

Mudanças climáticas

Humberto Ribeiro da Rocha

Professor

humberto.rocha@iag.usp.br

O que é o clima na Terra ?

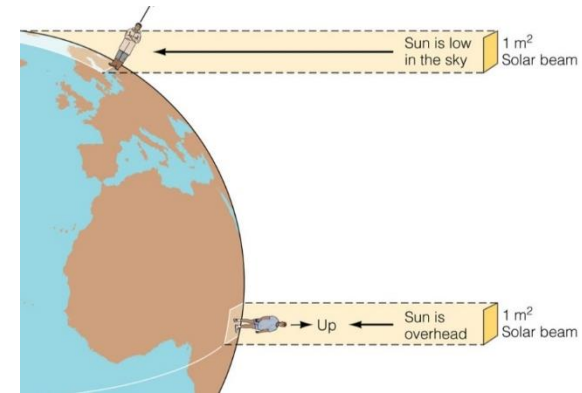
grego κλίμα ou *klima*
(= inclinado)

Por que há diferentes climas na superfície da Terra ?

Aquecimento diferencial

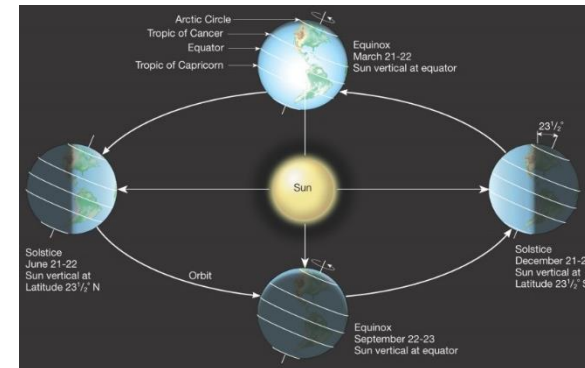
1. a esfericidade da Terra

No Equador se recebe mais radiação por m^2 , do que os pólos



2. a inclinação da rotação

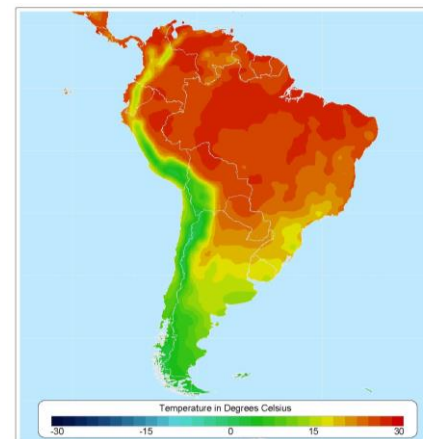
um hemisfério sempre recebe mais radiação que o outro (e v.v)



3. altitude

vegetação

correntes oceanicas



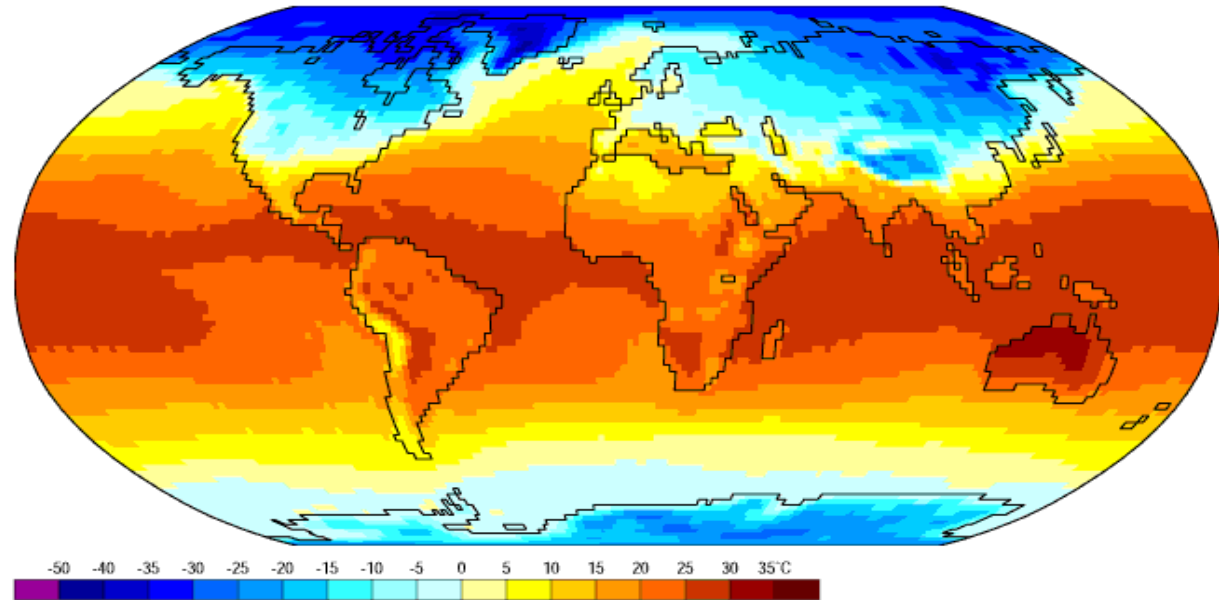
Data taken from: CRU 0.5 Degree Dataset (Bees, et al.)

Como é a dinâmica do clima na Terra ?

