

# Efeito Estufa

- O IPCC (WMO, UNEP e ONU), que agrupa um grande número de pesquisadores que avaliam estarem ocorrendo Mudanças Climáticas Globais de dimensões catastróficas por ação antropogênica.
- Trump, Bolsonaro e outros políticos de extrema direita que comandam alguns países consideram isso coisa de esquerdistas.
- No Centro destas Discussões encontra-se o assim chamado EFEITO ESTUFA.

O que é o efeito estufa?

## **Efeito Estufa, resumidamente**

A atmosfera terrestre é relativamente transparente à radiação solar direta, mas absorve bastante a radiação emitida pela superfície da terra. A atmosfera aquecida também emite radiação, para o espaço e de volta para a terra, que fica mais quente do que seria se não houvesse a atmosfera em torno dela.

# Tópicos

- O que é o Efeito Estufa?
  - # balanço radiativo terra-sol
  - # o papel da atmosfera terrestre e os gases estufa
- O Efeito Estufa e as Mudanças Climáticas Globais
  - # clima, paleoclima, temperatura da superfície terrestre
- Tendências climáticas e efeitos de realimentação
  - # nível dos oceanos, derretimento de geleiras, nuvens, aerossóis etc
- Tendências futuras
  - Vai ou não vai aquecer?
- O controle do Efeito Estufa e a inter-relação com outros benefícios sociais.
- Complementos

## **Análise do Efeito Estufa envolve:**

Usar a teoria de corpo negro para considerar a radiação emitida pelo Sol e absorvida pela Terra e re-emitida pela Terra em direção à atmosfera.

Usar a mecânica quântica para analisar a absorção de radiação por gases da atmosfera.

Considerar outros efeitos termodinâmicos relevantes na interação da superfície terrestre e a atmosfera (e.g. evaporação, condução, convecção).

# RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO

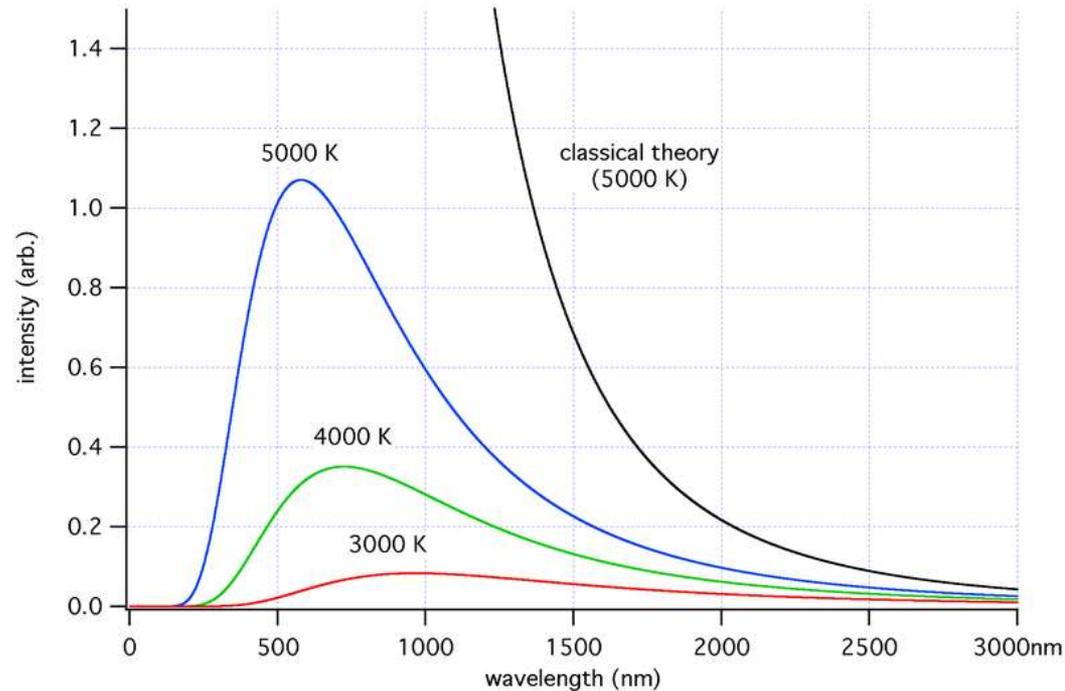
A **Lei de Planck** dá a potência por unidade de área, irradiada por um corpo negro, por comprimento de onda  $\lambda$ :

$$I_{\lambda} = 2hc^2 \lambda^{-5} (e^{hc/k\lambda T} - 1)^{-1}$$

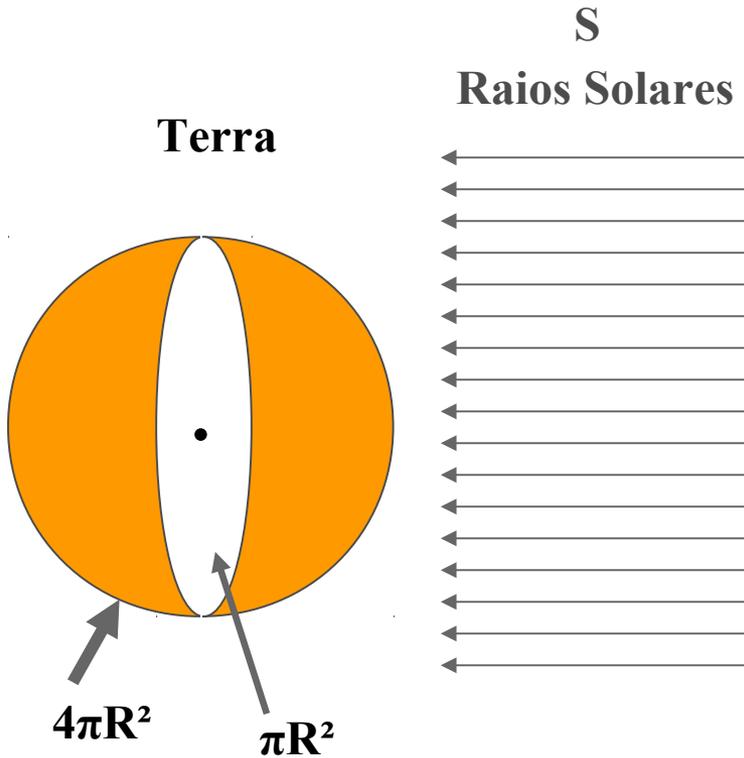
Integrando sobre todos os comprimentos de onda, obtém-se a **Lei de Stefan-Boltzmann**:

$$E_B = \sigma T^4$$

- $\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann =  $5,6703 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$
- $T$  = temperatura absoluta do corpo
- $k$  = constante de Boltzmann  $\sim 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- $h$  = constante de Planck  $\sim 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
- $c$  = velocidade da luz ( $300 \times 10^6 \text{ m/s}$ )



# Balanco radiativo terra-sol



A potência irradiada por um corpo negro, por unidade de área:

$$E_B = \sigma T^4$$

- $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann
- T a temperatura absoluta do corpo

A Terra absorve a radiação solar a uma taxa de:

$$E_A = (1/4 S) \cdot (1 - \alpha)$$

- S é a taxa de radiação solar, chamada constante solar ~entre 1365 a 1372  $\text{Wm}^{-2}$
- $\alpha \approx 0,3$  fração de radiação refletida (albedo)
- fator 1/4 é a distribuição da energia solar sobre a superfície terrestre:

$S \cdot \pi R^2$  = energia solar que a terra intercepta.

Esta energia é distribuída pela superfície ( $4\pi R^2$ )

$$\Rightarrow (S \cdot \pi R^2) / (4\pi R^2) = 1/4 S.$$

No equilíbrio,  $E_B = E_A$  ou,

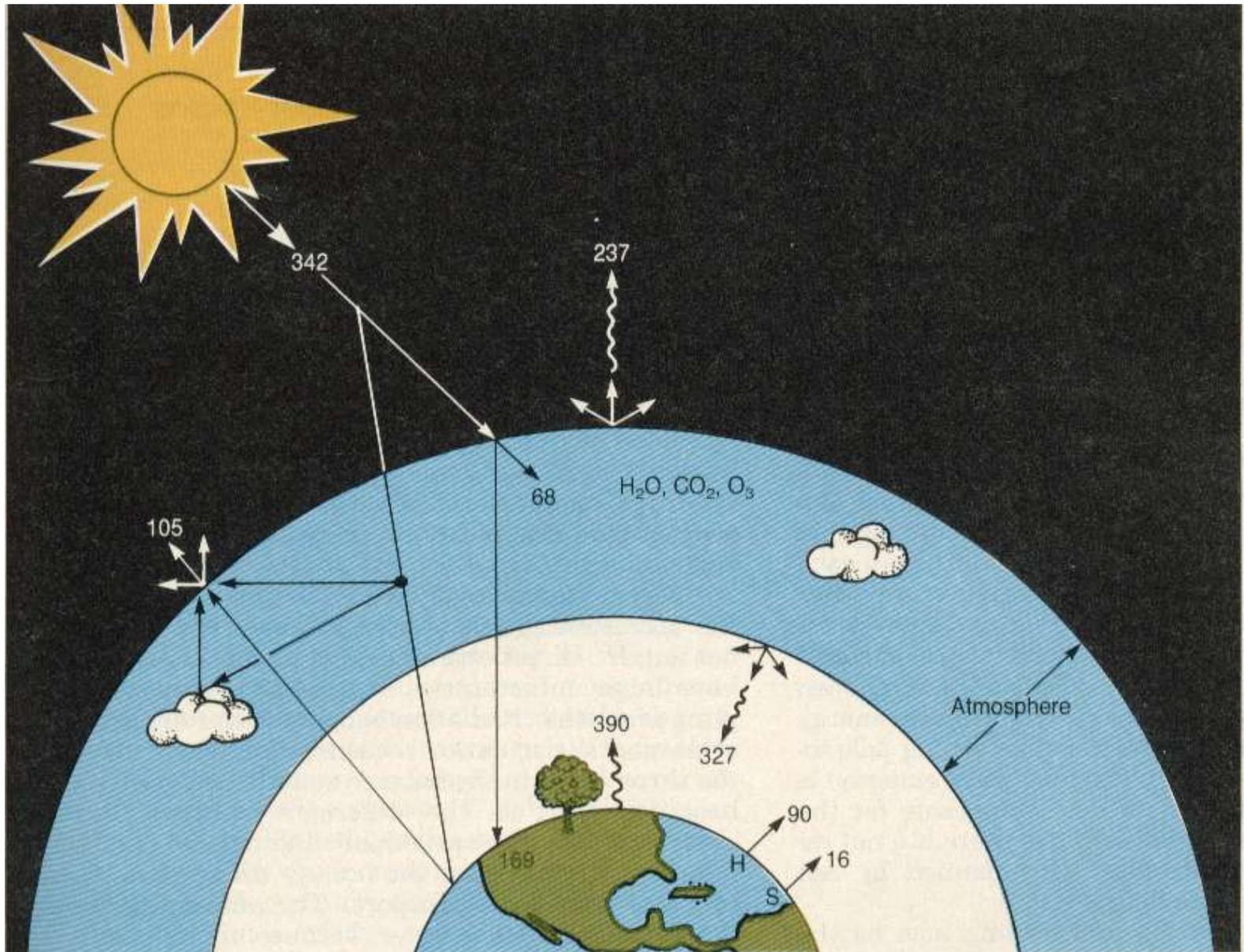
$$\sigma T^4 = (1/4 S) \cdot (1 - \alpha)$$

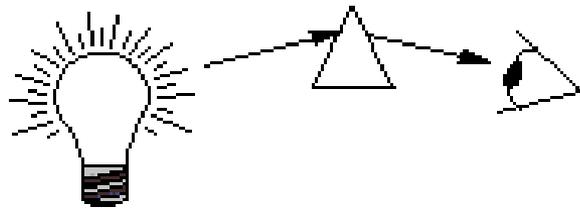
**O que dá um T de equilíbrio de 255 K, ou -18°C!**

C:\Users\akerr\aa\F\_alunos\gregori\monografia\finalgregori\efeito\_estufa\_p1.exe

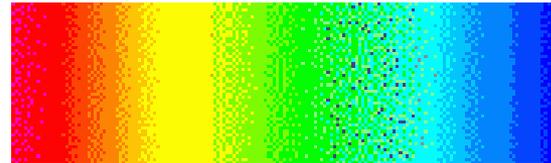
C:\Users\akerr\aa\F\_alunos\gregori\monografia\finalgregori\efeito\_estufa\_p2.exe

# Efeito Estufa: Adicionando a Atmosfera





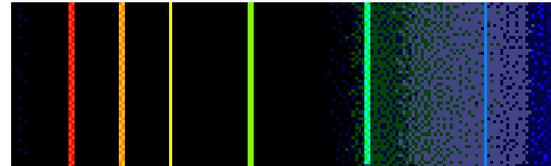
Continuum Spectrum



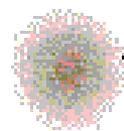
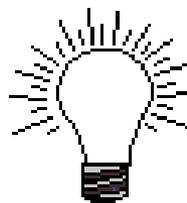
Hot Gas



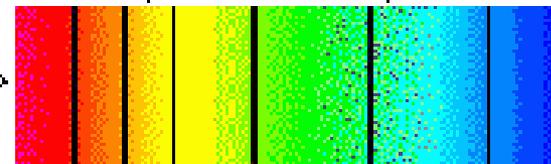
Emission Line Spectrum

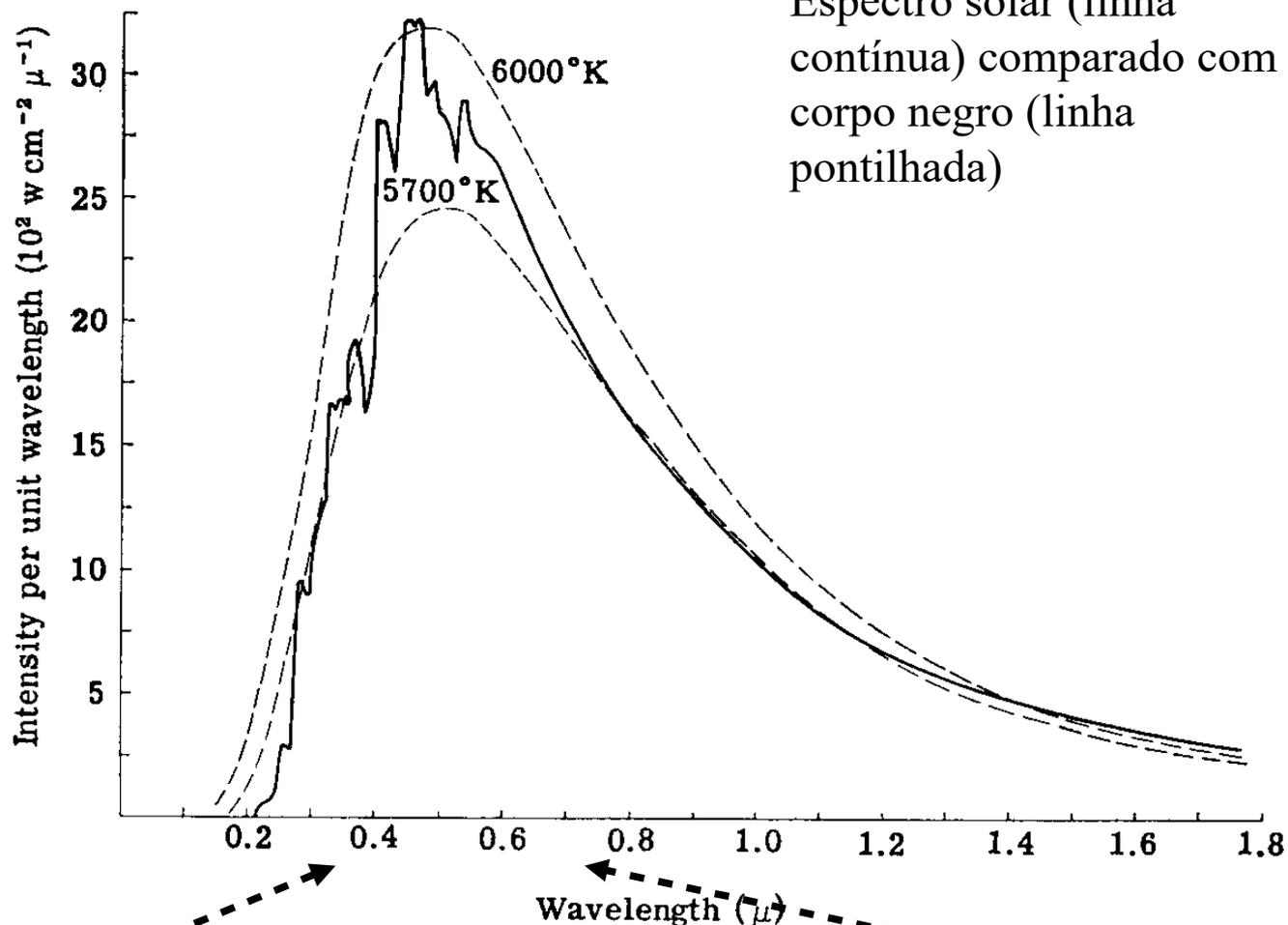


Cold Gas

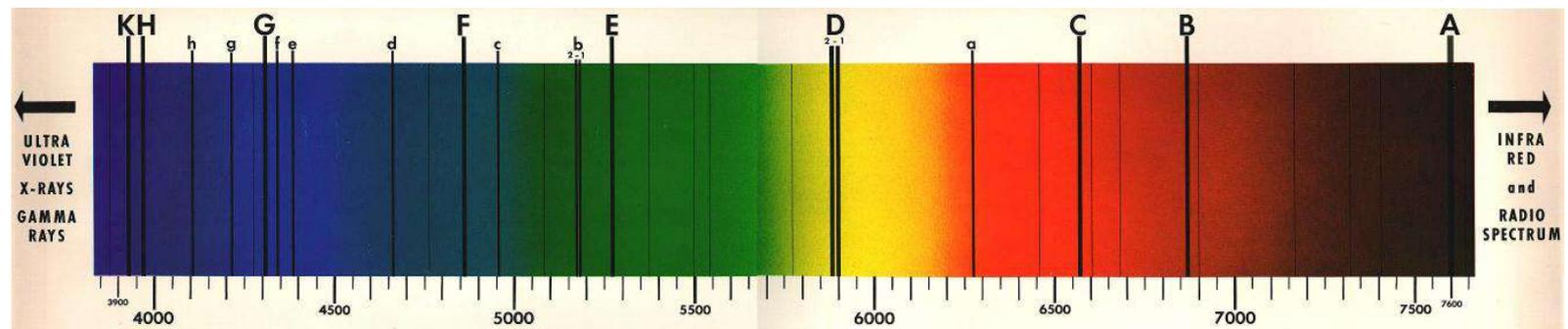


Absorption Line Spectrum

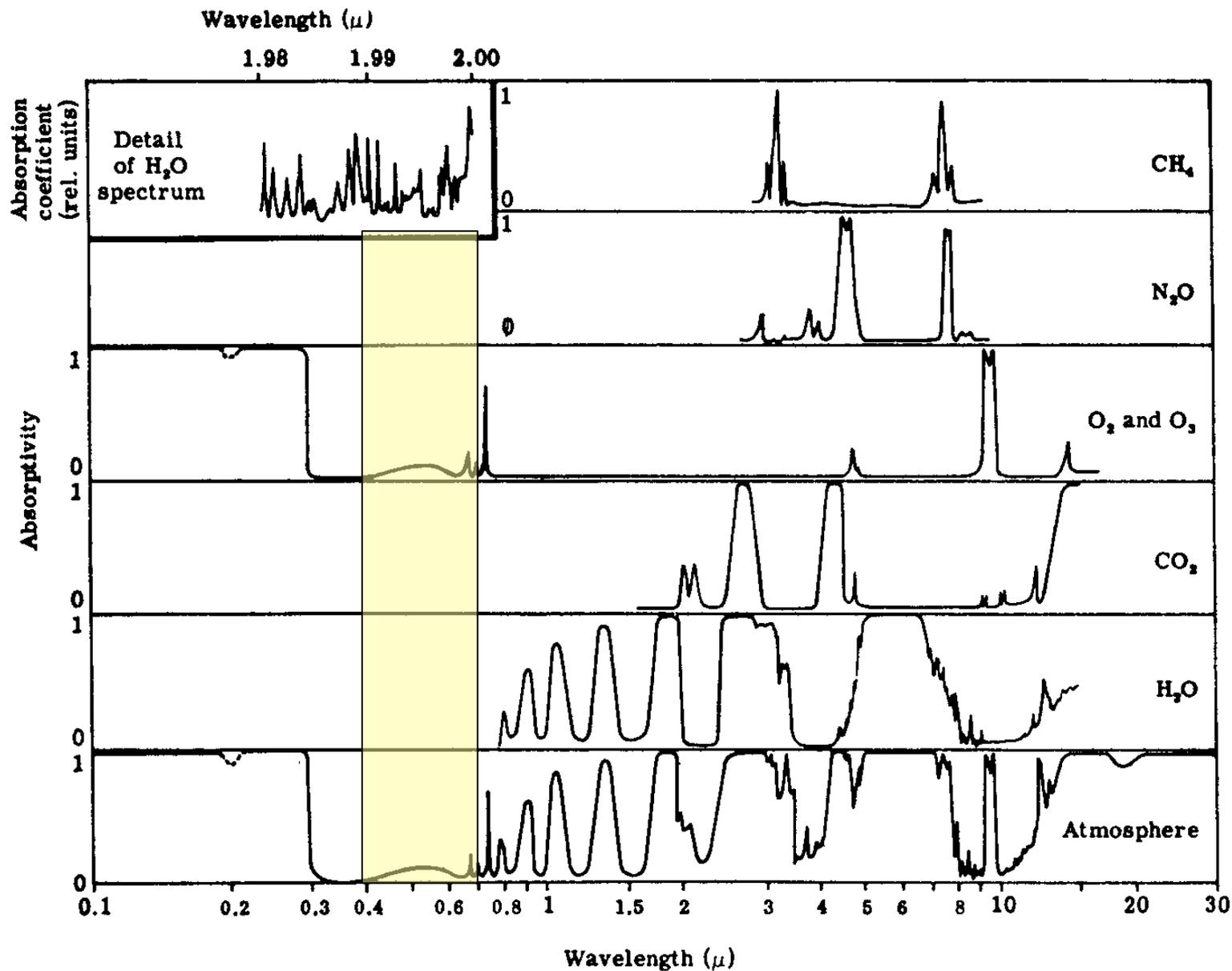




Espectro solar (linha contínua) comparado com corpo negro (linha pontilhada)



# Espectros de absorção de radiação de alguns componentes do ar





# Concentrações atuais e aquecimento estufa devido a gases traço.

Fontes: MITCHELL, 1989; IPCC, 2007

Gás	Concentração (ppm)	Aquecimento Estufa ( $W.m^{-2}$ )	Variação desde o ano 1750 até ~2005 ( $W.m^{-2}$ )
vapor de água ( $H_2O$ )	~3000	~100	
dióxido de Carbono ( $CO_2$ )	345 (379)	~50	1.66
metano ( $CH_4$ )	1.7 (1.774)	1.7	0.48
óxido nitroso ( $N_2O$ )	0.30	1.3	0.16
ozônio ( $O_3$ ) na Troposfera	$10-100 \times 10^{-3}$	1.3	0.35
CFC 11	$0.22 \times 10^{-3}$	0.06	0.06
CFC 12	$0.38 \times 10^{-3}$	0.12	0.12
Todos Halocarbonos		0.34	0.34

[em 2011 (IPCC-2013) =  $2.29 W/m^2$ ]

Absorção total:  $\sim 155 W.m^{-2}$   
Variação Total:  $\sim 2.99 W.m^{-2}$   
Variação Líquida:  $\sim 1,6 W .m^{-2}$

Uma variação no Efeito Estufa pode provocar variações no clima.

