



Universidade de São Paulo  
Brasil

# Evolução histórica da chuva em São Paulo e perspectivas futuras

Maria Assunção Faus da Silva Dias

Professora Titular Senior  
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas  
Universidade de São Paulo

Apresentação ao  
Comitê de Mudança do Clima e Ecoeconomia do Município de São Paulo  
Universidade Aberta do Meio Ambiente e da Cultura de Paz – UMAPAZ  
21 de junho de 2016



# Alguns aspectos das vulnerabilidades socioambientais urbanas

- Alguns grupos são mais afetados por estresse ambiental ou climático
- Aspectos humanos, patrimoniais, tecnológicos
- A gestão da crise associada aos extremos climáticos
- O planejamento de médio e longo prazo para enfrentamento das crises de origem climática
- Interação sociedade-natureza
- A questão da qualidade do ar e da água
- Disponibilidade de recursos hídricos
- A sustentabilidade das atividades econômicas e industriais

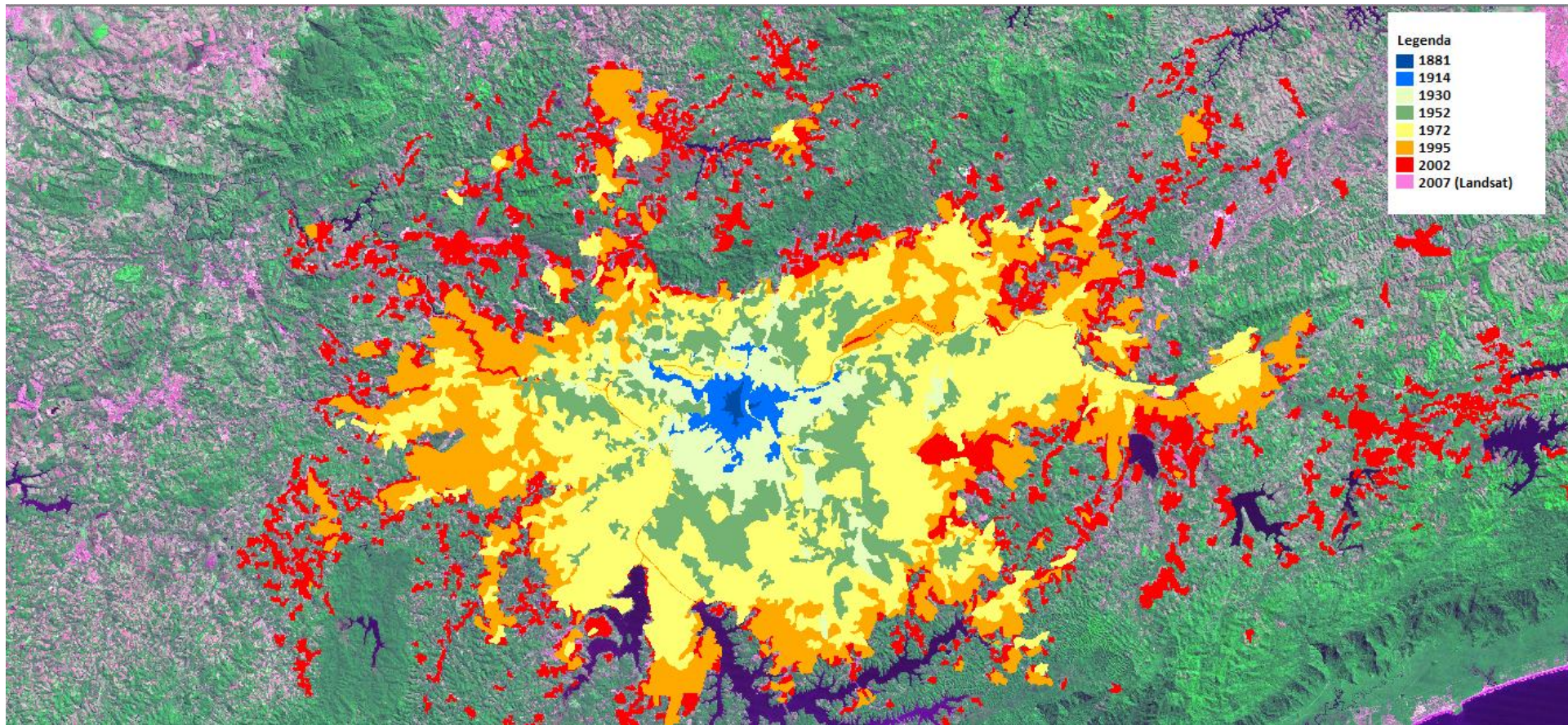
# **OS EXTREMOS CLIMÁTICOS...**

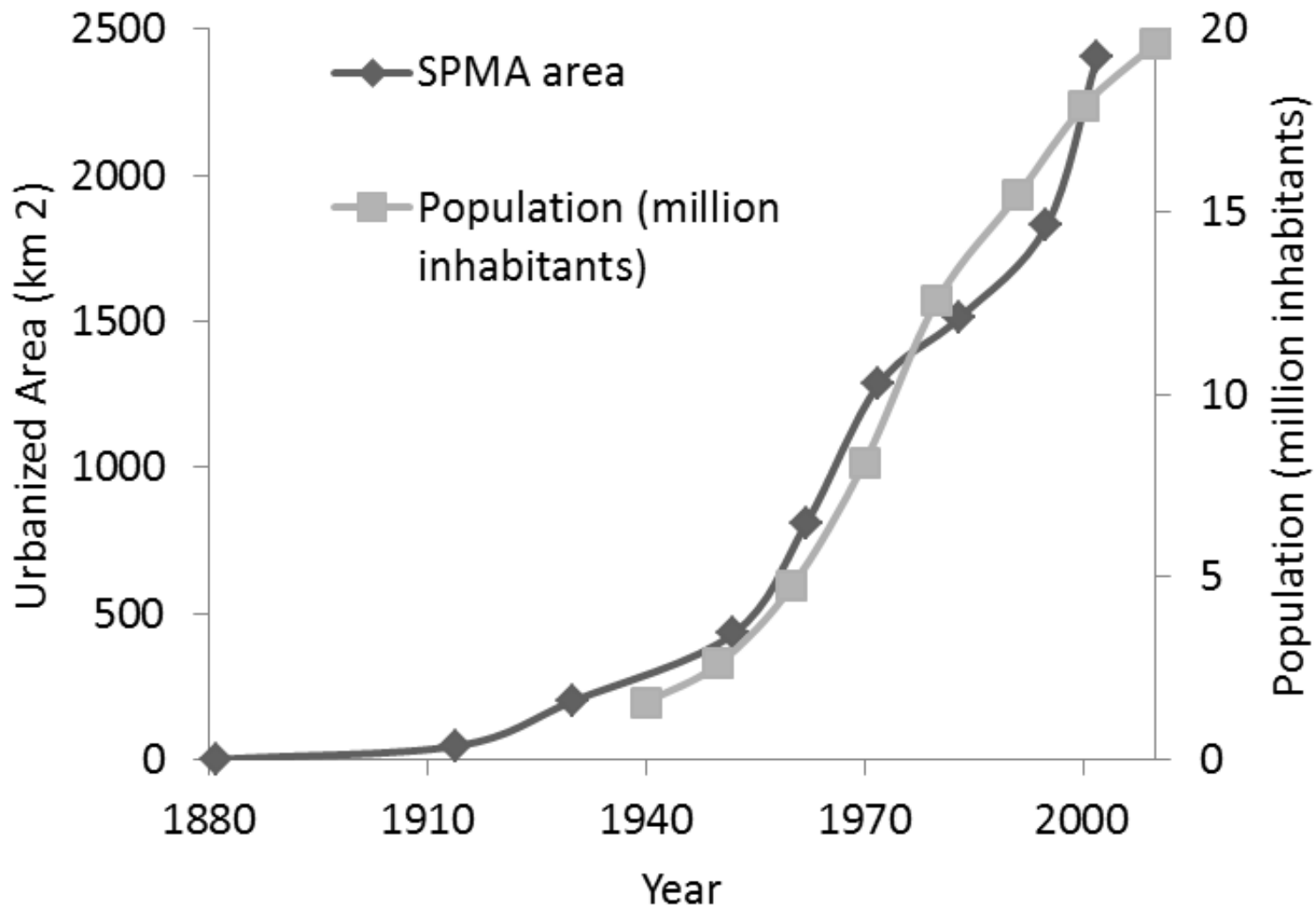
A photograph showing a person from behind, walking across a vast, cracked, and dry field. The person is wearing a light blue shirt, light blue pants, and a white hat. The ground is parched and has formed a complex, irregular pattern of cracks. In the background, there are rolling hills under a clear blue sky with a few wispy clouds. The overall scene conveys a sense of drought and environmental hardship.

