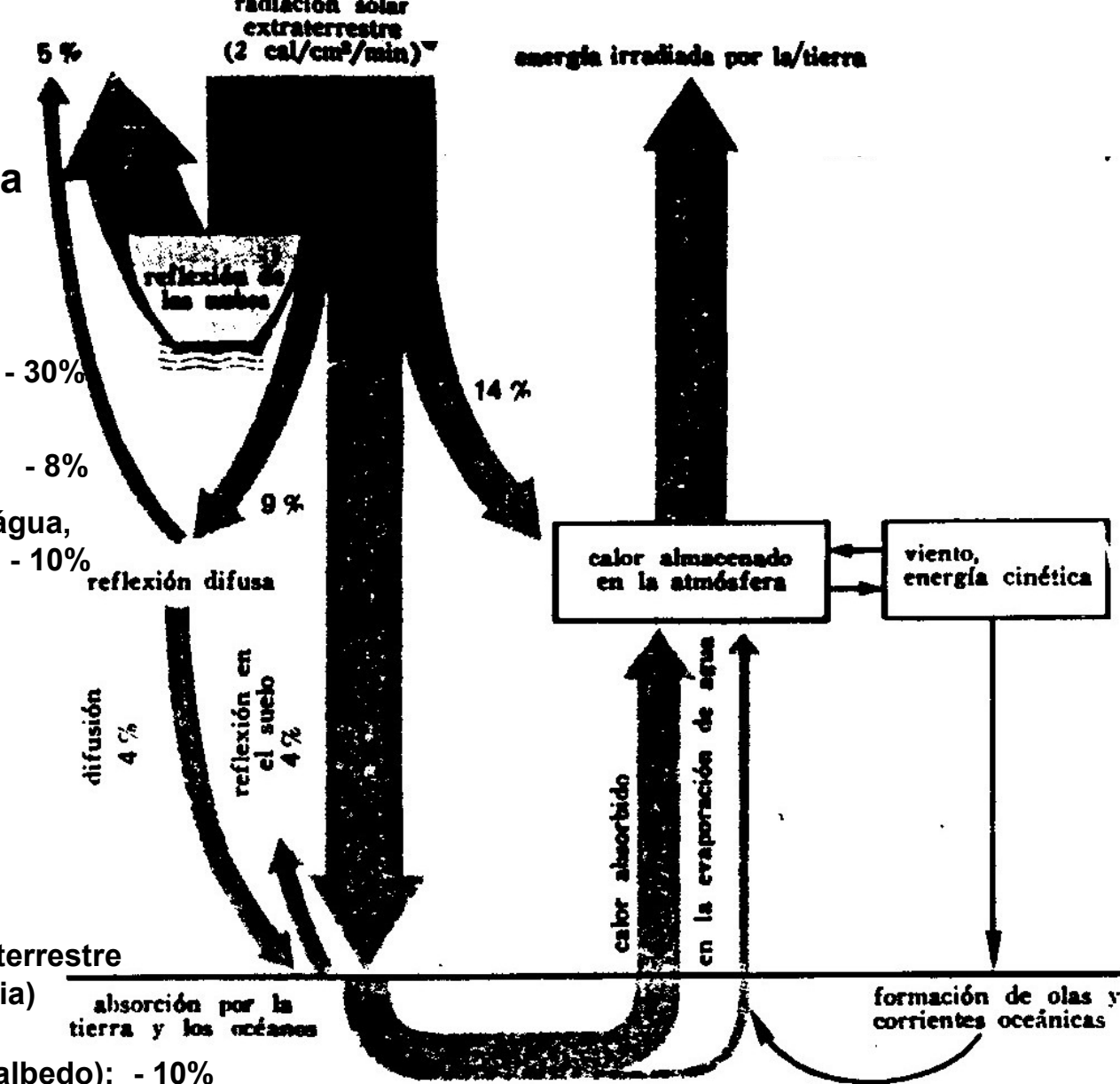
Reflexão na superfície (albedo): - 10%

Fonte de calor no processo de evapotranspiração: - 2%

40% - Radiação Solar disponível (1.150 cal / cm² / dia)

1/4 : Fotossíntese dos vegetais (288 cal / cm² / dia)

10% : Transformação em Biomassa (28,8 cal / cm² / dia)