Mas o que é clima?

# CLIMA

“Condições da atmosfera em uma localização particular sobre um longo período de tempo (*n.e. ~30anos*). É a somatória dos elementos atmosféricos (e suas variações) que, em períodos pequenos de tempo, constitui o “Tempo”. Estes elementos são: radiação solar, temperatura, umidade, precipitação (tipo, frequência e quantidade), pressão atmosférica e vento (intensidade e direção).

A origem grega da palavra “klima” é uma indicação de “inclinação”, como dos raios solares, da zona de latitude na terra.” (Britannica, 2012)

Apesar de atualmente não se incluir outros aspectos do meio ambiente como parte do clima em si, é impossível executar qualquer modelo de previsão climática sem incluir as interações entre as variáveis do clima e o tipo e quantidade de vegetação ou o tipo de solo existente em um local.

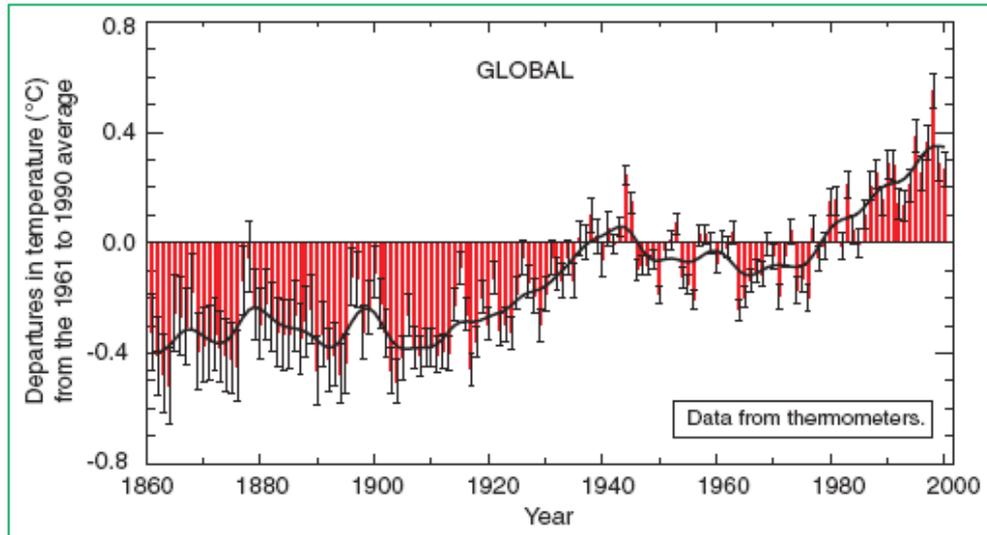
# Algumas Variáveis do Clima Ou que interferem no Clima

- Temperatura
- Umidade
- Pressão
- Velocidade do vento
- Radiação
- Precipitação
- % Nuvens
- Tipo de nuvens
- Tipo de solo
- Uso do solo
- % de superfície de água
- Vegetação
- Posição na terra

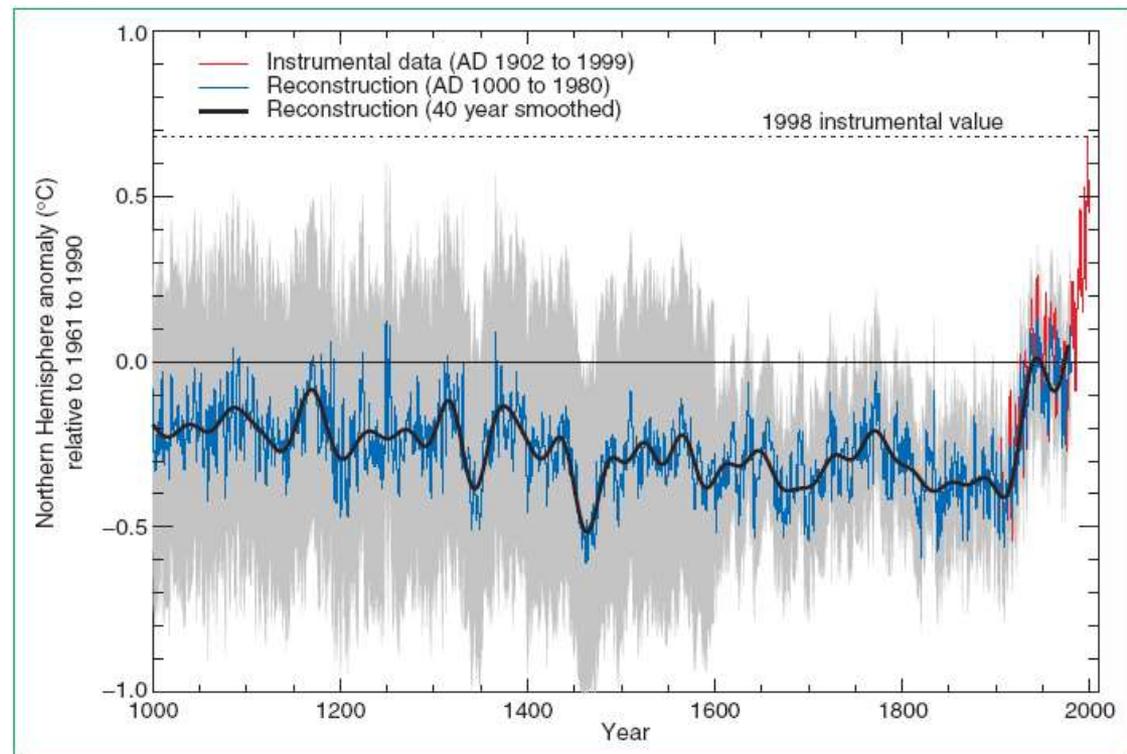
# MEDINDO O CLIMA

(experiências)

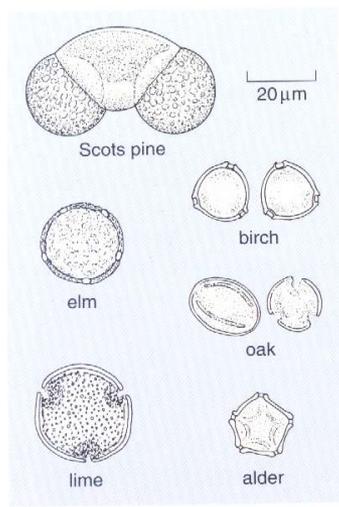
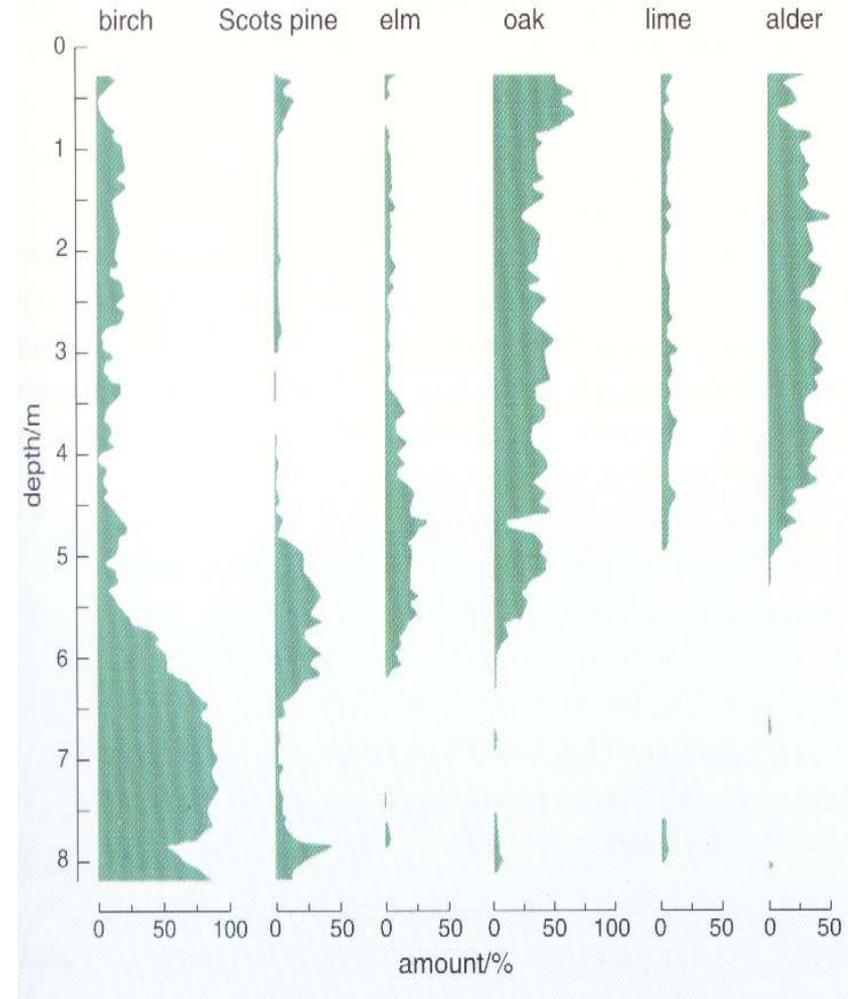
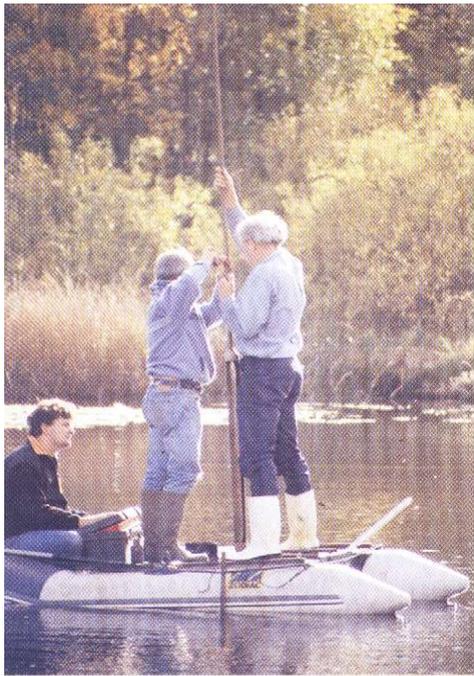
- Métodos & incertezas com temperatura
- Umidade
- Micro-clima



**Figure 2:** Combined annual land-surface air and sea surface temperature anomalies ( $^{\circ}\text{C}$ ) 1861 to 2000, relative to 1961 to 1990. Two standard error uncertainties are shown as bars on the annual number.



**Figure 5:** Millennial Northern Hemisphere (NH) temperature reconstruction (blue – tree rings, corals, ice cores, and historical records) and instrumental data (red) from AD 1000 to 1999. Smoother version of NH series (black), and two standard error limits (gray shaded) are shown. [Based on



Elm - olmo  
 oak - carvalho  
 lime - limão  
 birch - bétula  
 pine - pinheiro

# Paleoclima-sedimentos

**Figure 3.9** Drawings of pollen grains from different types of tree. Note the scale bar indicating that these small grains are only 20  $\mu\text{m}$  or so across.

### Ice cores

Information: Volume of continental ice from oxygen isotopic composition of the oceans; levels of CO<sub>2</sub> and methane in the atmosphere from trapped gas bubbles; wind strength and source from dust, sea salt, pollen; surface temperature from isotopic ratios in ice, borehole temperatures, gas fractionation, melt layers; snow accumulation rates from thickness of annual layers; sunspot cycles from isotopes formed by solar cosmic rays.

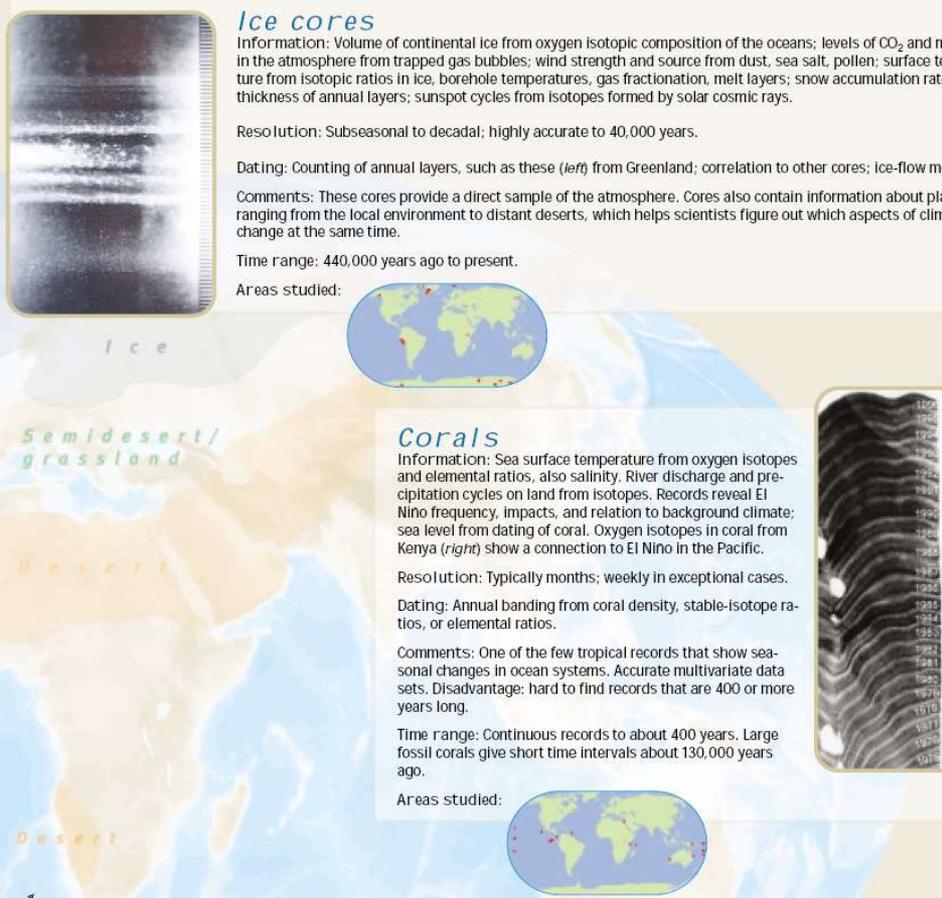
Resolution: Subseasonal to decadal; highly accurate to 40,000 years.

Dating: Counting of annual layers, such as these (left) from Greenland; correlation to other cores; ice-flow models.

Comments: These cores provide a direct sample of the atmosphere. Cores also contain information about places ranging from the local environment to distant deserts, which helps scientists figure out which aspects of climate change at the same time.

Time range: 440,000 years ago to present.

Areas studied:



### Corals

Information: Sea surface temperature from oxygen isotopes and elemental ratios, also salinity. River discharge and precipitation cycles on land from isotopes. Records reveal El Niño frequency, impacts, and relation to background climate; sea level from dating of coral. Oxygen isotopes in coral from Kenya (right) show a connection to El Niño in the Pacific.

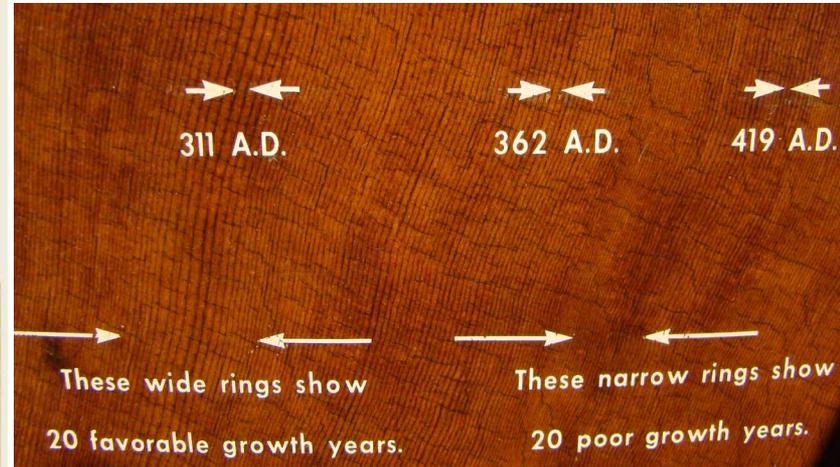
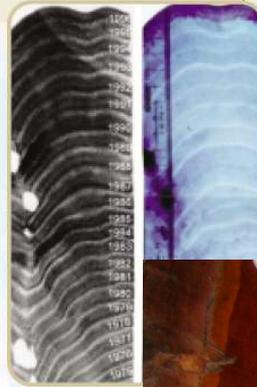
Resolution: Typically months; weekly in exceptional cases.

Dating: Annual banding from coral density, stable-isotope ratios, or elemental ratios.

Comments: One of the few tropical records that show seasonal changes in ocean systems. Accurate multivariate data sets. Disadvantage: hard to find records that are 400 or more years long.

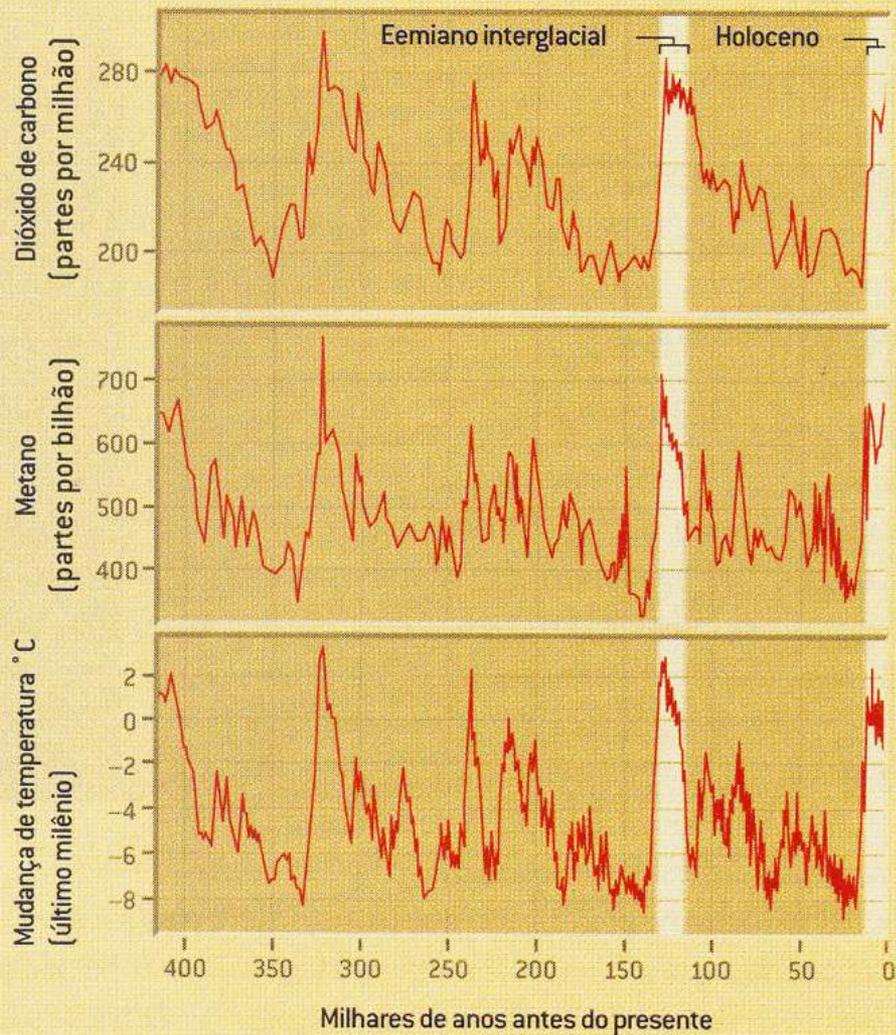
Time range: Continuous records to about 400 years. Large fossil corals give short time intervals about 130,000 years ago.