**SISTEMA CANTAREIRA - SP**

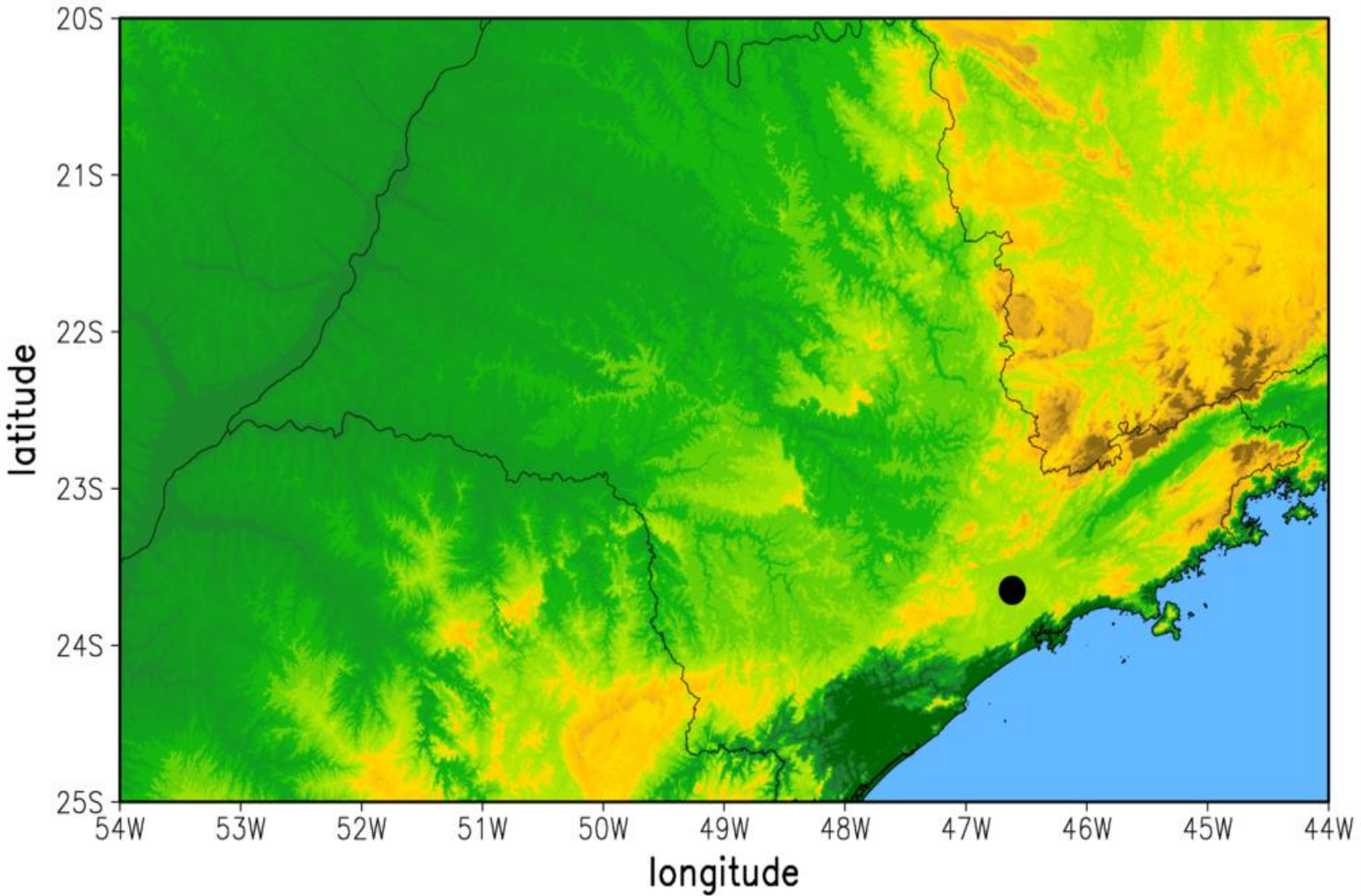


# A evolução da mancha urbana

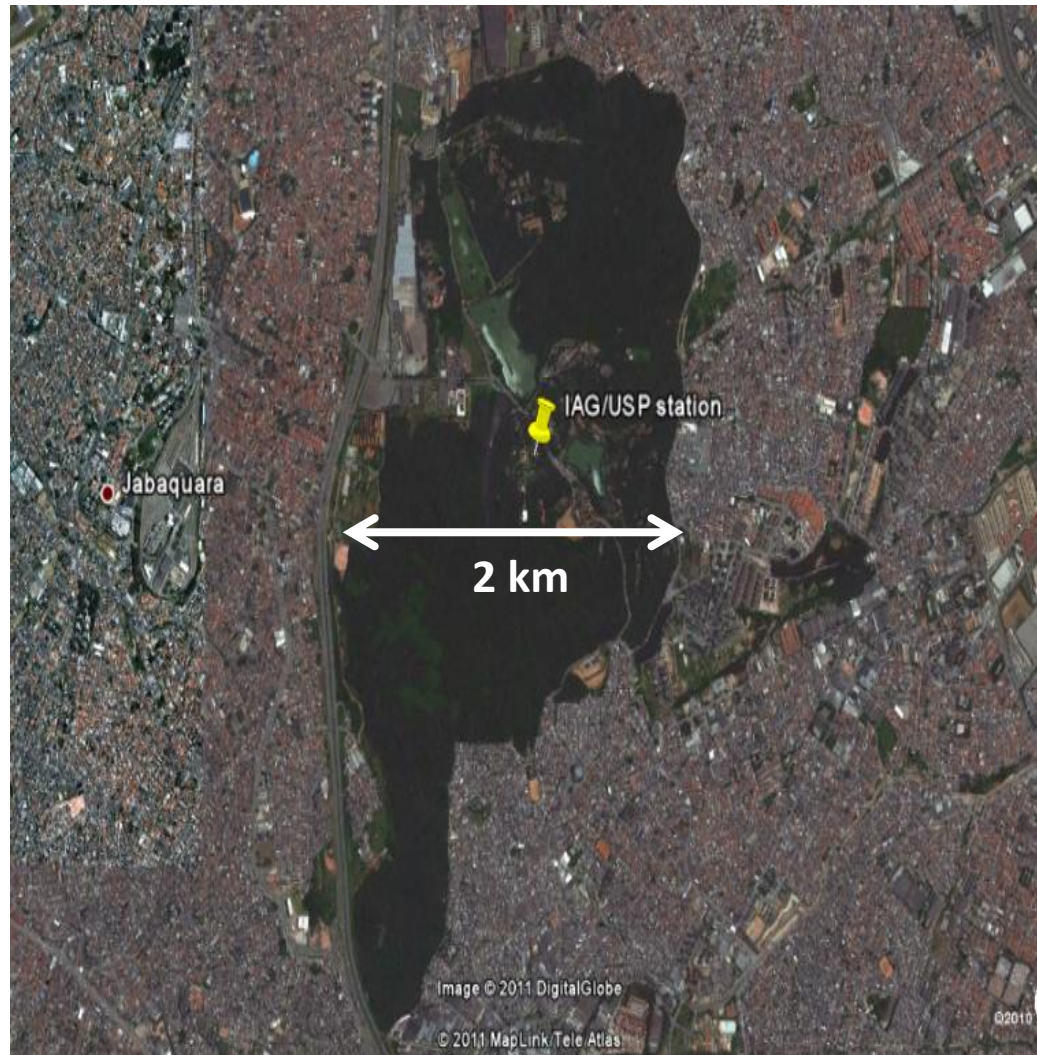




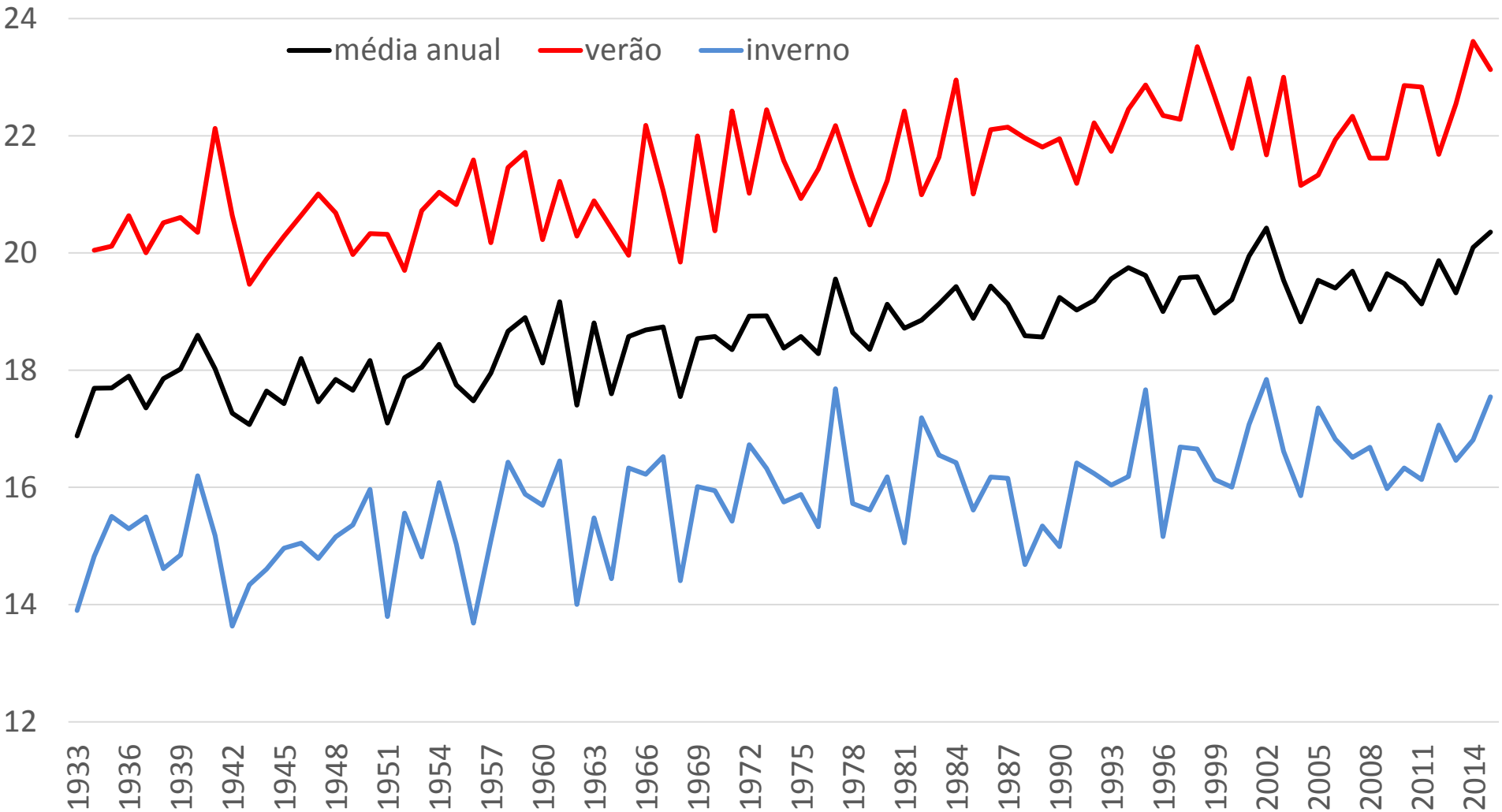




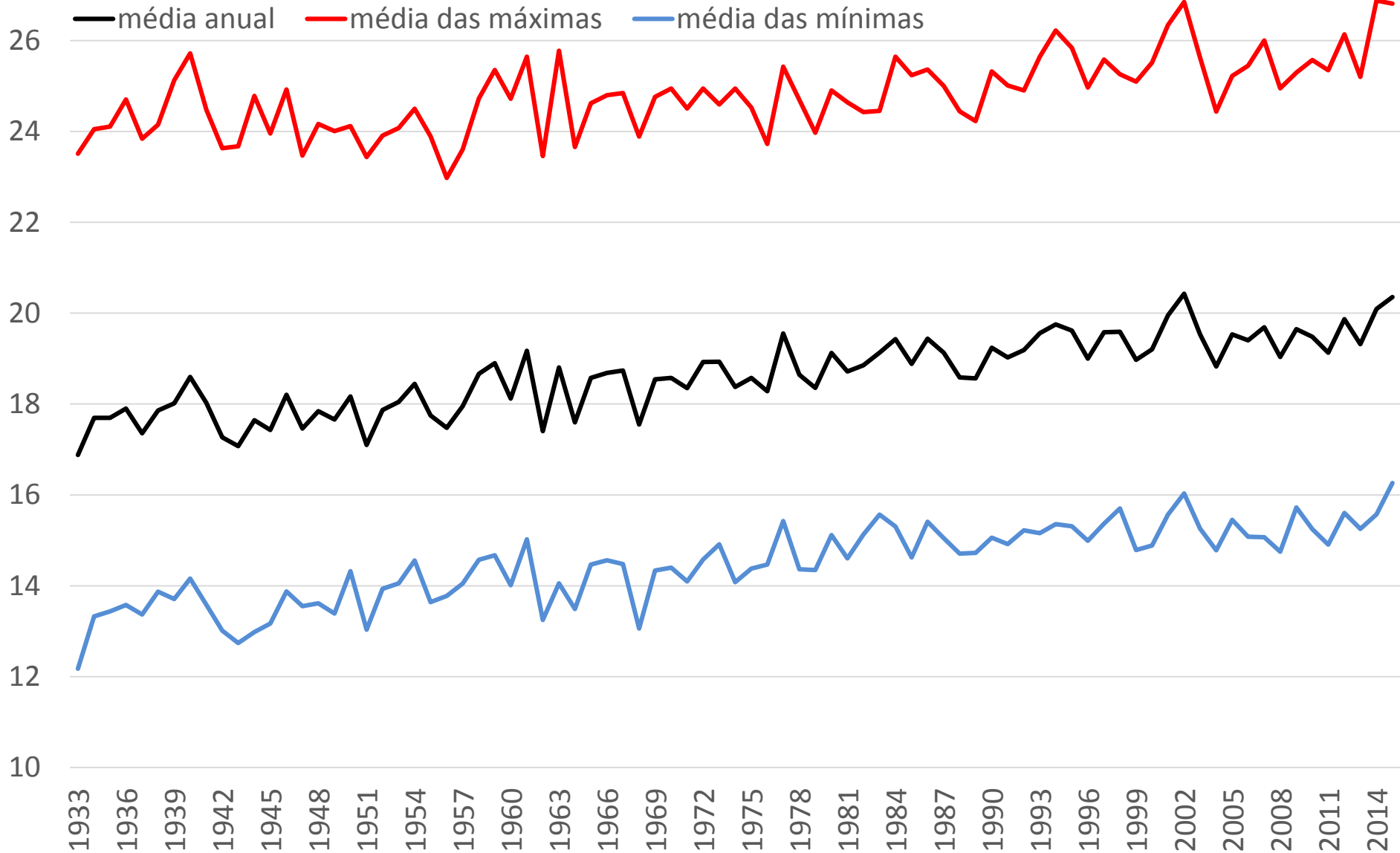
# Estação Meteorológica do IAG no Parque CIENTEC da USP – Água Funda