Cultivos intensivos: 3%
Eficiência: 1% do fluxo luminoso global incidente

Tipologia das Fontes de Energia

não-renováveis

- ▶ petróleo
- ▶ carvão mineral
- ▶ gás natural
- ▶ urânio (nuclear)

renováveis

- ▶ hidráulica
- ▶ biomassa
- ▶ solar
- ▶ eólica
- ▶ geotérmica
- ▶ maremotriz e das ondas
- ▶ hidrogênio (célula combustível)

Principais unidades utilizadas para a quantificação de energia:

J: joule

Cal: caloria

Tep: tonelada equivalente de petróleo (tons of oil equivalent)

Bep: barris equivalentes de petróleo (barrels of oil equivalent)

Btu: unidade térmica britânica (British thermal unit)

kWh: kilowatt-hora

1 J = 1 kg x m²/s² - energia que acelera uma massa de 1 kg a 1 m/s² num espaço de 1 m

Nota: o Joule (j) é a unidade padrão de energia do Sistema Internacional de unidades (SI)

1 Cal - energia necessária para elevar em 1 grau Celsius a temperatura de 1 quilograma de água (ou 1 m³)

1 Tep - unidade de energia definida como o calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru

Nota: importância como unidade de energia decorrente da dinâmica econômico-política na atualidade

1 Btu - quantidade de energia necessária para se elevar a temperatura de uma massa de uma libra de água em 1°F, sob pressão constante de 1 atm (utilizada nos EUA e Reino Unido). 1°F = -17,22 °C

1 kWh - unidade de energia elétrica - é a quantidade de energia necessária para alimentar uma carga com potência de 1 quilowatt durante 1 hora

Para grandes quantidades de qualquer unidade de energia, (ver exemplo com a unidade joule) utiliza-se:

1 kJ = kilojoule 10³ joules | 1 TG = terajoule 10¹² joules

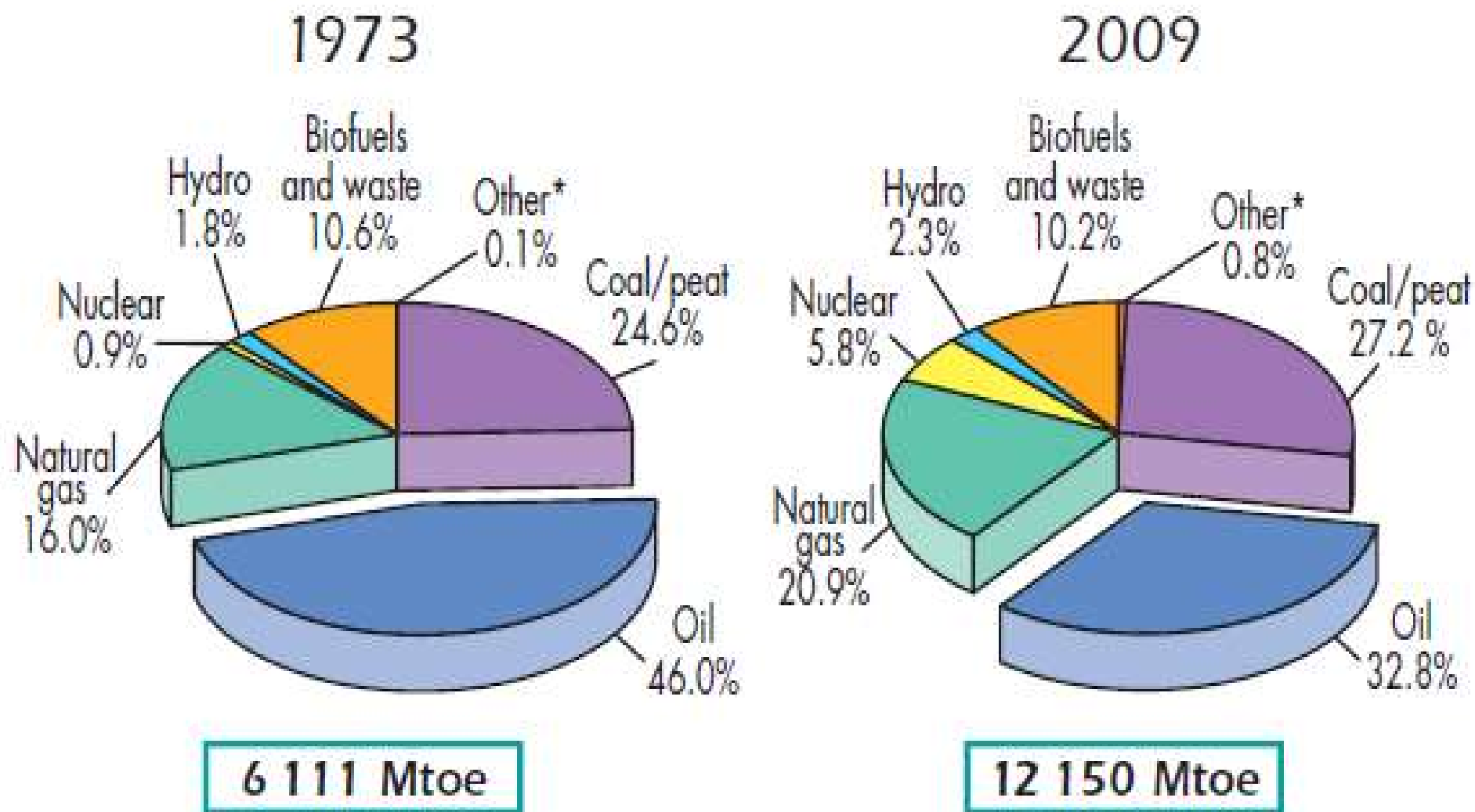
1 MJ = megajoule 10⁶ joules | 1 PG = petajoule 10¹⁵ joules