Areas studied:

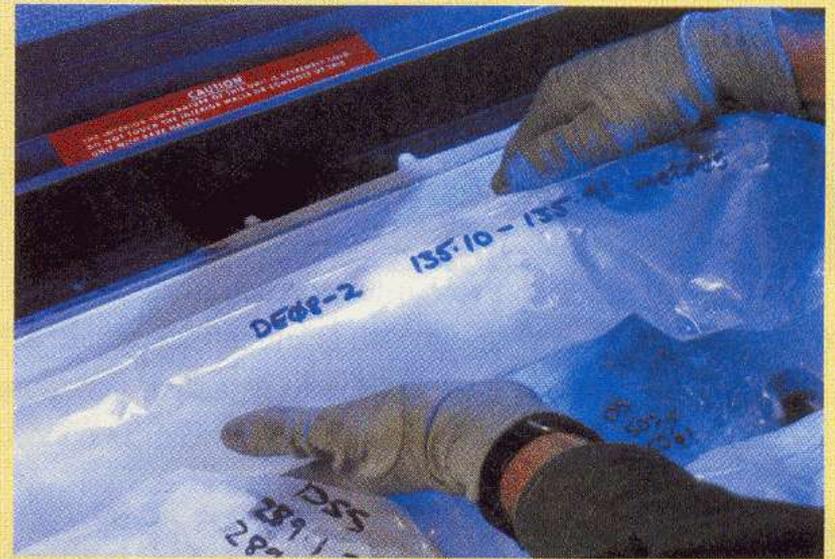


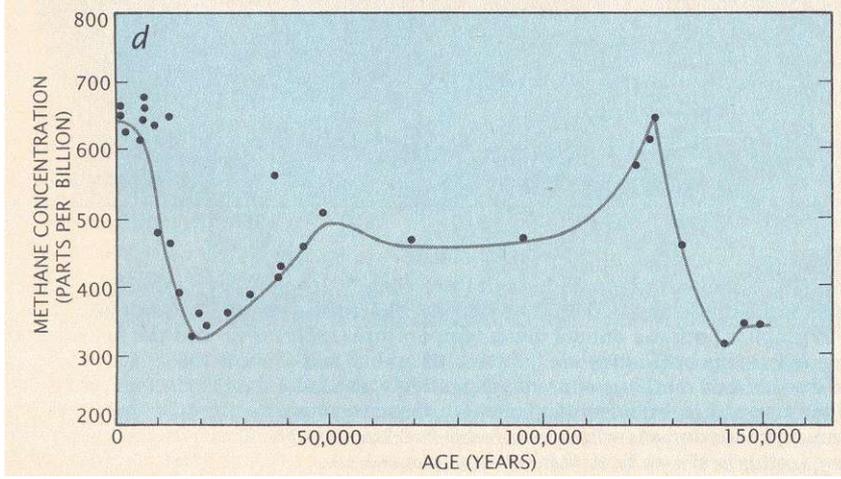
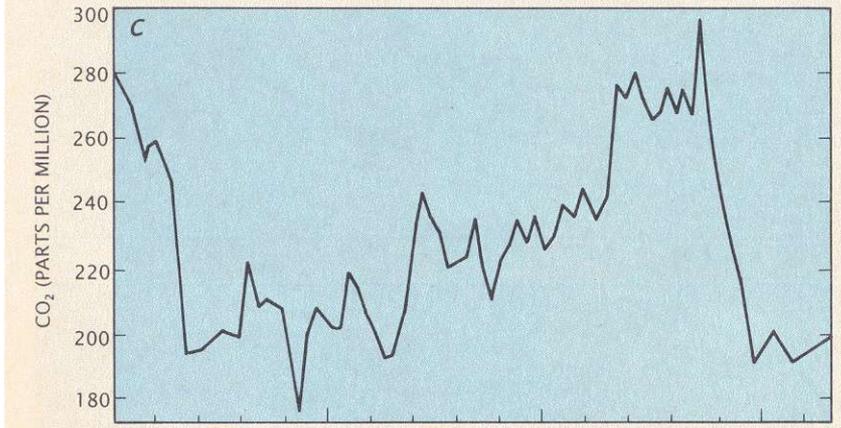
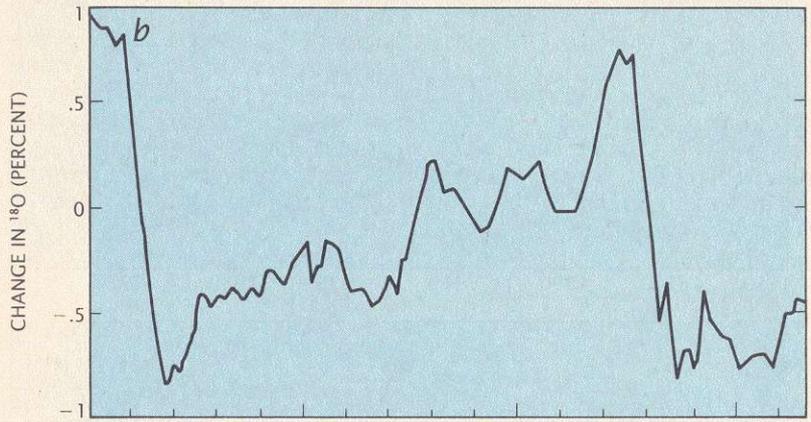
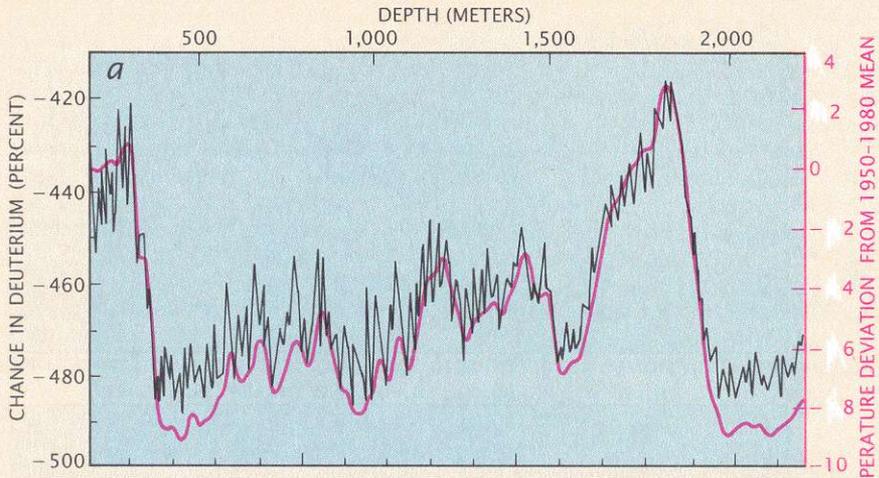
## Paleoclima:

- . Testemunhos de Gelo
- . Corais
- . Anéis de árvores



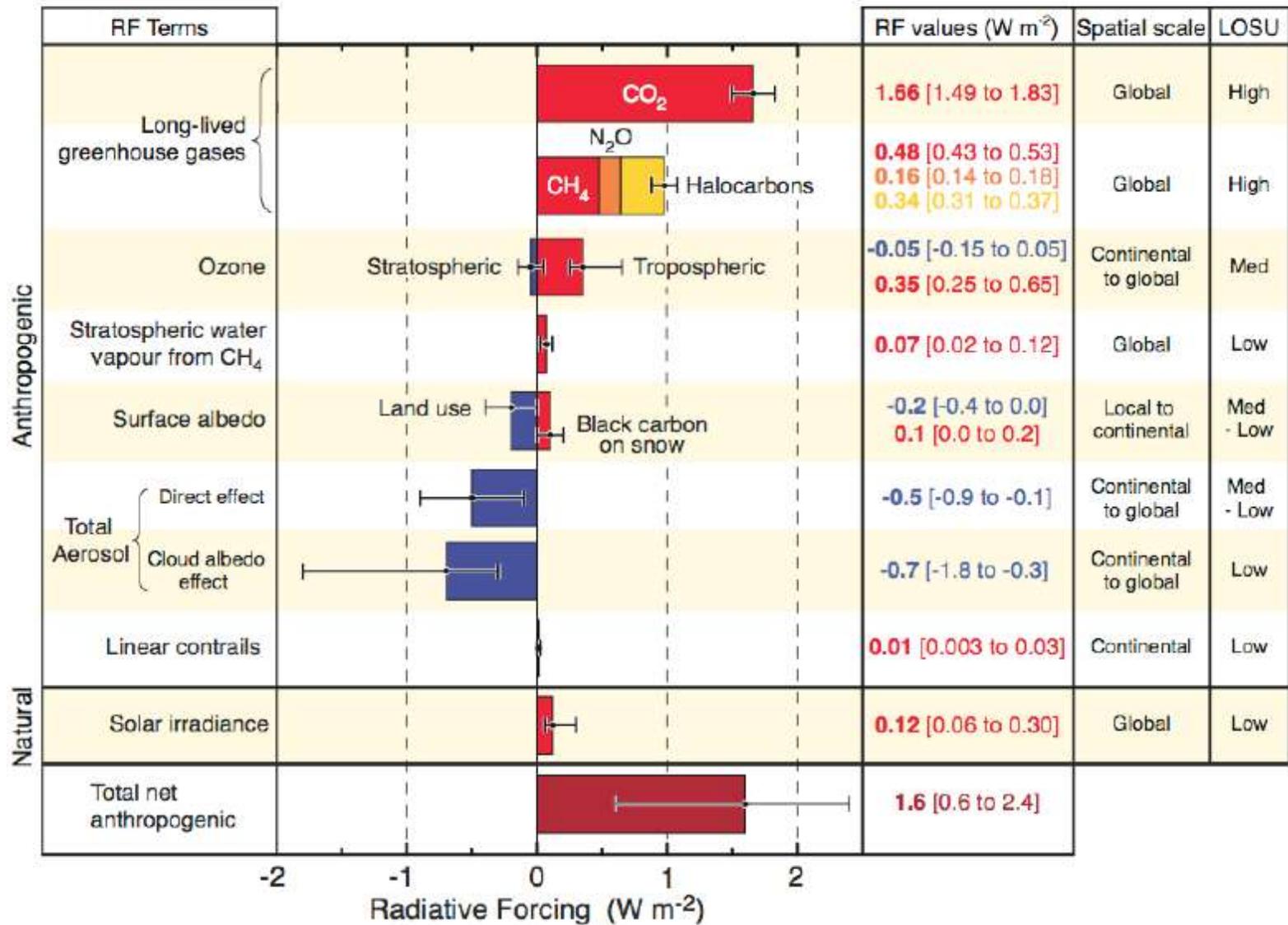
O GELO DA ANTÁRTIDA preservou um registro de 400 mil anos de temperatura e dos níveis de dióxido de carbono e metano na atmosfera. Os cientistas estudam os gases aprisionados em bolhas de ar no gelo – geralmente usando amostras (foto) de perfurações no manto de gelo e transportadas para um laboratório. O registro histórico nos fornece duas medidas críticas: comparação do presente período interglacial (o Holoceno) com a mais recente era glacial (20 mil anos atrás) oferece uma medida precisa da sensibilidade do clima a forçantes. A temperatura no período interglacial anterior (o Eemiano), quando o nível do mar estava vários metros mais alto que hoje, define uma estimativa do aquecimento que a civilização atual consideraria interferência antropogênica perigosa no clima.





Testemunho de gelo (Estação Vostok, Antártica)

# Radiative Forcing Components

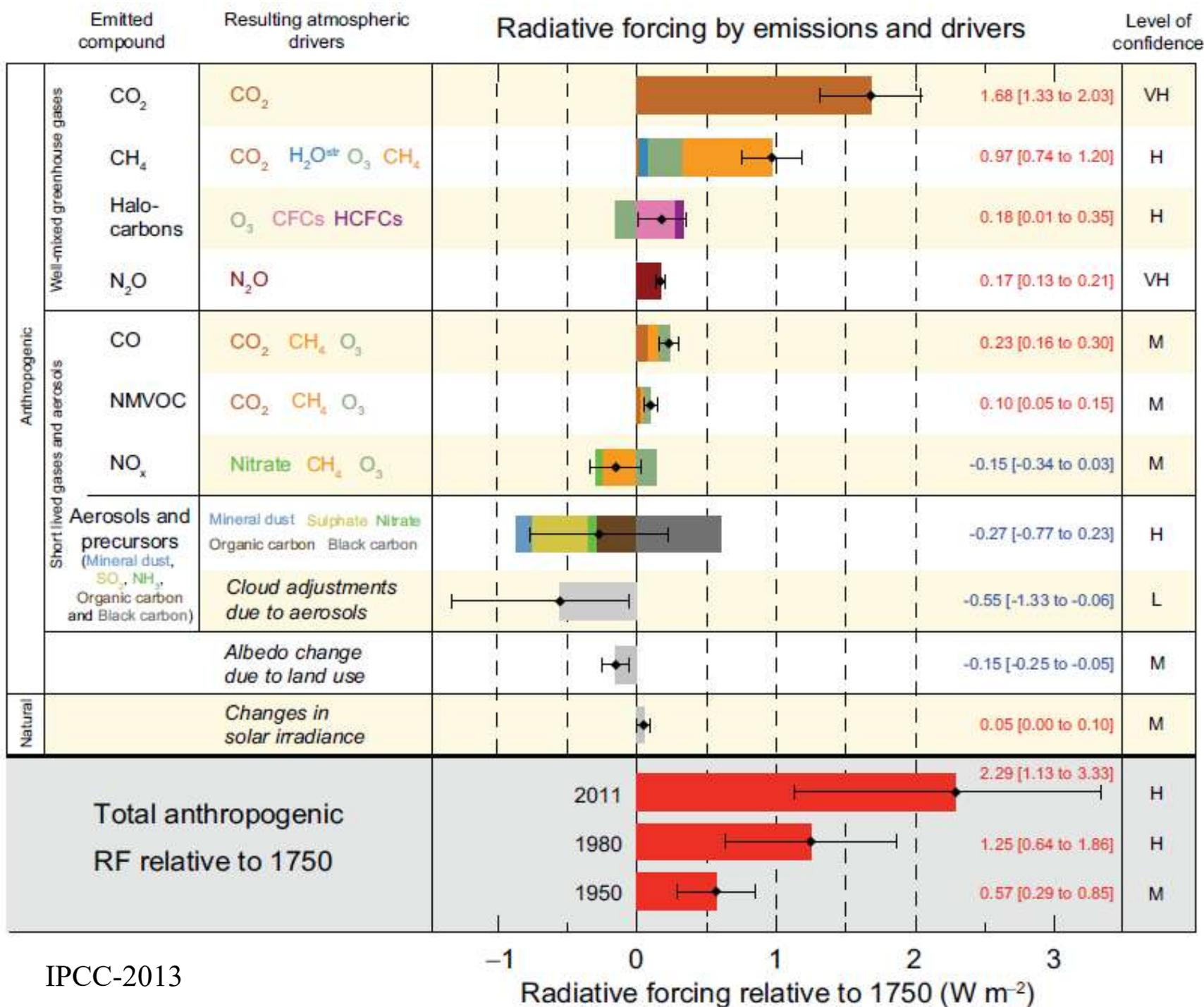


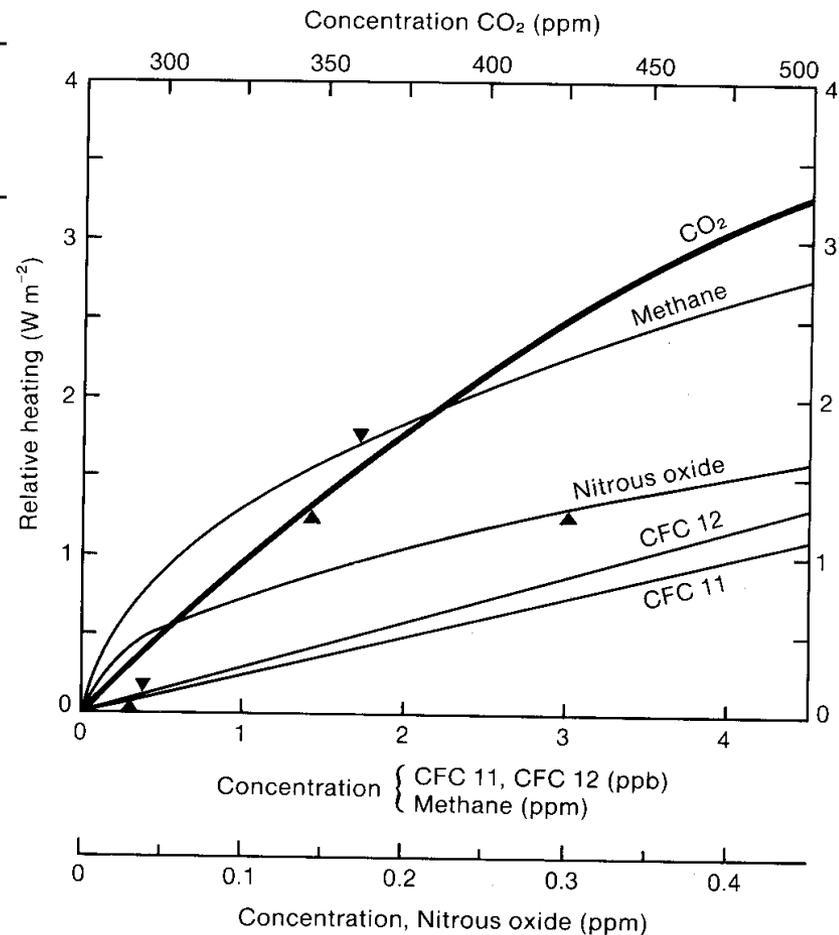
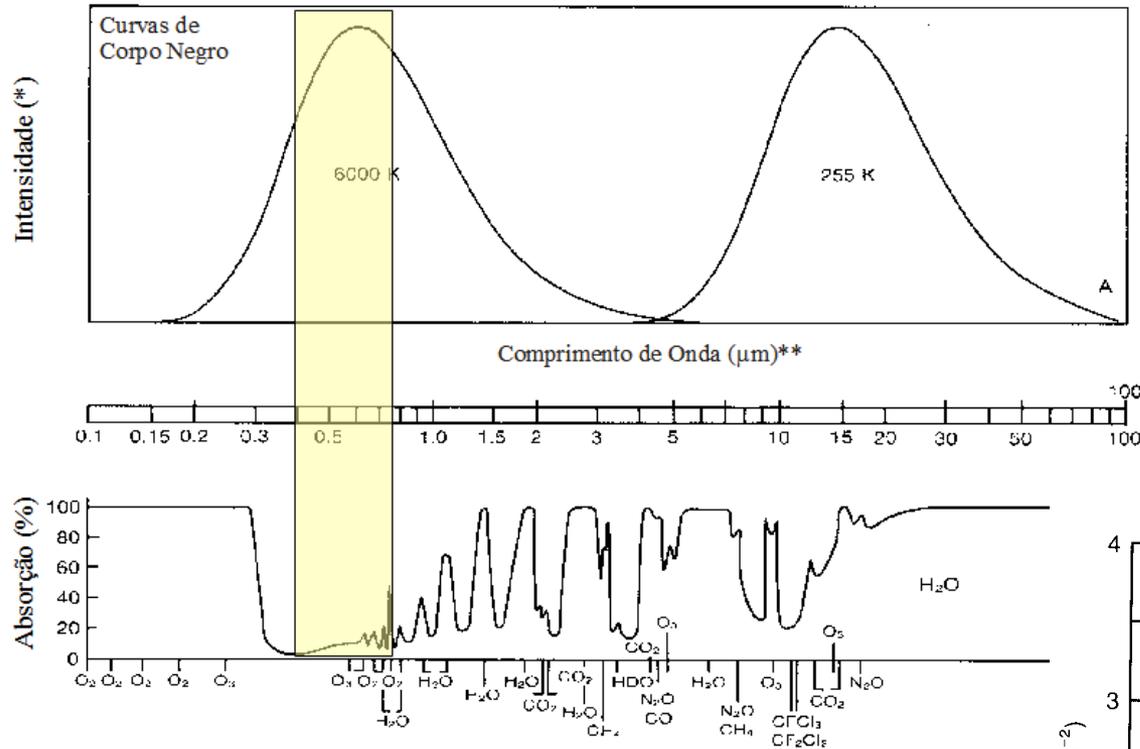
**LOSU= Level of Scientific Understanding**

Estimativas de forçantes radiativas antropogênicas desde 1750

IPCC-2007 [em 2011 (IPCC-2013) = 2.29  $W/m^2$ ]