Temperatura do ar mensal

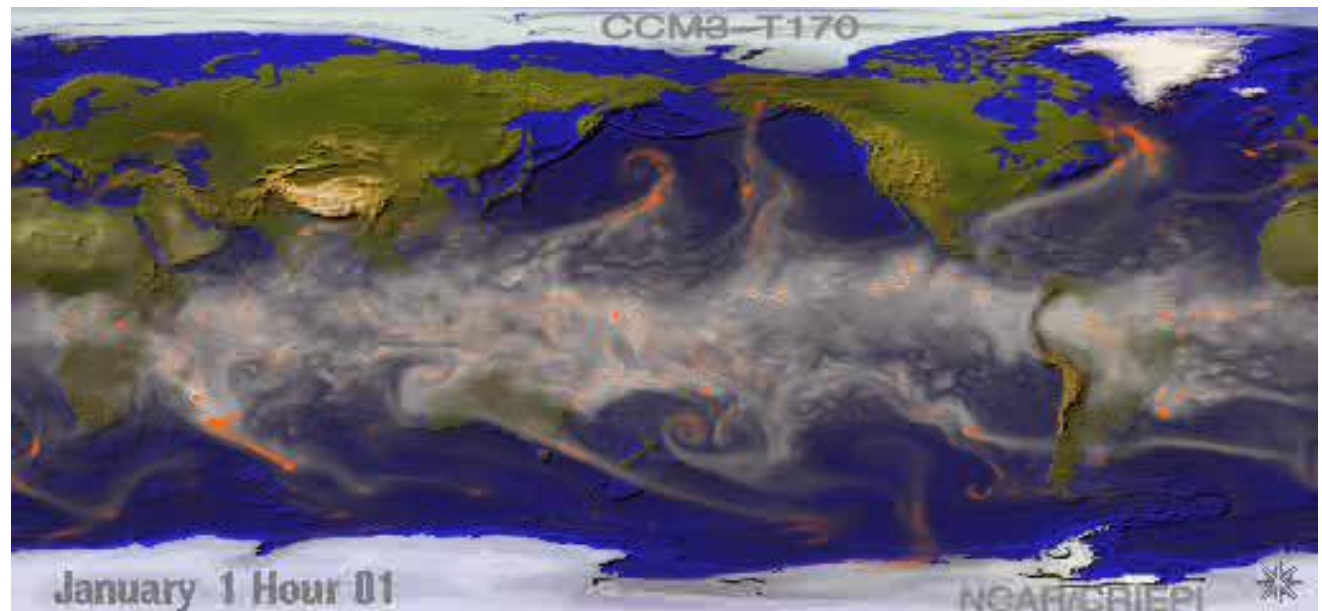
Air Temperature

Dec

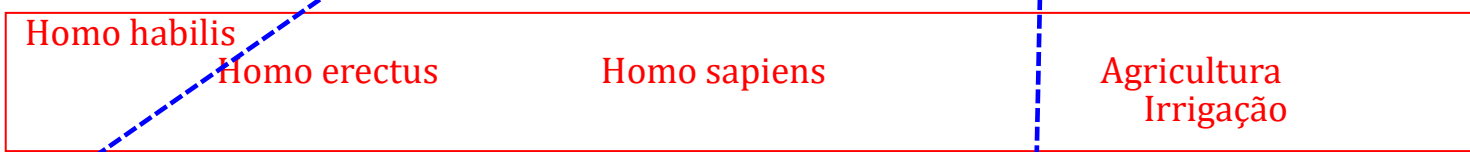
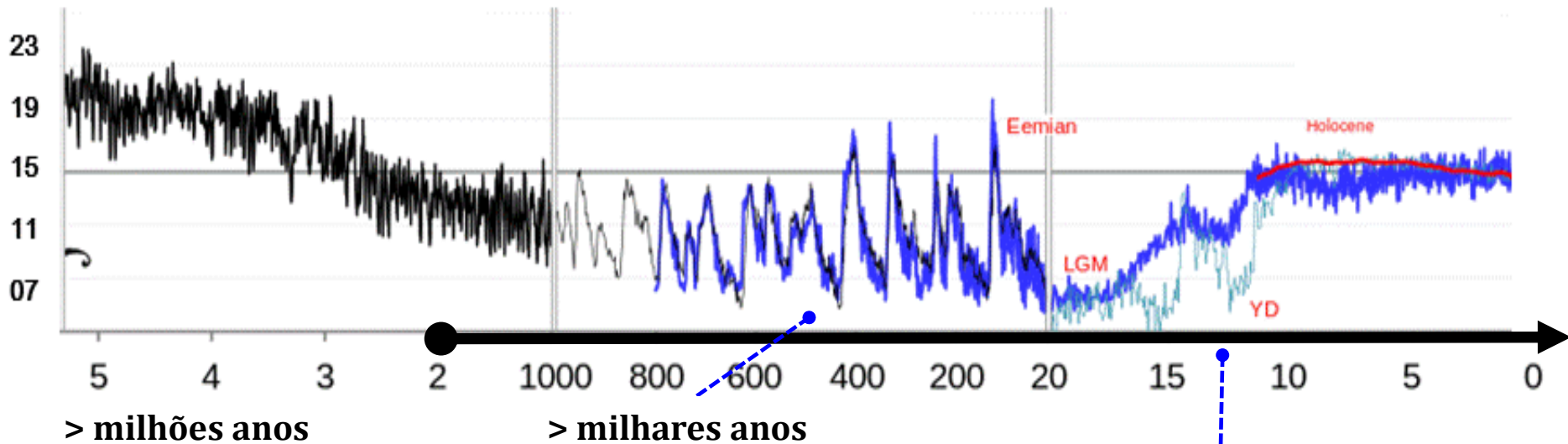


Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies

Sistemas de precipitação (chuva) e circulação (vento)



Temperatura da Terra e evolução humana



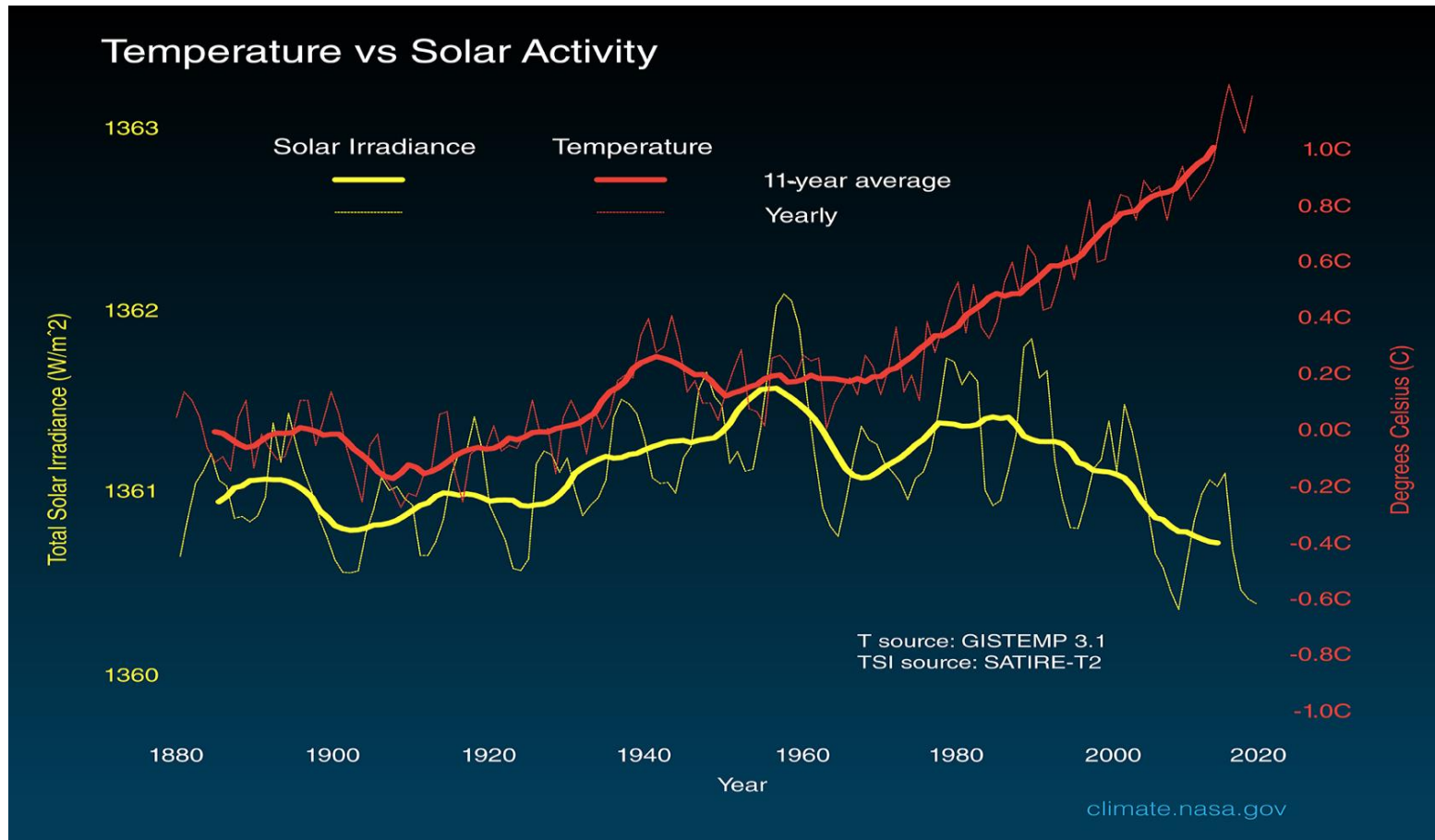
regime de Glaciais e Interglaciais
(ciclos de Croll-Milankovitch)