1 GJ = gigajoule 10⁹ joules | 1 EJ = exajoule 10¹⁸ joules

General conversion factors for energy

To:	PJ	Gcal	Mtoe	MBtu	GWh
From:	multiply by:				
PJ	1	2.388×10^5	2.388×10^{-2}	9.478×10^5	2.778×10^2
Gcal	4.187×10^{-6}	1	1.000×10^{-7}	3.968	1.163×10^{-3}
Mtoe	4.187×10^1	1.000×10^7	1	3.968×10^7	1.163×10^4
MBtu	1.055×10^{-6}	2.520×10^{-1}	2.520×10^{-8}	1	2.931×10^{-4}
GWh	3.600×10^{-3}	8.598×10^2	8.598×10^{-5}	3.412×10^3	1

1973 and 2009 fuel shares of TPES

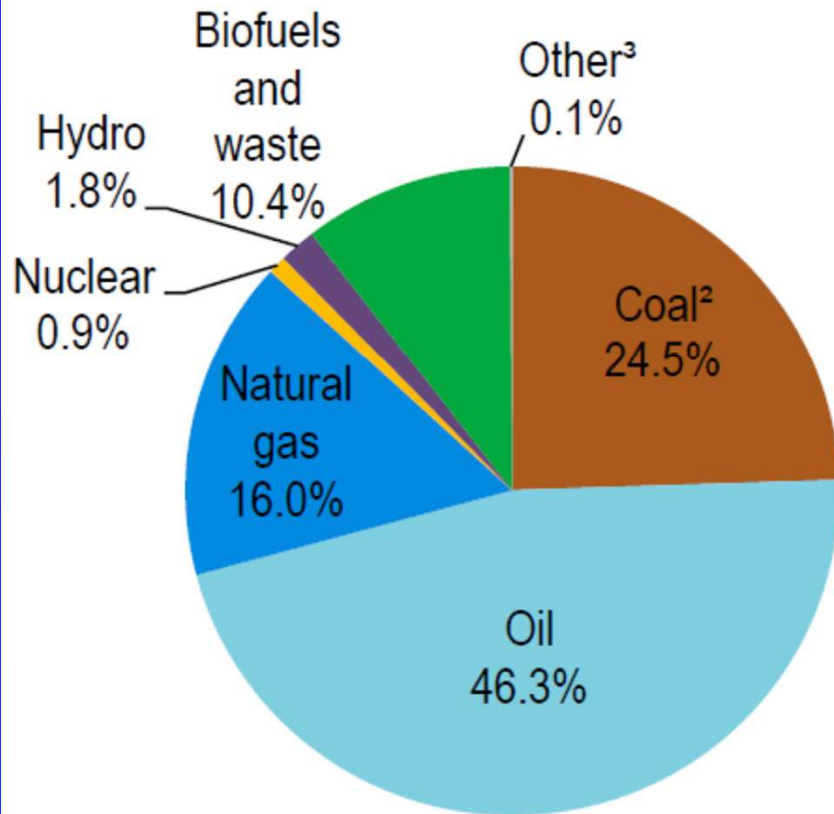


* Outras inclui energia geotérmica, eólica (vento), solar.
TPES: Total Primary Energy Supply.
Fonte: IEA - Key World Energy Statistics, 2011.