Confidence Terminology	Degree of confidence in being correct
Very high confidence	At least 9 out of 10 chance
High confidence	About 8 out of 10 chance
Medium confidence	About 5 out of 10 chance
Low confidence	About 2 out of 10 chance
Very low confidence	Less than 1 out of 10 chance





Potencial relativo de aquecimento para alguns gases

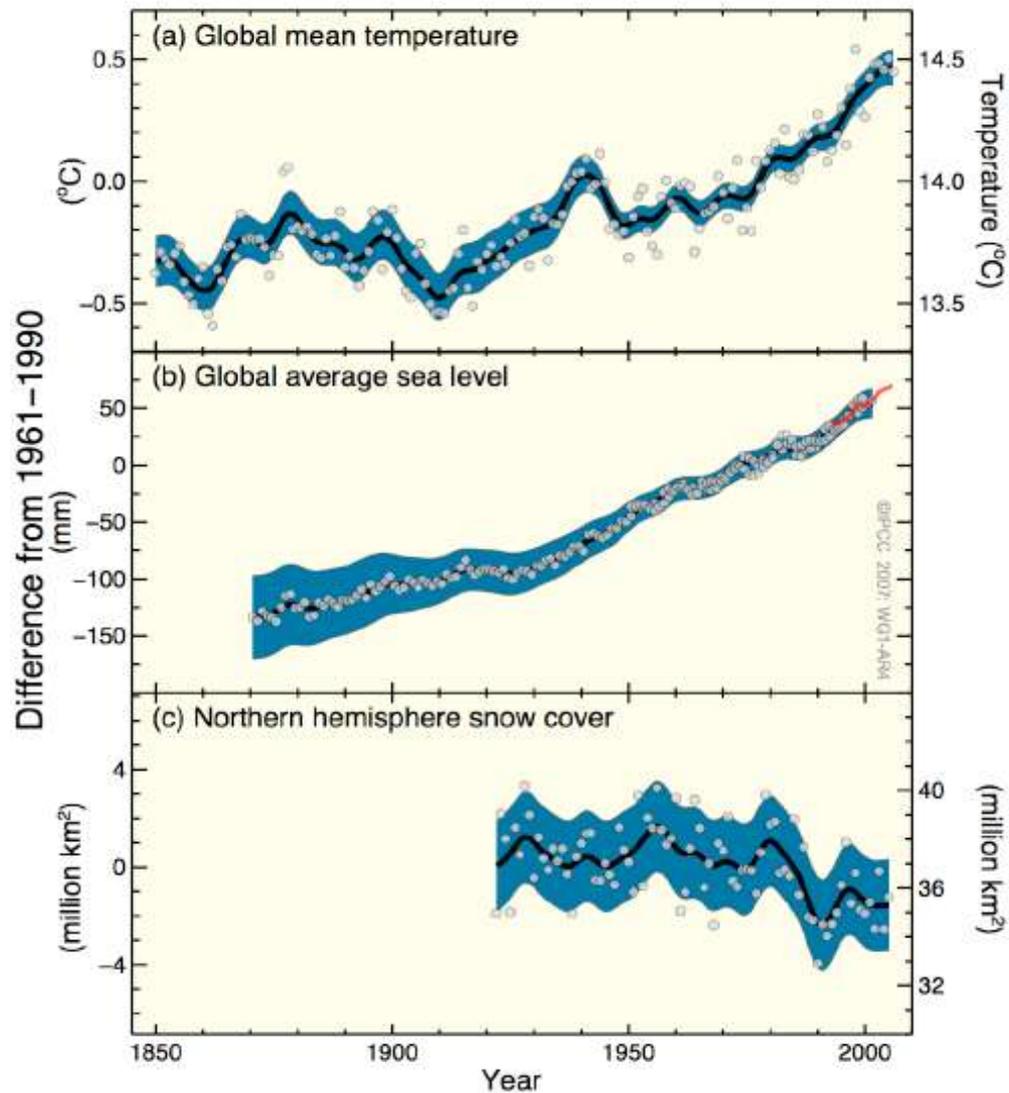
O sinal triangular marca o nível de concentração atual.

O potencial dependerá da eficiência de absorção da radiação pelo componente, da faixa de energia em que ele absorve e do tempo de residência do elemento na atmosfera.

Espécie	Fórmula Química	Tempo de residência (anos)	Potencial de Aquecimento Global (relativo ao CO <sub>2</sub> )		
			20 anos	100 anos	500 anos
CFC-11	CFCl <sub>3</sub>	50	5.000	4.000	1.400
CFC-12	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	102	7.900	8.500	4.200
Metano	CH <sub>4</sub>	14,5	62	24,5	7,5
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	120	290	320	180
Hexafluoreto de Enxofre	SF <sub>6</sub>	3.200	16.500	24.900	36.500

CO<sub>2</sub> :  $\tau_1 = 172.9$  years,  $\tau_2 = 18.51$  years, and  $\tau_3 = 1.186$  years, for  $t < 1,000$  years  
Tempo de Residência Médio: 30 a 95 anos (Jacobson, 2005, J. Geophys. Res. V110)

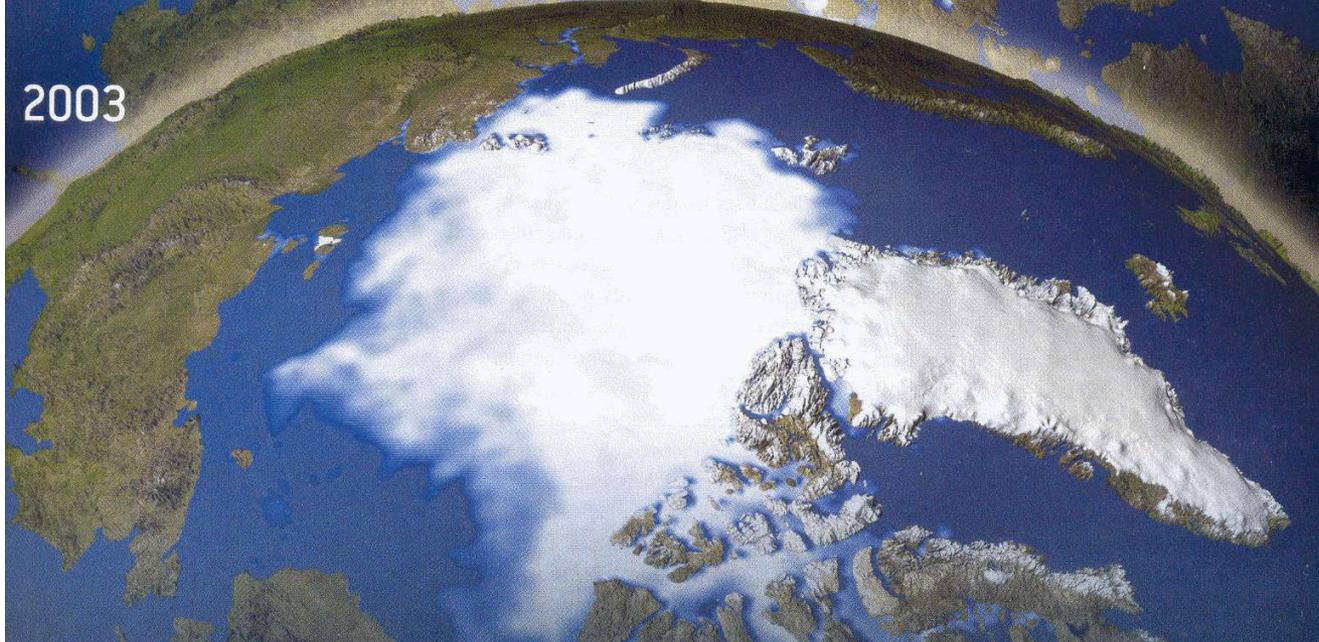
# Changes in Temperature, Sea Level and Northern Hemisphere Snow Cover



1979



2003



ENCOLHIMENTO DO GELO DO ÁRTICO

# Kilimanjaro, Tanzânia



1974



2008

Aquário de  
Barcelona,  
Abril/2012



Aumento de absorção  
de CO<sub>2</sub> pelos oceanos,  
incrementa acidez das  
águas e o ataque às  
carapaças carbonáceas  
de seres e estruturas  
marinhas.

# Dificuldades para prever mudanças

- Clima envolve sistema complexo - variações em prazo longo (~30 anos).
- Variações próximas ao erro de medida
- (0,78° C de 1850/1900 a 2003/12).
- Efeitos de realimentação positiva ou negativa:
  - ♦ + temperatura: umidade → nuvens → temperatura ( $\pm$ )
  - ♦ tipo de nuvens: stratus(-)/cumulus(+)
  - ♦ vegetação: absorve CO<sub>2</sub> (-)
  - ♦ oceanos: absorção CO<sub>2</sub> e reservatório de gás e de temperatura
  - ♦ Albedo (-)

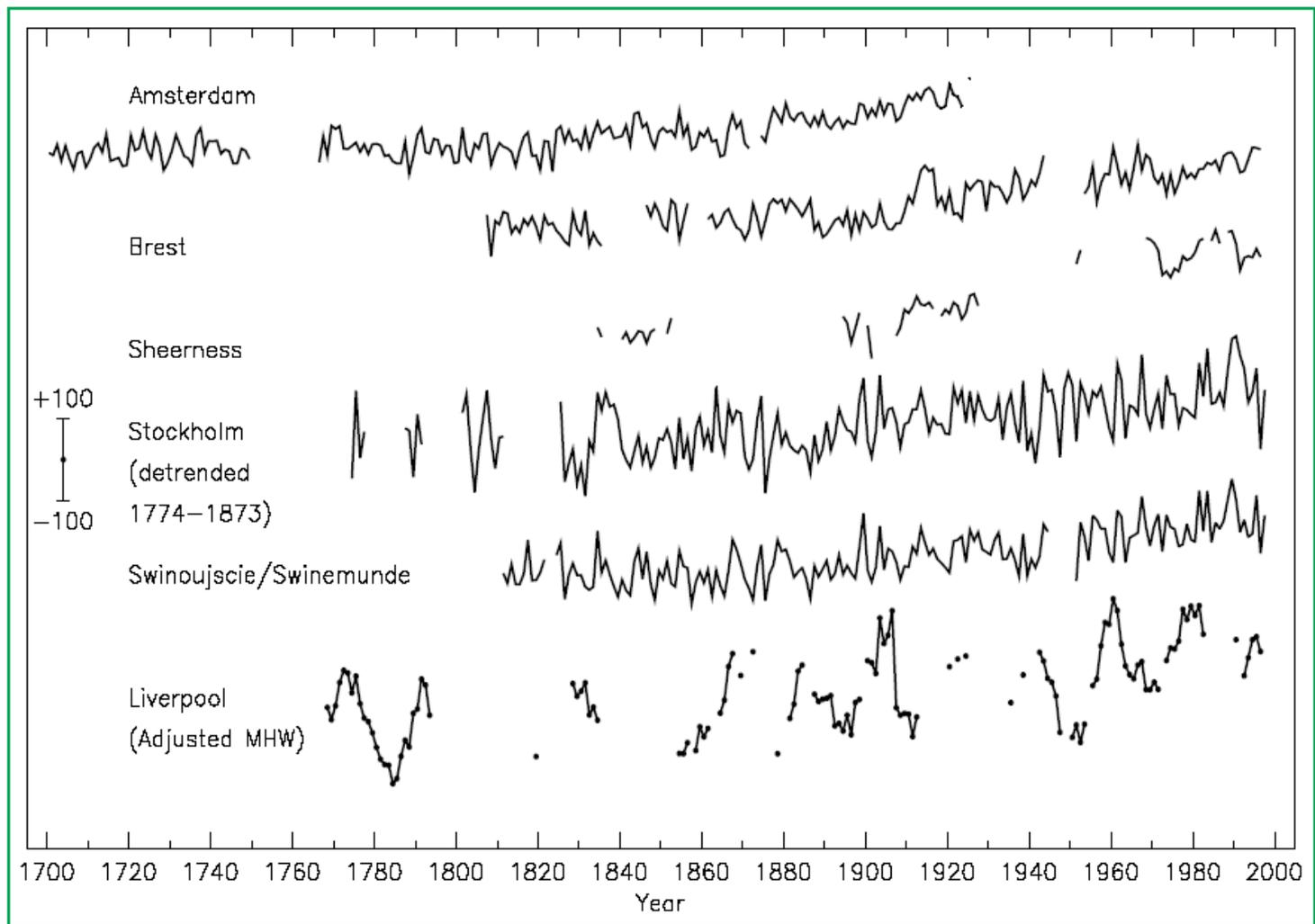
## **AVENIDA PAULISTA: 1900 e 2001.**

**Que efeito esta transformação tem  
sobre o clima regional?**

*(créditos das fotos: desconhecidos)*



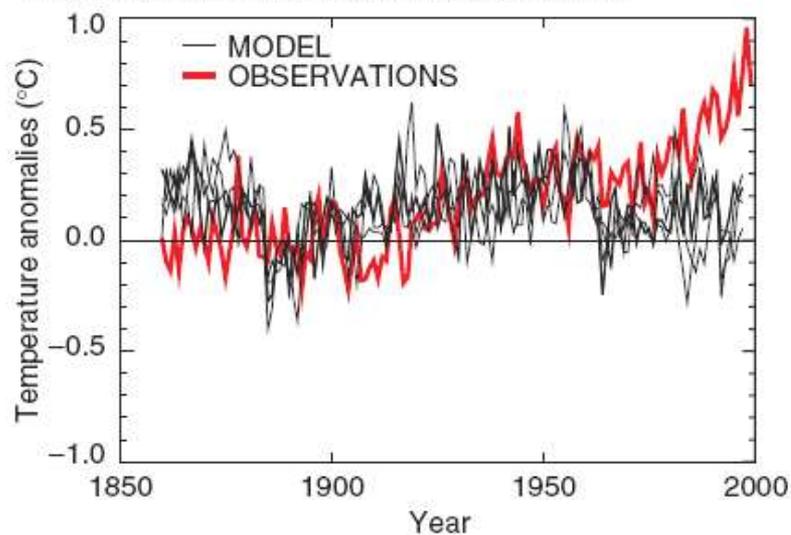
# Nível dos oceanos



**Figure 6:** Time-series of relative sea level for the past 300 years from Northern Europe: Amsterdam, Netherlands; Brest, France; Sheerness, UK; Stockholm, Sweden (detrended over the period 1774 to 1873 to remove to first order the contribution of post-glacial rebound); Swinoujscie, Poland (formerly Swinemunde, Germany); and Liverpool, UK. Data for the latter are of “Adjusted Mean High Water” rather than Mean Sea Level and include a nodal (18.6 year) term. The scale bar indicates  $\pm 100$  mm. [Based on Figure 11.7]

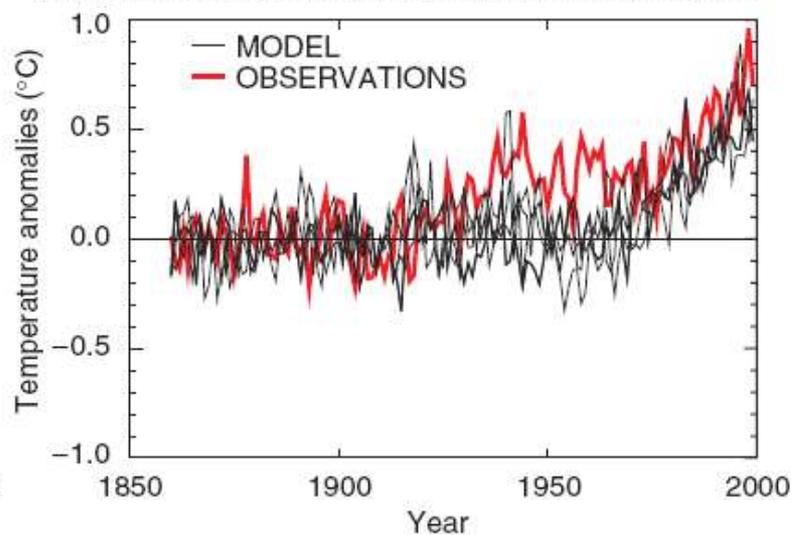
**(a)**

NATURAL : Annual global mean temperatures



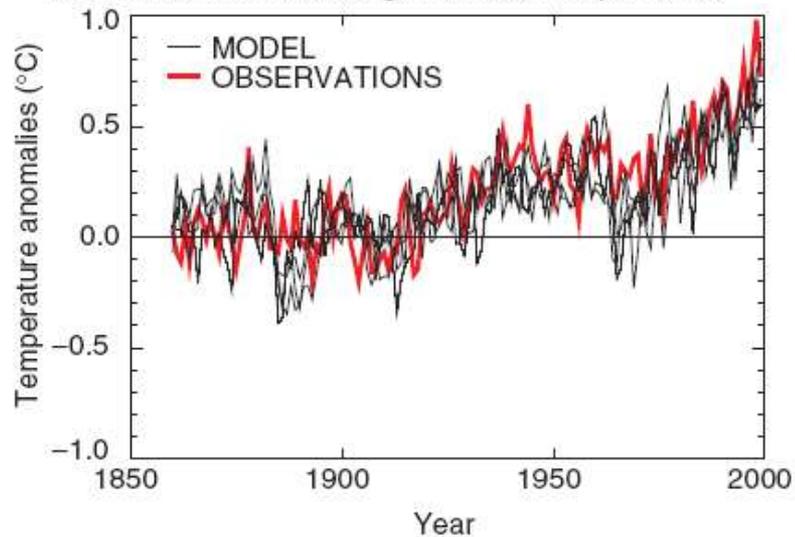
**(b)**

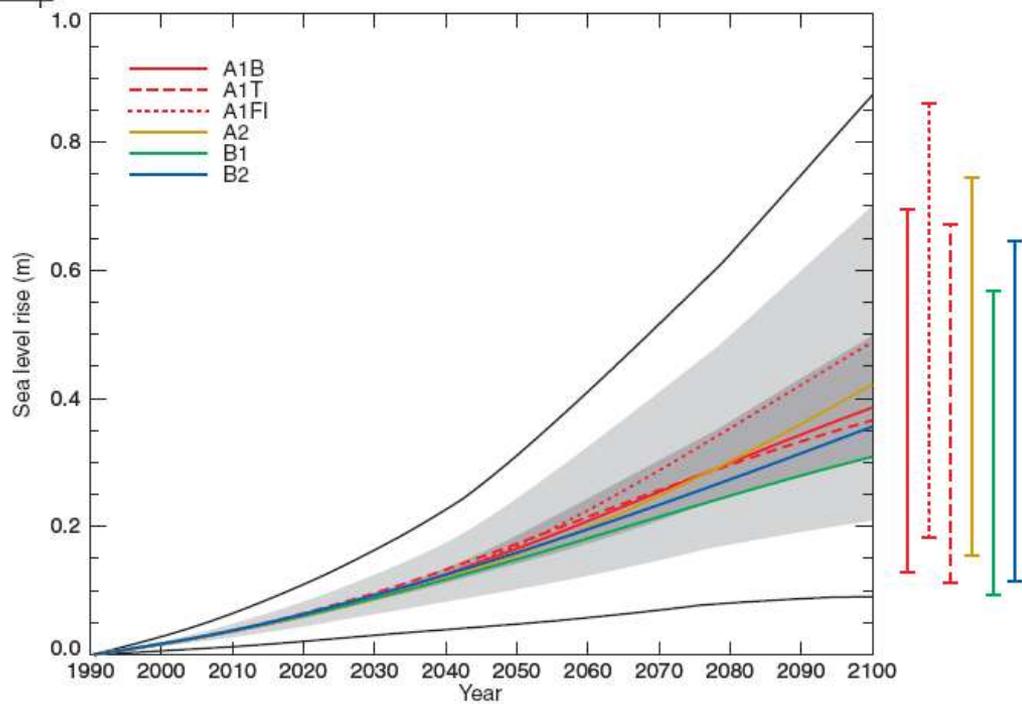
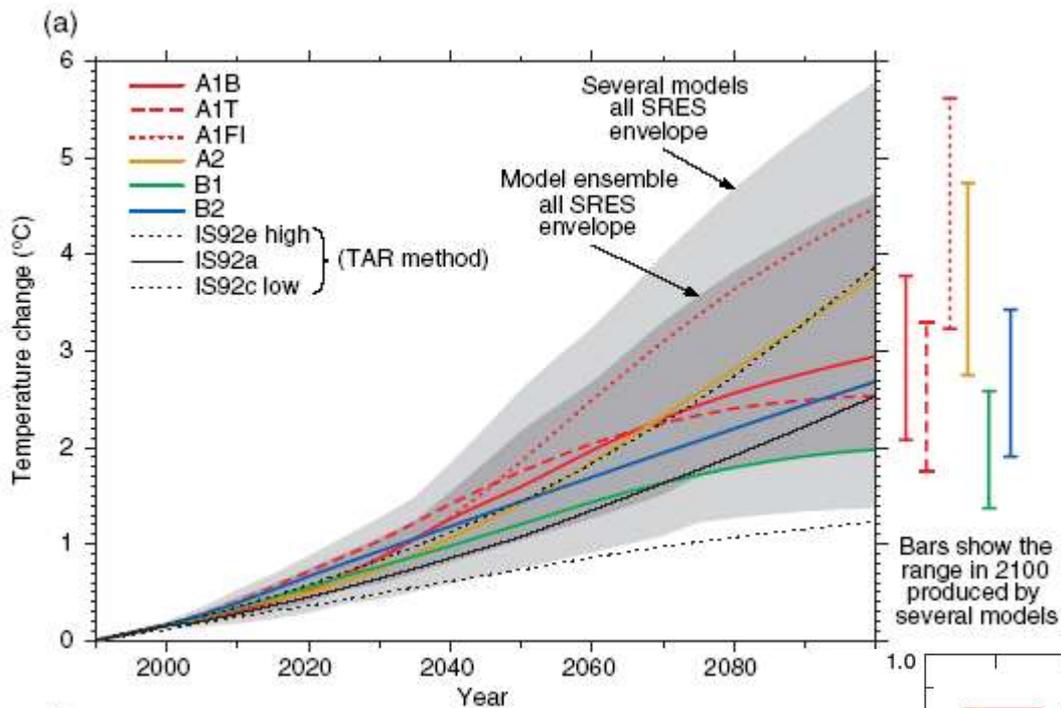
ANTHROPOGENIC : Annual global mean temperatures



**(c)**

ALL FORCINGS : Annual global mean temperatures





ONDE TERÍAMOS QUE  
MEXER PARA EVITAR UM  
IMPACTO CLIMÁTICO  
ANTROPOGÊNICO?