- E (excentricidade) ~ 100.000 anos
- T (inclinação) 41.000 anos
- P (precessão) 23.000 anos



Atlântida segundo Platão (12.000 a)

Temperatura média nos últimos 140 anos (variação ao redor da média)



Atividade solar (causa natural)
explicam a temperatura

ruptura

e aproximadamente
após 1970 ?

O experimento da prosperidade humana e suas intercorrências

1850

Revolução Industrial

1950

Revolução verde e de costumes
Antibióticos

1980

Globalização

2010

Revolução 4.0

Chuva ácida

Buraco do ozônio

Inverno nuclear + extinção de povos

Poluição do ar, águas e alimentos

Ilha de calor urbana

Criticidade hídrica

Depressão

11-15% hab países baixa/média a alta renda
cidade São Paulo : 30% da população afetada

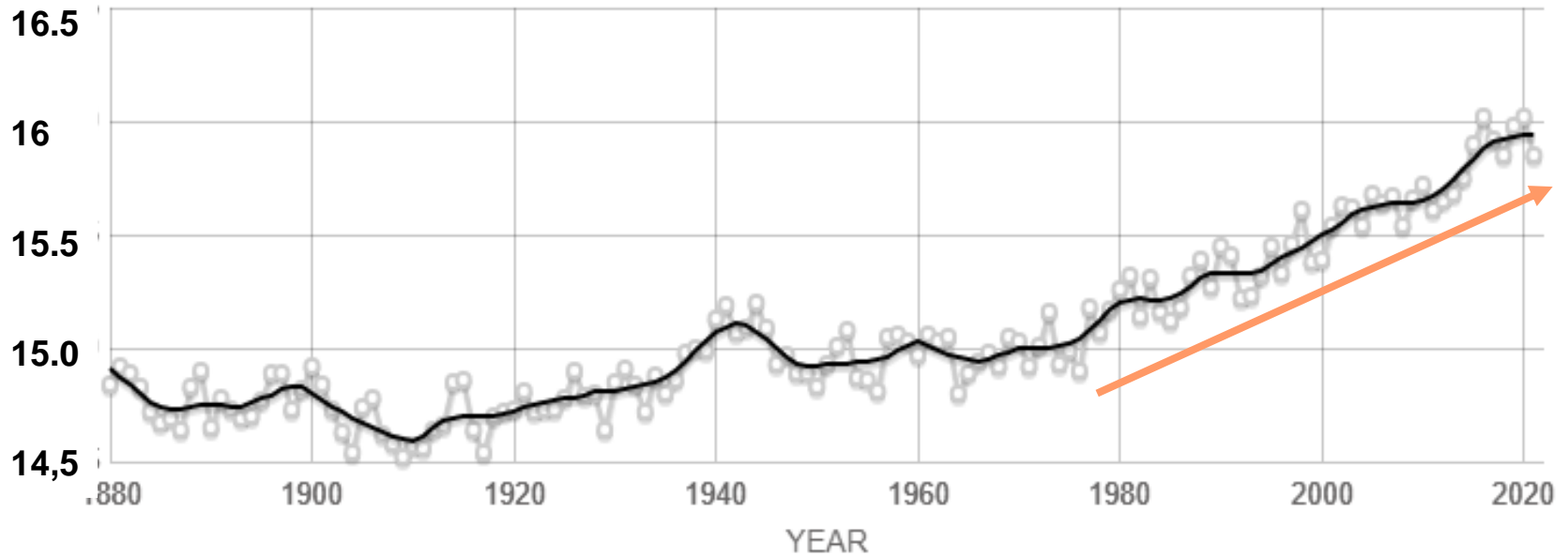
Fonte: Harvard Univ & 18 countries interviews with 89,000 people, *Kessler et al (2011) BMC Medicine, 9:90; Andrade LH et al. PLoS ONE 7(2)*

Aquecimento global

**O que são as mudanças
climáticas globais ?**

O aquecimento global

o sinal mais evidente das mudanças climáticas



Source: climate.nasa.gov



Tendência de aumento
consolidada !