• **não-renováveis: 86,7%**
• **renováveis: 13,3%**

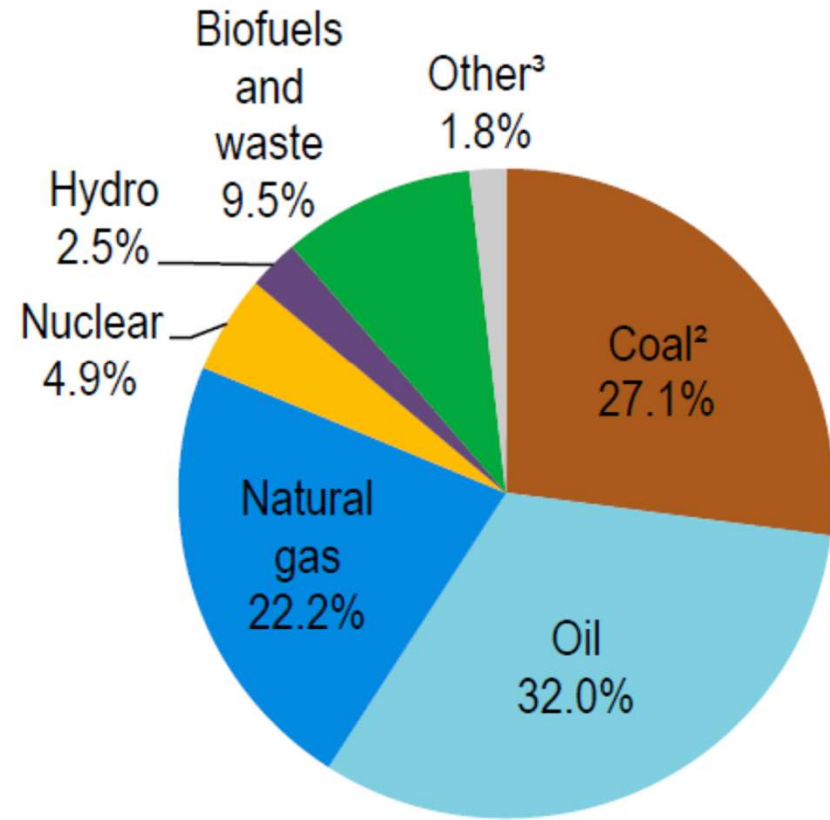
1973 and 2017 source shares of TPES

1973



6 097 Mtoe

2017



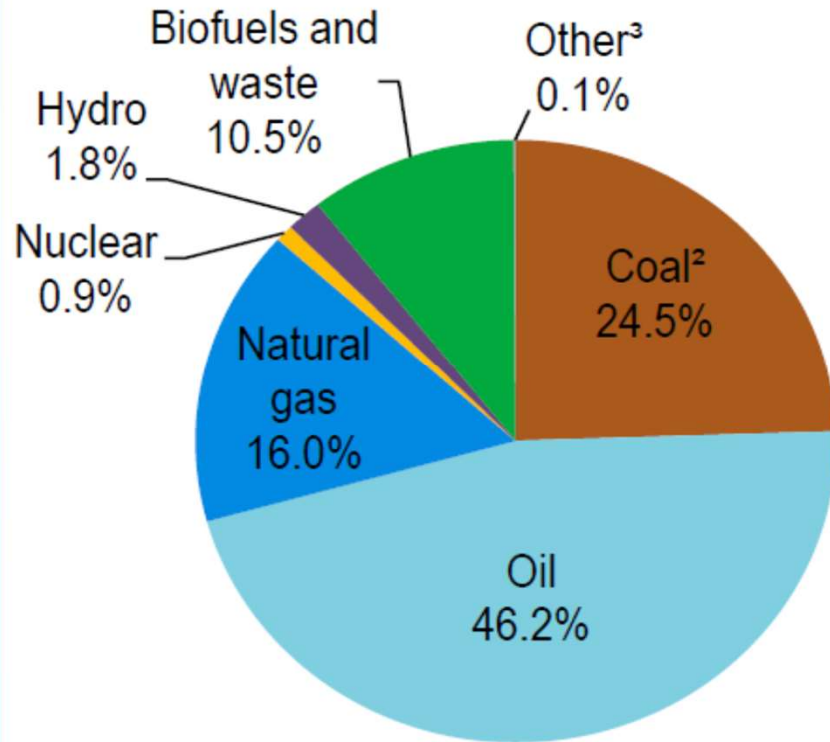
13 972 Mtoe

* Outras inclui energia geotérmica, eólica (vento), solar.
TPES: Total Primary Energy Supply.
Fonte: IEA - Key World Energy Statistics, 2019.