# Concentrações atuais e aquecimento estufa devido a gases traço

Fontes: MITCHELL, 1989; IPCC, 2007

Gás	Concentração (ppm)	Aquecimento Estufa ( $\text{W.m}^{-2}$ )	Variação desde o ano 1750 até ~2005 ( $\text{W.m}^{-2}$ )
vapor de água ( $\text{H}_2\text{O}$ )	~3000	~100	
dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )	345 (379)	~50	1.66
metano ( $\text{CH}_4$ )	1.7 (1.774)	1.7	0.48
óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ )	0.30	1.3	0.16
ozônio ( $\text{O}_3$ ) na Troposfera	$10\text{-}100 \times 10^{-3}$	1.3	0.35
CFC 11	$0.22 \times 10^{-3}$	0.06	0.06
CFC 12	$0.38 \times 10^{-3}$	0.12	0.12
Todos Halocarbonos		0.34	0.34

Absorção total:  $\sim 155 \text{W.m}^{-2}$

Variação Total:  $\sim 2.99 \text{W.m}^{-2}$

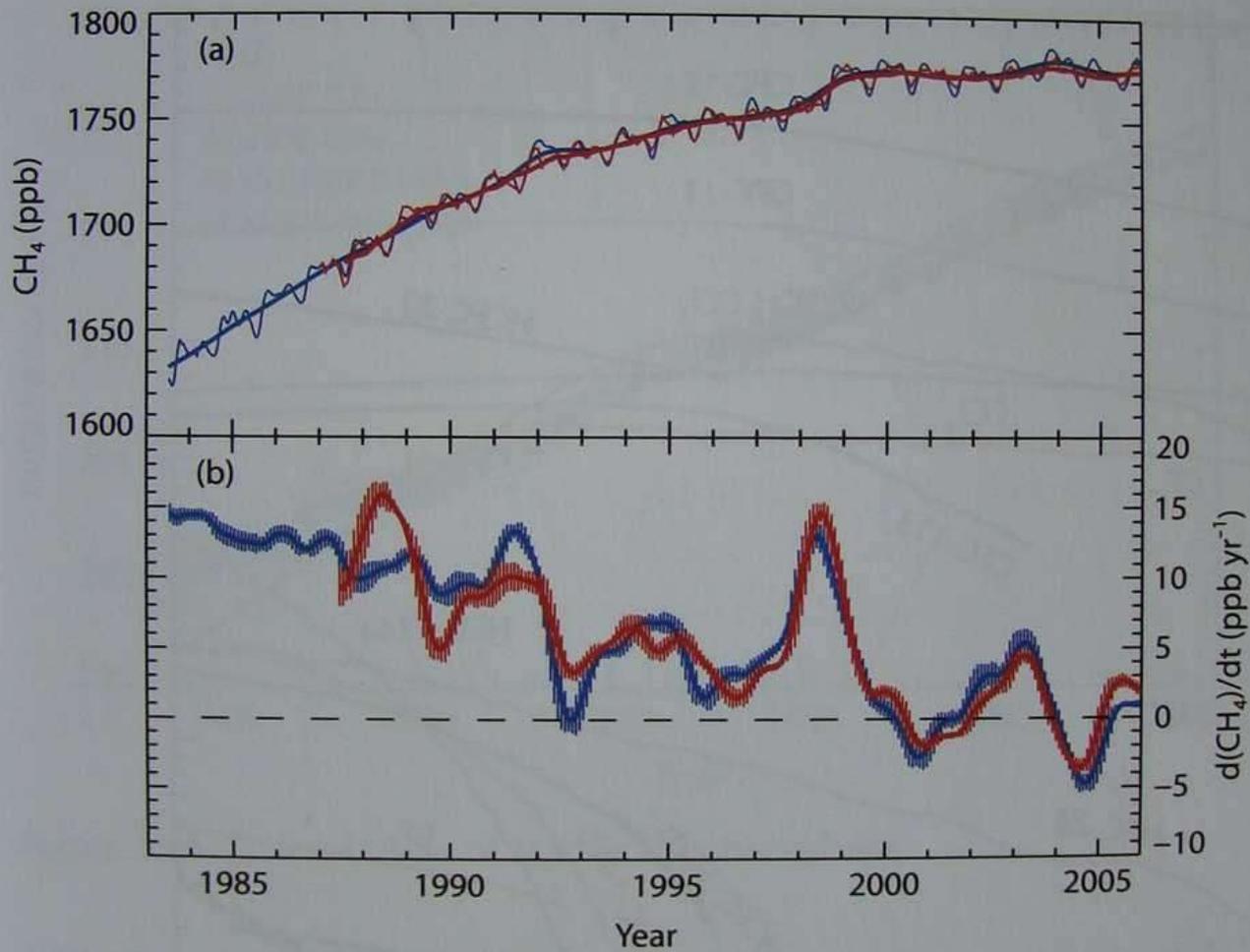
Variação Líquida:  $\sim 1,6 \text{W.m}^{-2}$

[em 2011 (IPCC-2013) =  $2.29 \text{W/m}^2$ ]

Estimativa de fontes e sumidouros de Metano [Tg(CH <sub>4</sub> ) ano <sup>-1</sup> ] (fonte: Seinfeld and Pandis, 1998)		
Fontes identificadas	Estimativa Individual	Total
<b>NATURAIS</b>		
Terras alagadas	115 (55-150)	
Termitas	20 (10-50)	
Oceanos	10 (5-50)	
Outras	15 (10-40)	
Total de fontes naturais identificadas		160 (110-210)
<b>ANTROPOGÊNICAS</b>		
<b>Fontes relacionadas a combustíveis fósseis</b>		
Gás Natural	40 (25-50)	
Minas de Carvão	30 (15-45)	
Indústria do Petróleo	15 (5-30)	
Queima de Carvão	? (1-30)	
Total relacionado à combustíveis fósseis		100 (70-120)
<b>Carbono Biosférico</b>		
Fermentação entérica	85 (65-100)	
Arrozais alagados	60 (20-100)	
Queima de Biomassa	40 (20-80)	
Aterros sanitários	40 (20-70)	
Dejetos animais	25 (20-30)	
Esgoto doméstico	25 (15-80)	
Total da Biosfera		275 (20-350)
Total de fontes antropogênicas Identificadas		375 (300-450)
Total de fontes identificadas		535 (410-660)
<b>SUMIDOUROS</b>		
OH troposférico	445 (360-530)	
Estratosfera	40 (32-48)	
Solos	30 (15-45)	
Total de sumidouros		515 (430-600)
Carga total global: 4850 Tg(CH <sub>4</sub> )		



Termitas  
Cupinzeiros no campo  
“Cupim” do boi



**Figure 2.8** Recent changes in atmospheric methane concentration (top), and rate of change (bottom).

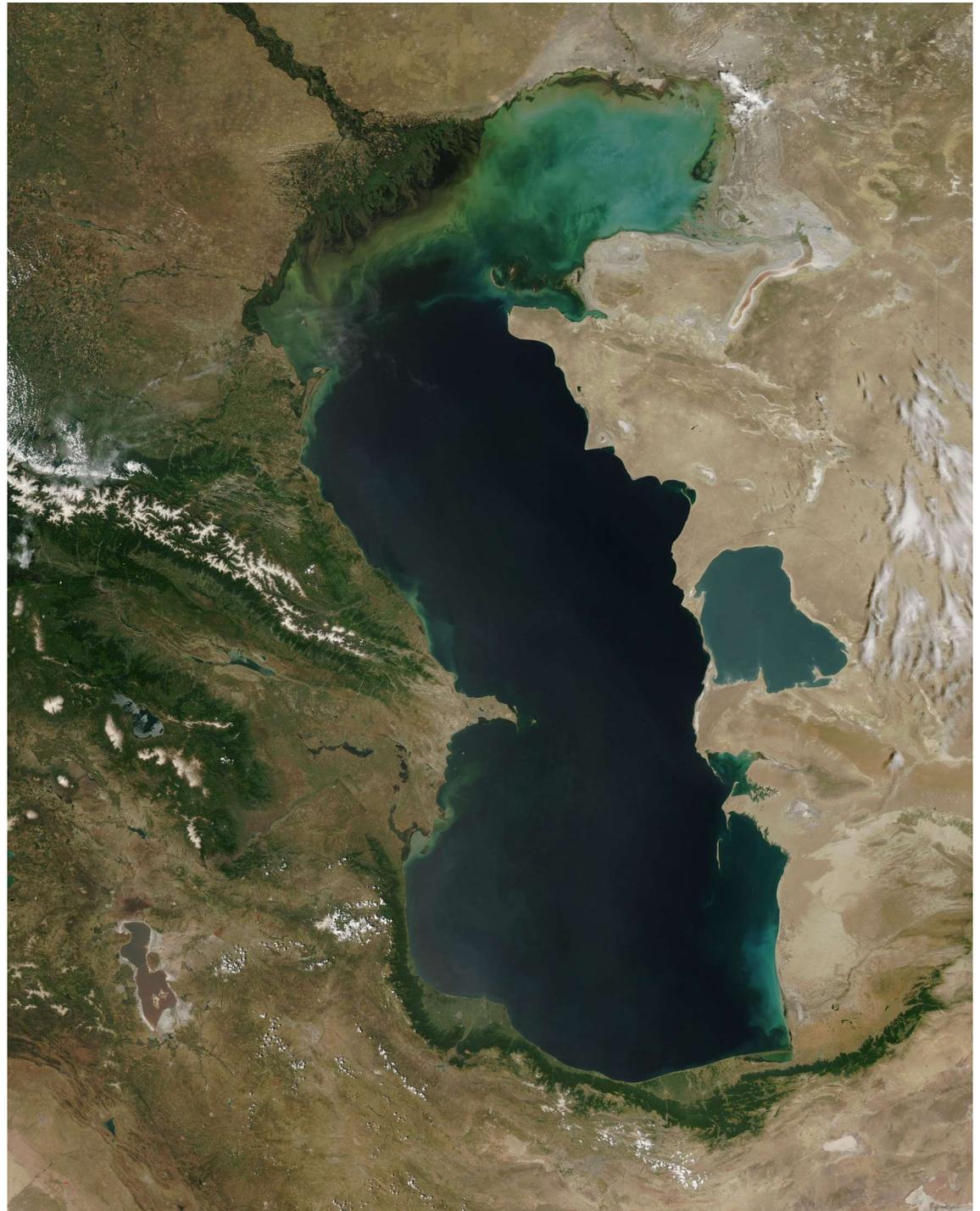
Source	NO <sub>x</sub>		NH <sub>3</sub>		N <sub>2</sub> O	
	TAR <sup>a</sup>	AR4 <sup>b</sup>	TAR <sup>a</sup>	AR4 <sup>a</sup>	TAR <sup>c</sup>	AR4
<b>Anthropogenic sources</b>						
Fossil fuel combustion & industrial processes	33 (20–24)	25.6 (21–28)	0.3 (0.1–0.5)	2.5 <sup>d</sup>	1.3/0.7 (0.2–1.8)	0.7 (0.2–1.8) <sup>d</sup>
Aircraft	0.7 (0.2–0.9)	– <sup>e</sup> (0.5–0.8)	–	–	–	–
Agriculture	2.3 <sup>f</sup> (0–4)	1.6 <sup>g</sup>	34.2 (16–48)	35 <sup>g</sup> (16–48)	6.3/2.9 (0.9–17.9)	2.8 (1.7–4.8) <sup>g</sup>
Biomass and biofuel burning	7.1 (2–12)	5.9 (6–12)	5.7 (3–8)	5.4 <sup>d</sup> (3–8)	0.5 (0.2–1.0)	0.7 (0.2–1.0) <sup>g</sup>
Human excreta	–	–	2.6 (1.3–3.9)	2.6 <sup>g</sup> (1.3–3.9)	–	0.2 <sup>g</sup> (0.1–0.3) <sup>h</sup>
Rivers, estuaries, coastal zones	–	–	–	–	–	1.7 (0.5–2.9) <sup>i</sup>
Atmospheric deposition	–	0.3 <sup>g</sup>	–	–	–	0.6 <sup>i</sup> (0.3–0.9) <sup>h</sup>
<b>Anthropogenic total</b>	<b>43.1</b>	<b>33.4</b>	<b>42.8</b>	<b>45.5</b>	<b>8.1/4.1</b>	<b>6.7</b>
<b>Natural sources</b>						
Soils under natural vegetation	3.3 <sup>f</sup> (3–8)	7.3 <sup>i</sup> (5–8)	2.4 (1–10)	2.4 <sup>g</sup> (1–10)	6.0/6.6 (3.3–9.9)	6.6 (3.3–9.0) <sup>g</sup>
Oceans	–	–	8.2 (3–16)	8.2 <sup>g</sup> (3–6)	3.0/3.6 (1.0–5.7)	3.8 (1.8–5.8) <sup>k</sup>
Lightning	5 (2–12)	1.1–6.4 (3–7)	–	–	–	–
Atmospheric chemistry	<0.5	–	–	–	0.6 (0.3–1.2)	0.6 (0.3–1.2) <sup>c</sup>
<b>Natural total</b>	<b>8.8</b>	<b>8.4–13.7</b>	<b>10.6</b>	<b>10.6</b>	<b>9.6/10.8</b>	<b>11.0</b>
<b>Total sources</b>	<b>51.9</b> (27.2–60.9)	<b>41.8–47.1</b> (37.4–57.7)	<b>53.4</b> (40–70)	<b>56.1</b> (26.8–78.4)	<b>17.7/14.9</b> (5.9–37.5)	<b>17.7</b> (8.5–27.7)

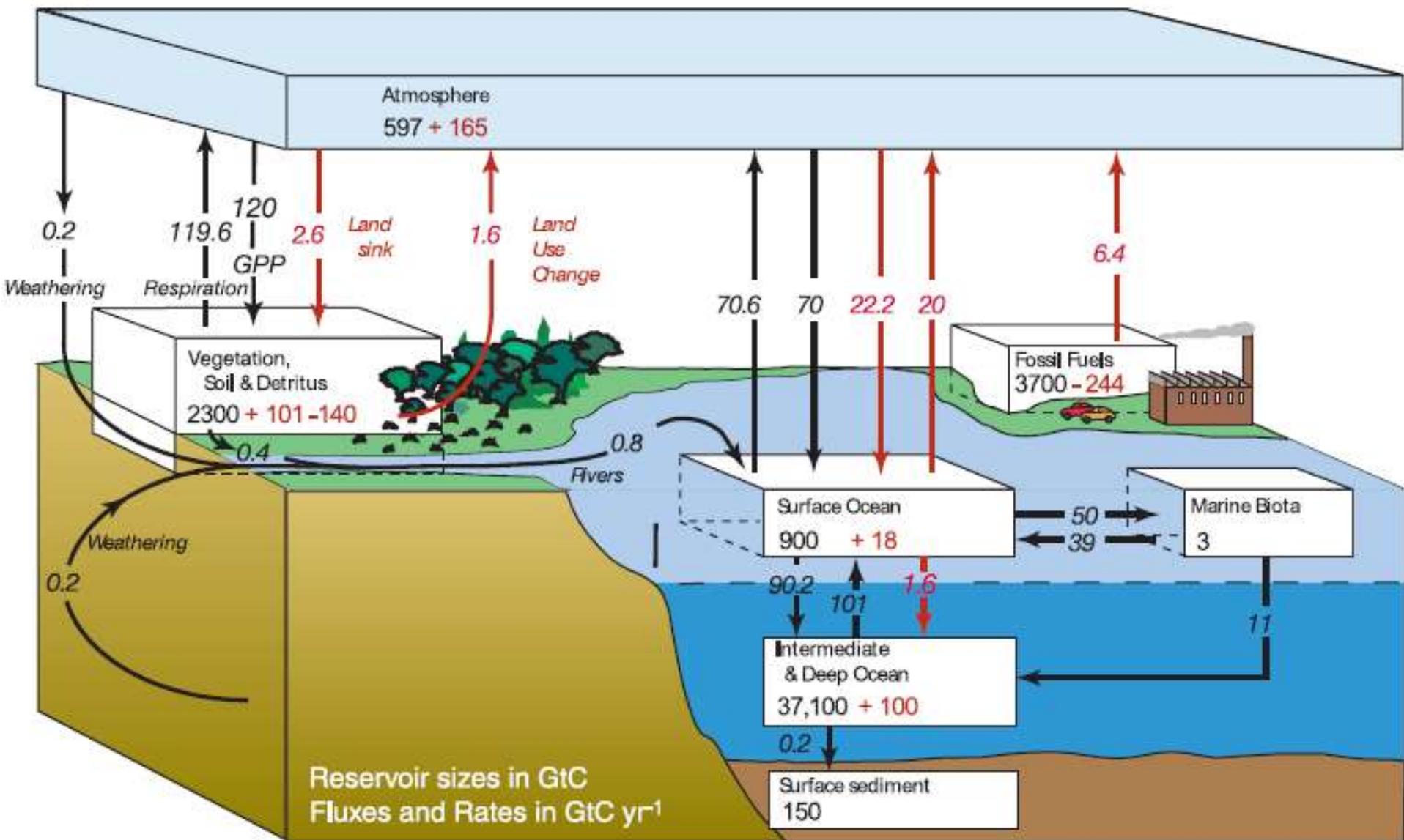
Global sources (TgN yr<sup>-1</sup>) of NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O for the 1990s

# EUTROFIZAÇÃO

## Mar Cáspio

Jeff Schmaltz, MODIS  
Rapid Response Team,  
Moderate Resolution  
Imaging Spectroradiometer  
(MODIS) on the Terra  
satellite on June 11,  
2003.NASA/GSFC





Preto: pré industrial. Vermelho: antropogênico  
 (as flechas indicam fluxos, caixas mostram estado dos reservatórios)  
 GPP – Produção Primária Bruta - anual

# Distribuição Percentual do Consumo Energético por tipo de fonte

(ano de 2012) (Energy Information Administration, 2014)

**86,3% das fontes energéticas consumidas pela Humanidade são de origem fóssil**

<b>Bloco ou País</b>	<b>Petróleo</b>	<b>Gás Natural</b>	<b>Carvão</b>	<b>Hidro e Renováveis</b>	<b>Nuclear</b>	<b>Outras</b>
Mundo	34,6	23,7	28,0	3,1	1,5	9,1
Estados Unidos	36,4	27,4	18,2	5,3	2,8	9,9
América do Norte	37,2	27,9	16,1	8,0	2,5	8,3
Europa	36,5	23,6	16,8	12,2	3,6	7,3
Países desenvolvidos	37,8	25,0	18,3	3,2	2,8	6,2
Europa Oriental e ex-União Soviética	21,6	43,8	22,4	2,0	2,0	8,3
Países em desenvolvimento	32,2	22,6	35,4	3,0	0,55	18,9
Ásia em desenvolvimento	26,8	16,1	55,4	2,9	0,36	0,0
Oriente Médio	51,3	48,1	1,7	0,66	0,01	0,0
África	42,6	27,3	25,5	1,1	0,24	3,3
América do Sul e Central	49,6	19,6	4,0	25,7	0,25	0,80
China	19,7	5,0	65,8	9,0	0,30	0,13
<b>Brasil</b>	49,5	9,4	4,2	35,5	0,43	0,90
<b>Brasil (BEN)</b>	41,6	9,9	1,0	46,0	1,5	0,0