# Temperatura - Estação Meteorológica - Água Funda

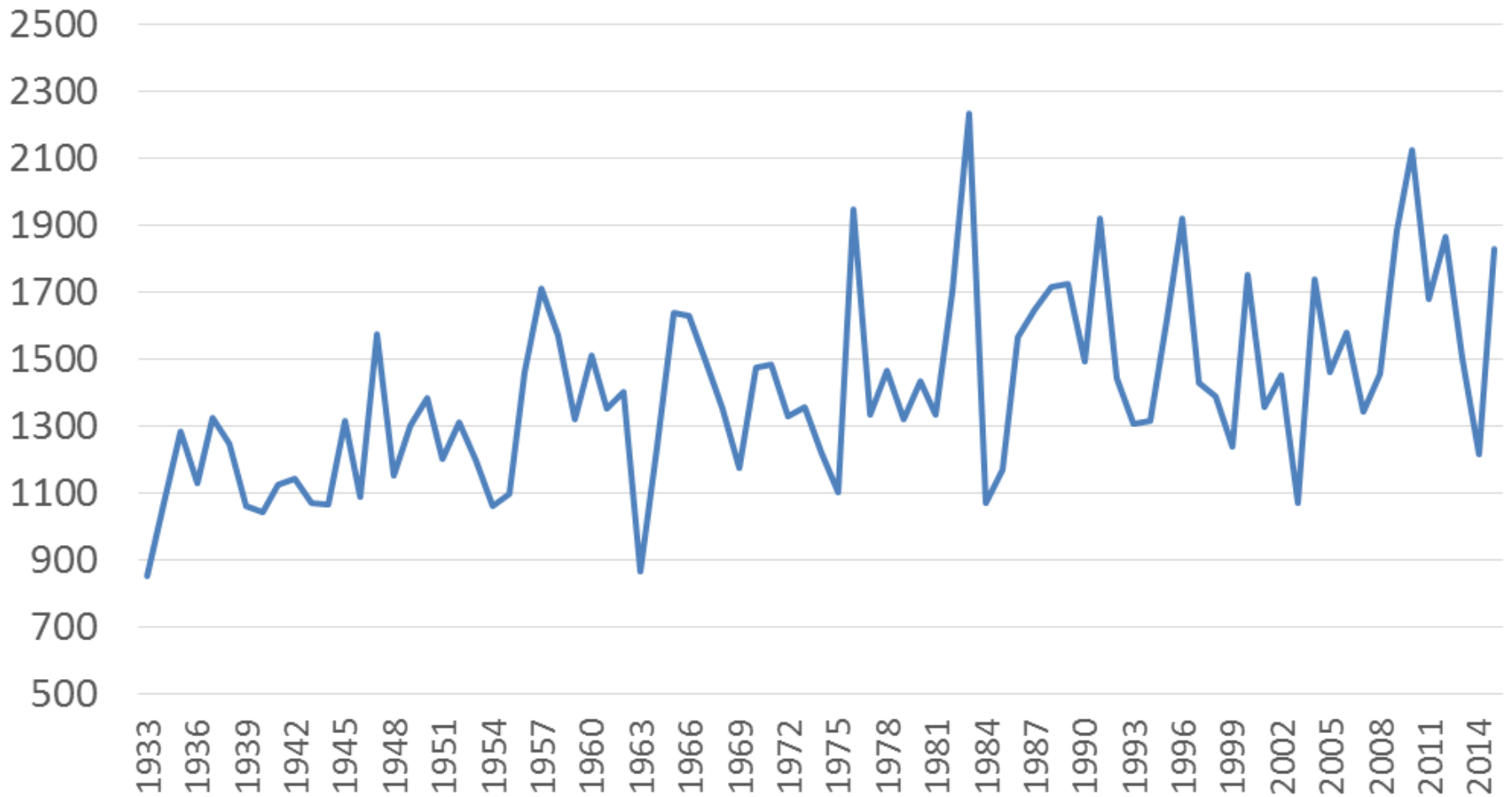


# Temperatura - Estação Meteorológica - Água Funda

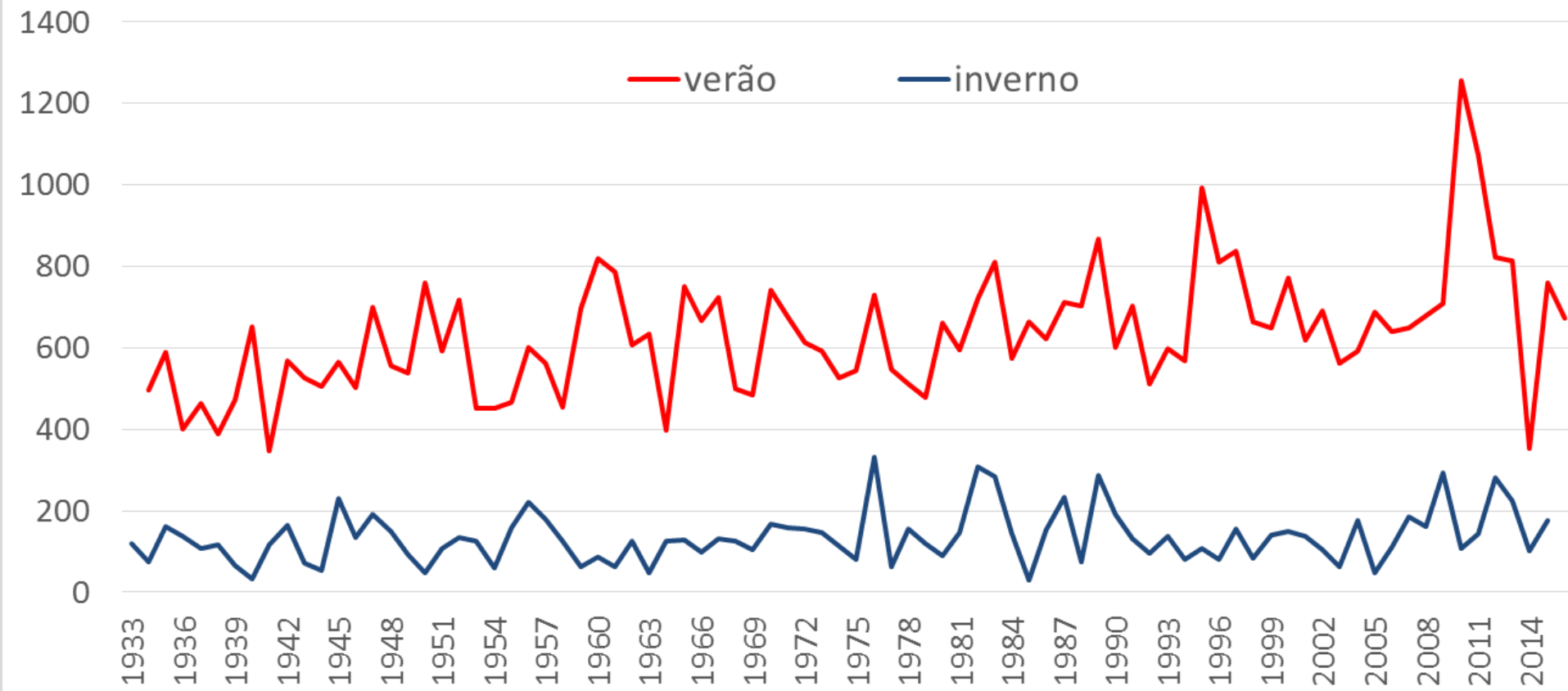


# Chuva acumulada anual

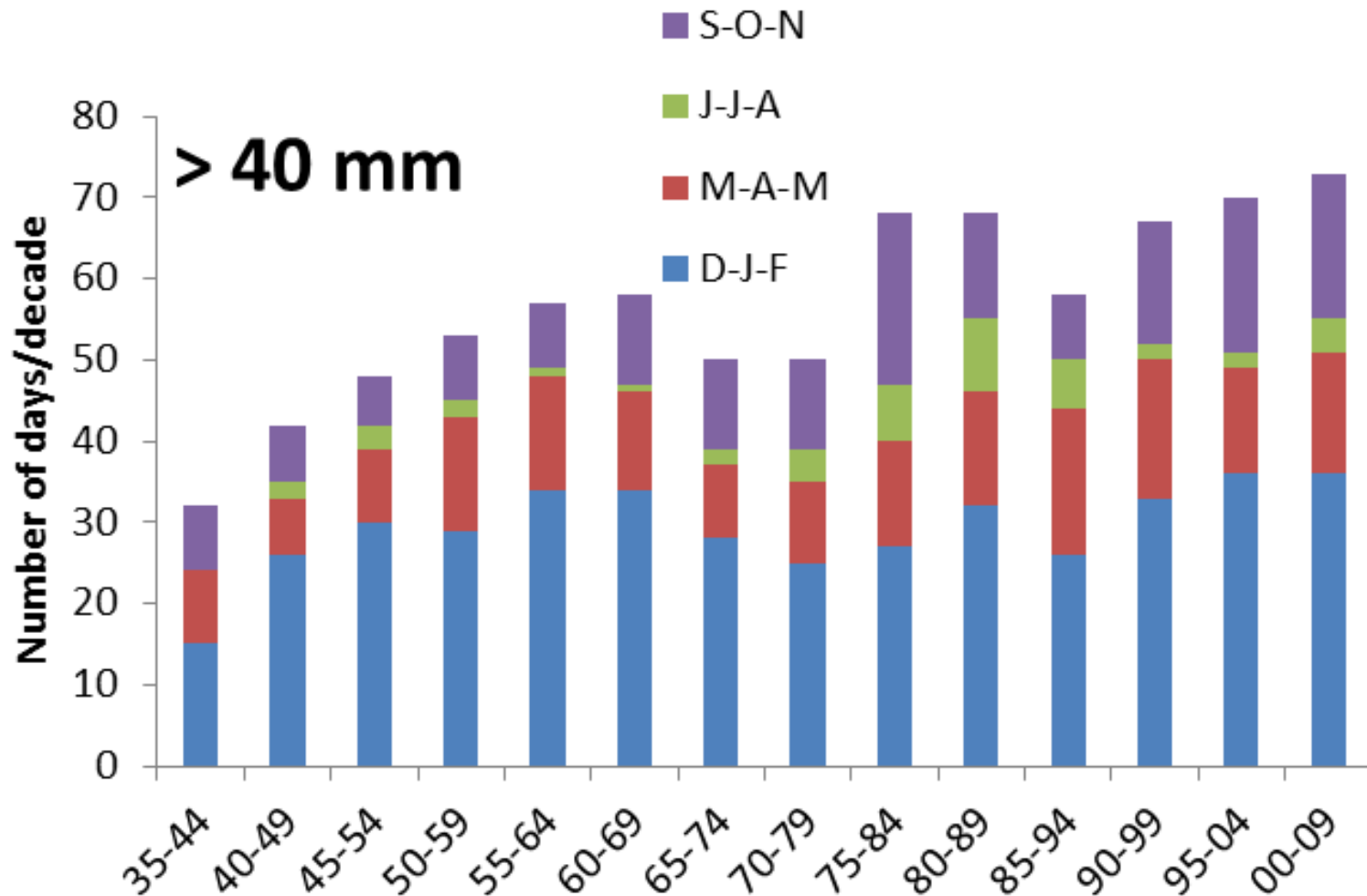
Total anual de chuva - Estação Meteorológica da Água Funda

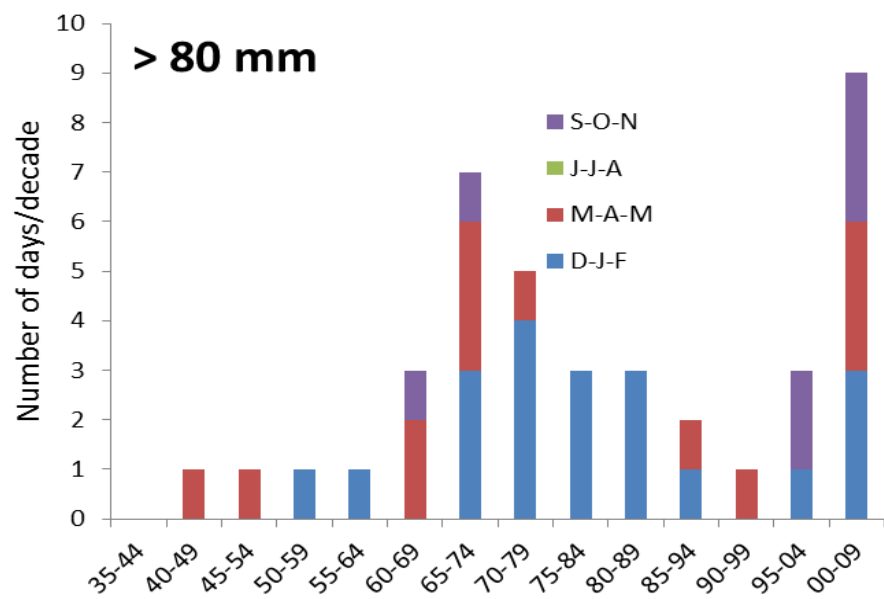
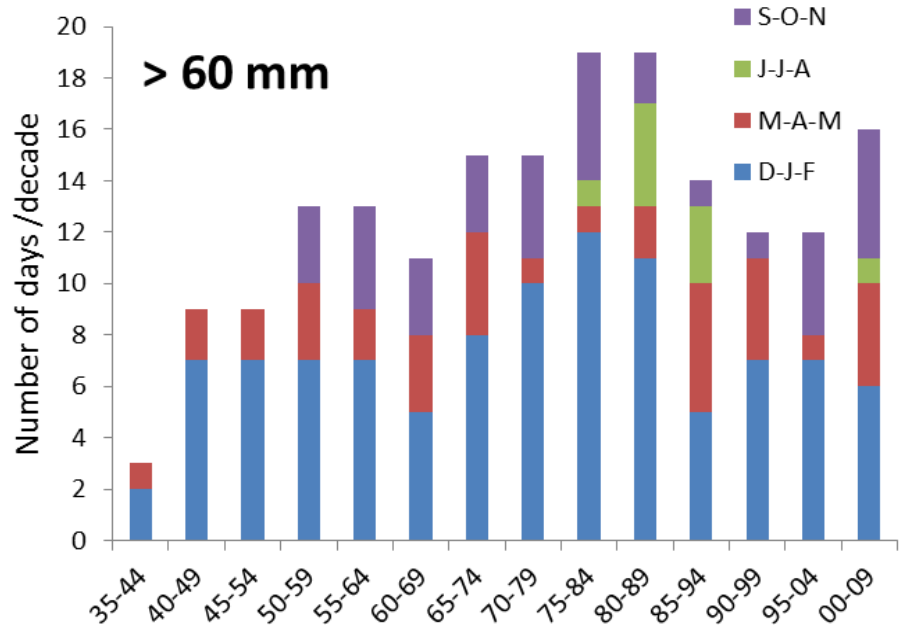


## Chuvas - Estação Meteorológica - Água Funda



# Número de dias por década com chuva acumulada maior que 40 mm por dia





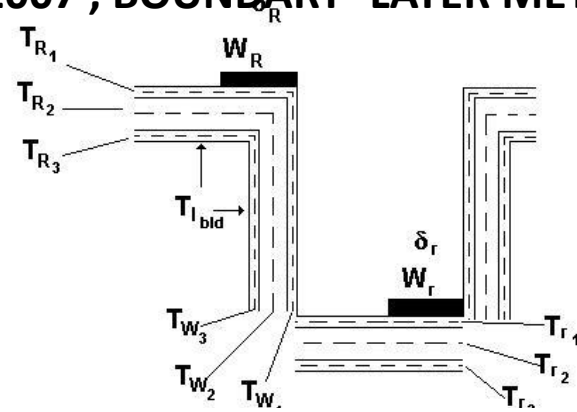


# Atribuição de causa das mudanças observadas

- Variabilidade climática natural
- Mudança Climática (devida ao aquecimento global provocado pelos gases de efeito estufa - GEE)
- Aumento da ação direta do homem – mudança do uso da terra, urbanização, poluição do ar



FREITAS, E. D. ,ROZOFF, C. M. ; COTTON, W. R. ; SILVA DIAS, P. L. ,  
2007 , BOUNDARY -LAYER MET.