• **não-renováveis: 86,2%**
• **renováveis: 13,8%**

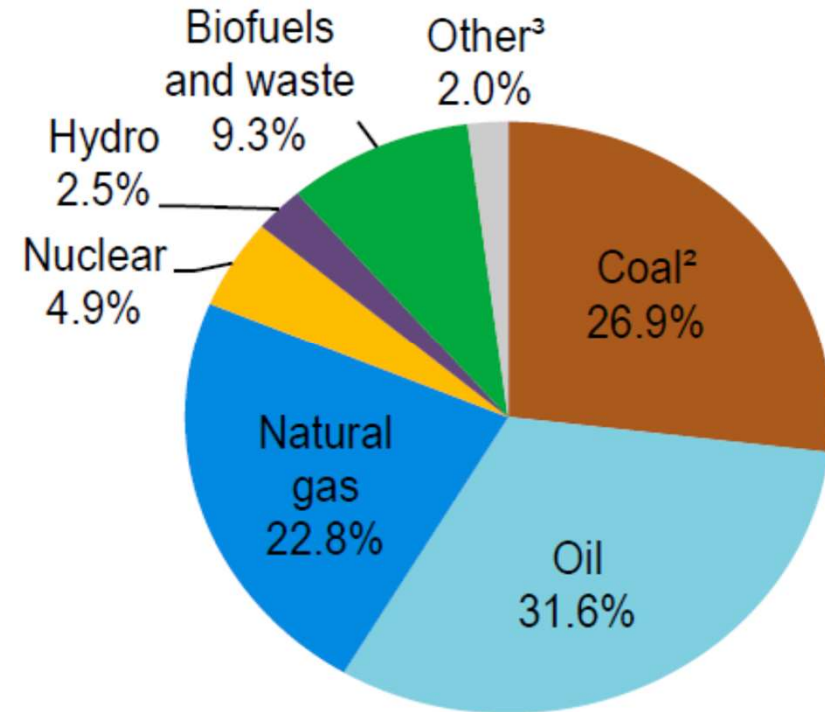
1973 and 2018 source shares of TES

1973



6 098 Mtoe

2018



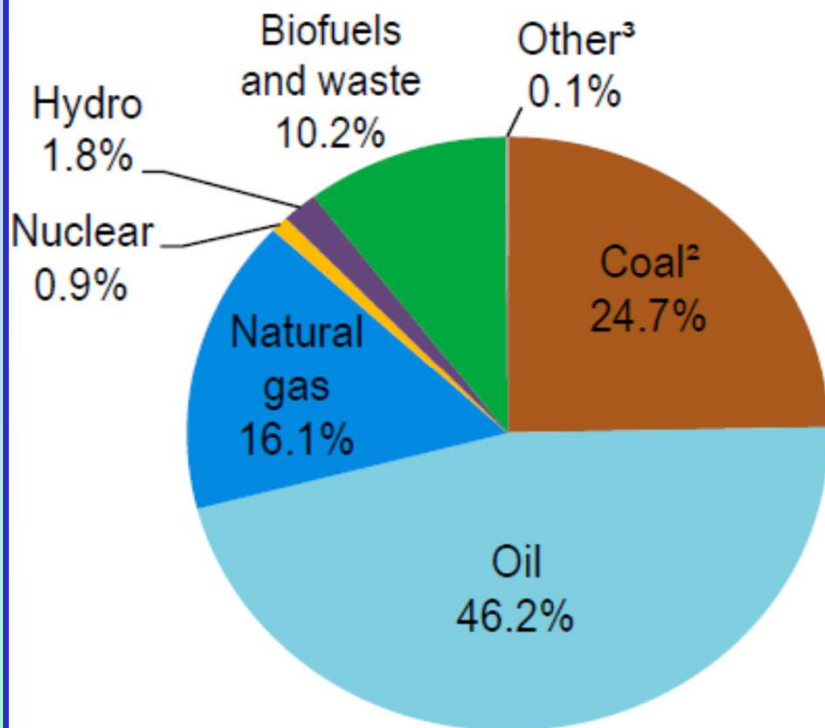
14 282 Mtoe

* Outras inclui energia geotérmica, eólica (vento), solar.
TES: Total Energy Supply.
Fonte: IEA - Key World Energy Statistics, 2020.