aumento: $\approx 1,0$ °C

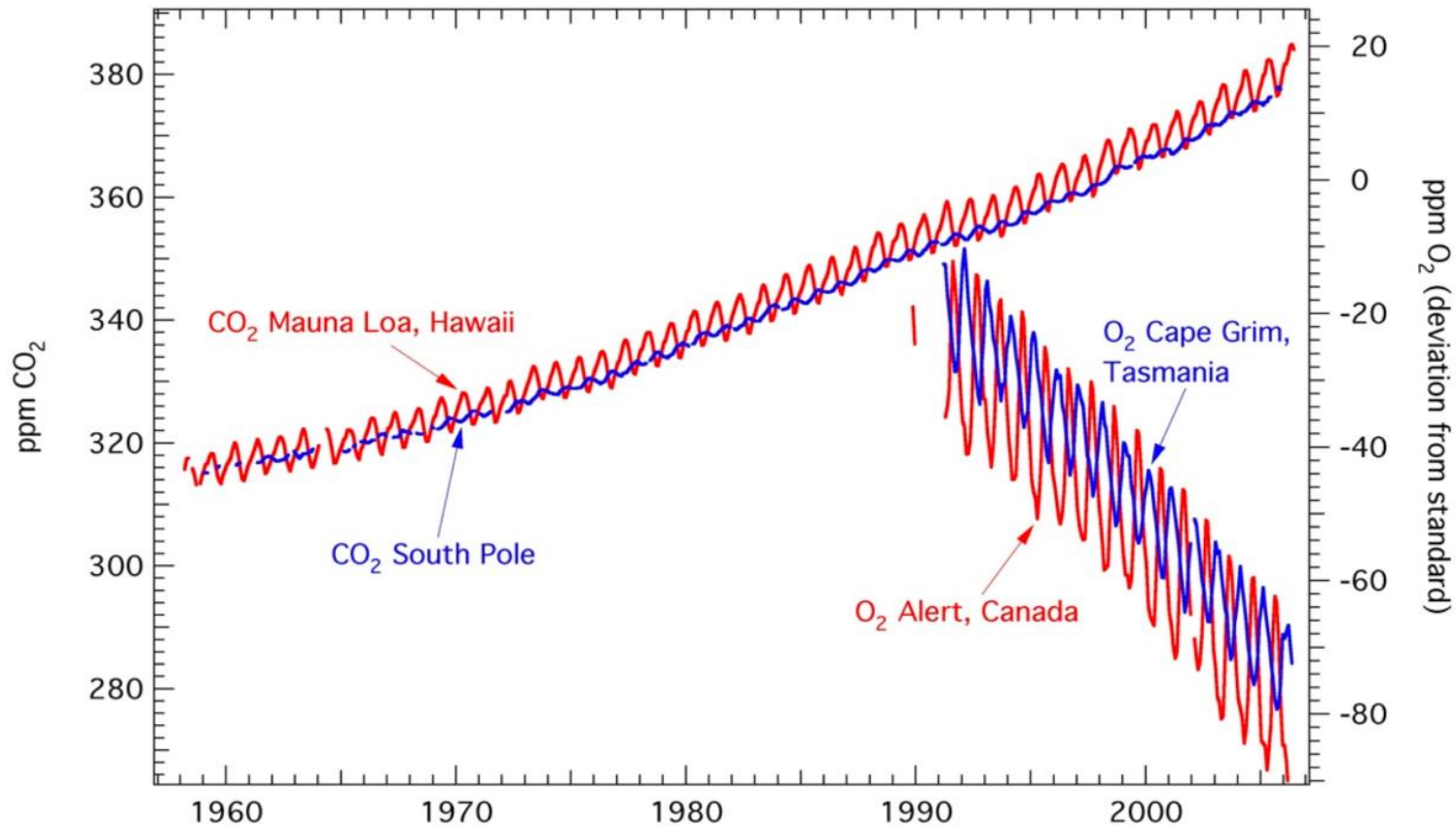
Temperatura na superfície média global anual (°C)

https://climate.nasa.gov/climate_resources/127/global-temperature/

O que acontece com o gelo do Ártico nos últimos 40 anos ?