### Emissions, industry and vehicles

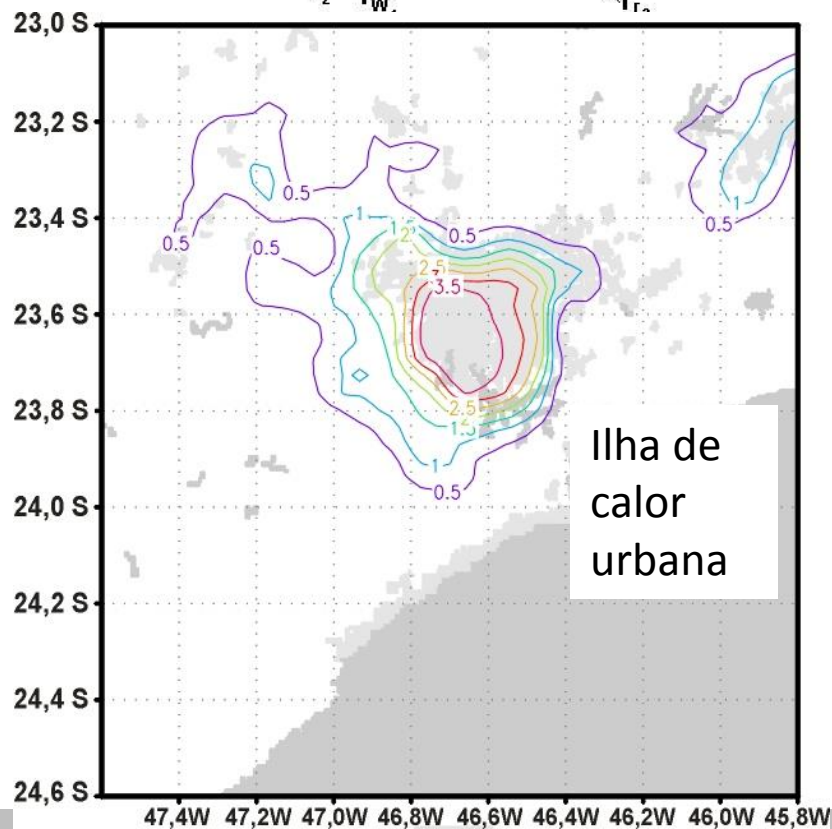
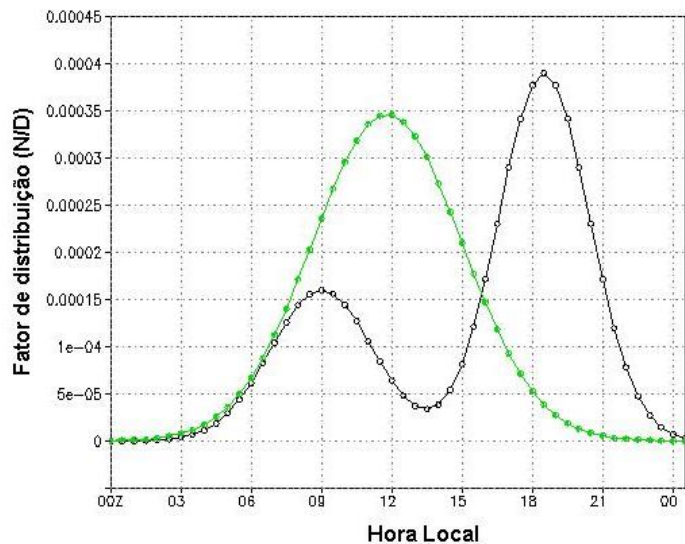
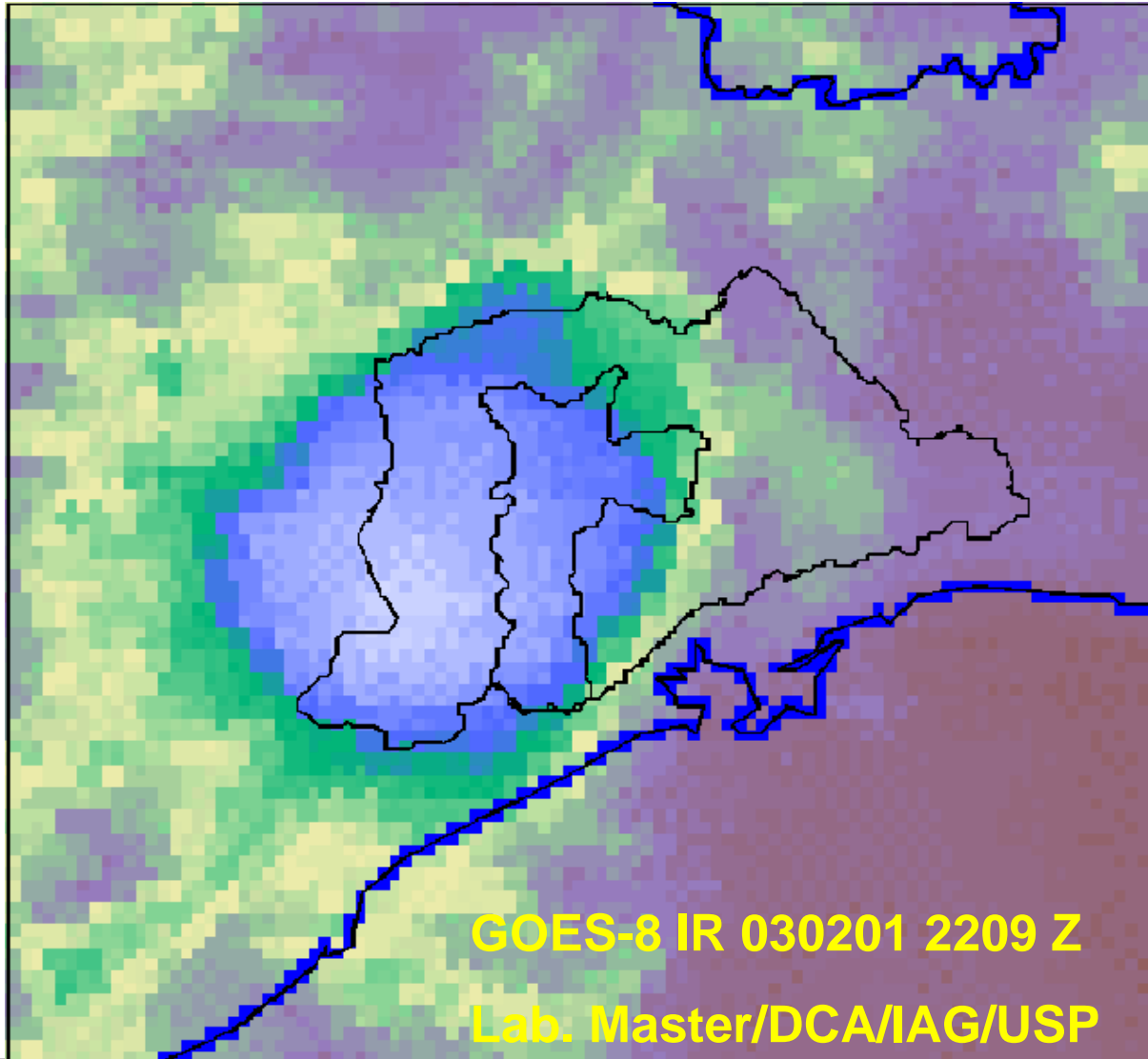


Imagem satélite 1 fevereiro 2003 2209 GMT



# Causa das mudanças nas chuvas em São Paulo (\*)

- Na estação seca **85%** da variabilidade dos extremos de chuva é explicada por índices climáticos
- Na estação chuvosa ~50 % da variabilidade observada é explicada por índices climáticos
- **Porção não explicada é devida a outros fatores como : urbanização, poluição do ar**
- **Ilha de calor urbana está é uma das causas do aumento das chuvas**

(\*) Silva Dias et al 2013 Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. Climatic Change. , v.116, p.3 - , 2012

**E O QUE ESPERAR NO  
FUTURO?**

# Painel Intergovernamental de Mudança Climática

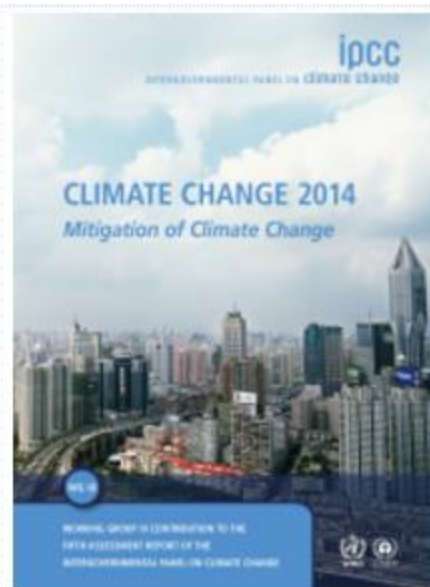
[www.ipcc.ch/ar5](http://www.ipcc.ch/ar5)