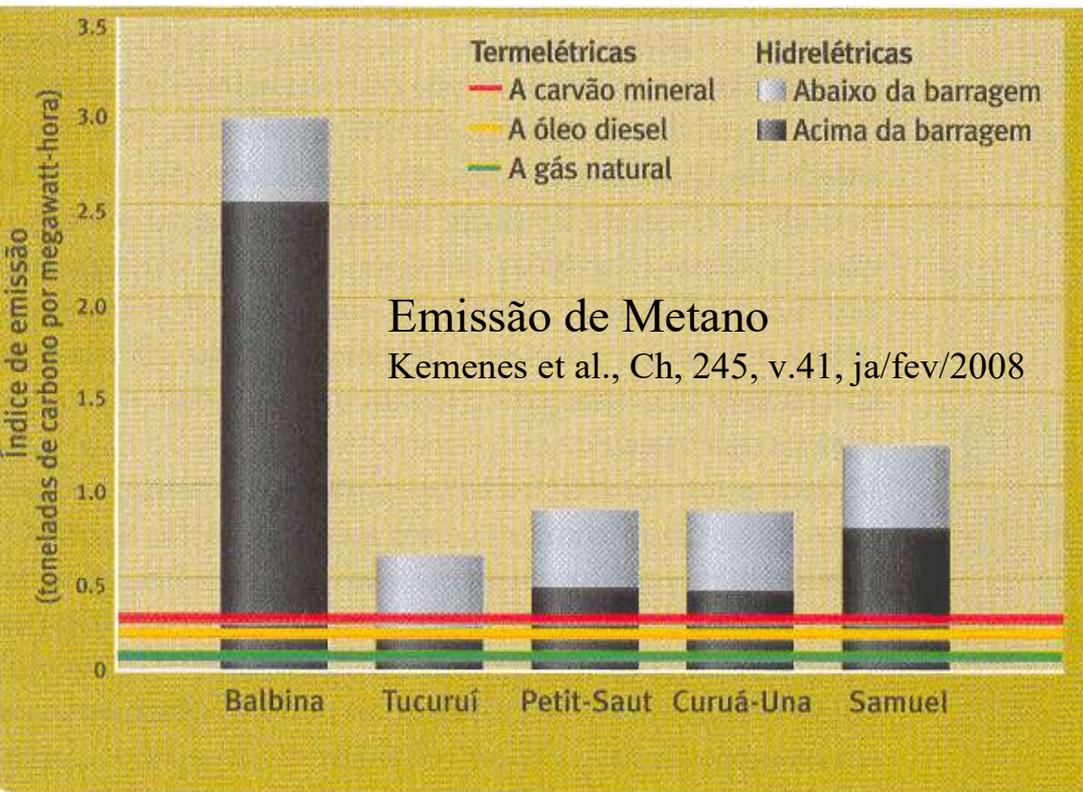
# Alternativas Energéticas

Participação no consumo energético global (ano de 2012) (Energy Information Administration, 2014)

Região ou País	Percentual da população mundial (%)	Energia Total (10 <sup>9</sup> MWh)	Energia per capita (MWh/capita)	Participação Relativa	
				Energia total (mundo=100%)	Energia per capita (mundo=100%)
Mundo	100	152	22,0	100	100
Estados Unidos	4,5	28,6	91,7	18,7	417
América do Norte	6,6	34,8	75,7	22,8	345
Europa	8,8	24,1	39,4	15,8	179
Países desenvolvidos	16,1	67,3	60,2	44,1	274
Europa Oriental e ex-União Soviética	5,9	16,9	40,7	11,1	185
Ásia e Oceania	55,3	58,4	15,2	38,3	69,3
Países em Desenvolvimento	83,9	87,3	14,6	57,3	66,6
Ásia em desenvolvimento	52,0	47,6	12,9	31,2	58,8
Oriente Médio	3,1	9,1	41,7	5,9	190
África	15,1	4,9	4,7	3,2	21,2
América do Sul e Central	6,9	8,2	17,2	5,4	78,1
China	19,3	30,4	22,7	19,9	103
OCDE	18,0	70,0	56,1	45,9	255
BRICS	40,6	51,3	17,8	33,7	80,8
<b>Brasil</b>	2,9	3,5	17,6	2,3	80,3
Energia total estimada disponível nos estoques mundiais de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural, carvão)					9 x 10 <sup>12</sup> MWh
Energia total proveniente do Sol incidente sobre a superfície da Terra durante 1 ano					7 x 10 <sup>14</sup> MWh

**1 ano de Solar ~75 x reserva fóssil**

# Hidrelétricas são “sustentáveis”?



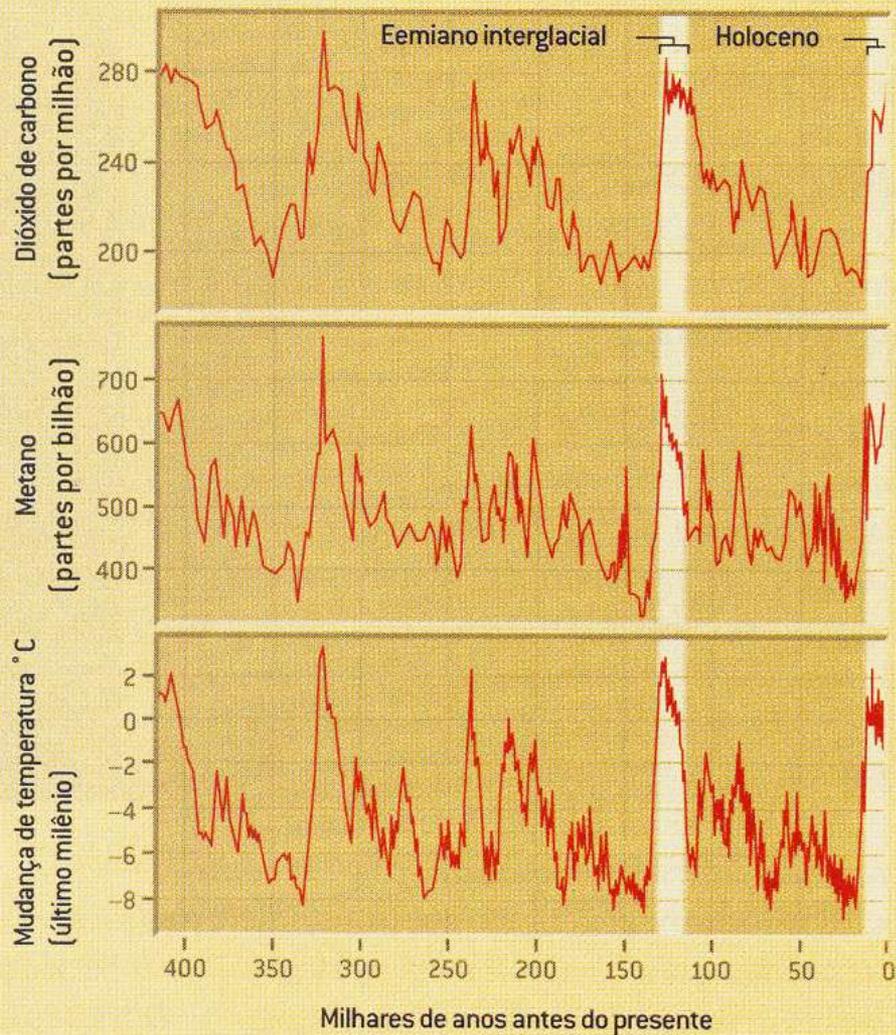
• Sobradinho, no São Francisco, instalada em clima semi-árido, tem lago de 4214 km<sup>2</sup>, perde 400 m<sup>3</sup>/s por evaporação. Abaixar 2 m (em 393 m), reduziria a área do espelho de água em 18% e baixaria a evaporação para 320 m<sup>3</sup>/s.

• Balbina (170 km ao norte de Manaus). Tem reservatório com área de 2360 km<sup>2</sup> e potência nominal de 250 MW. Se a área fosse usada para produzir madeira com produtividade modesta e usina termelétrica com eficiência de 35%, geraria 700 MW de potência.

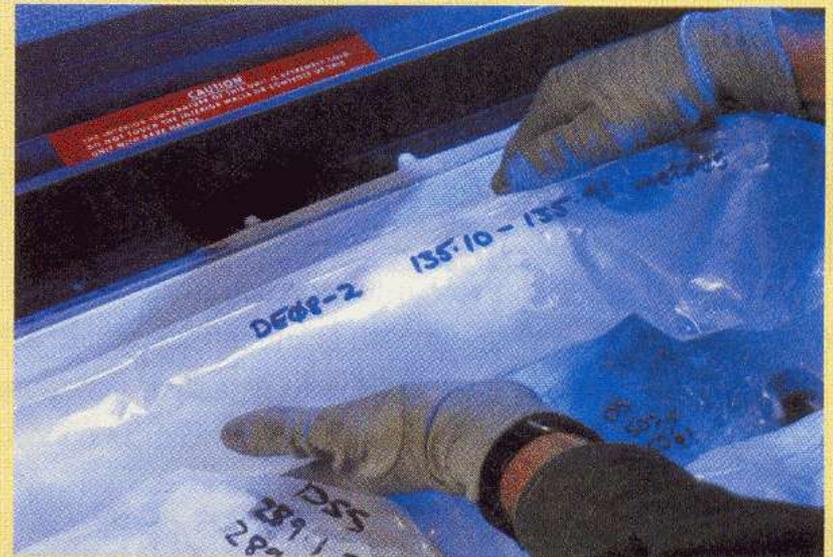
(Luiz C. B Molion, *Especial Scientific American Terra* 3.0)

# Mudanças Climáticas

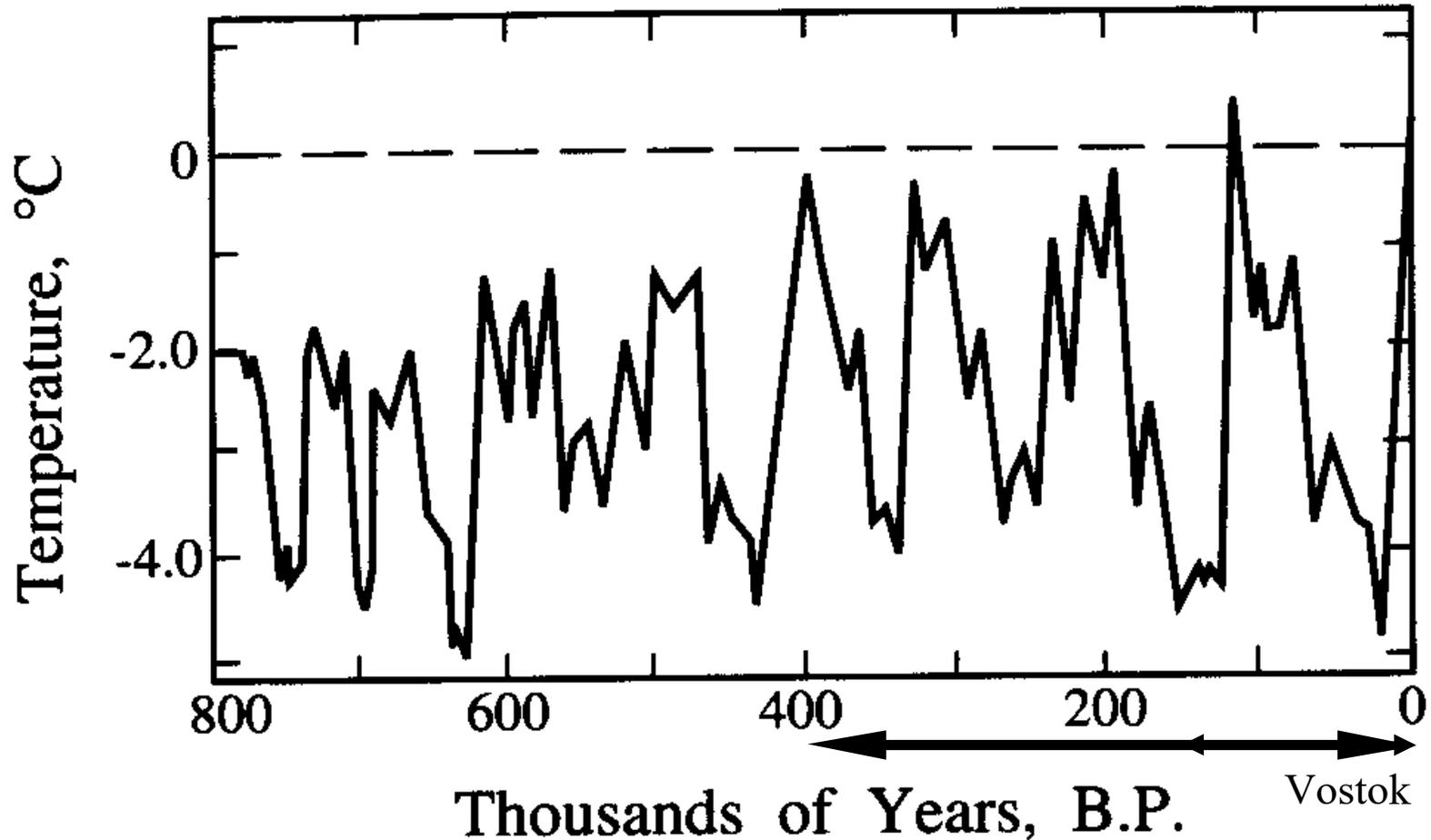
## Parte-III

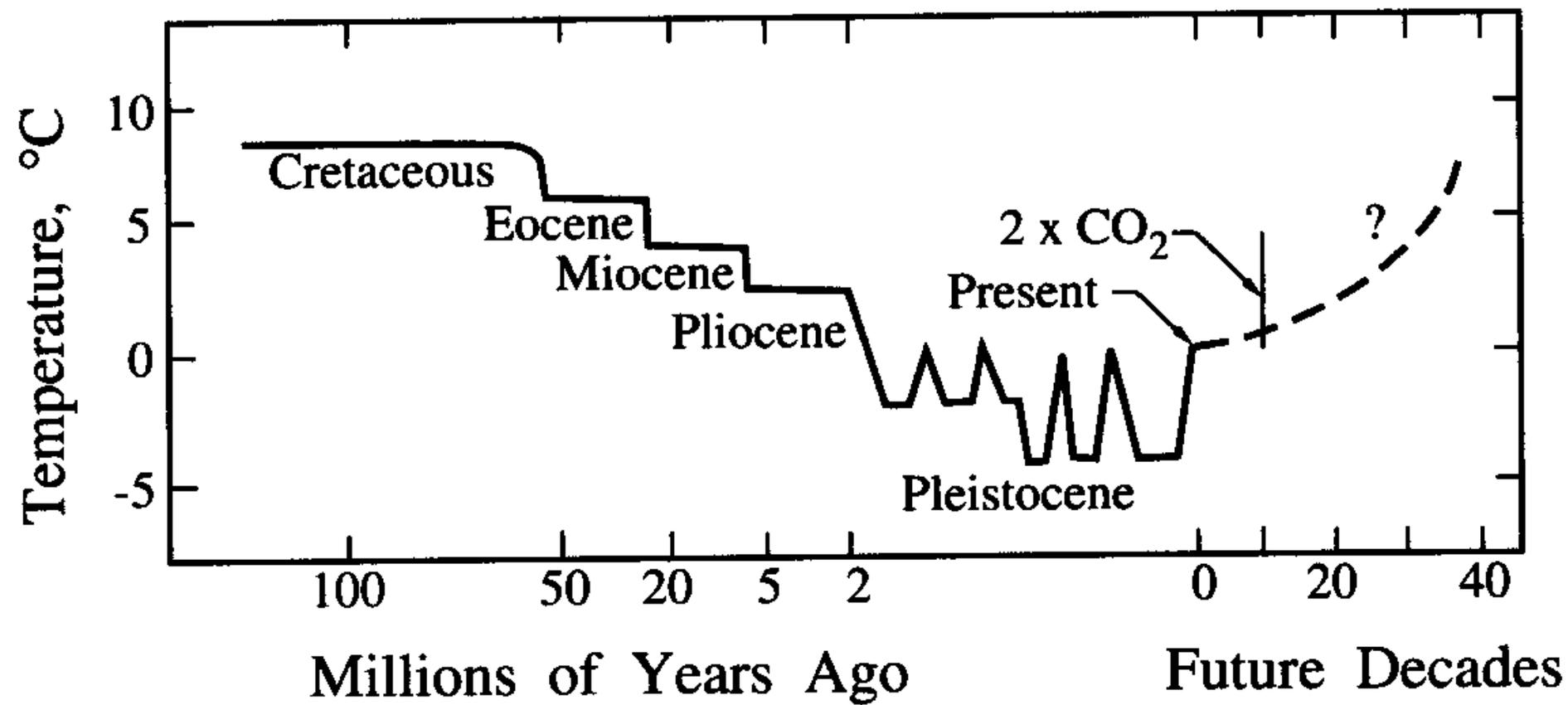


O GELO DA ANTÁRTIDA preservou um registro de 400 mil anos de temperatura e dos níveis de dióxido de carbono e metano na atmosfera. Os cientistas estudam os gases aprisionados em bolhas de ar no gelo – geralmente usando amostras (foto) de perfurações no manto de gelo e transportadas para um laboratório. O registro histórico nos fornece duas medidas críticas: comparação do presente período interglacial (o Holoceno) com a mais recente era glacial (20 mil anos atrás) oferece uma medida precisa da sensibilidade do clima a forçantes. A temperatura no período interglacial anterior (o Eemiano), quando o nível do mar estava vários metros mais alto que hoje, define uma estimativa do aquecimento que a civilização atual consideraria interferência antropogênica perigosa no clima.



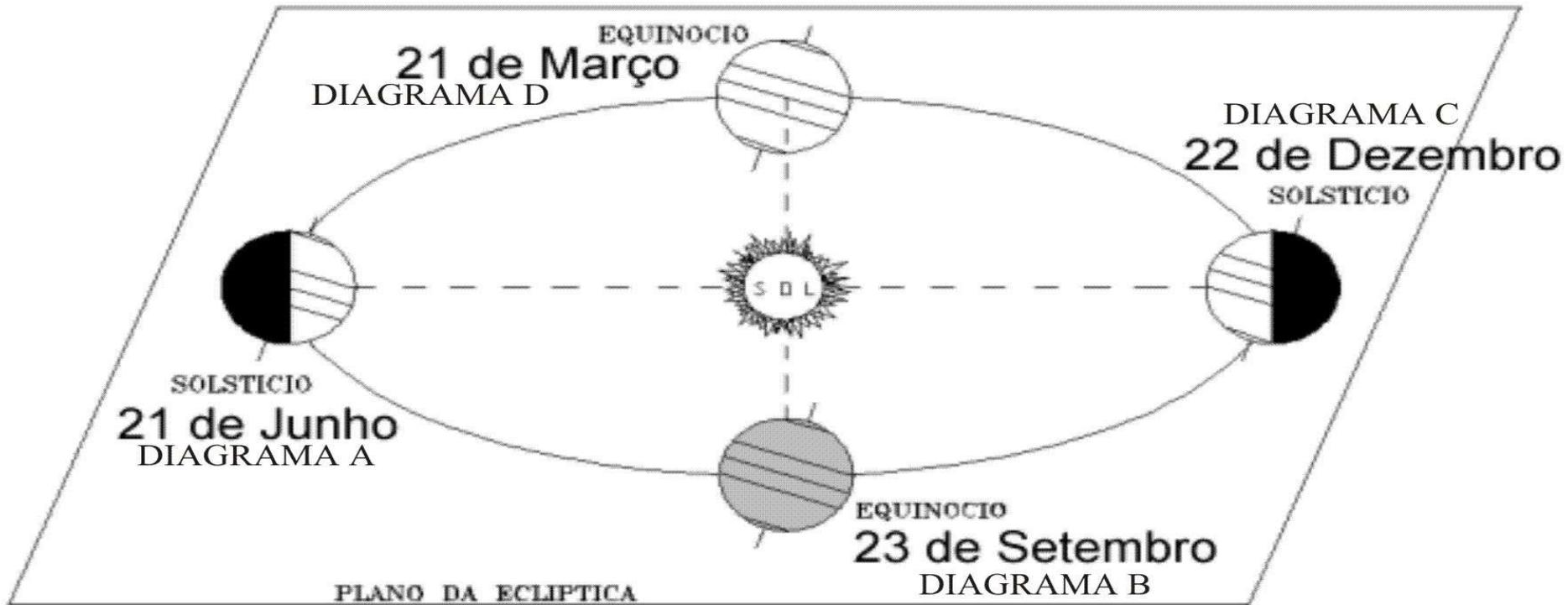
Temperatura avaliada por sedimentos marinhos - fósseis de plânctons  
Pela relação  $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$  (nas geleiras aumenta com temperatura, no oceano diminui)