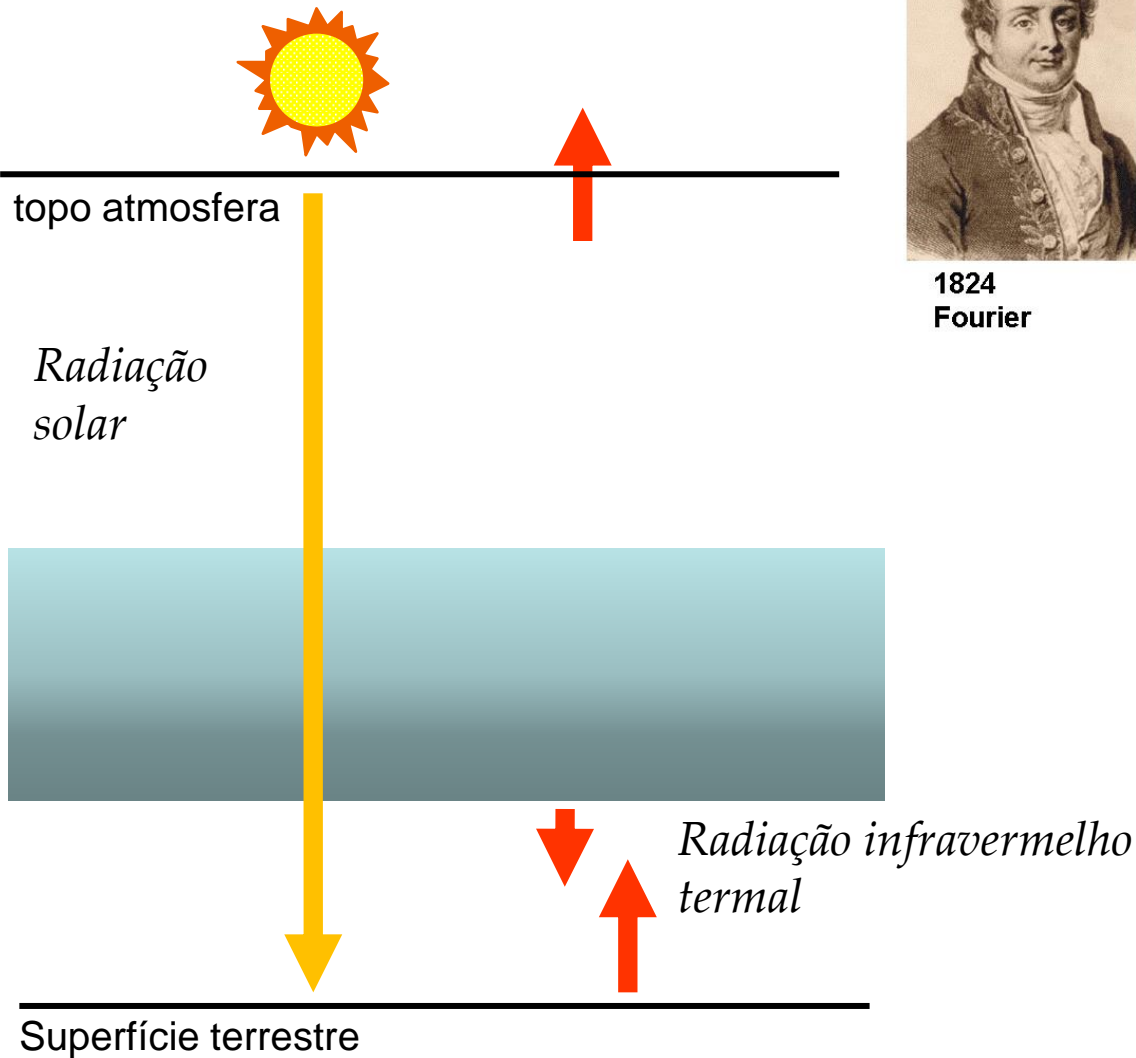


Atribuição de causas: aumento dos gases estufa

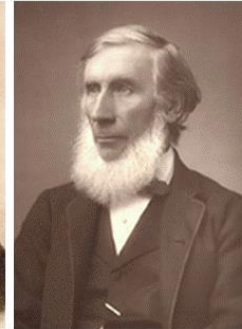


Concentração de CO₂ e O₂ (desvio de 21%). Fonte: Canadell (2007), *PNAS*

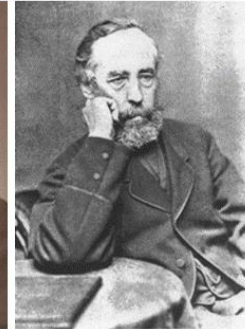
Atribuição de causas: o efeito estufa



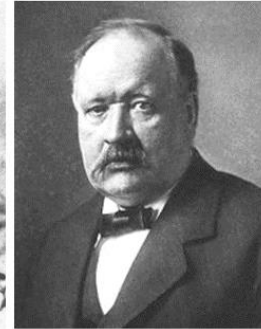
1824
Fourier



1854
Tyndall



1864
Croll

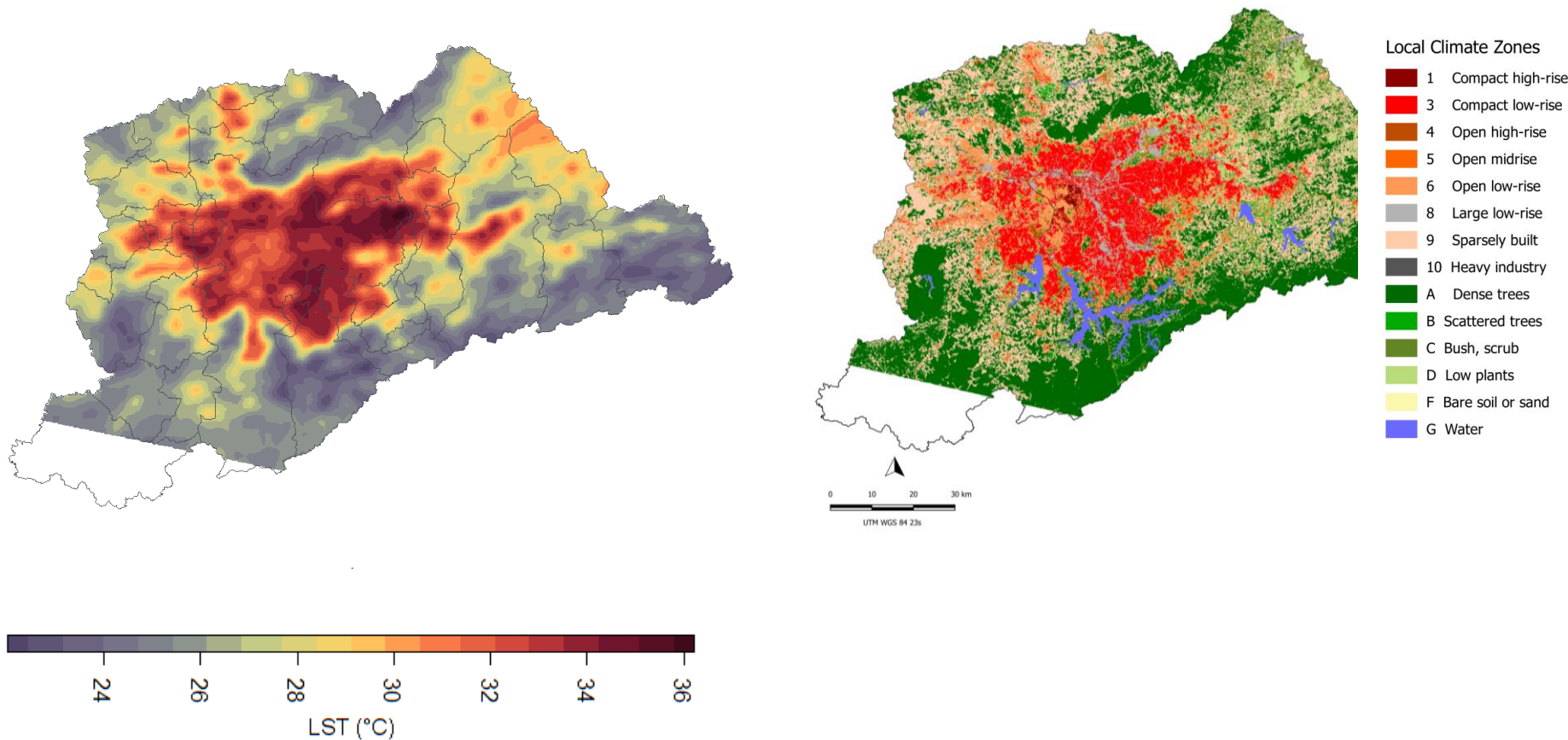


1896
Arrhenius

**efeito estufa natural e
antrópico: duas origens
diferentes**

**O que ocorreu
na cidade de São Paulo ?**

Áreas verdes e temperatura da superfície em São Paulo



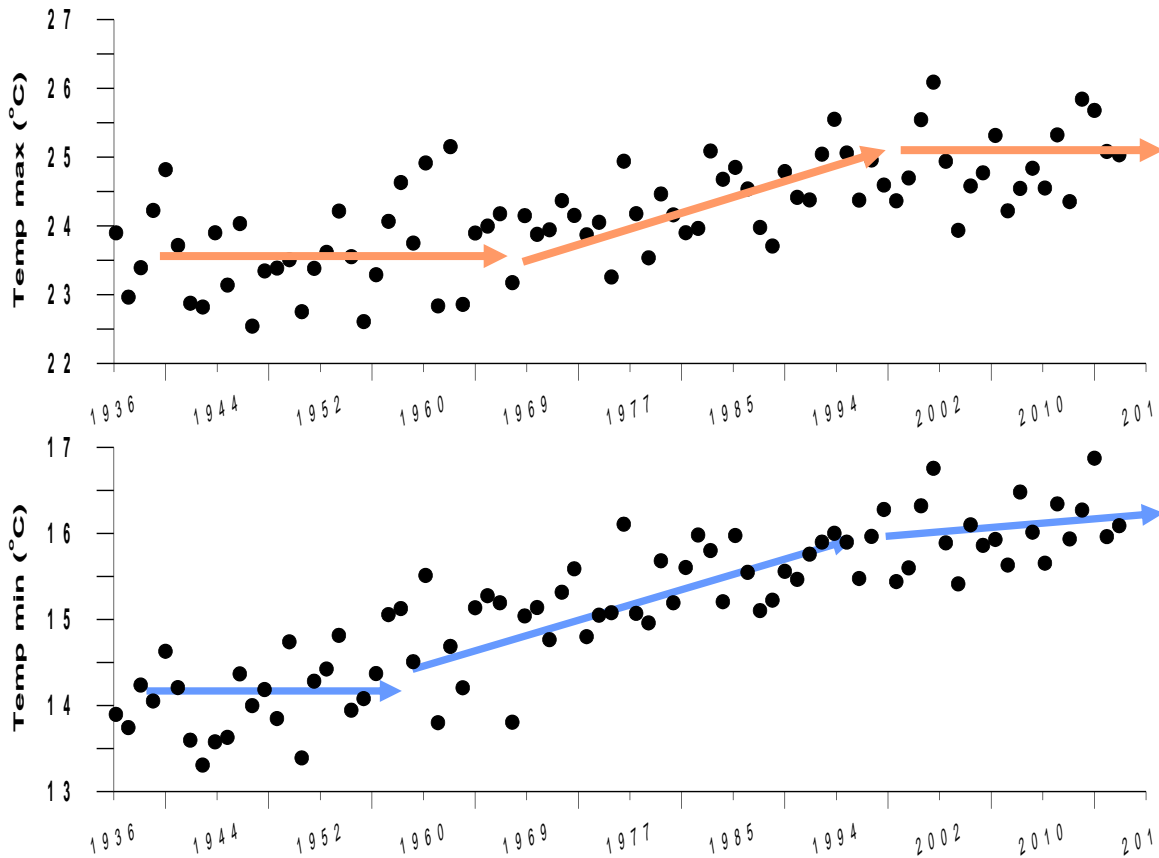
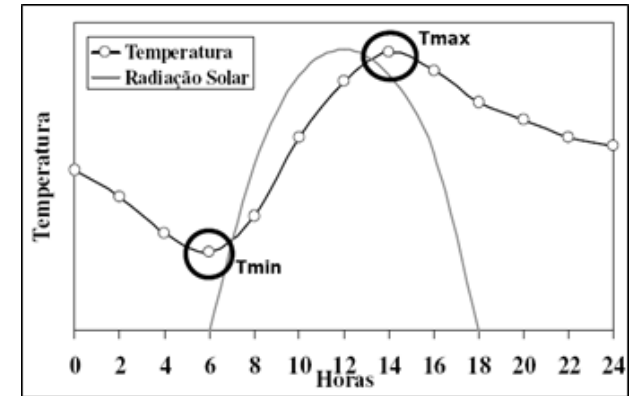
Temperatura de superfície (satelite MODIS (at 13h30 local time) (esq)
e zonas climaticas locais (dir).