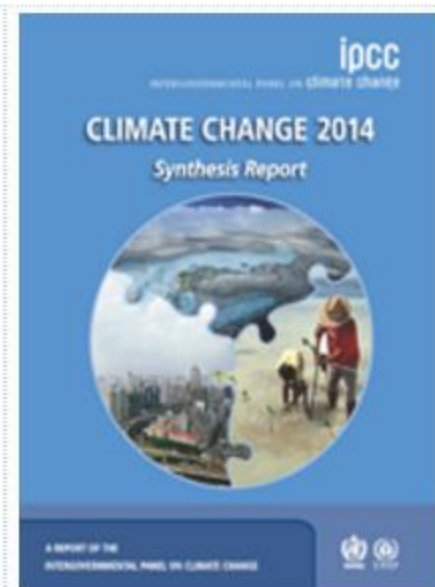
A base física



Impactos,  
adaptação e  
vulnerabilidades



Mitigação da  
mudança climática



Relatório  
Síntese

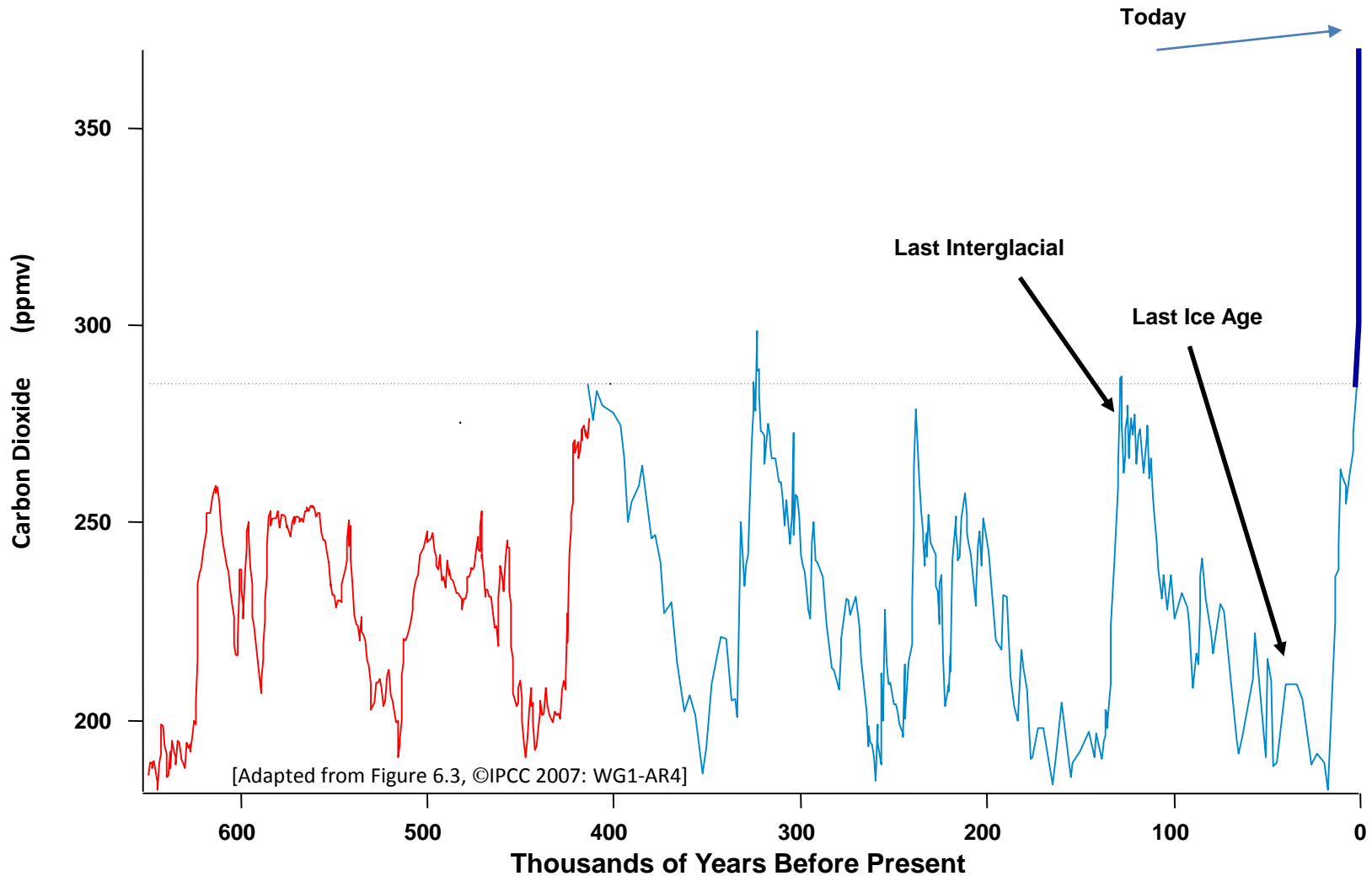
**O QUE É UM MODELO  
CLIMÁTICO?**

# ***Modelo Climático simula o Efeito Estufa***

- *Os Gases de Efeito Estufa – GEE*
  - *vapor d'água, gás carbônico, metano, óxido nitroso entre outros...*
- *O efeito estufa natural é importante para a manutenção da vida na Terra.*
  - *Sem ele a temperatura média do globo seria de -18 °C.*
- *O aumento da concentração de GEE vem acentuando o efeito estufa favorecendo o aquecimento do globo.*



# Concentração de gás carbônico - CO2



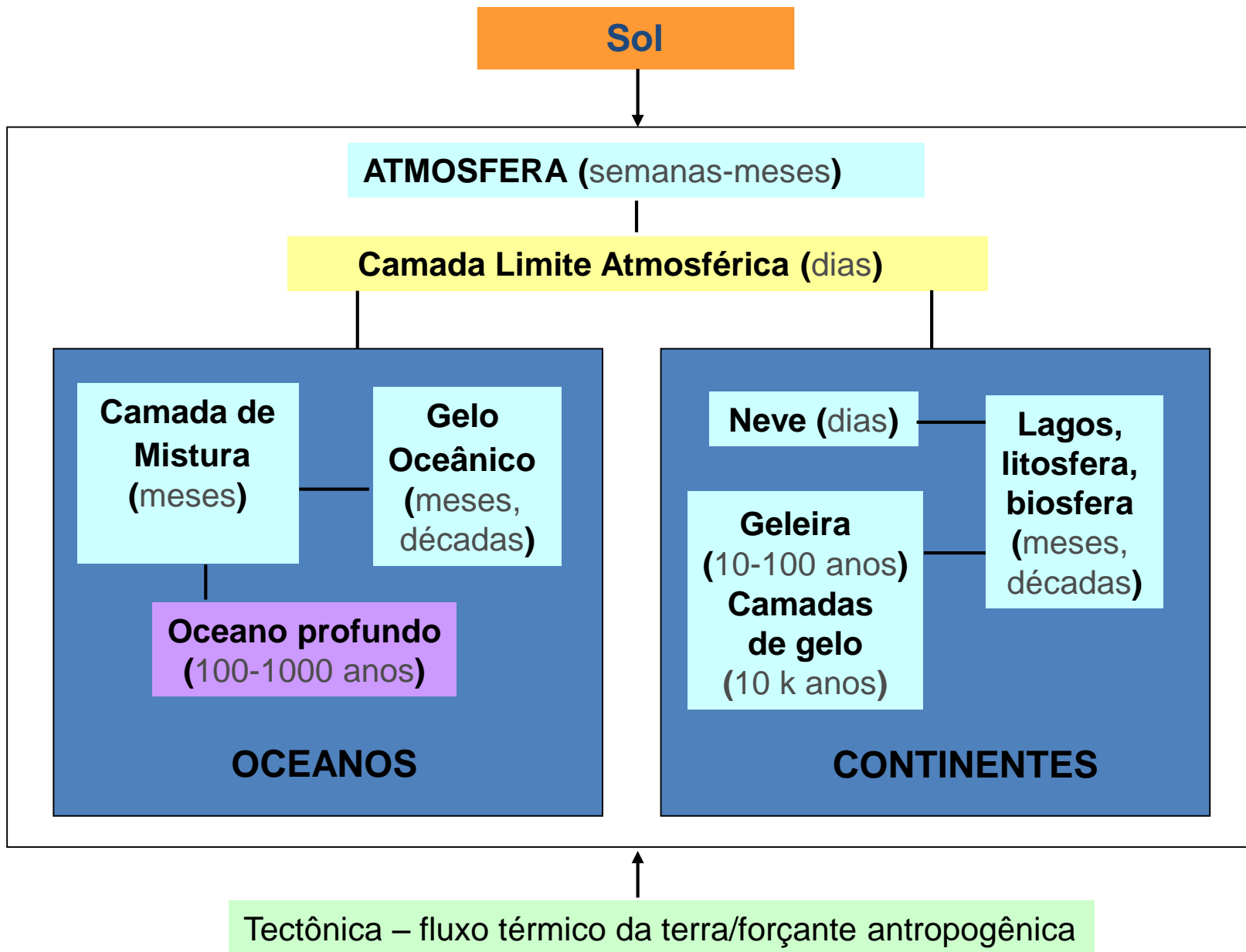
# Um modelo climático é

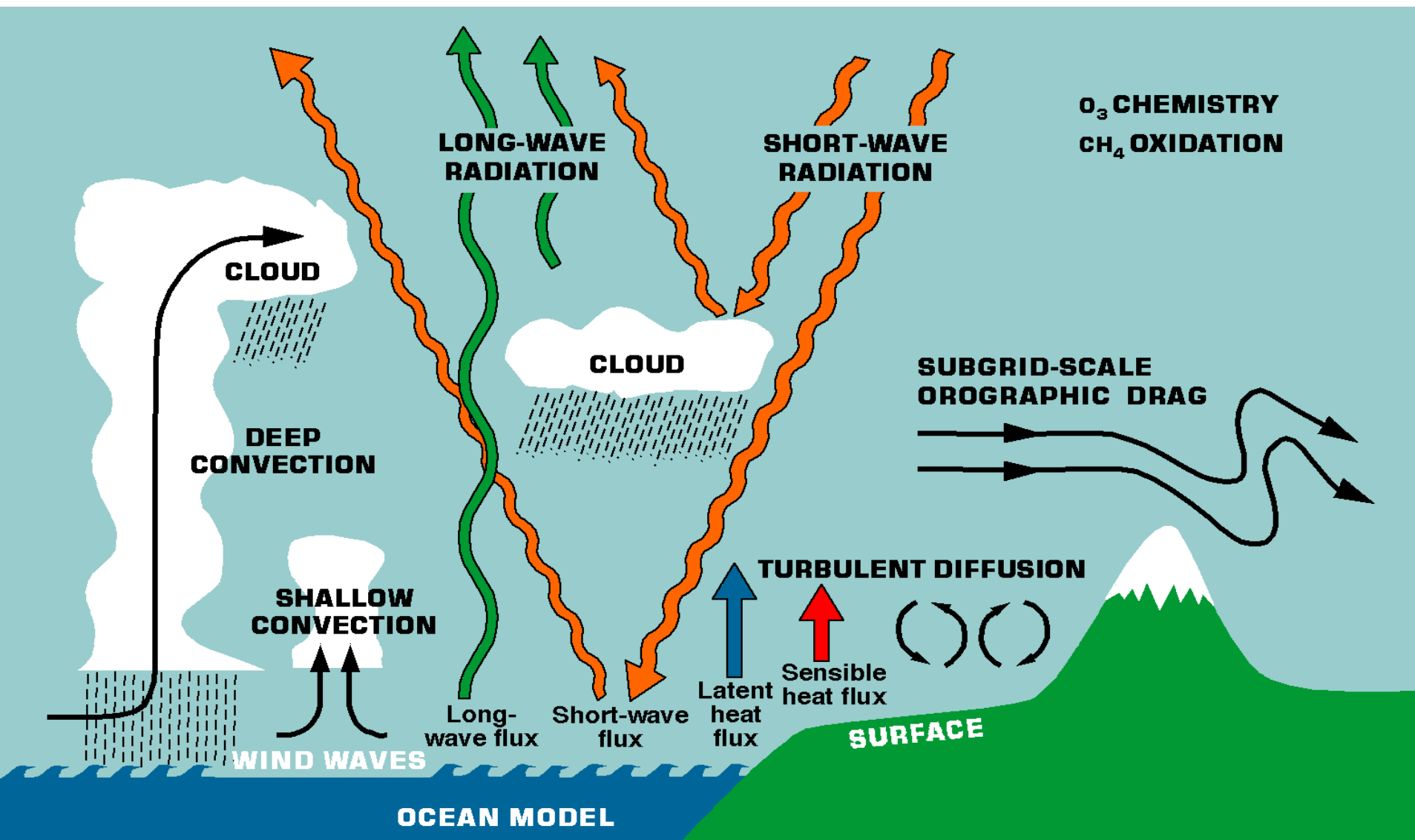
- um *software* ou *código para computador* contendo centenas de milhares de linhas codificadas
- usado para processar dados e gerar previsões sobre a evolução do clima da Terra em função da evolução dos **GEE**.