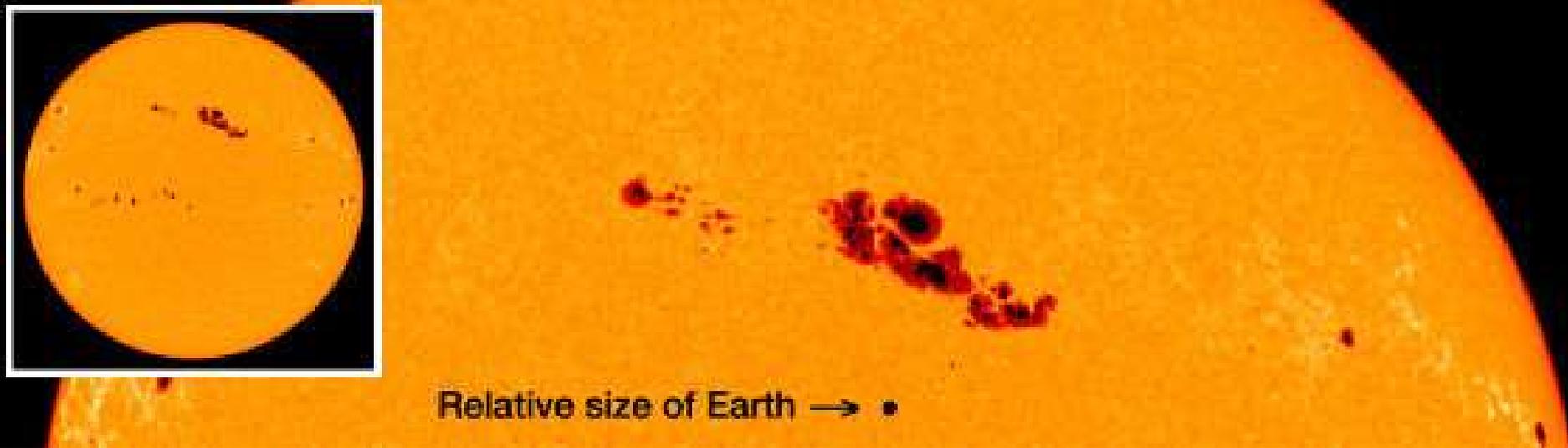


# SOL

## Motor do Clima

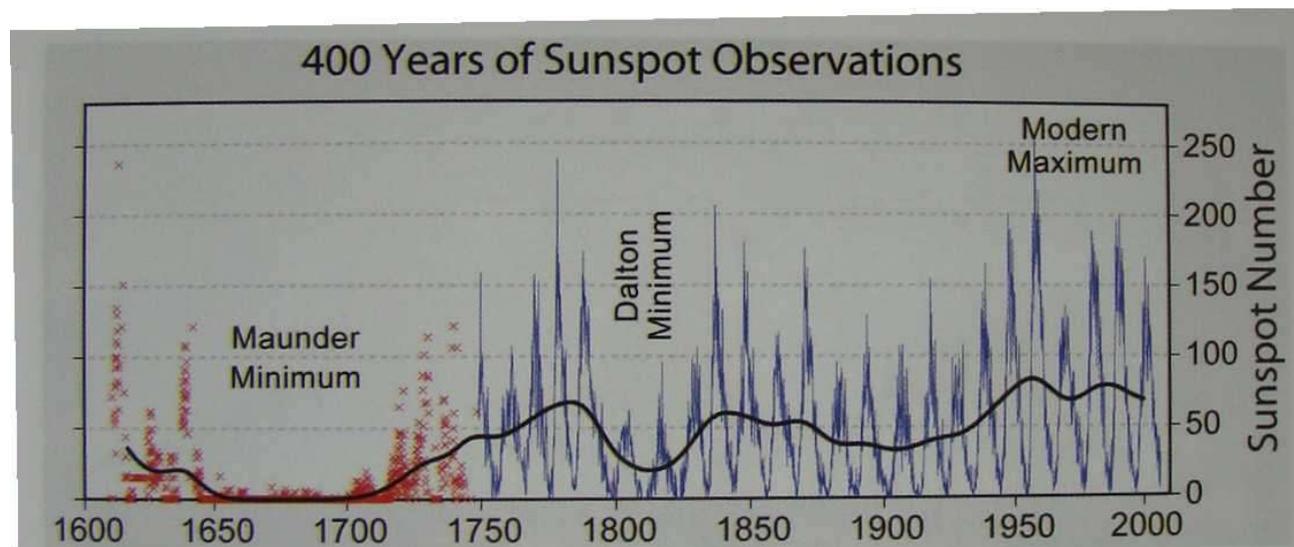


Estações do Ano



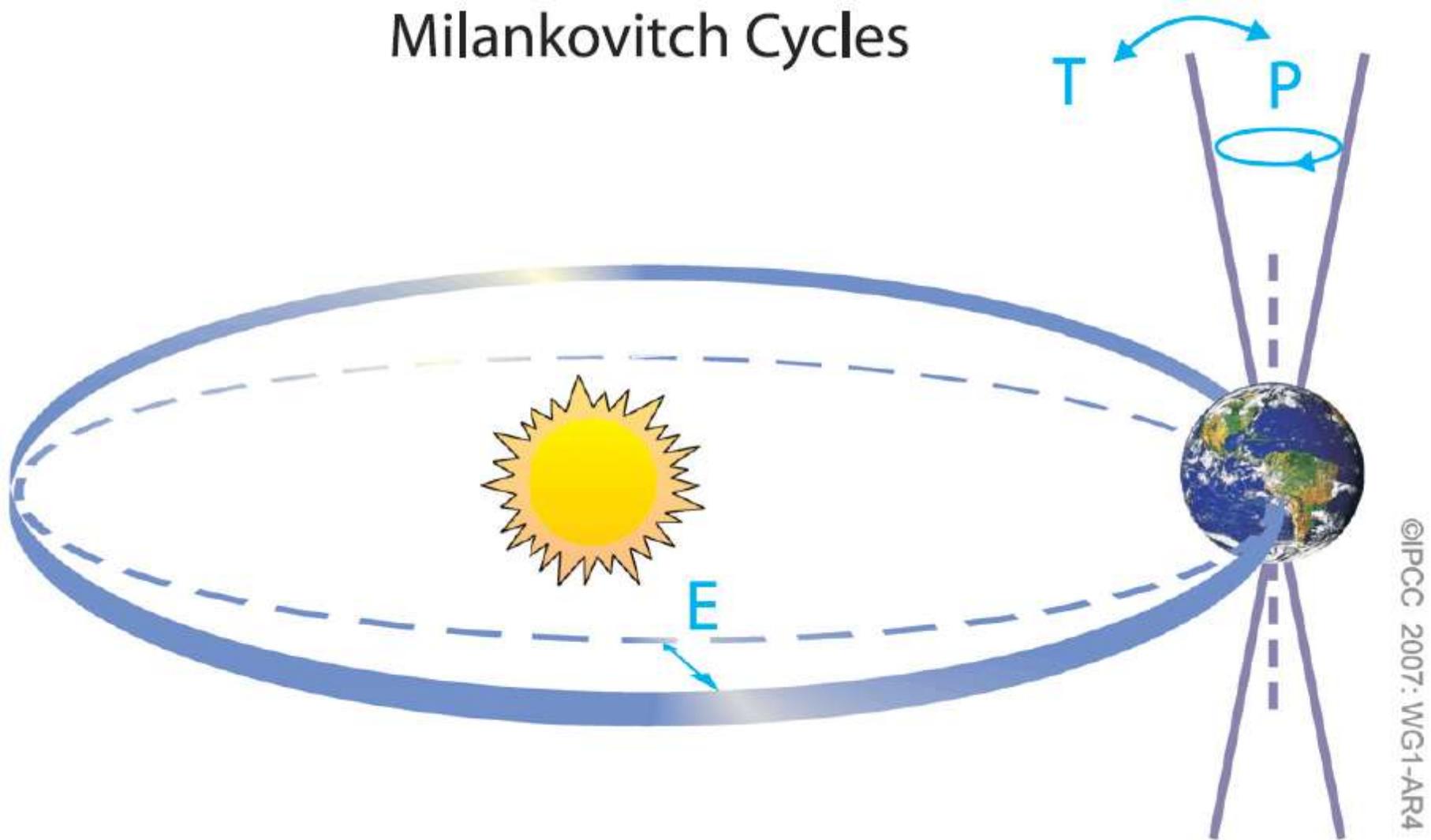
**Manchas solares  
ciclo de 11 anos  
(~1,3 W/m<sup>2</sup>)**

Quanto mais  
manchas, mais  
radiação solar



**Figure 2.12** Sunspot observations for the past 400 years. Sunspot numbers follow an 11-year cycle, the Schwabe cycle (see blue curve). Beyond that they also show longer-term variations, see the smoothed black curve. Sunspot numbers correlate with the intensity of solar radiation: when there are lots of sunspots, radiative forcing is strong. Solar activity increased in the first half of the twentieth century, but it has been steady since, even showing some decline over the past 20 years.

# Milankovitch Cycles



**Excentricidade** (E – 95, 125, 400 mil anos) - atualmente, + 6,9% no hemisfério sul

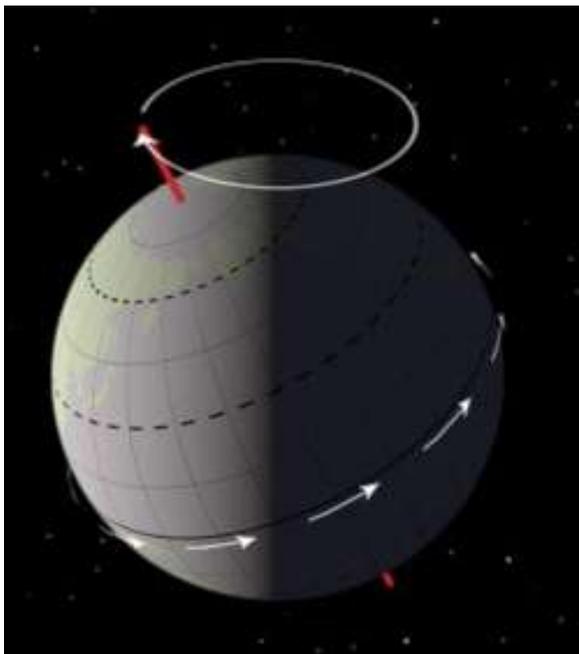
**Precessão** (P - 19 a 24 mil anos) - inverte estações do ano

**Obliquidade** (T 41 mil anos) - oscilação de período longo no ângulo da precessão

**Nutação** (18,6 anos) - oscilação de período curto na precessão.

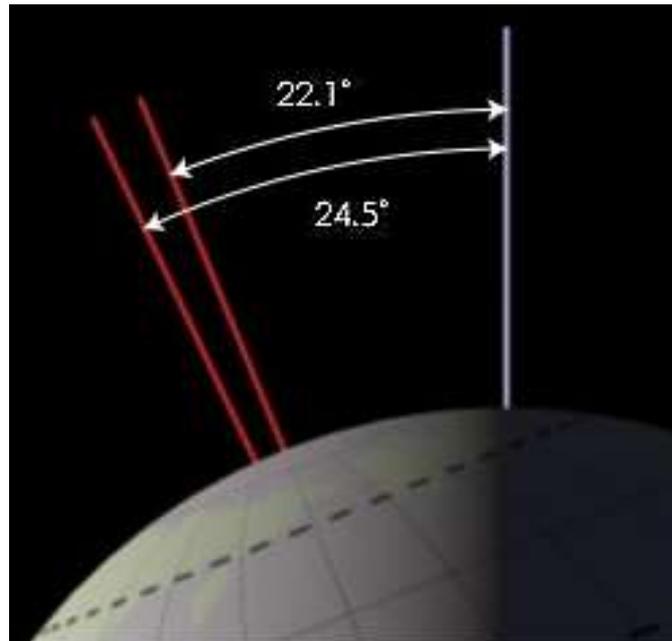
# Precessão

ciclo de 19 a 24 mil



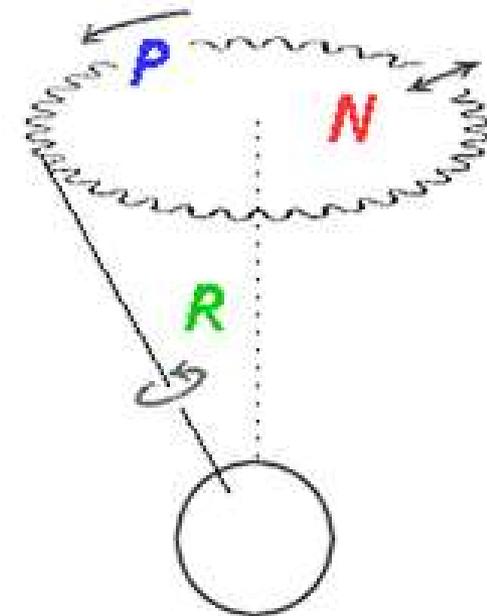
# Obliquidade

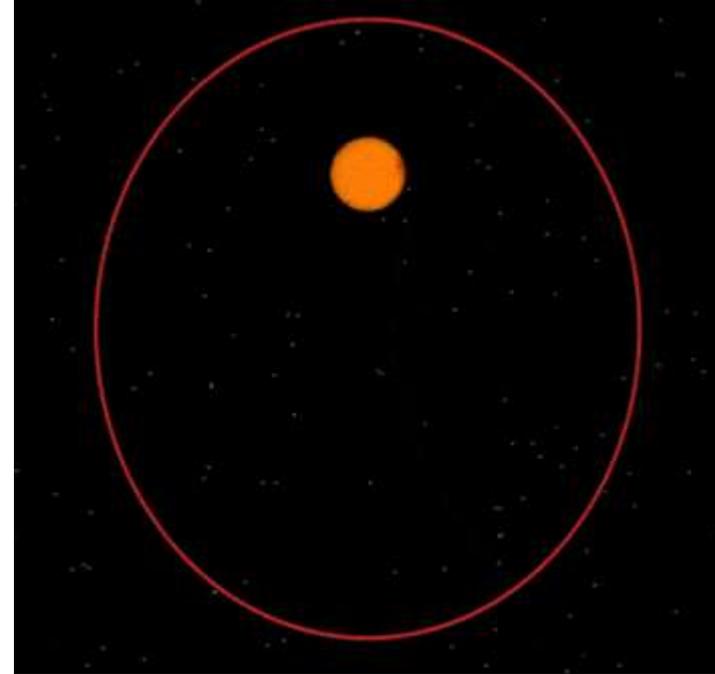
ciclo de 41 mil



# Nutação

ciclo de 18,6 anos

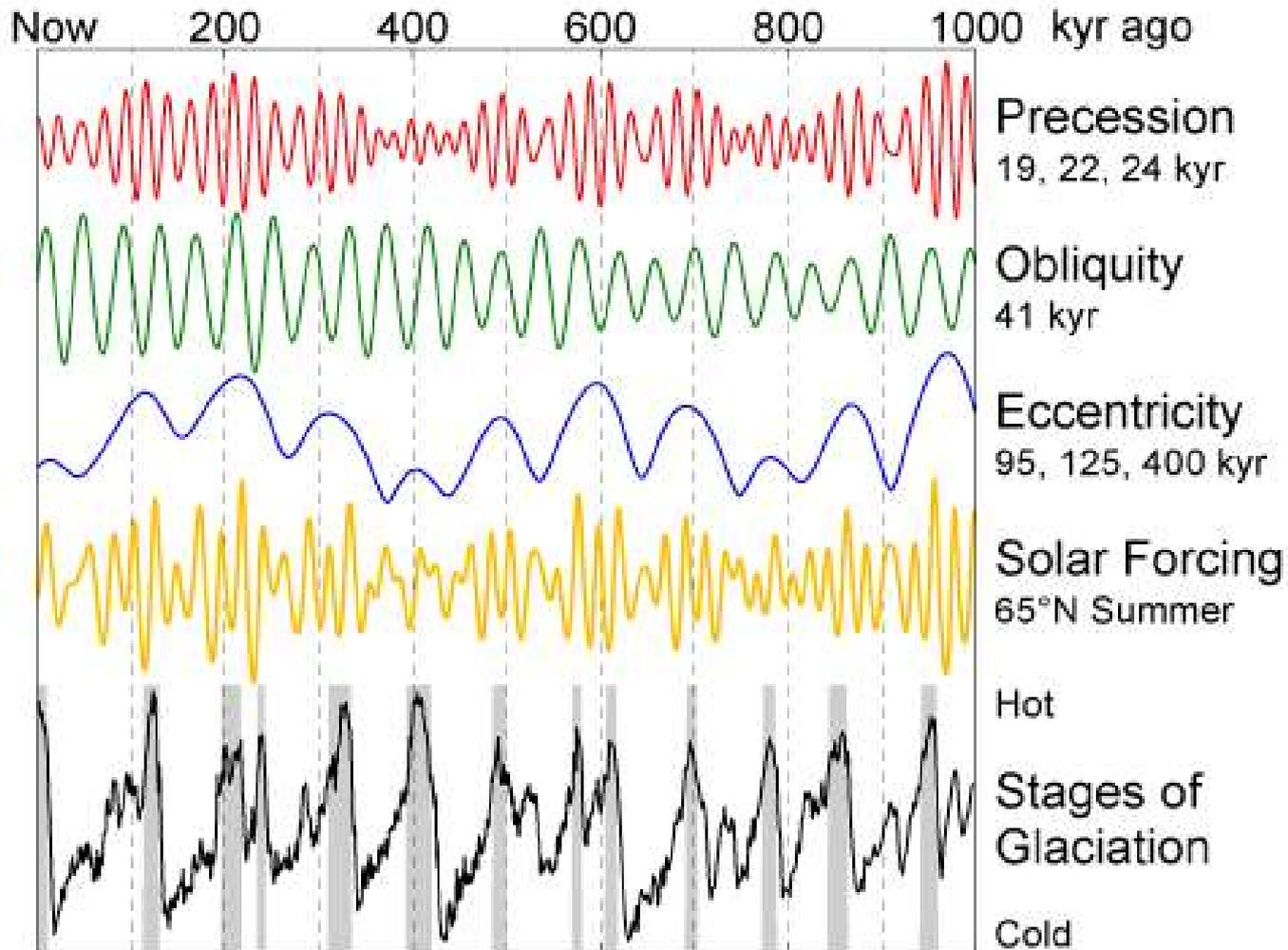




Excentricidade da órbita da terra  
atualmente significa 6,9% a mais energia solar no hemisfério  
sul

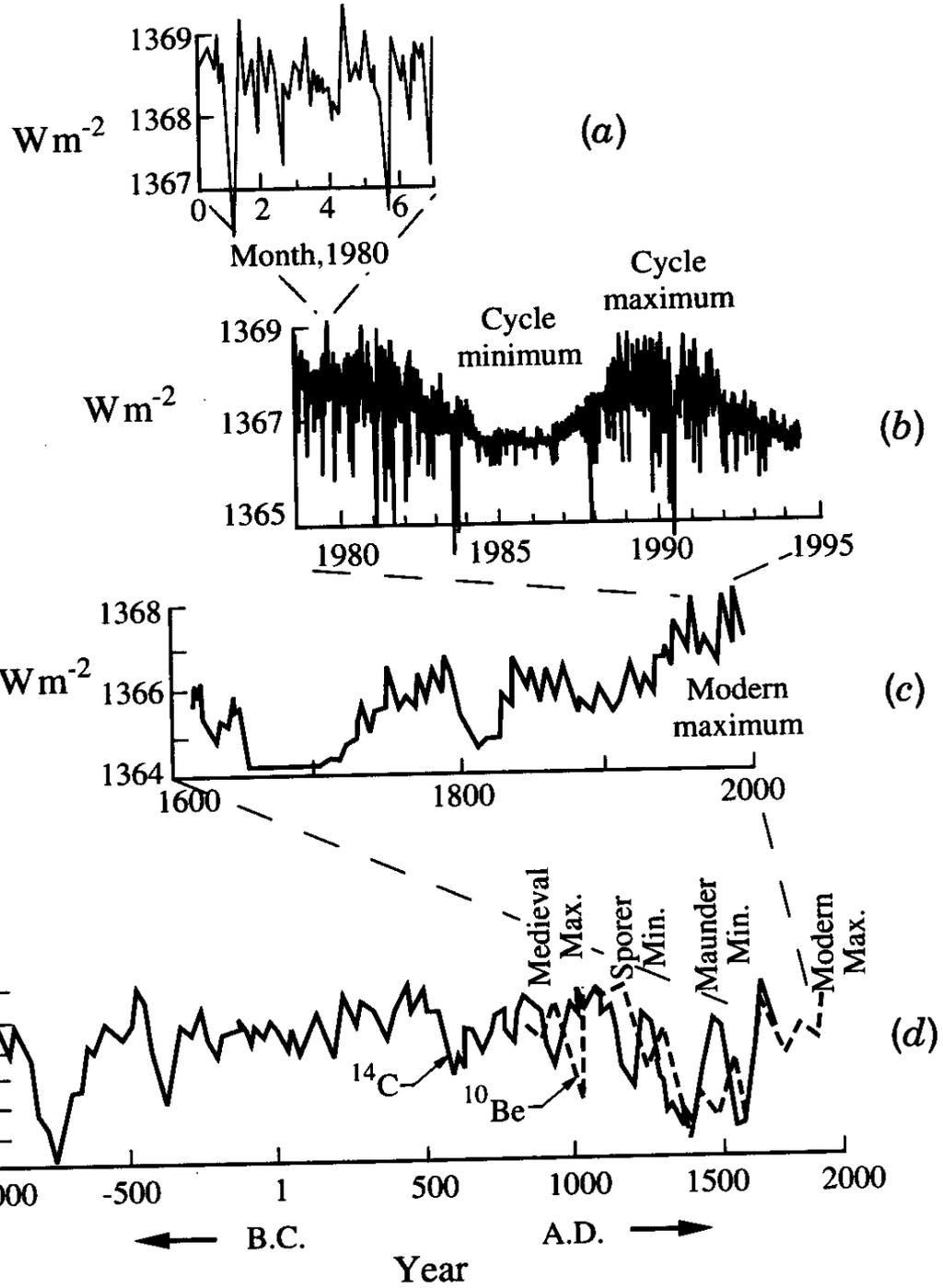
# Ciclo de Milankovitch

~100 mil anos



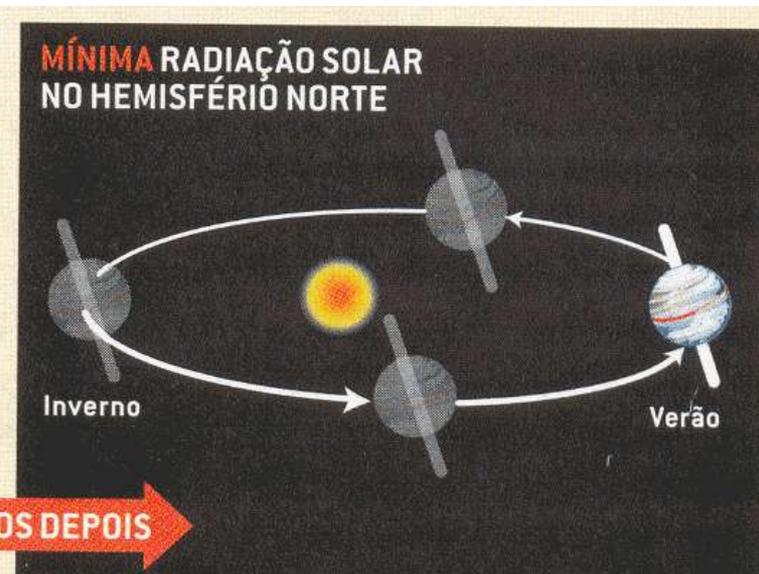
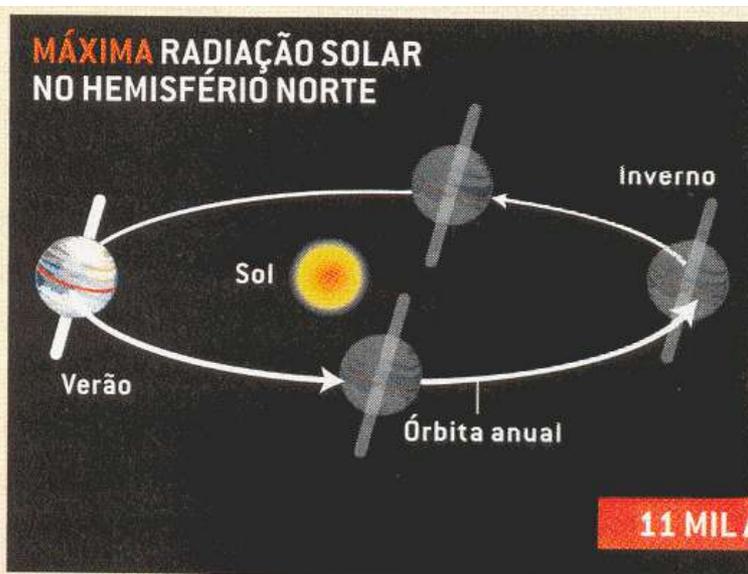
sol+ intenso, menos raios cósmicos.  $^{14}\text{C}$  e  $^{10}\text{Be}$  são sensíveis a isso.