fonte: FERREIRA, Luciana Schwandner; DUARTE, Denise Helena Silva . Exploring the relationship between urban form, land surface temperature and vegetation indices in a subtropical megacity. URBAN CLIMATE, v. 27, p. 105-123, 2019.

A temperatura está aumentando em São Paulo ?



Fonte: Estação Meteorológica do IAG/USP/ Seção Técnica de Serviços Meteorológicos - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo



Tmax
aumento: $\approx 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
de 23,5 a 25,0 $^{\circ}\text{C}$

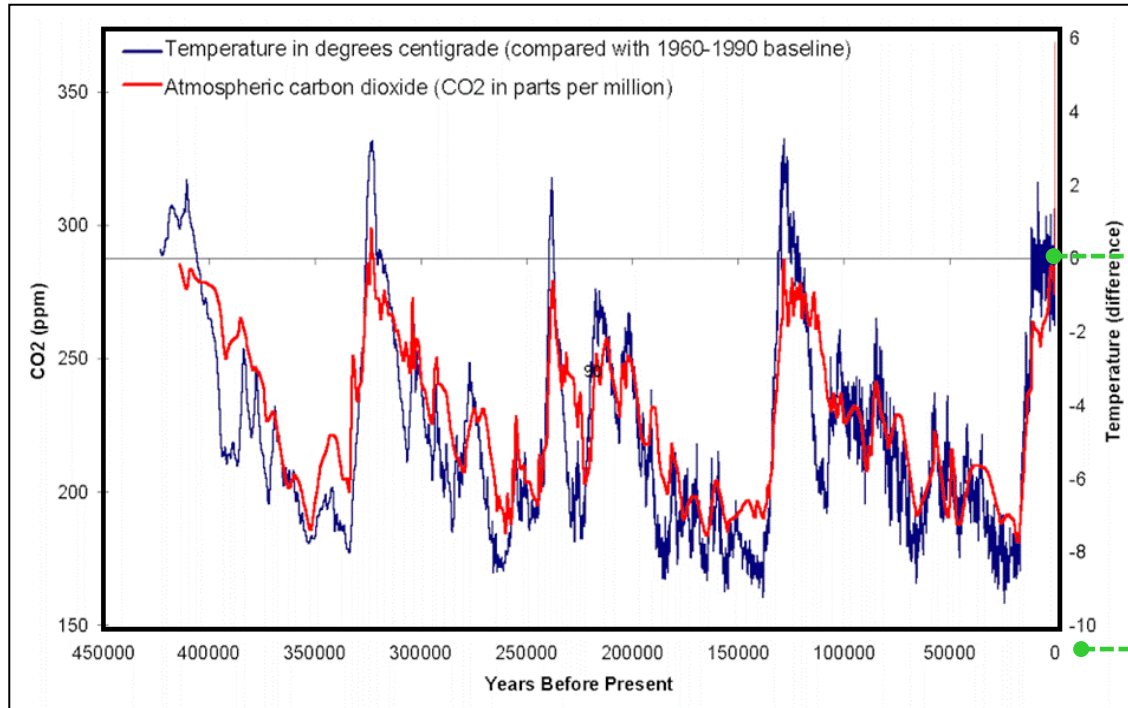
Tmin
aumento: $\approx 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
de 14,0 a 16,0 $^{\circ}\text{C}$

**Que efeitos ocorreram nas
últimas décadas,**

e o que se projeta para o futuro ?

O clima da Terra caminha para um congelamento

Quando ?



estamos aqui !

para que regime climático vamos ?

tempo

Variabilidade natural do clima com regimes de glacial e interglacial

Incerteza devido ao início de um novo glacial ?! séculos

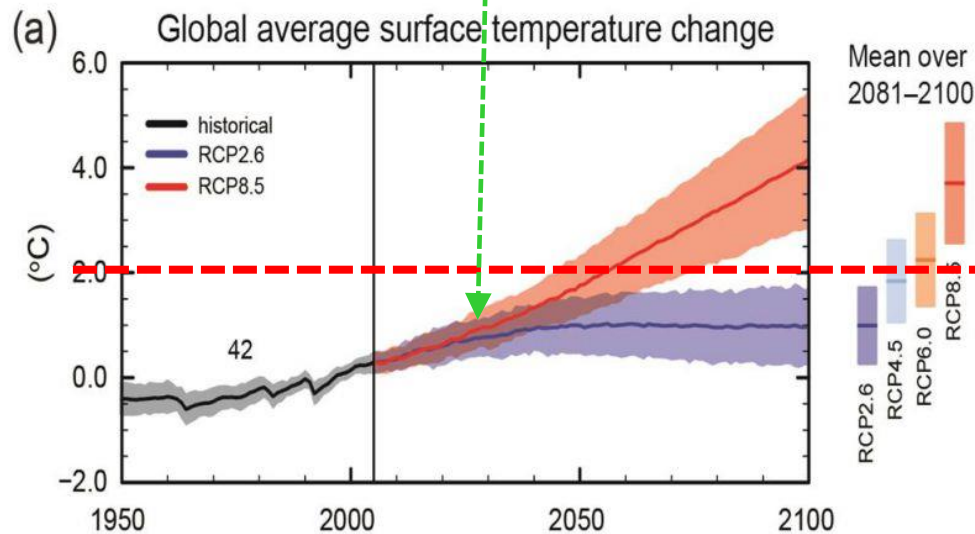
Fonte: Petit (1999) *Nature*; Shackleton (2000) *Science*

O clima da Terra caminha para um aquecimento nas próximas décadas

As projeções globais do clima no futuro próximo

estamos aqui !