● **não-renováveis: 86,2%**
● **renováveis: 13,8%**

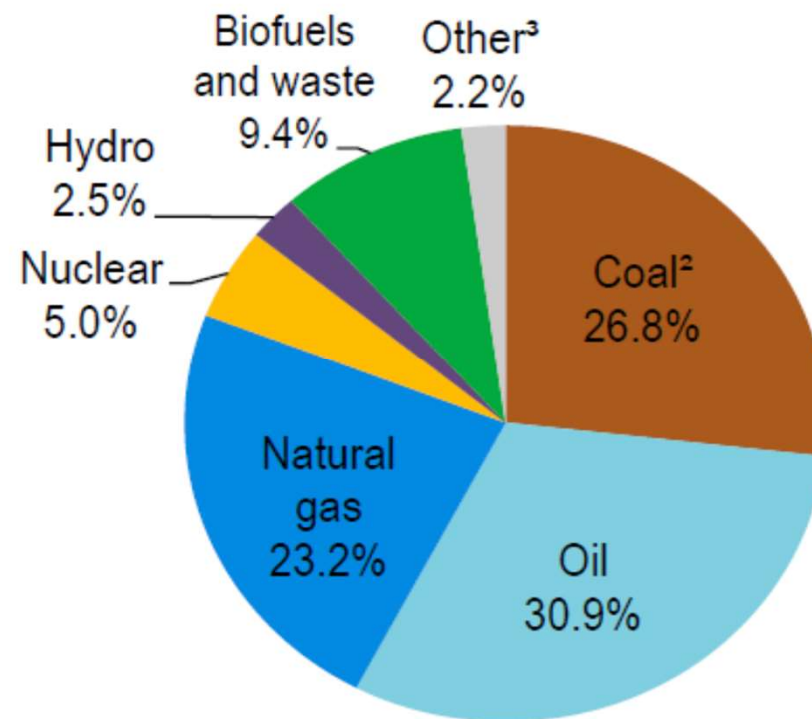
Share of world total energy supply by source, 1973 and 2019

1973



254 EJ

2019



606 EJ

* Outras inclui energia geotérmica, eólica (vento), solar.
TES: Total Energy Supply.
Fonte: IEA - Key World Energy Statistics, 2021.

● **não-renováveis: 85,9%**
● **renováveis: 14,1%**

Table A.1a: World energy supply

	Stated Policies Scenario (EJ)						Shares (%)			CAAGR (%) 2021 to:	
	2010	2020	2021	2030	2040	2050	2021	2030	2050	2030	2050
Total energy supply	542	592	624	673	708	740	100	100	100	0.8	0.6
Renewables	45	69	74	116	169	215	12	17	29	5.2	3.8
Solar	1	5	5	18	36	52	1	3	7	14	8.1
Wind	1	6	7	17	29	38	1	2	5	11	6.2
Hydro	12	16	16	18	21	25	2	3	3	1.8	1.6
Modern solid bioenergy	24	33	36	46	54	62	6	7	8	3.0	1.9
Modern liquid bioenergy	2	4	4	7	9	11	1	1	1	5.2	3.2
Modern gaseous bioenergy	1	1	1	3	5	9	0	0	1	8.1	7.0
Other renewables	3	4	5	8	14	19	1	1	3	6.4	4.9
Traditional use of biomass	25	24	24	20	19	18	4	3	2	-2.3	-1.1
							16	20	31		
Nuclear	30	29	30	37	43	46	5	5	6	2.1	1.5
Unabated natural gas	115	139	146	150	147	147	23	22	20	0.3	0.0
Natural gas with CCUS	0	0	0	1	2	3	0	0	0	8.1	6.5
Oil	173	172	183	197	198	197	29	29	27	0.8	0.2
<i>of which non-energy use</i>	25	29	31	37	41	42	5	6	6	2.1	1.0
Unabated coal	153	157	165	151	128	111	26	22	15	-1.0	-1.4
Coal with CCUS	-	0	0	0	1	1	0	0	0	33	17

Fonte: IEA - World Energy Outlook 2022, 2023.

83 78 68