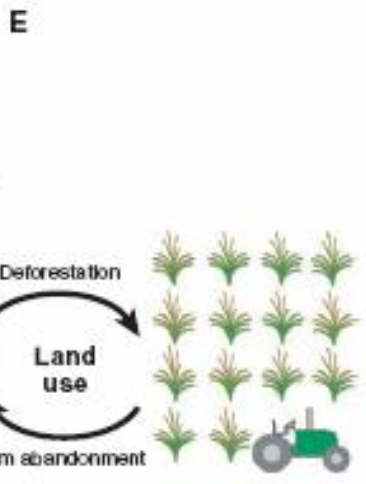
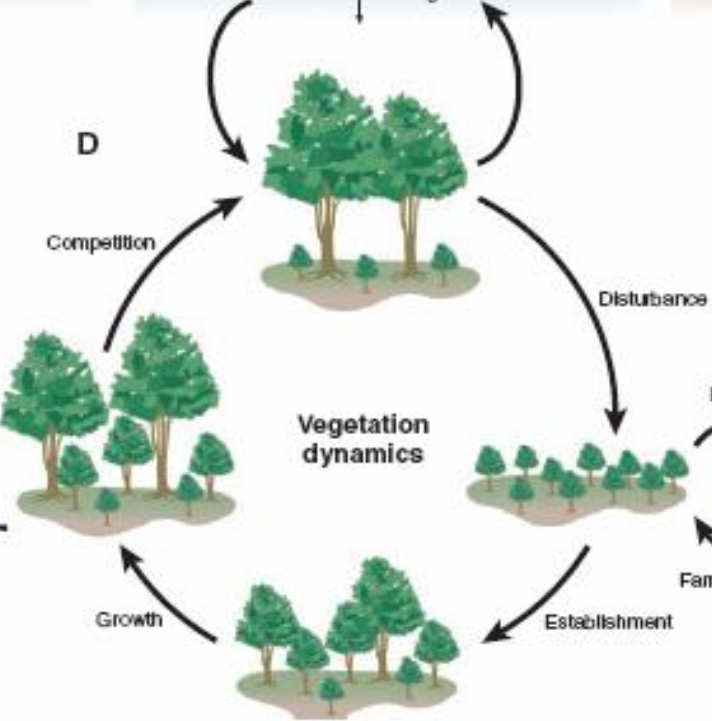
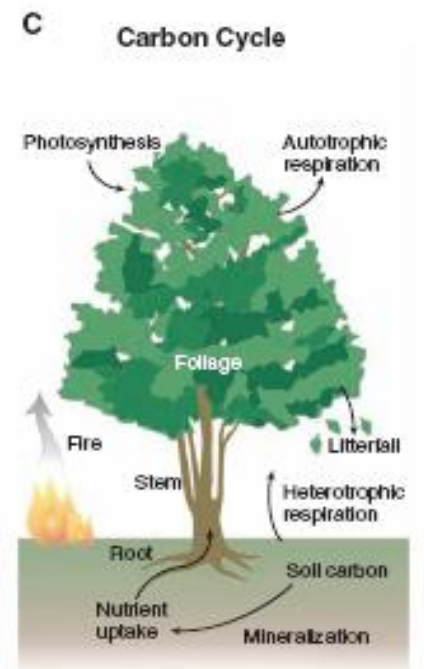
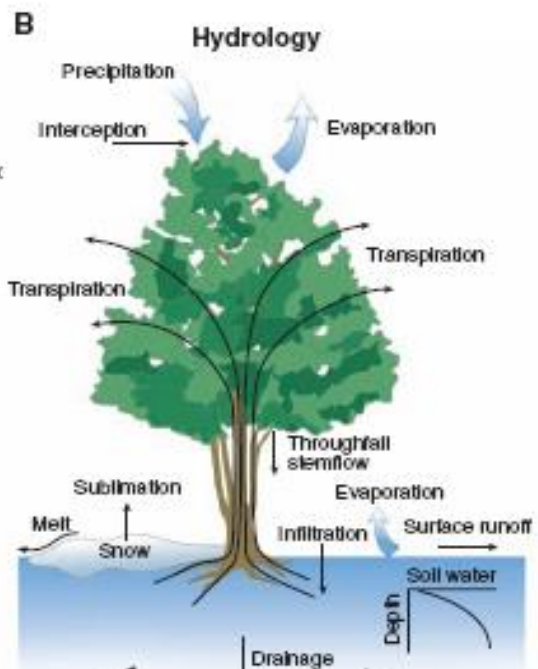
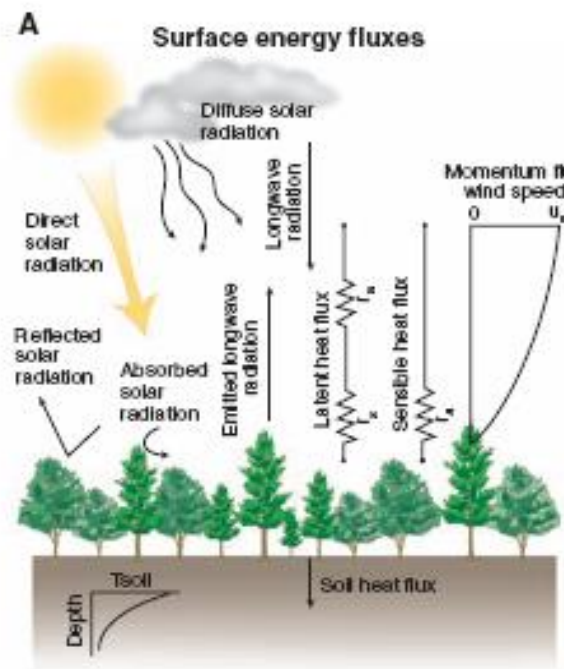
**COMO É CONSTRUÍDO?**

- Modelos climáticos vem sendo construídos desde a década de 1970...
- Cada componente adicionada ao *software* é resultado de anos de pesquisas de equipes nas universidades e nos centros de pesquisa no mundo todo.

# Sistema Climático







# Modelos do Sistema Climático

The diagram shows five equations representing different components of the climate system, arranged vertically. A dashed red box encloses the first three equations (atmosphere, ocean, and soil), and a dashed yellow box encloses the last three equations (vegetation, chemical species, and soil). The labels for each component are listed to the right of the equations.

$$\frac{\partial X_a}{\partial t} + L_a X_a = N_a(X_a, X_o, X_v, X_c, X_s) + F_a(X_a, X_o, X_v, X_c, X_s) \quad \text{atmosfera}$$

$$\frac{\partial X_o}{\partial t} + L_o X_o = N_o(X_a, X_o, X_v, X_c, X_s) + F_o(X_a, X_o, X_v, X_c, X_s) \quad \text{oceano}$$

$$\frac{\partial X_s}{\partial t} + L_s X_s = N_s(X_a, X_o, X_v, X_c, X_s) + F_s(X_a, X_o, X_v, X_c, X_s) \quad \text{solo}$$

$$\frac{\partial X_v}{\partial t} + L_v X_v = N_v(X_a, X_o, X_v, X_c, X_s) + F_v(X_a, X_o, X_v, X_c, X_s) \quad \text{vegetação}$$

$$\frac{\partial X_c}{\partial t} + L_c X_c = N_c(X_a, X_o, X_v, X_c, X_s) + F_c(X_a, X_o, X_v, X_c, X_s) \quad \text{espécies químicas}$$

$$X_a = (u, v, w, T, q_v, q_l, q_r, q_i, \dots)$$

$$X_o = (u, v, w, T, s_v, \dots)$$

$$X_s = (T^i_s, W^i_s, N^i_n, \dots)$$

$$X_v = (lai^i, sig^i_v, root^i_d, stom^i_c, VOC^i, C^i, N_i, \dots)$$

$$X_c = (CO_2, CH_4, O_3, NO_x, VOC's, SO_2, \dots)$$



**COMO SÃO FEITAS AS  
PREVISÕES?**

Existem dezenas de grupos de pesquisa com software próprio que geram projeções futuras um pouco diferentes entre si Mas só entram no IPCC se reproduzem razoavelmente o clima atual

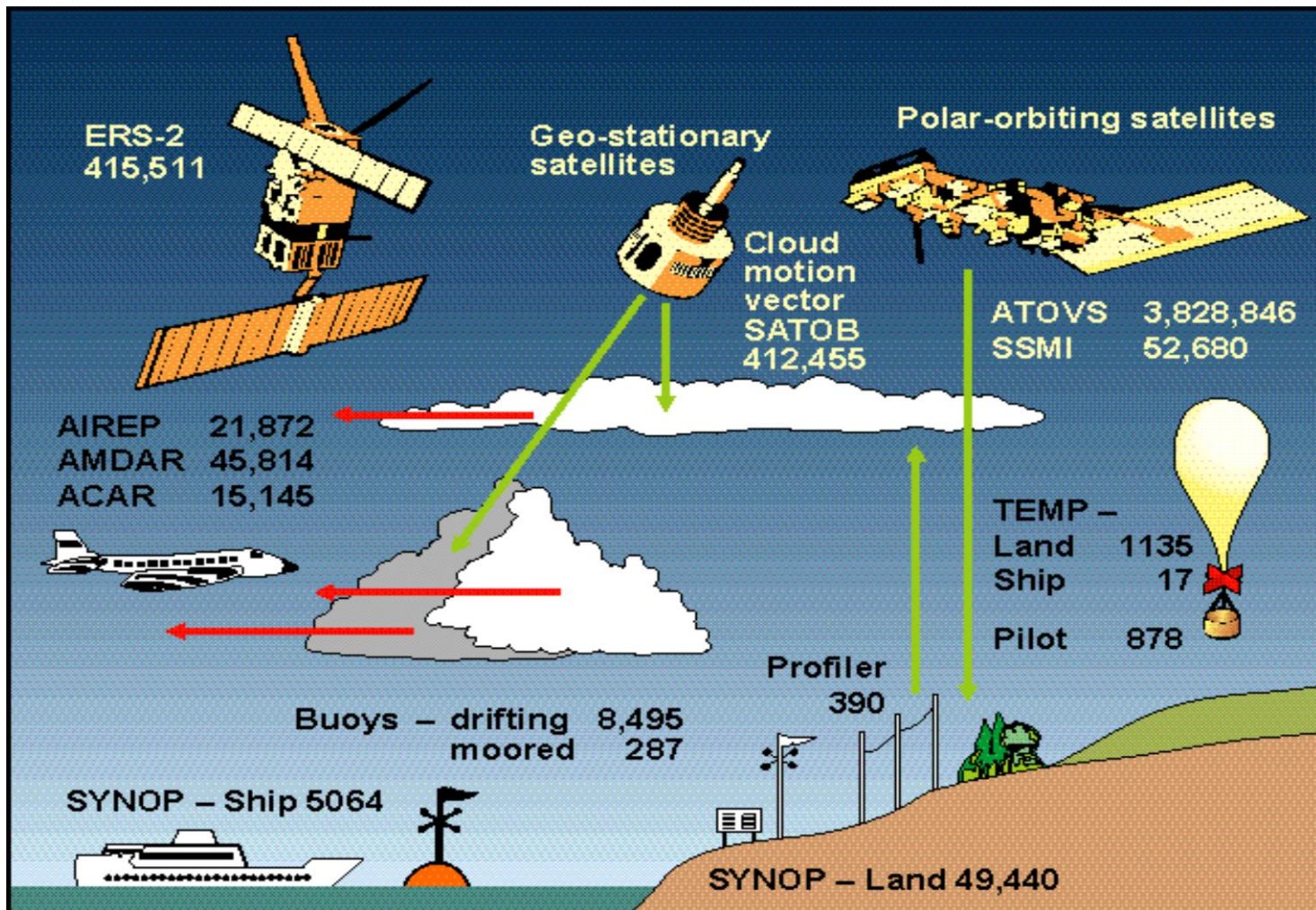


**QUE DADOS UTILIZAM?**

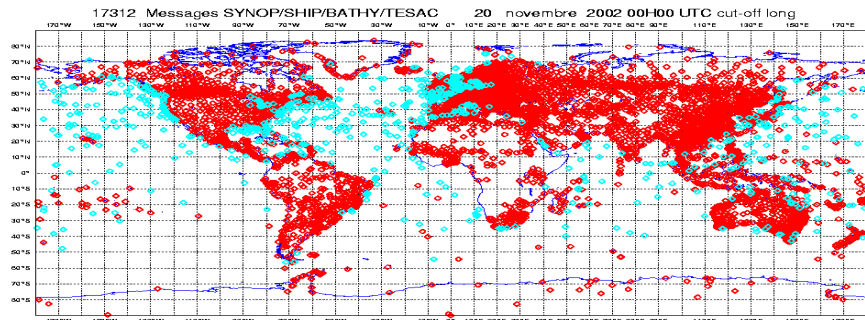
# Imagens de satélite definindo o uso da terra



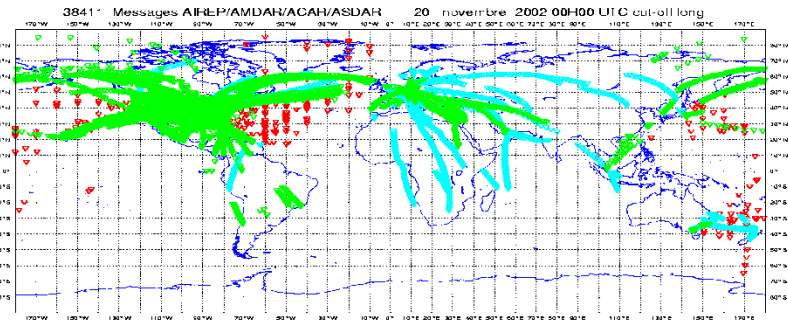
# Os números indicam observações recebidas - por dia - em um centro de previsão de tempo