Como serão os próximos 80 anos ?



cenários pessimista e otimista

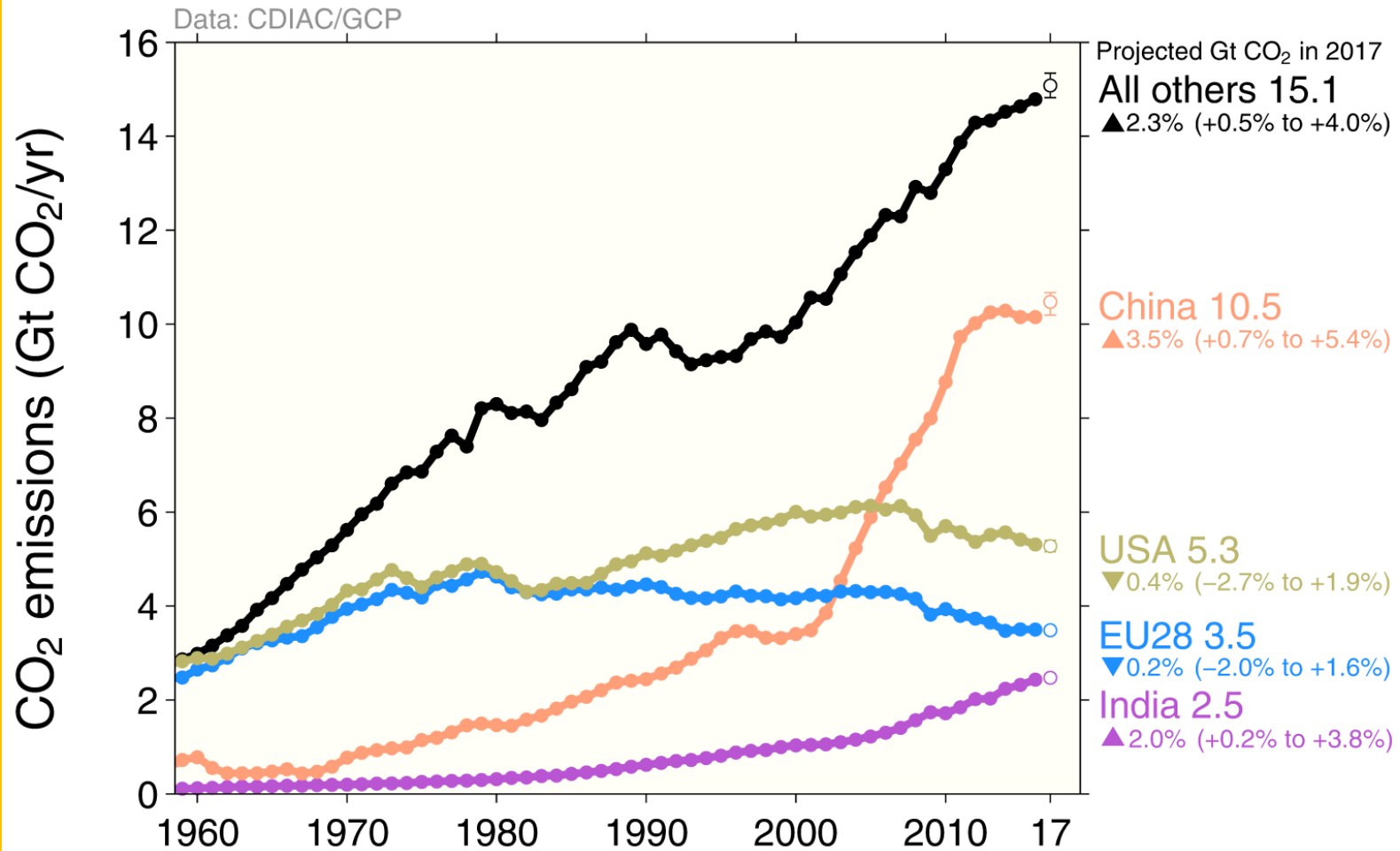
- conforme Baixa ou Alta emissão de carbono