Solar Total Radiation

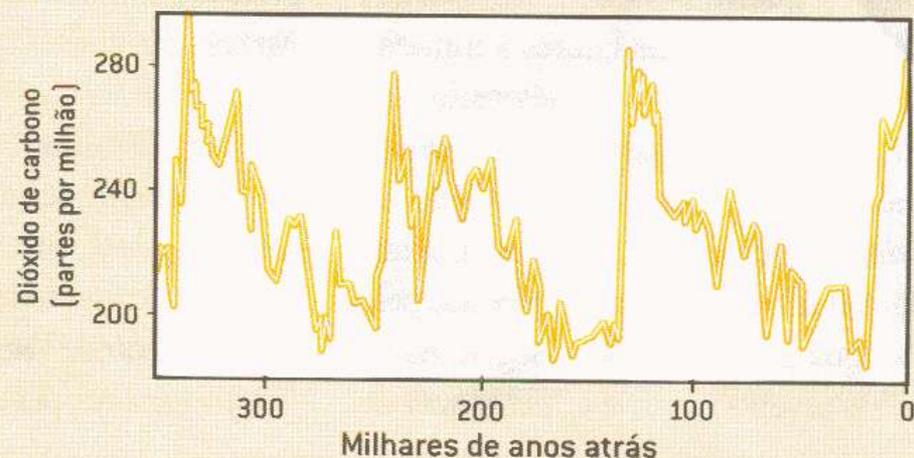
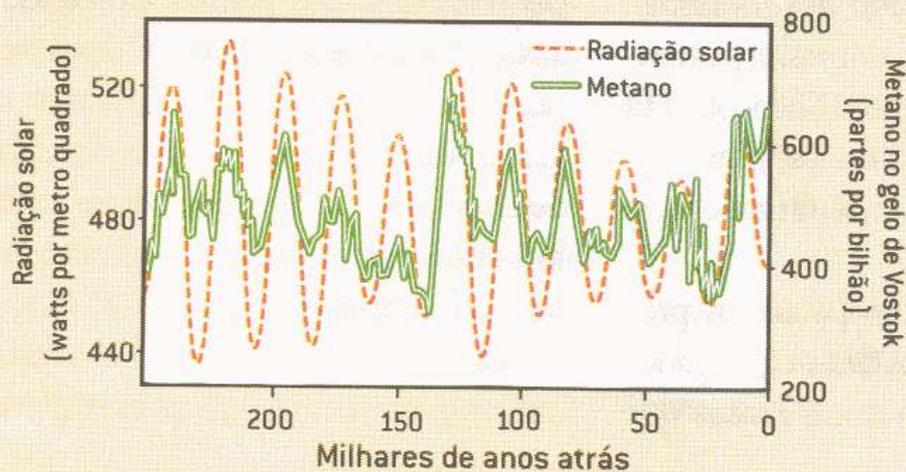




Um bamboleio no eixo de rotação da Terra, conhecido como precessão, é um dos três ciclos orbitais que respondem por variações na luz solar no Hemisfério Norte. Como um pião de brinquedo prestes a cair, os eixos



Willian Rudiman, Scientific American-BR, Especial Aquecimento, 2006

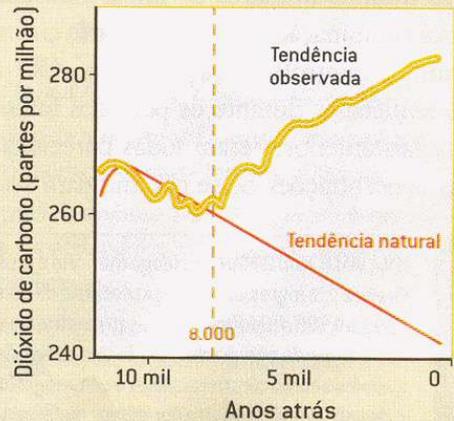


**11 mil anos atrás:** povos primitivos inventam a agricultura na Mesopotâmia e na China



Lâmina de foice paleolítica

**10 MIL ANOS ATRÁS**



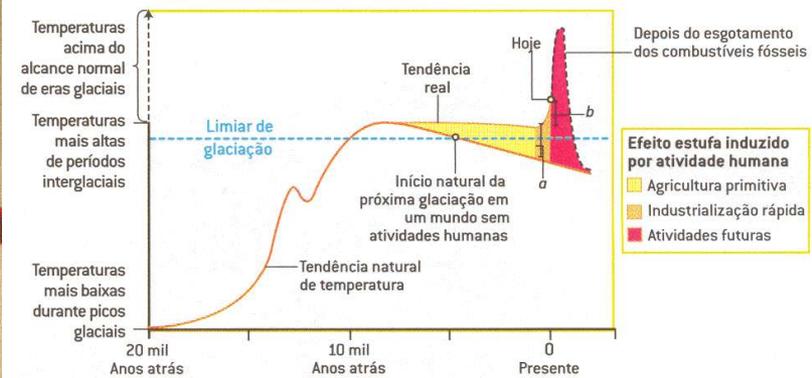
Trigo carbonizado

**8 MIL ANOS ATRÁS**

**8 mil anos atrás:** últimos europeus da Idade da Pedra começam a eliminar florestas para cultivar trigo, cevada, ervilha e outras plantas não-nativas

**8 mil anos atrás:** a tendência nas concentrações de CO<sub>2</sub>, que era de queda nos 2.500 anos anteriores, atinge o fundo e repentinamente muda de direção

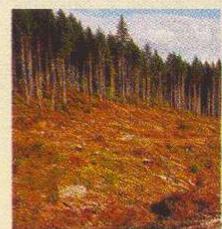
**7.500 anos atrás:** humanos adaptam o arroz selvagem para o cultivo



RECONSTITUIÇÃO indireta das atividades humanas e da temperatura a partir de dados reais a partir de 5 mil



**5 mil anos atrás:** agricultores no sul da China começam a inundar terras baixas próximas a rios para plantar arroz



**2 mil anos atrás:** Europa, Índia, sudeste da Ásia e China eliminaram muito de sua cobertura florestal natural para cultivar produtos como trigo

**200 anos atrás:** a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento acelerado resultam na emissão de gases-estufa numa escala sem precedentes



Motor Otto

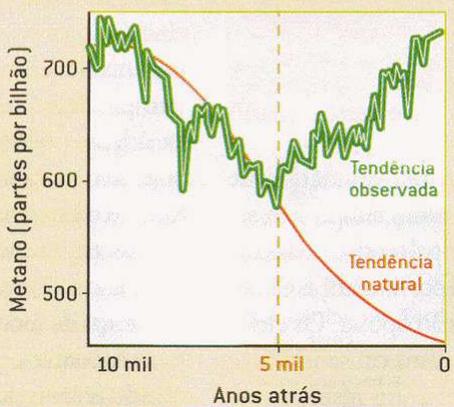
**6 MIL ANOS ATRÁS**

**4 MIL ANOS ATRÁS**

**2 MIL ANOS ATRÁS**

**PRESENTE**

**5 mil anos atrás:** a tendência nas concentrações de metano, que vinha sendo de queda nos 6 mil anos anteriores, muda subitamente de direção

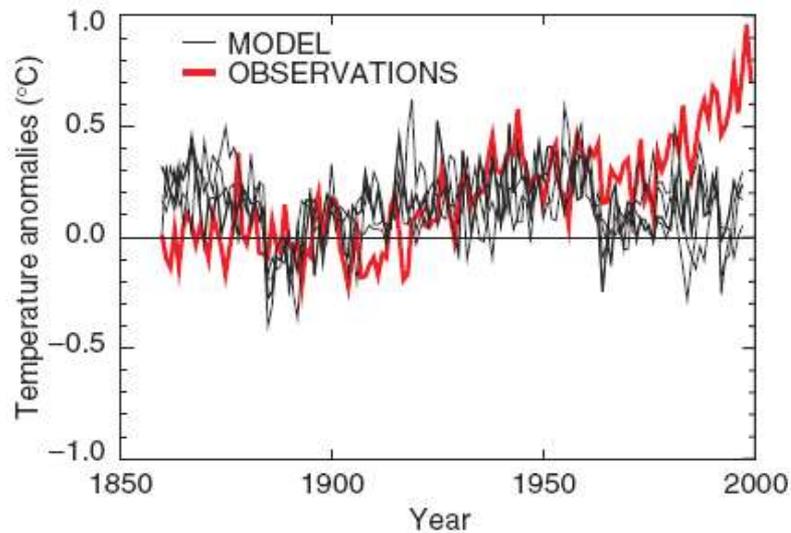


**2 mil anos atrás:** agricultores no sudeste da Ásia começam a construir terraços para cultivo de arroz em terrenos escarpados



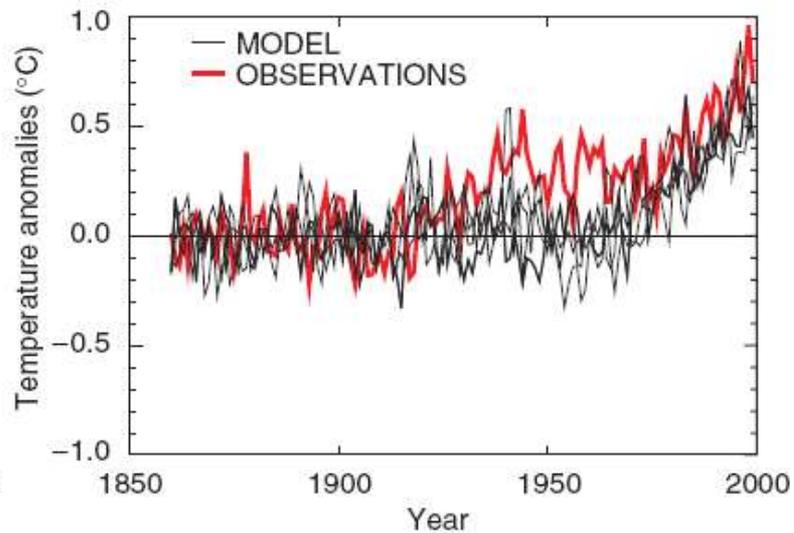
**(a)**

NATURAL : Annual global mean temperatures



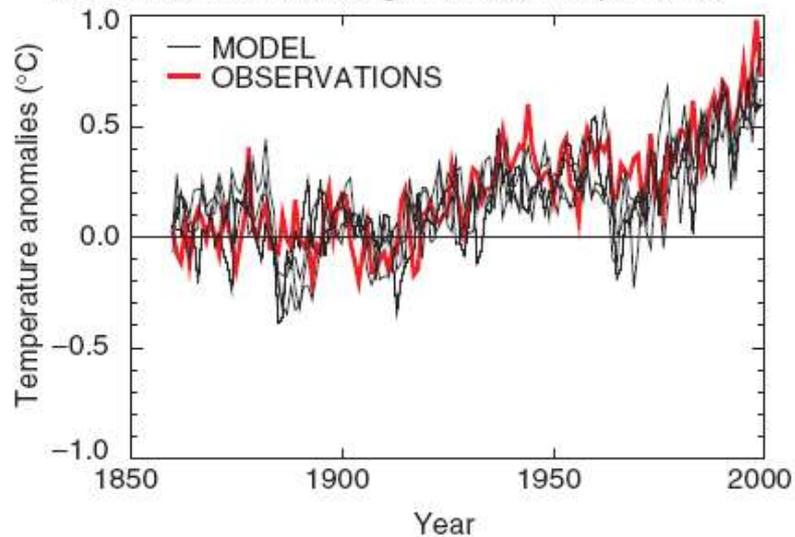
**(b)**

ANTHROPOGENIC : Annual global mean temperatures



**(c)**

ALL FORCINGS : Annual global mean temperatures



# Que direção dar ao debate social?

**A humanidade vai ou não vai mudar o clima?**

# A humanidade vai ou não vai mudar o clima?

- Os modelos científicos indicam que isso é provável.
- Mas fazer ciência é questionar e duvidar constantemente daquilo que acreditamos saber.
  - Religiões baseia-se em certezas [a crença nos mitos religiosos, e.g.: escravidão, código de Hamurabi (rei) - Mesopotâmia 1800-1500 AEC, deus sol, deus lua, deus único etc ].
  - O método científico é uma ferramenta poderosa para adquirimos conhecimento. Mas errar é uma regra ao fazermos ciência. Veja-se, por exemplo, erros de Galileu (marés), Newton ( $1/x$  ou  $1/x^2$ ), Darwin (uso e desuso), Einstein (dualidade onda partícula).
- Discussão catastrofista é problemática – GEOENGENHARIAS – “colocar termostato na terra”



# Código de Hamurabi (rei)

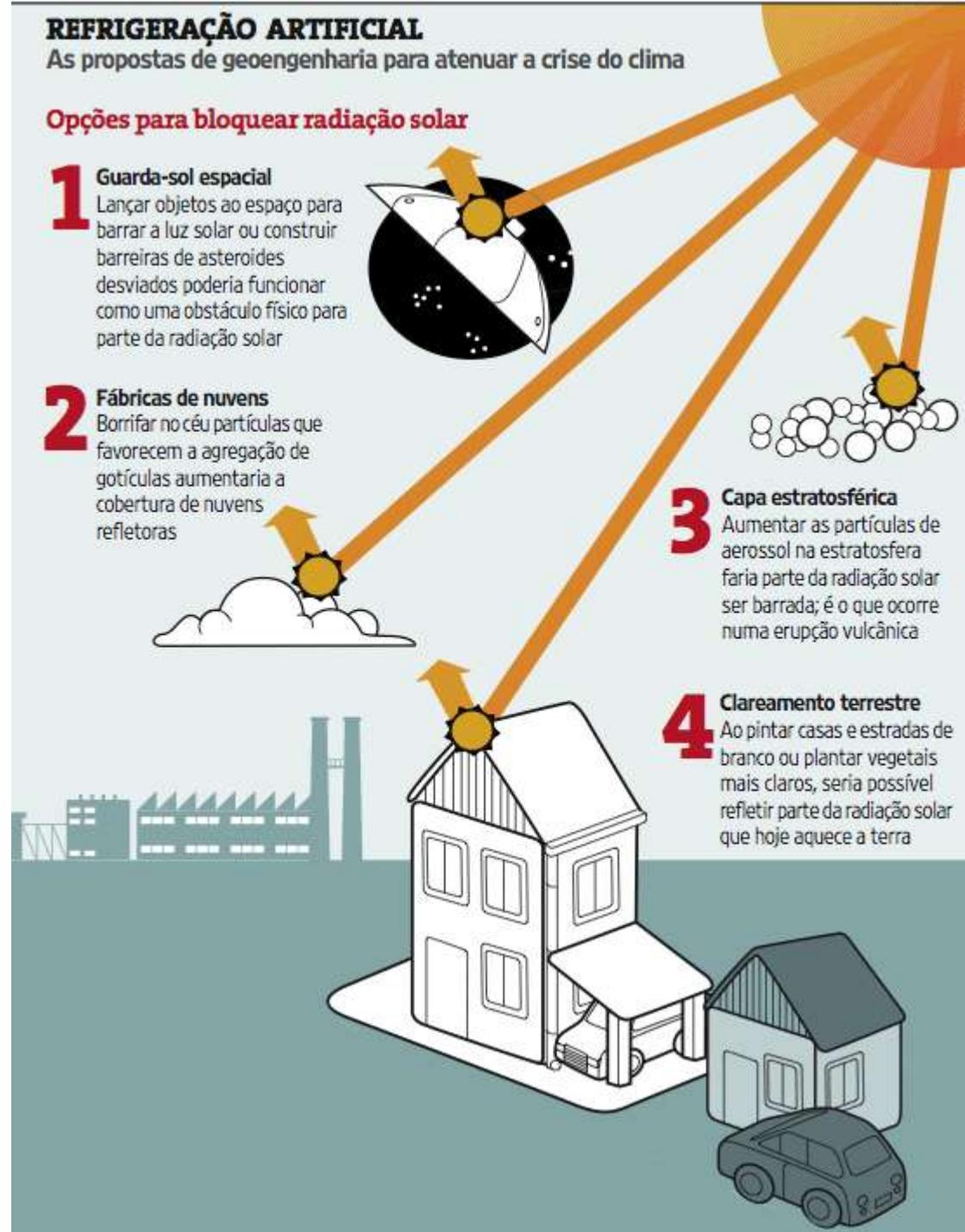
Mesopotâmia 1800-1500  
AEC

- Lei de Talião: olho por olho, dente por dente.
- Morte por ajudar um escravo a fugir ou abrigar um escravo foragido

(Louvre, Paris, 2012)



- Pintar telhados de branco
- Lançar espelhos no espaço para regular a rad. Solar
- Selecionar plantas claras, que reflitam mais a rad. Solar
- Lançar sulfatos na atmosfera para espalhar rad. Solar
- Lançar fertilizantes nos oceanos – reter mais CO<sub>2</sub>
- Estimular a formação de nuvens – refletir rad. solar



# **Outros benefícios associados ao controle equilibrado de possíveis mudança climáticas globais antropogênicas**

## **Energia por queima de combustíveis fósseis - CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>**

- Conversão de energia está associada a diversos poluentes. e.g. uso intensivo de veículos
- efeitos na saúde ( e.g. 2500 mortes adicionais/ano em São Paulo, 1,3 milhões no mundo)
- 5000 mortes por acidentes na RMSP, 35.000 no Brasil e 1,3 milhões no mundo.
- consequências de um sistema de transporte elitista, irracional e ineficiente.

## **Atual Modelo Agrícola é insustentável – N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>**

- Monocultura & criação extensiva de gado
- Na última metade do século passado perdeu-se 1/5 da camada superficial do solo, 1/5 das terras cultiváveis e 1/3 das florestas.

## **Biodiversidade**

Nos últimos 65 milhões de anos, estima-se que ocorria a extinção de 1 espécie/milhão de ano. Atualmente são 1000! Estima-se que 2/3 das espécies atuais terão desaparecido até o final do século.

## **Qualidade de Vida**

~20% da população mundial não tem acesso a água potável

~25% da população mundial vive com menos de US\$1/dia.

- 50% a 1/8 da população mundial padece de desnutrição

- 10% detém 87% da riqueza, restando a 90% apenas 13%

- Seriam necessárias 3 terras para estender o padrão de vida dos países desenvolvidos para todo o planeta.

- Não há conflito entre preservação do meio ambiente e qualidade de vida.
- Soluções equilibradas e sustentáveis significam maior eficiência energética, uso de energias limpas e duráveis, menor consumo de recursos naturais, ambiente mais propício à vida saudável e agradável, compromisso com as gerações futuras.

**A discussão sobre o clima não pode estar desvinculada da construção de uma sociedade justa igualitária e sustentável.**

Tema atual que permite integrar em sala de aula:

- tópicos de ciências
- discussão de uma importante questão ambiental, complexidade dos sistemas ambientais e a conexão entre suas diferentes áreas.
- cidadania, justiça e equidade social