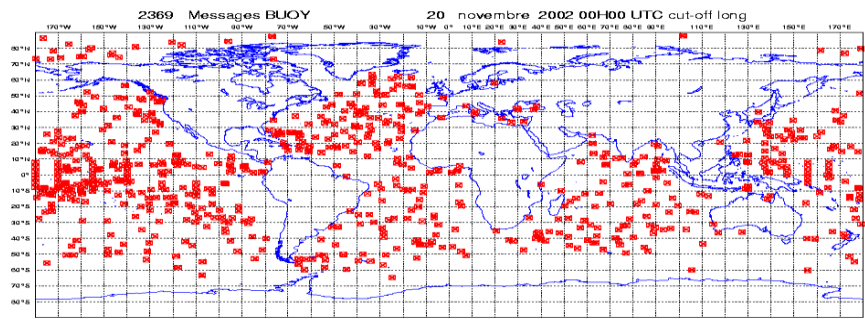
## SYNOP e SHIP surface P,T,UR,wind



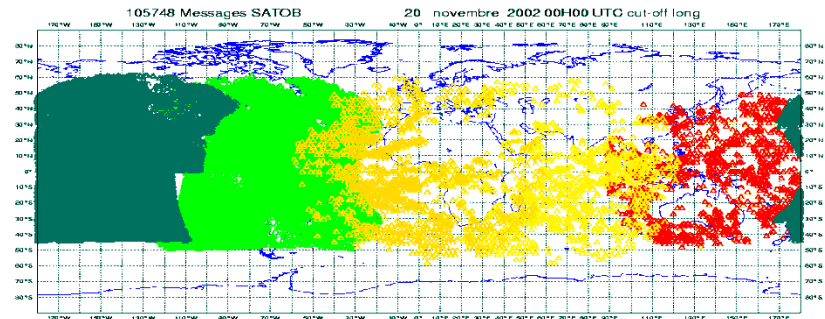
## aviões T,vento



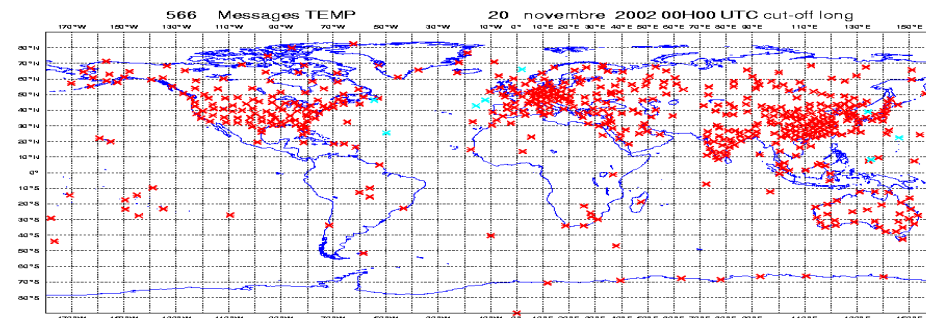
## bóias, superfície P,T,UR,wind



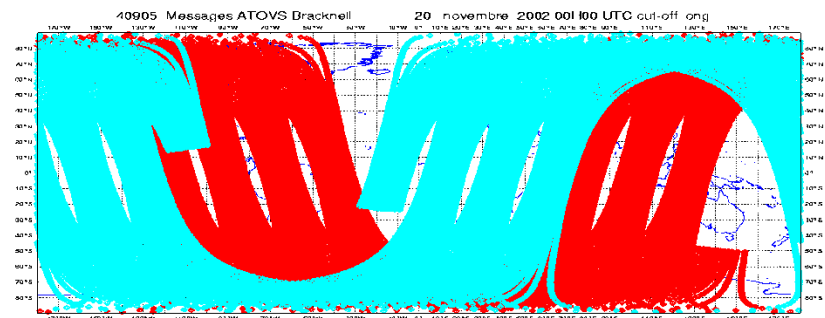
## Ventos de satélite geostacionário



## radiosondas P,T,UR,wind



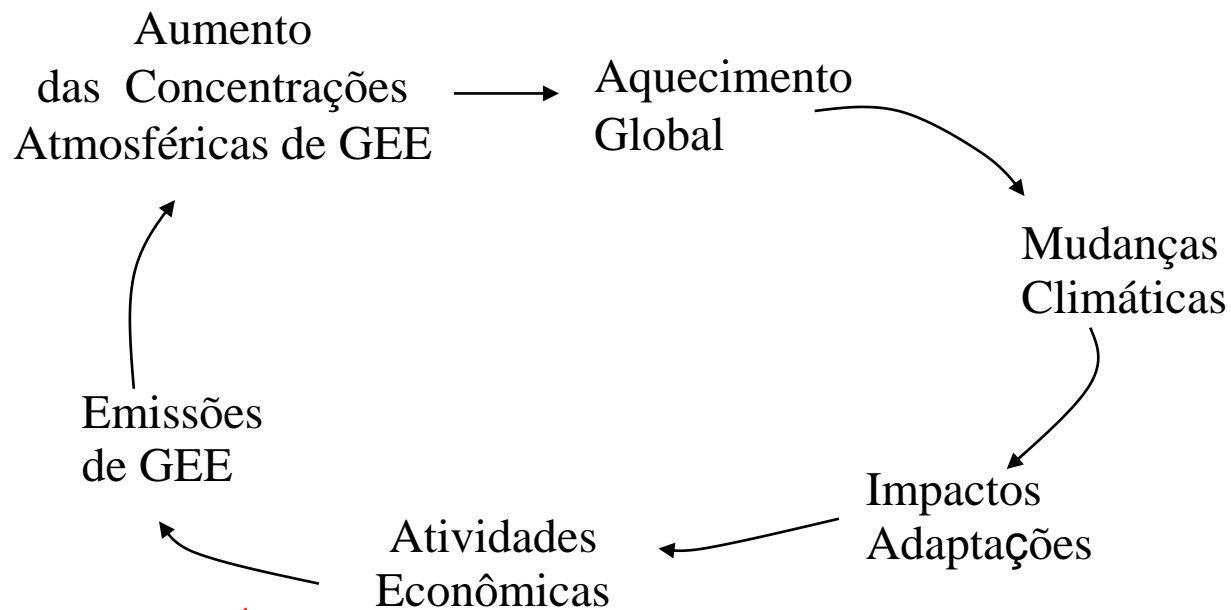
## Radiâncias ATOVS NOAA



# Ponto crítico

- Emissões de GEE no futuro

# Clima e Economia



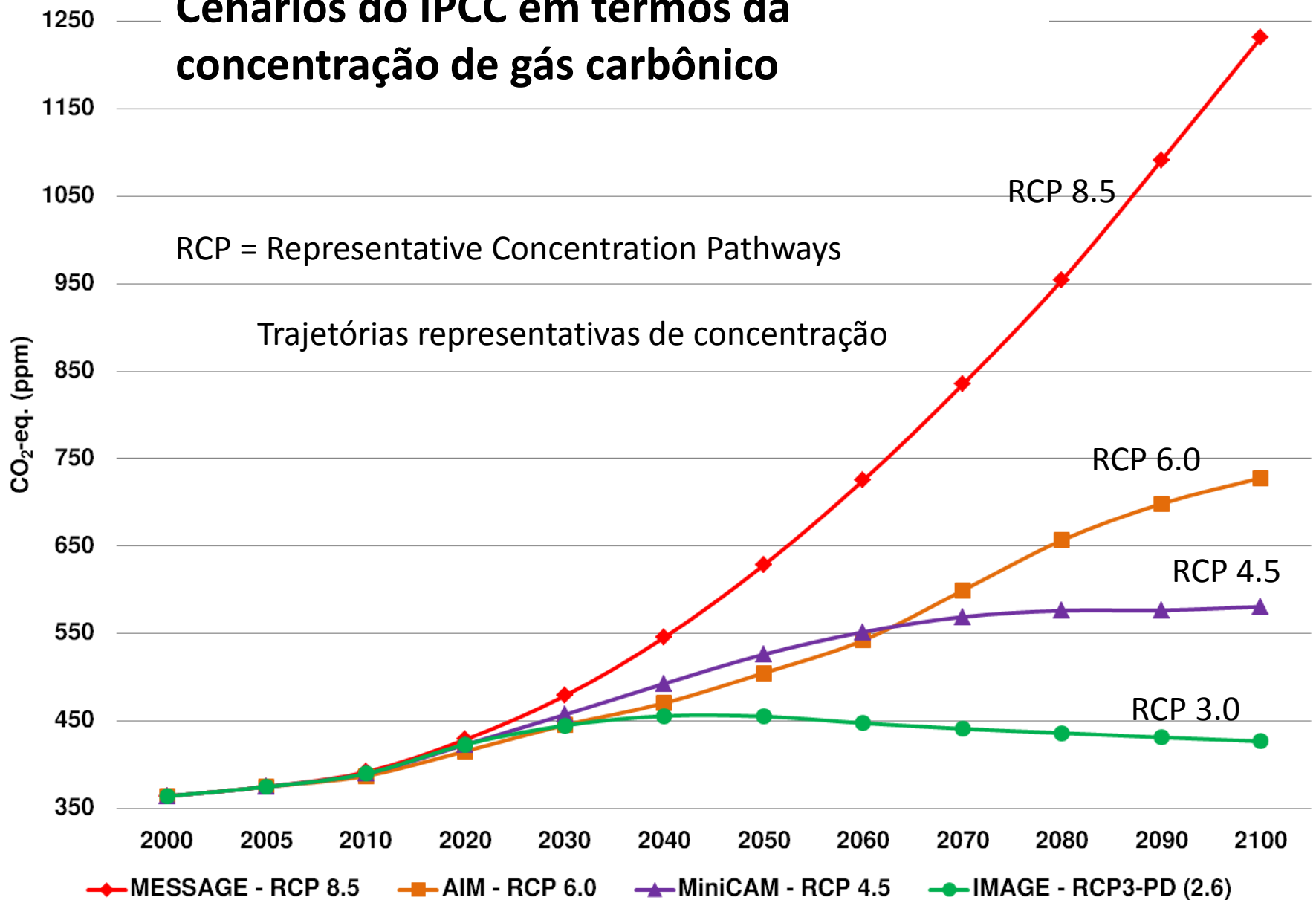
Modelos de desenvolvimento econômico e social  
- Matriz energética -



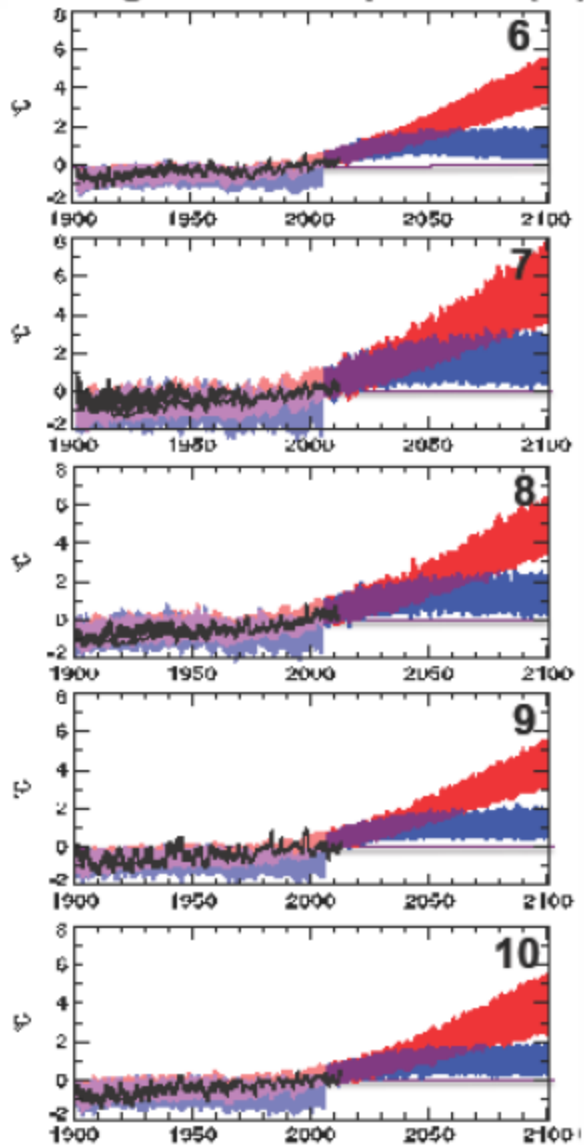
# Cenários do IPCC usam modelos de desenvolvimento econômico e social

- Evolução demográfica regional e global.
- Evolução da globalização da economia e da intensificação das interações sociais e culturais ao longo do século 21.
- Evolução das mudanças tecnológicas globais e regionais especialmente com relação aos efeitos na economia.
- Evolução da conscientização ambiental local e regional e da sua capacidade de influenciar desenvolvimentos futuros e controles ambientais.