Projeções indicam aquecimento

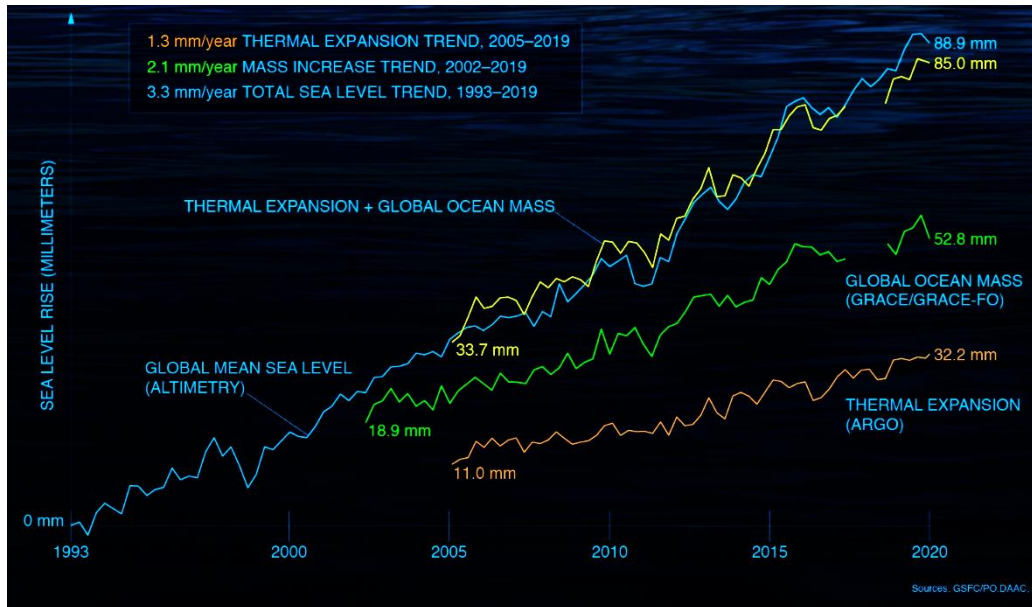
limiar *perigoso* de 2°C

Fonte: (RCP representative concentration pathway) do IPCC AR5

Emissões anuais de CO₂ por país



Consequências do aquecimento global : aumento do nível do mar



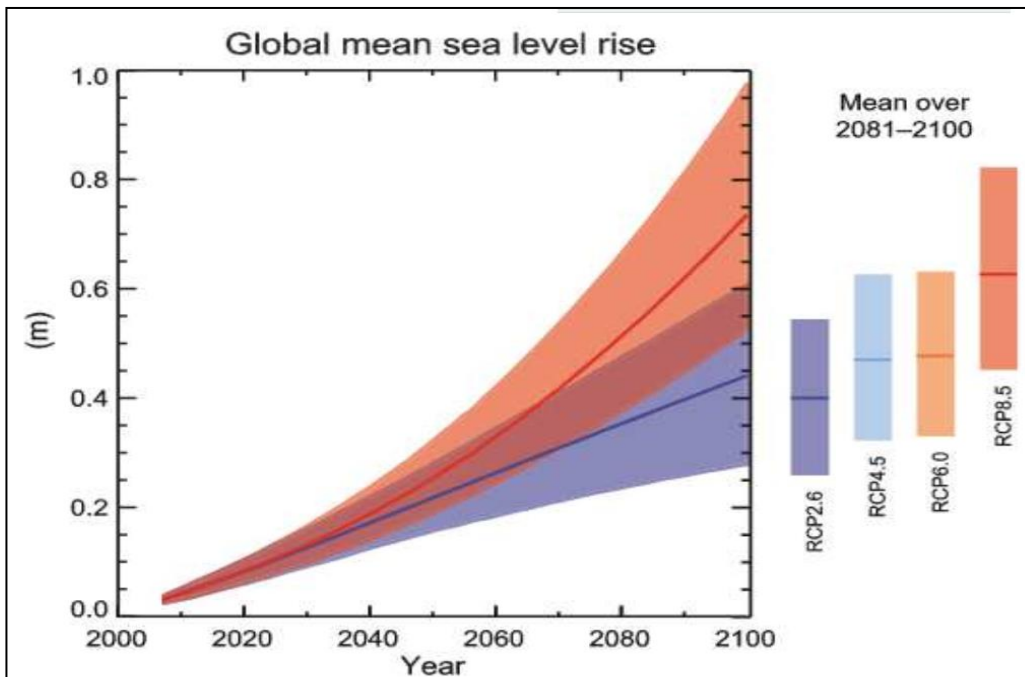
Medições históricas indicam aumento do nível do mar

Causas:

- derretimento do gelo
- expansão térmica da água

Fonte:

<https://sealevel.nasa.gov/>



Projeções são de aumento do nível do mar médio global no sec. 21, relativo a 1986-2005.
Fonte: IPCC AR5

Saúde e atividade laboral

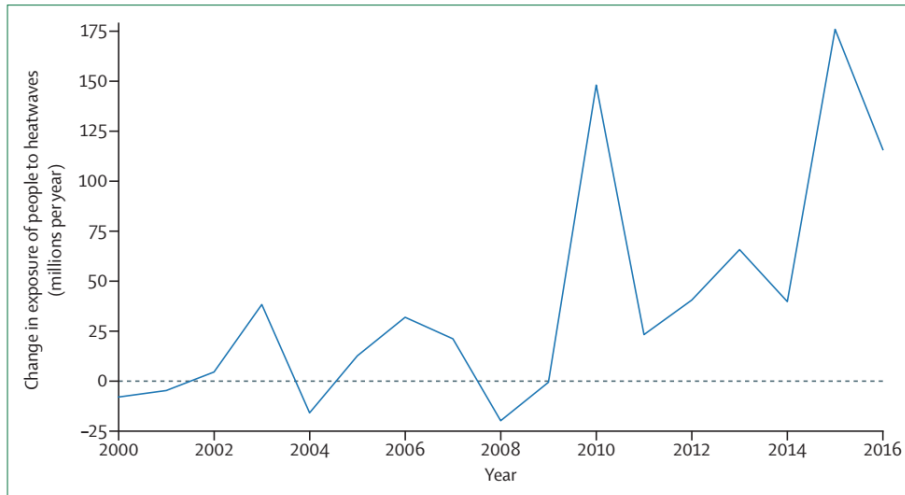


Figure 2: The change in heatwave exposure (in people older than 65 years), relative to the 1986–2008 average

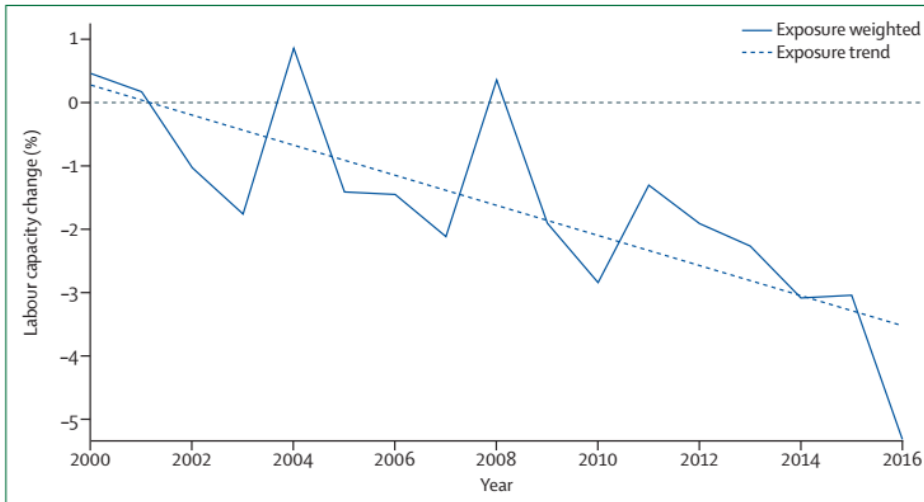


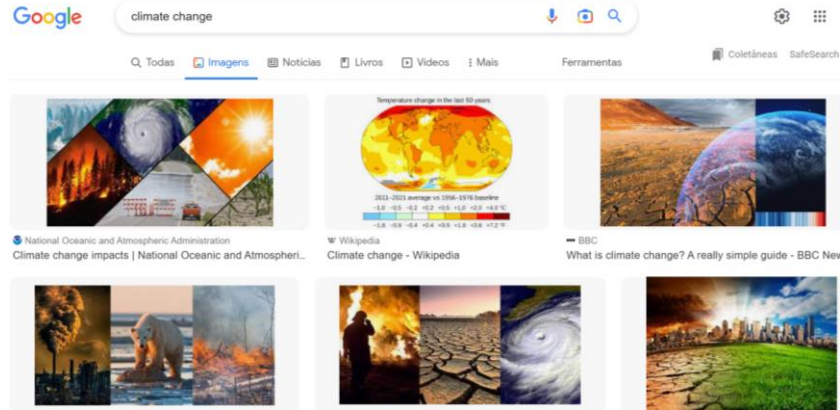
Figure 4: Labour capacity change worldwide, relative to the 1986–2008 average

Aumento da exposição às ondas de calor (pessoas acima 65 anos)

Queda da capacidade laboral (média global)

The *Lancet* Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health

Mudanças climáticas
é um assunto muito exposto
na mídia



certas posições humanas

1. Ceticismo : não confiar, duvidar; descrer.
2. Negacionismo: *negar* como verdadeiro um fato que pode ser verificado empiricamente (ex.: negacionismo científico, negacionismo histórico)
3. Alarmismo: disseminar notícias de conteúdo alarmante, causando medo e inquietação
4. Realismo científico: ter a percepção de um objeto, independente de suas crenças e pontos de vista, e aceitar a realidade dos fatos percebidos