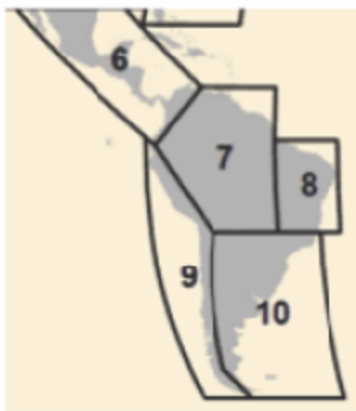
# Cenários do IPCC em termos da concentração de gás carbônico



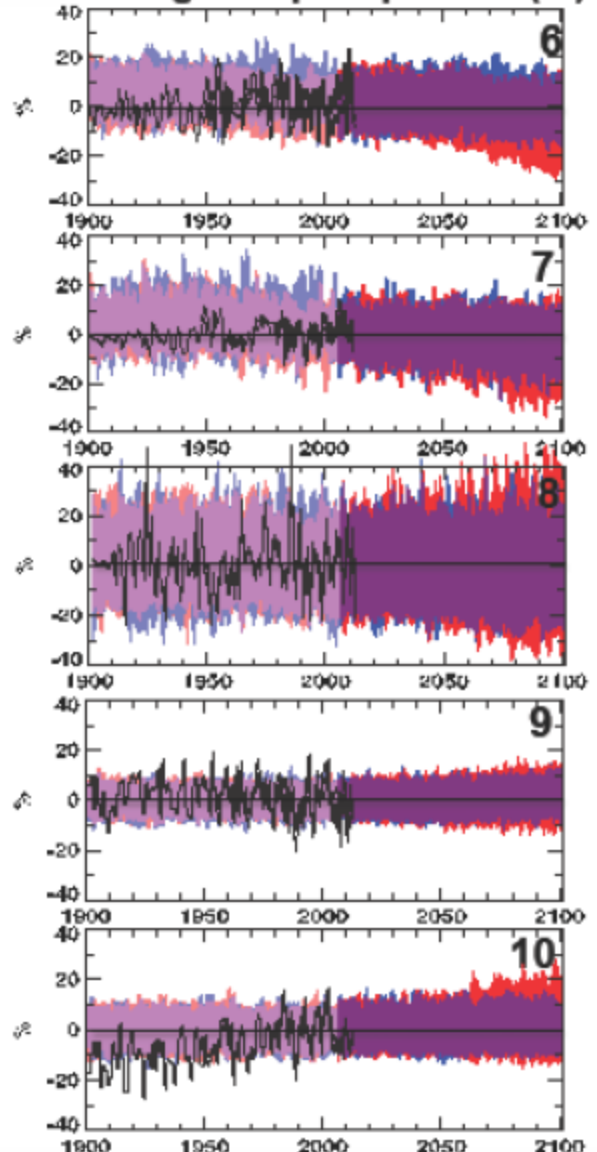
### Changes in air temperature (°C)



- Observed
- Historical
- Natural
- RCP2.6
- RCP6.5
- Overlap
- Overlap



### Changes in precipitation (%)

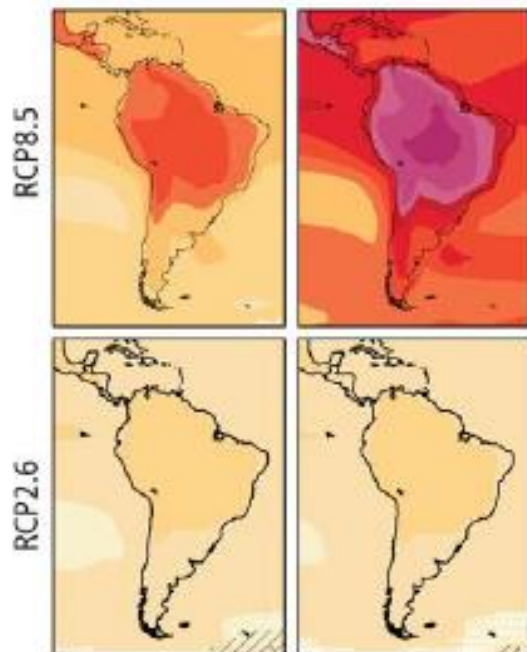


## Annual Temperature

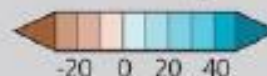


Difference from  
1986-2005 mean (°C)

mid-21st century    late-21st century

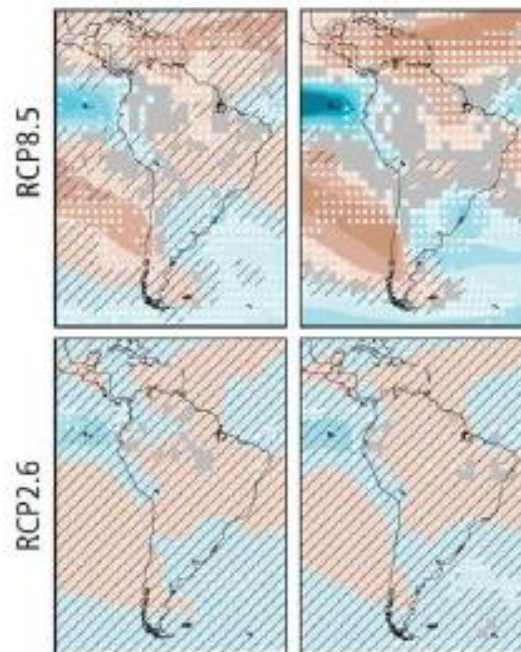


## Annual Precipitation



Difference from  
1986-2005 mean (%)

mid-21st century    late-21st century



Solid Color

Very strong  
agreement

White Dots

Strong  
agreement

Gray

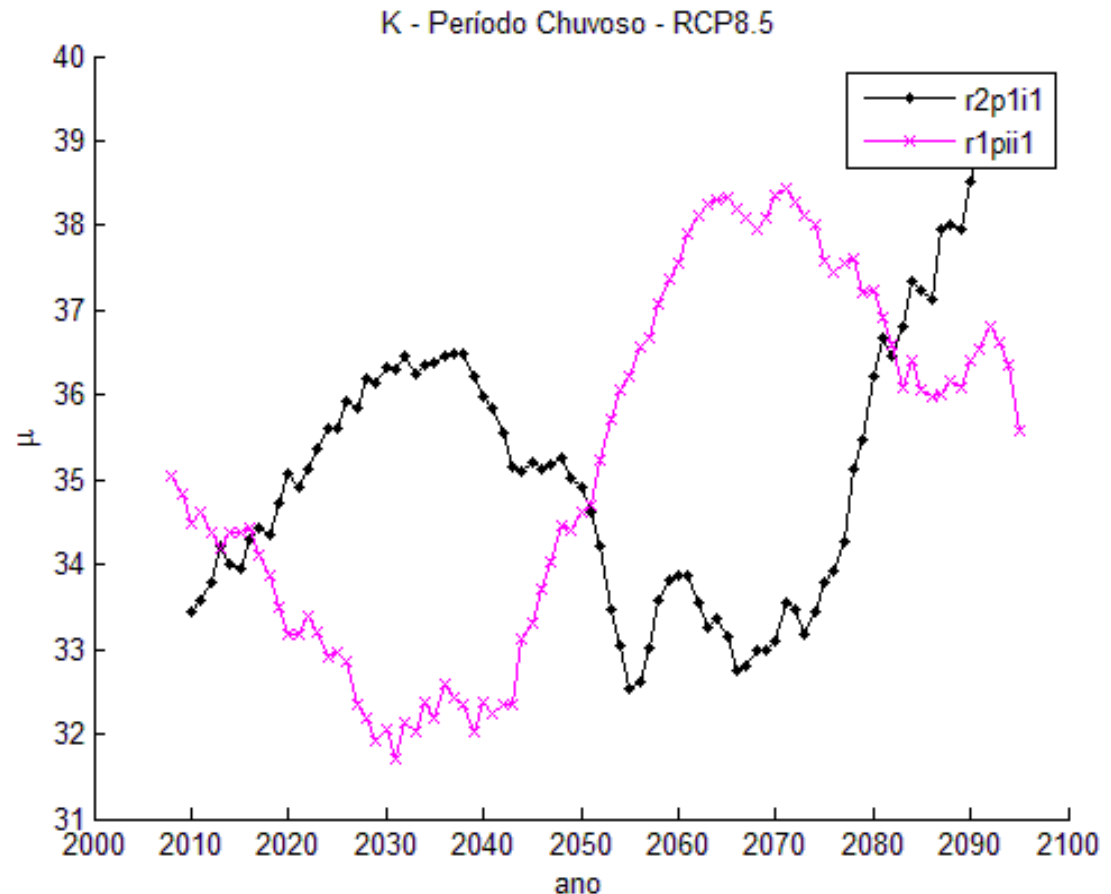
Divergent  
changes

Diagonal Lines

Little or  
no change

# Indicador de chuvas extremas no futuro

**Silva Dias, M A F; Sena, A.C.T.; Dias, J; Carvalho, L. M. V.; Freitas, E. D.; Silva Dias, P. L.** EVOLUÇÃO HISTÓRICA E FUTURA DOS EXTREMOS DE CHUVA DIÁRIA EM SÃO PAULO In: Ciência das mudanças climáticas e sua interdisciplinaridade. ed.São Paulo : ANNABLUME, 2015, v.1, p. 125-148.

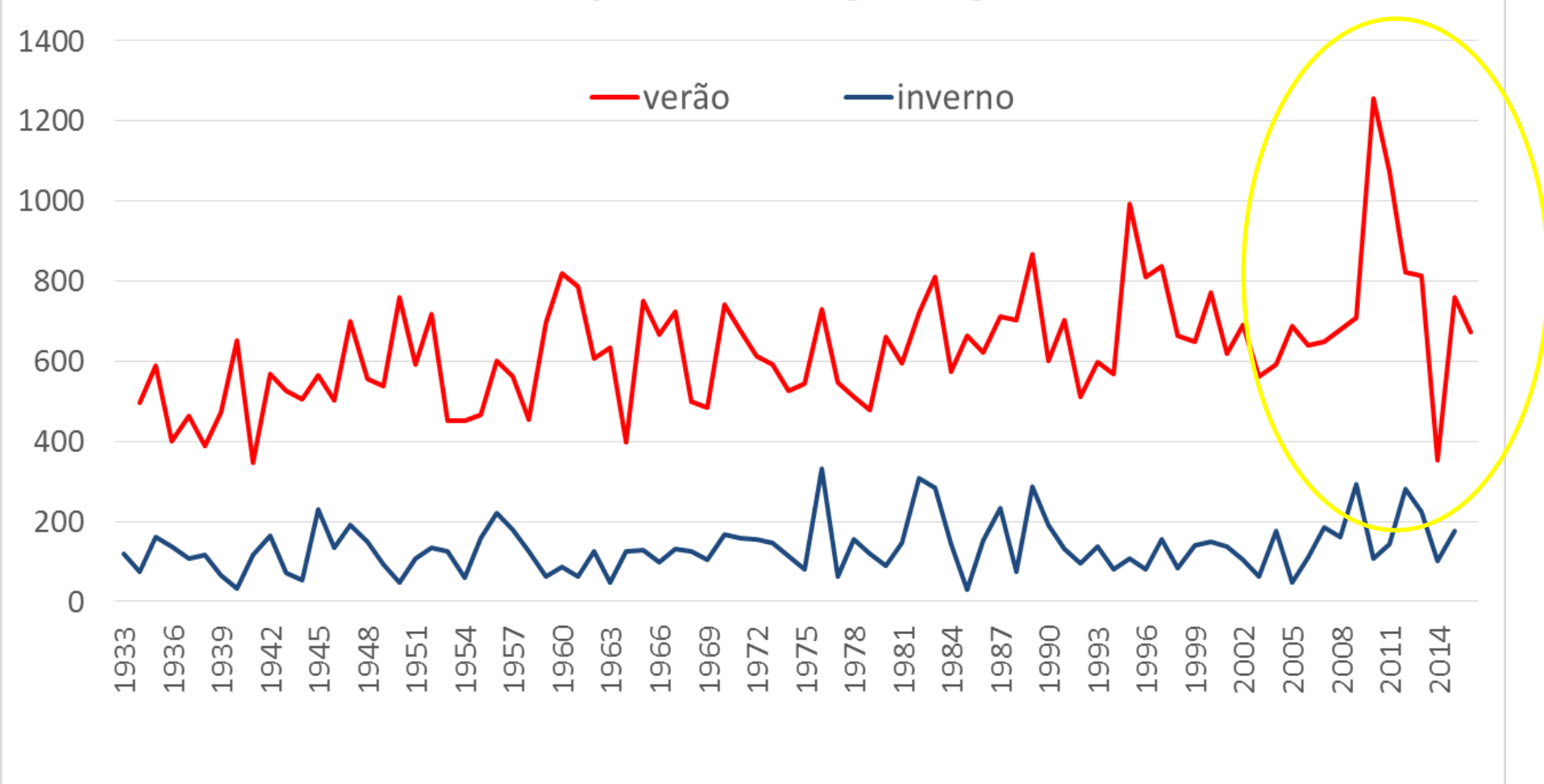


# Projeções futuras indicam

- Aumento de longo prazo do total de chuva anual
- Aumento da variabilidade interanual
  - Anos muito chuvosos
  - Anos muito secos

# Chuvas nos últimos anos são um indicador do que esperar no futuro...

Chuvas - Estação Meteorológica - Água Funda



A photograph of a city street completely flooded with water. The water is dark and reflects the surrounding buildings and the overcast sky. On the left, a tall, multi-story brick building with many windows lines the street. On the right, another tall building with a modern facade and a glass canopy over the entrance is visible. In the distance, a person in a red jacket is wading through the water, and a dark car is partially submerged. The overall atmosphere is somber and highlights the impact of flooding in urban areas.

# Aumento da vulnerabilidade e da exposição a riscos



An aerial photograph of a city featuring several multi-story buildings with green roofs. The roofs are covered in lush greenery, including trees and shrubs, interspersed with solar panels. The surrounding urban environment includes other buildings with balconies and windows, some with red-tiled roofs. The overall scene is bright and sunny, highlighting the integration of nature into urban architecture.

O GRANDE DESAFIO

---

**ADAPTAÇÃO EFETIVA À  
MUDANÇA CLIMÁTICA**

---

UM MUNDO MAIS VIBRANTE

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE