



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
DEPT° DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL



## XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste

DATA: 27 a 30 de novembro de 2012 - LOCAL: João Pessoa – PB

# MUDANÇAS CLIMÁTICAS: impactos e adaptação no Nordeste do Brasil

Francisco de Assis de Souza Filho



XI Simpósio de Recursos Hídricos  
do Nordeste

DATA: 27 a 30 de novembro de 2012 - LOCAL: João Pessoa



# TÓPICOS

- Introdução
- Evolução do Clima na Terra:
- Mudança Climática na Escala Global
- Mudança Climática na Escala Regional: NEB
- Gestão Adaptativa dos Recursos Hídricos



*A mulher tocando bandolim – Picasso*



XI Simpósio de Recursos Hídricos  
do Nordeste

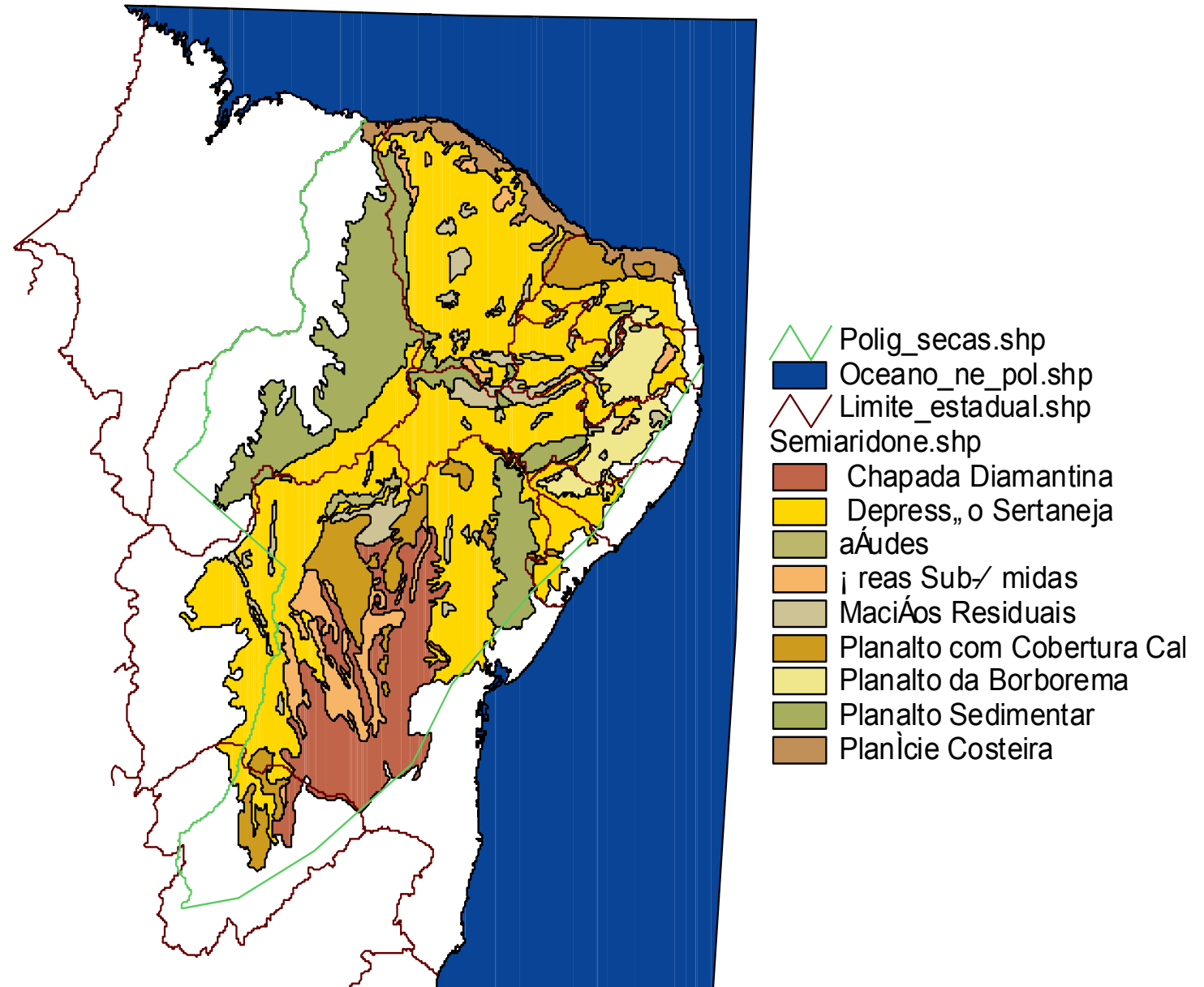
DATA: 27 a 30 de novembro de 2012 - LOCAL: João Pessoa



# TÓPICOS

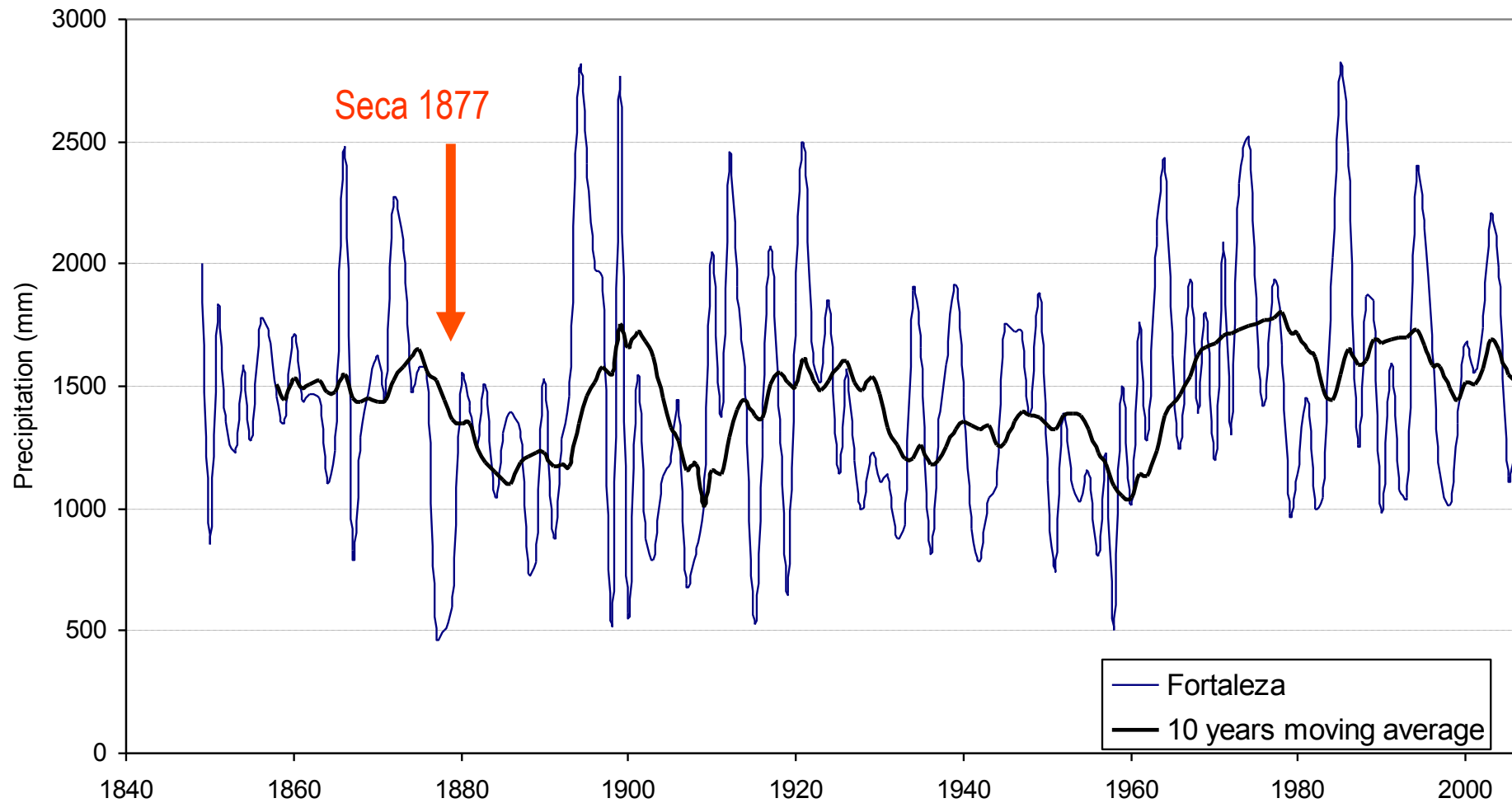
- **Introdução**
- Evolução do Clima na Terra:
- Mudança Climática na Escala Global
- Mudança Climática na Escala Regional: NEB
- Gestão Adaptativa dos Recursos Hídricos

# Geoambientes No Nordeste Semi-Árido



# VARIABILIDADE CLIMÁTICA EM MÚLTIPLAS ESCALAS TEMPORAIS

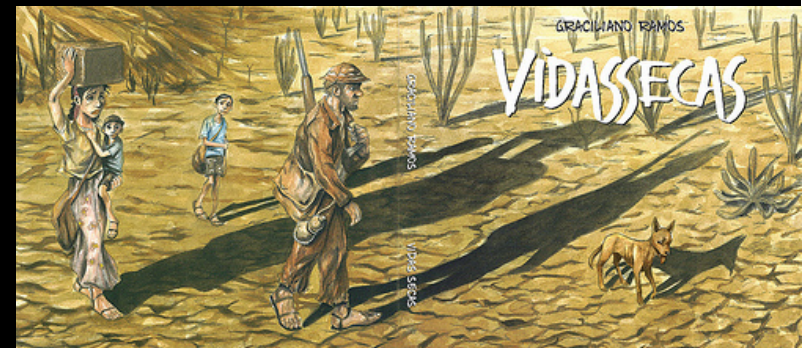
Precipitação em Fortaleza 1849-2006





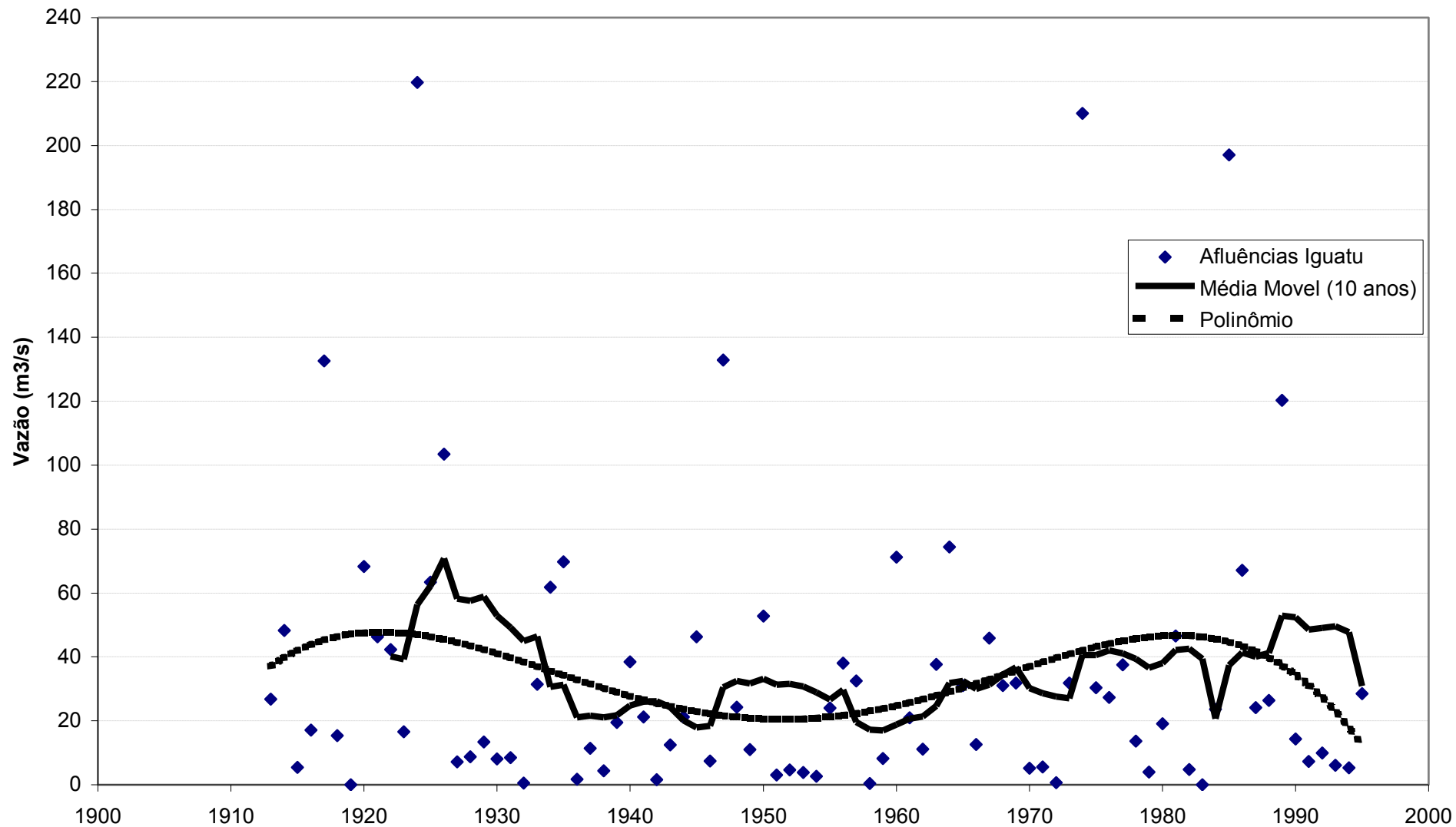
# RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL: BREVE HISTÓRICO

- Secas no Nordeste do Brasil
  - Fase Voluntarista: Ocupação e Secas (1777 e 1888)
  - Fase Hidráulica: DNOCS (1909-1960)
  - Fase dos Aproveitamentos Hidroagrícolas: SUDENE e DNOCS
  - Fase da Gestão dos Recursos Hídricos



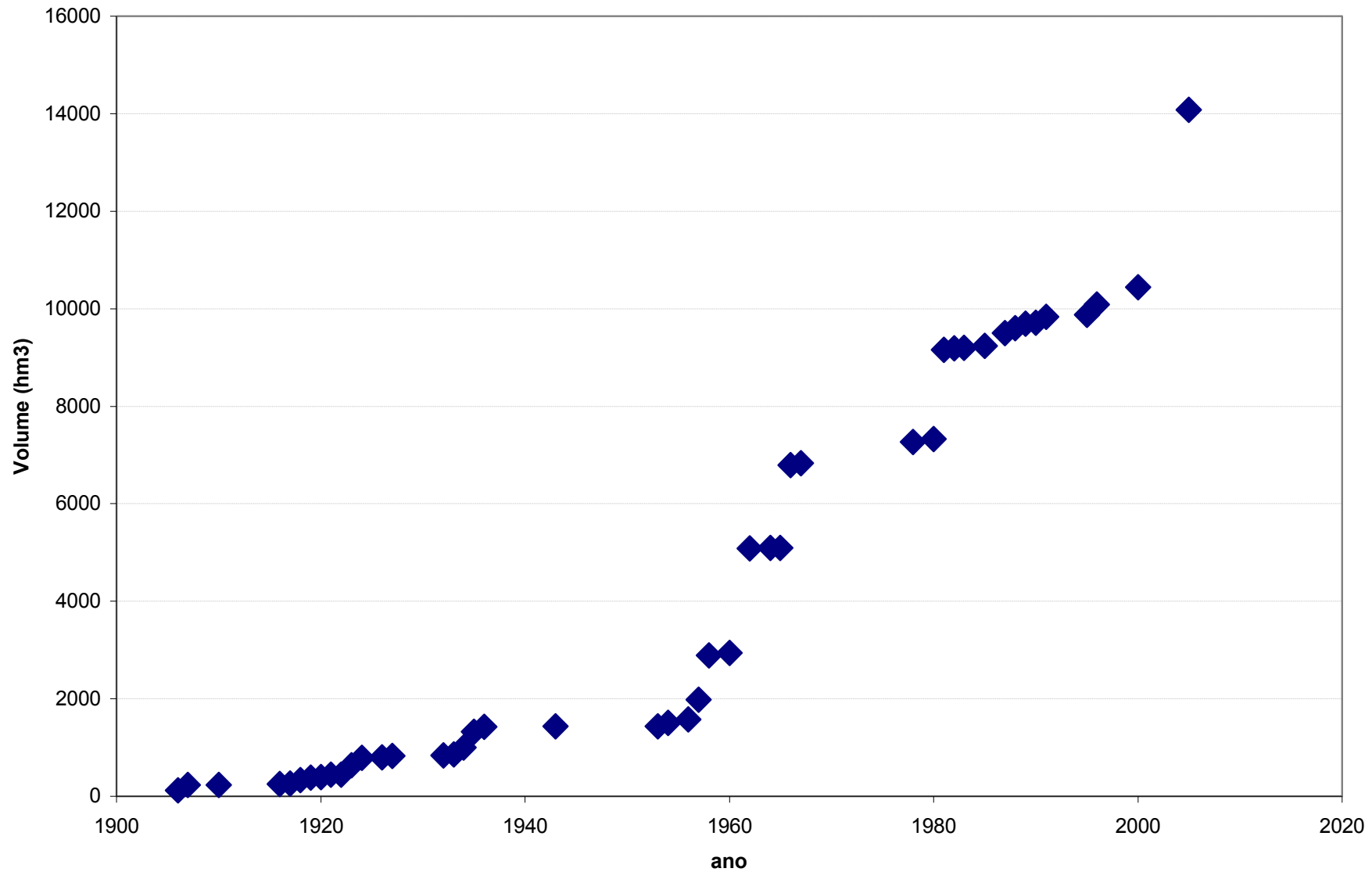
# Risco Climático

## Alta Variabilidade Temporal das Precipitações e Vazões

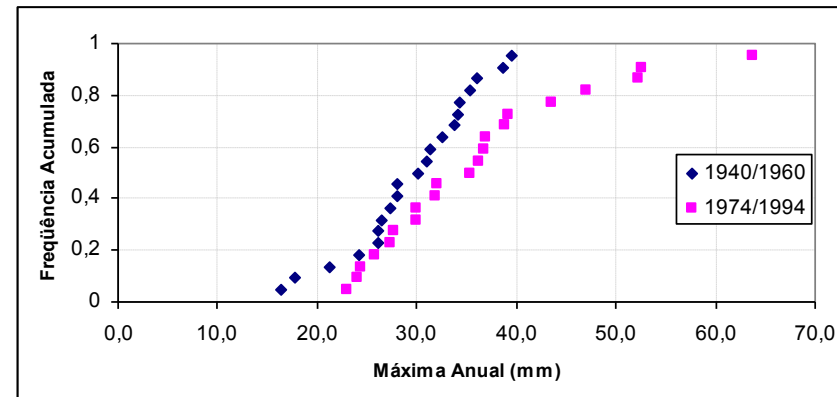
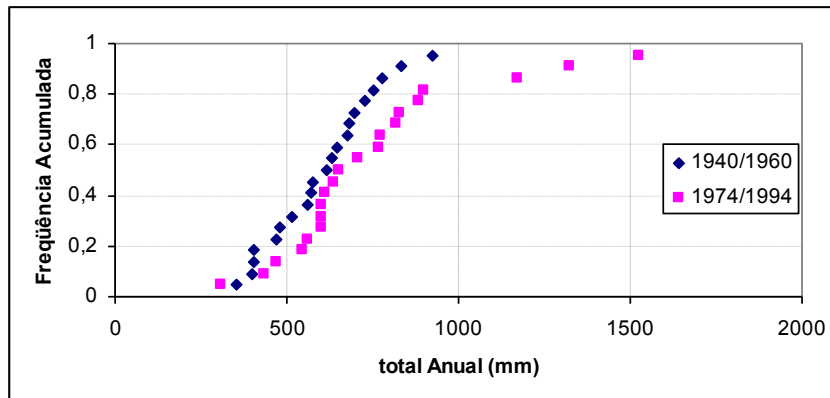
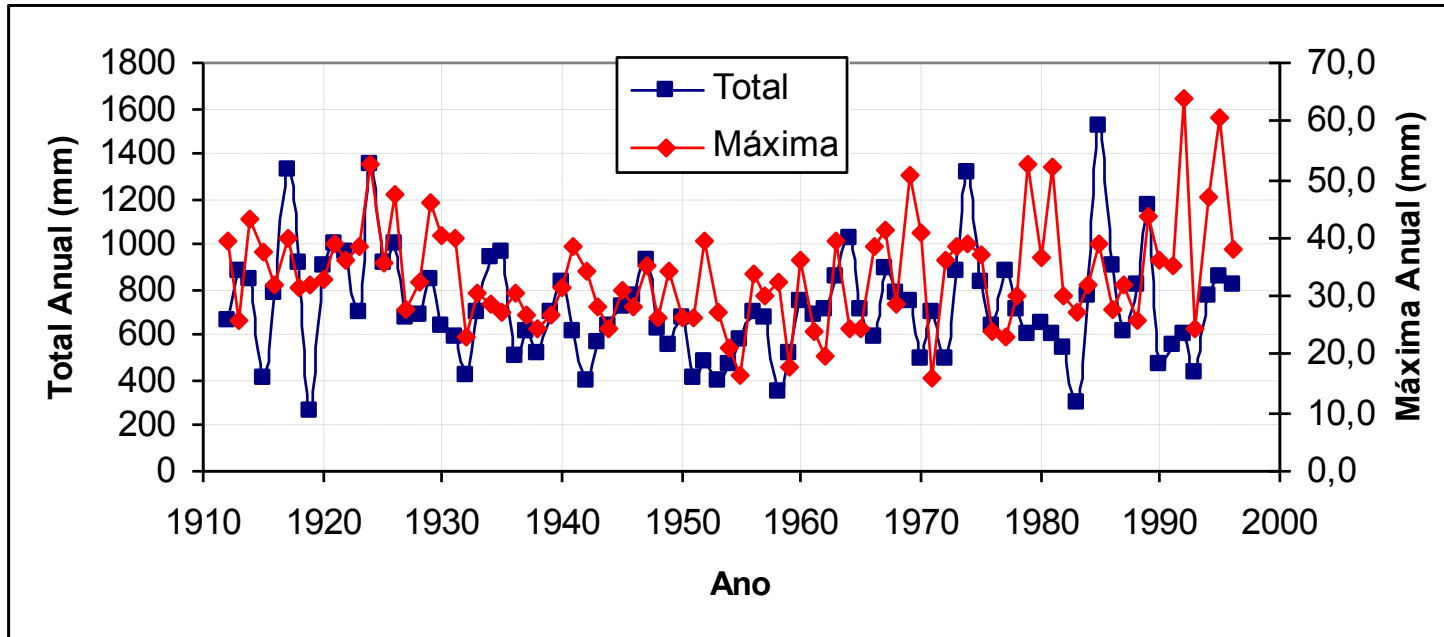




# Evolução dos Estoques de Água no Ceará



# Precipitação Média Diária na Bacia do Orós





XI Simpósio de Recursos Hídricos  
do Nordeste

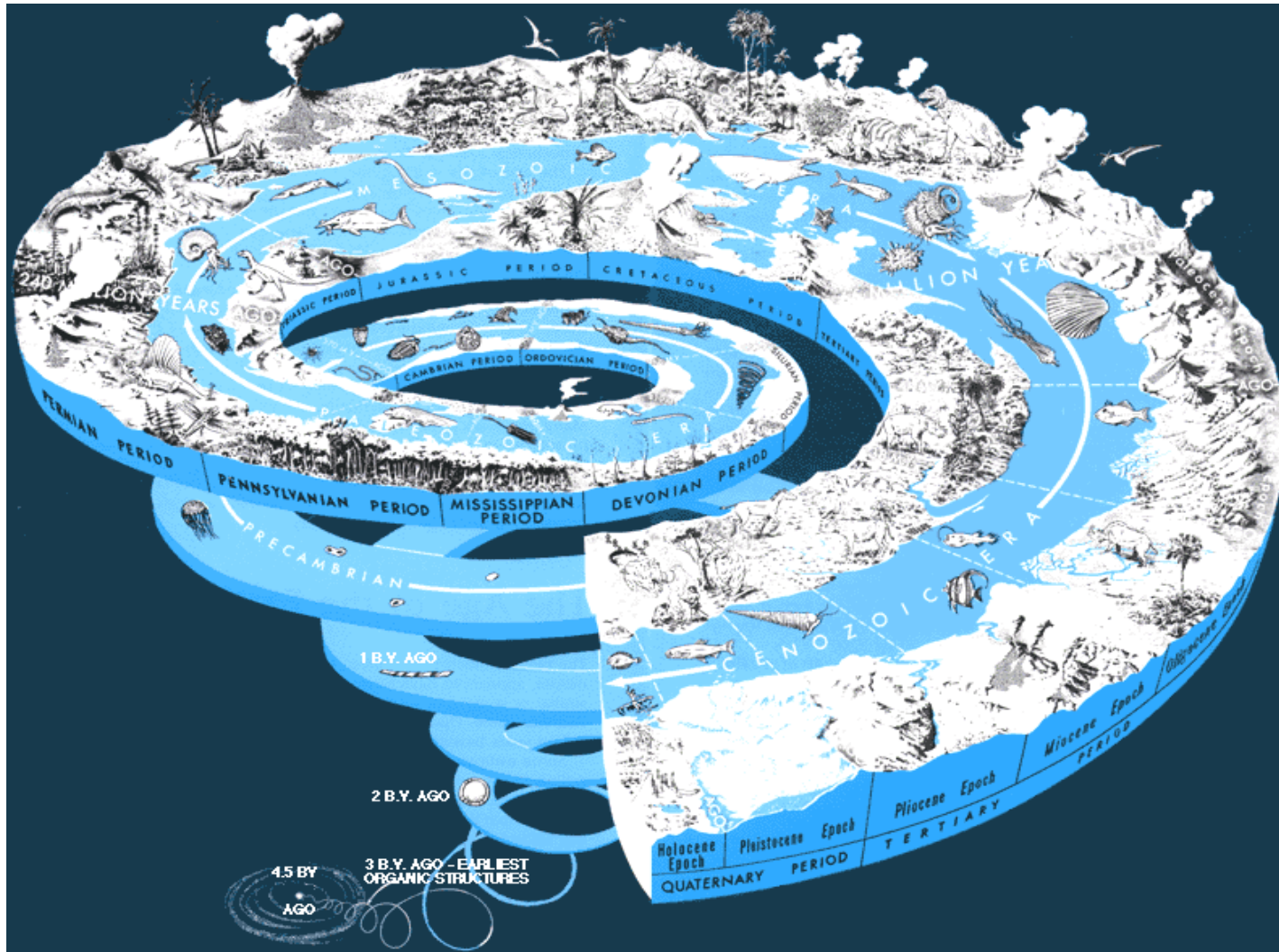
DATA: 27 a 30 de novembro de 2012 - LOCAL: João Pessoa



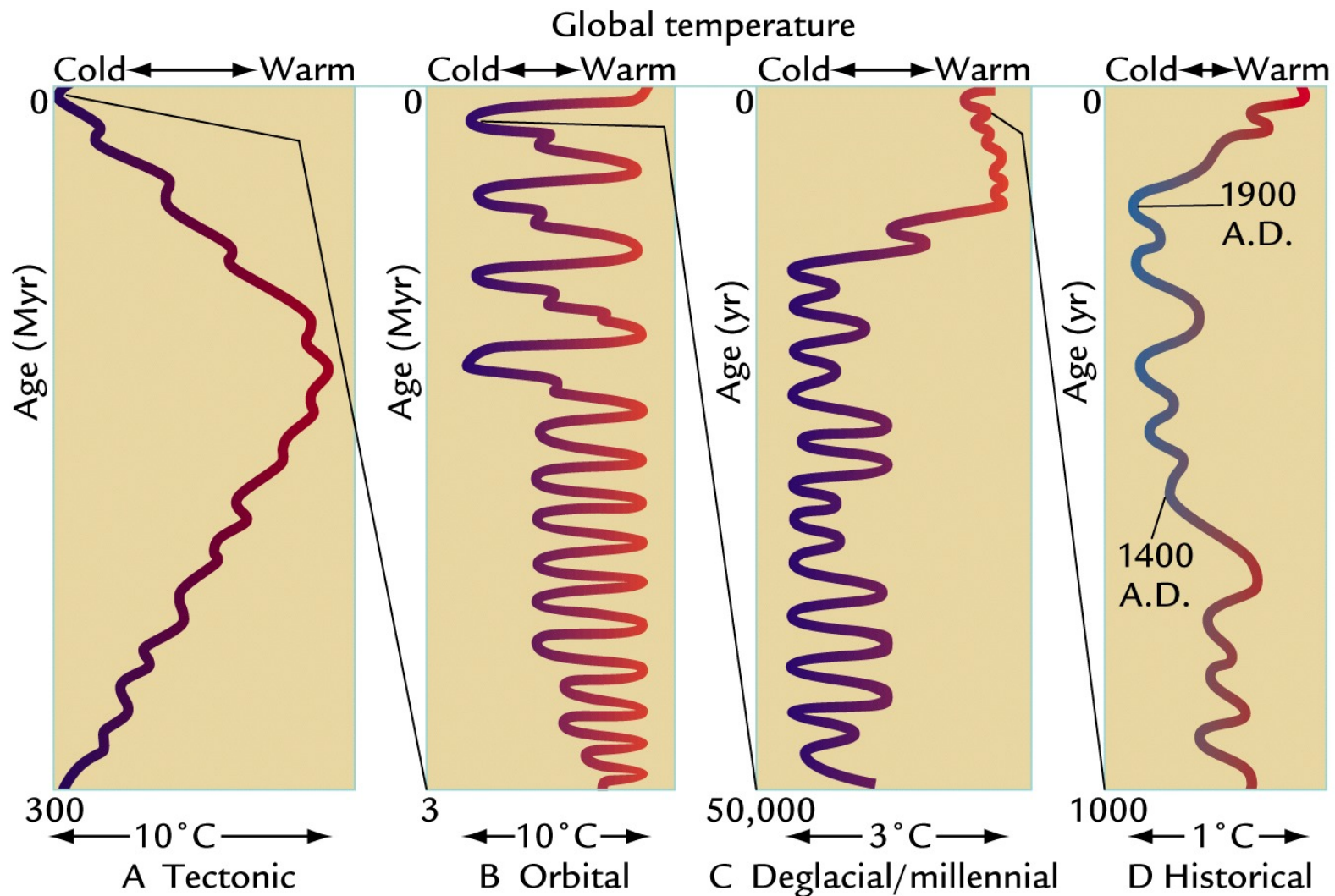
# TÓPICOS

- Introdução
  - Histórico da Variabilidade Climática e seus Impactos
- **Evolução do Clima na Terra:**
- Mudança Climática na Escala Global
- Mudança Climática na Escala Regional: NEB
- Gestão Adaptativa dos Recursos Hídricos

# O Clima do Planeta Modificou-se



# Evolução do Clima na Terra em Diferentes Escalas Temporais



O Clima da terra não é estacionário, ele modifica-se em diferentes escalas temporais

# Sistema Climático da Terra

Clima um sistema complexo como resultado de diversas interações

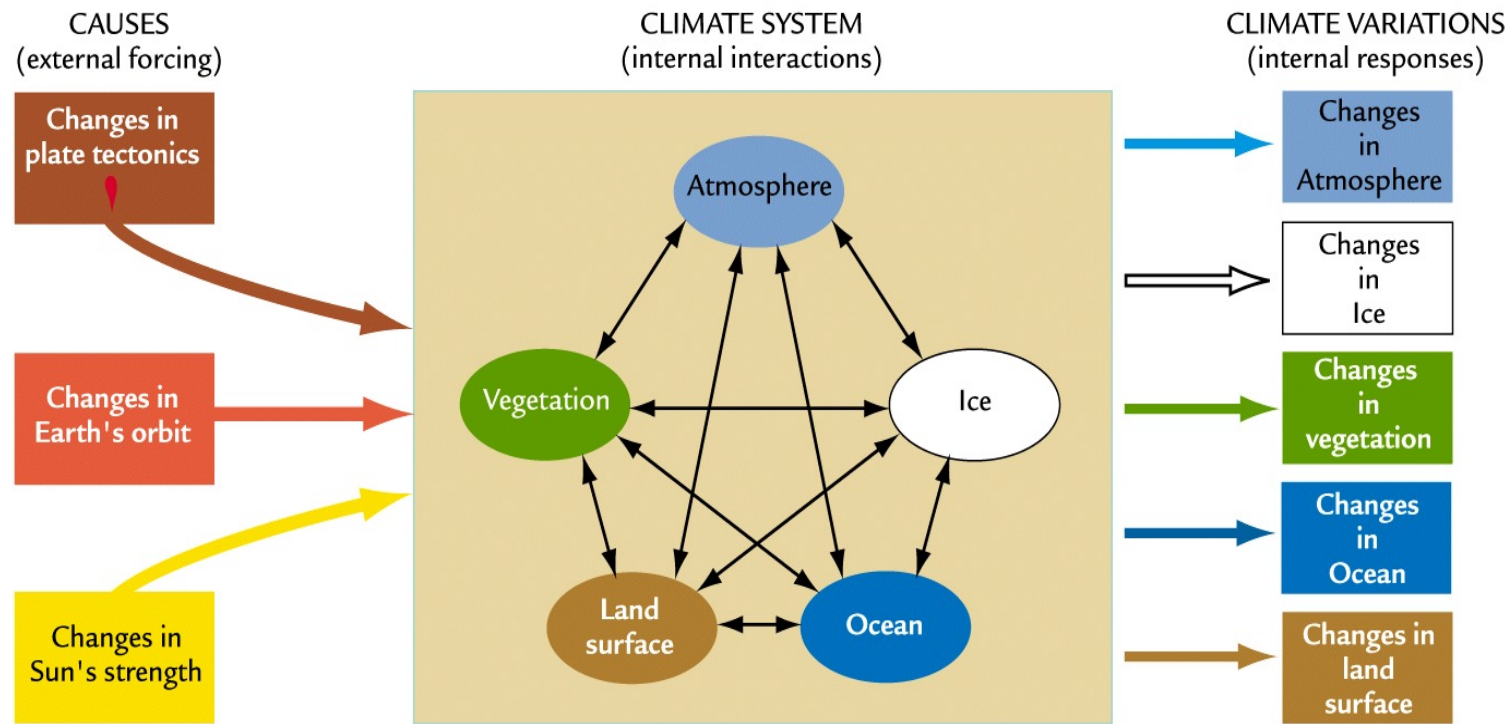
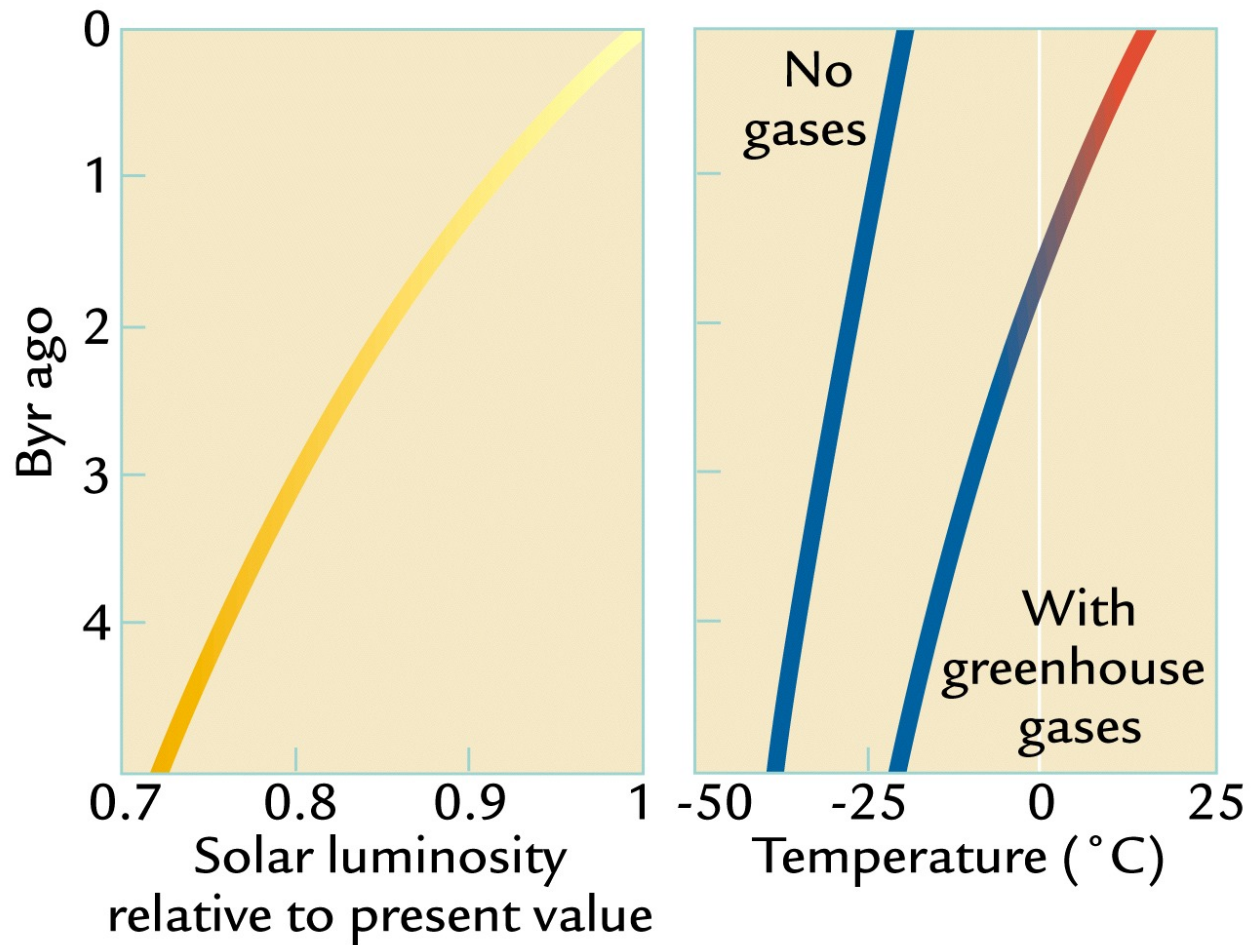
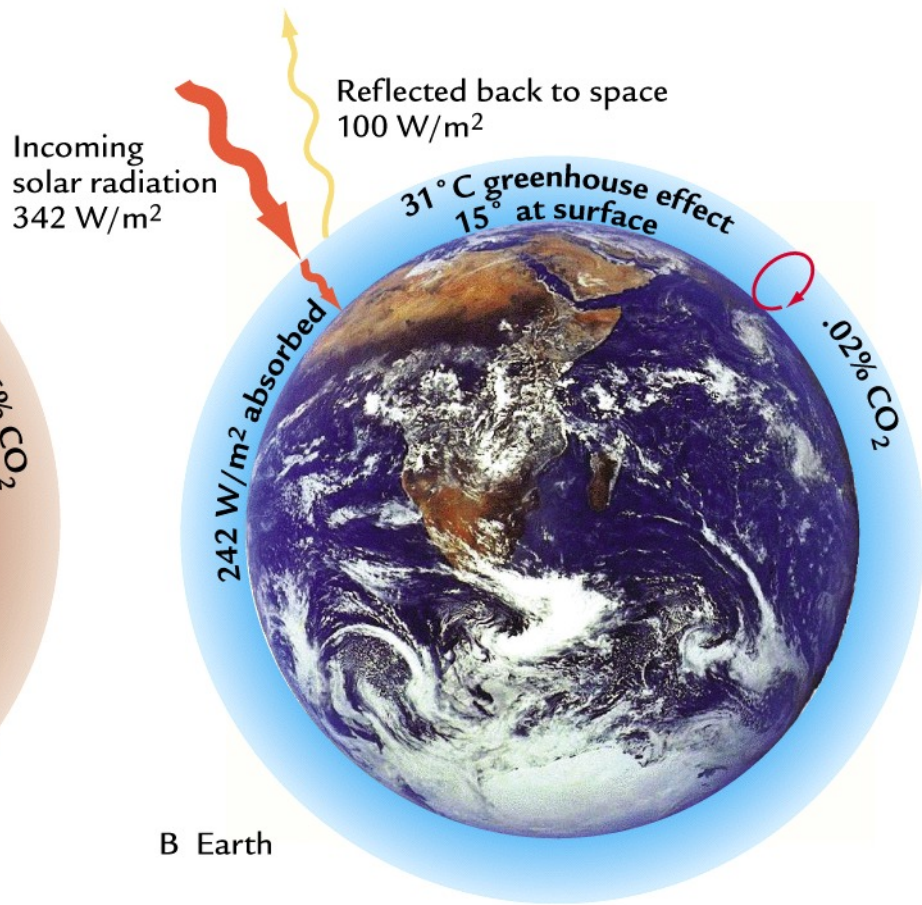
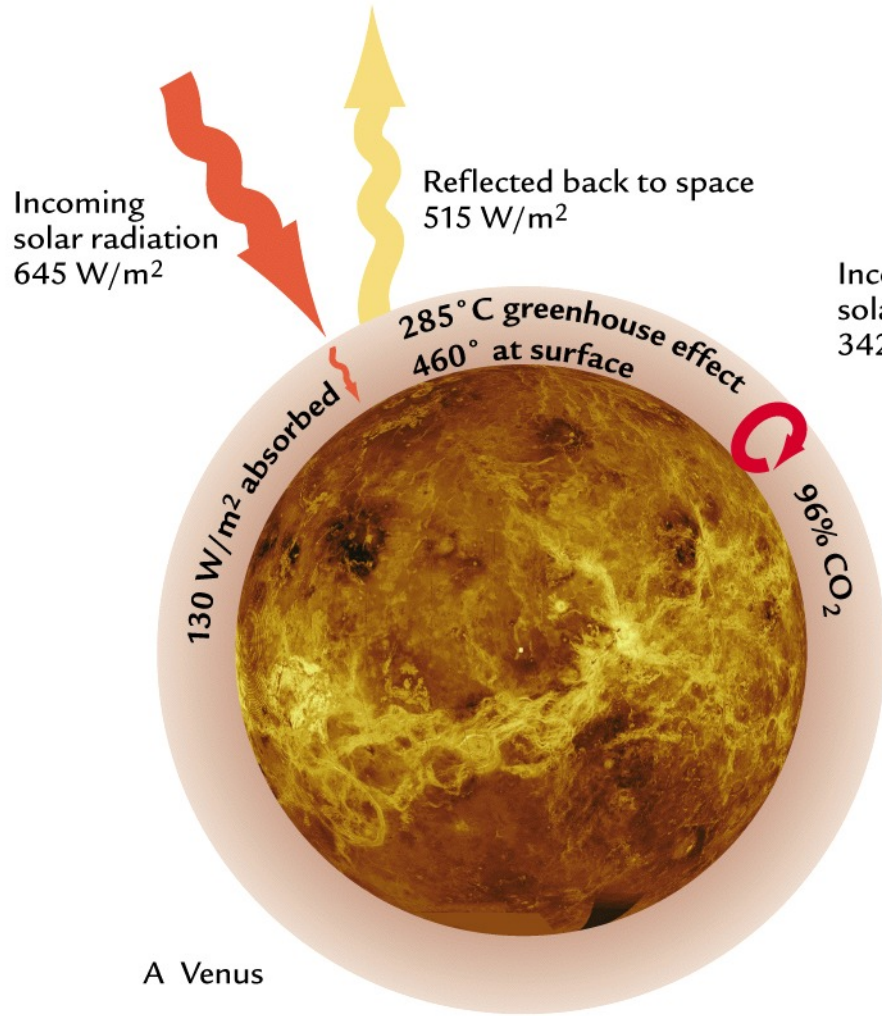


Figura – Sistema Climático. Fonte: Global Physical Climatology, 1994

# Paradoxo Solar







# COMPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA: efeito estufa

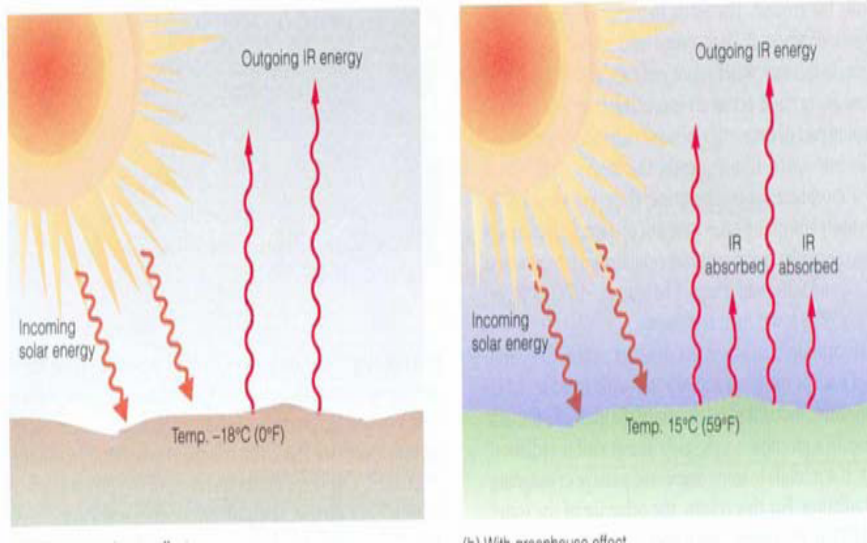


TABLE 1.1 Composition of the Atmosphere Near the Earth's Surface

| PERMANENT GASES |                |                             | VARIABLE GASES               |                  |  |
|-----------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|--|
| Gas             | Symbol         | Percent (by Volume) Dry Air | Gas (and Particles)          | Symbol           | Percent (by Volume) Parts per Million (ppm)* |
| Nitrogen        | N <sub>2</sub> | 78.08                       | Water vapor                  | H <sub>2</sub> O | 0 to 4                                       |
| Oxygen          | O <sub>2</sub> | 20.95                       | Carbon dioxide               | CO <sub>2</sub>  | 0.036  |
| Argon           | Ar             | 0.93                        | Methane                      | CH <sub>4</sub>  | 0.00017                                      |
| Neon            | Ne             | 0.0018                      | Nitrous oxide                | N <sub>2</sub> O | 0.00003                                      |
| Helium          | He             | 0.0005                      | Ozone                        | O <sub>3</sub>   | 0.000004                                     |
| Hydrogen        | H <sub>2</sub> | 0.00006                     | Particles (dust, soot, etc.) |                  | 0.000001                                     |
| Xenon           | Xe             | 0.000009                    | Chlorofluorocarbons (CFCs)   |                  | 0.00000002                                   |

\*For CO<sub>2</sub>, 365 parts per million means that out of every million air molecules, 365 are CO<sub>2</sub> molecules.

\*\*Statistical values are about 5 to 12 nm.

Gases "traço"

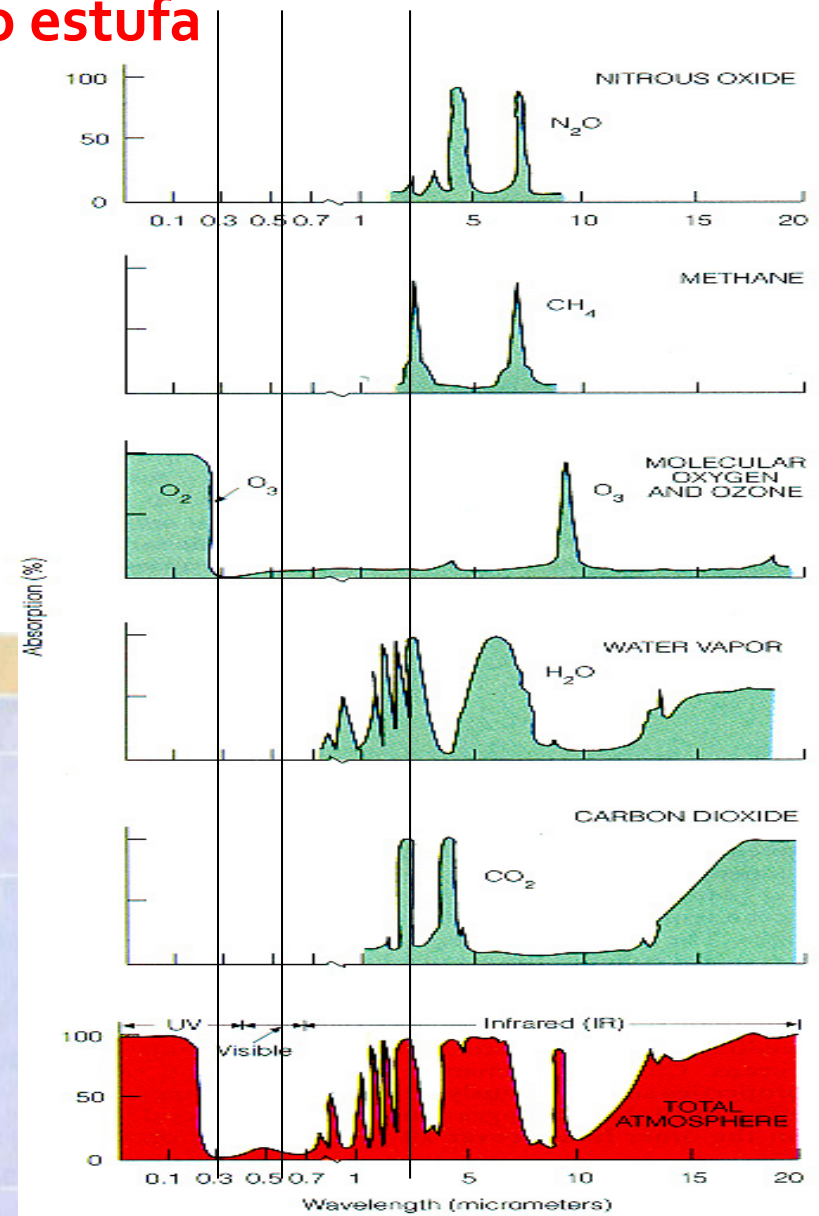
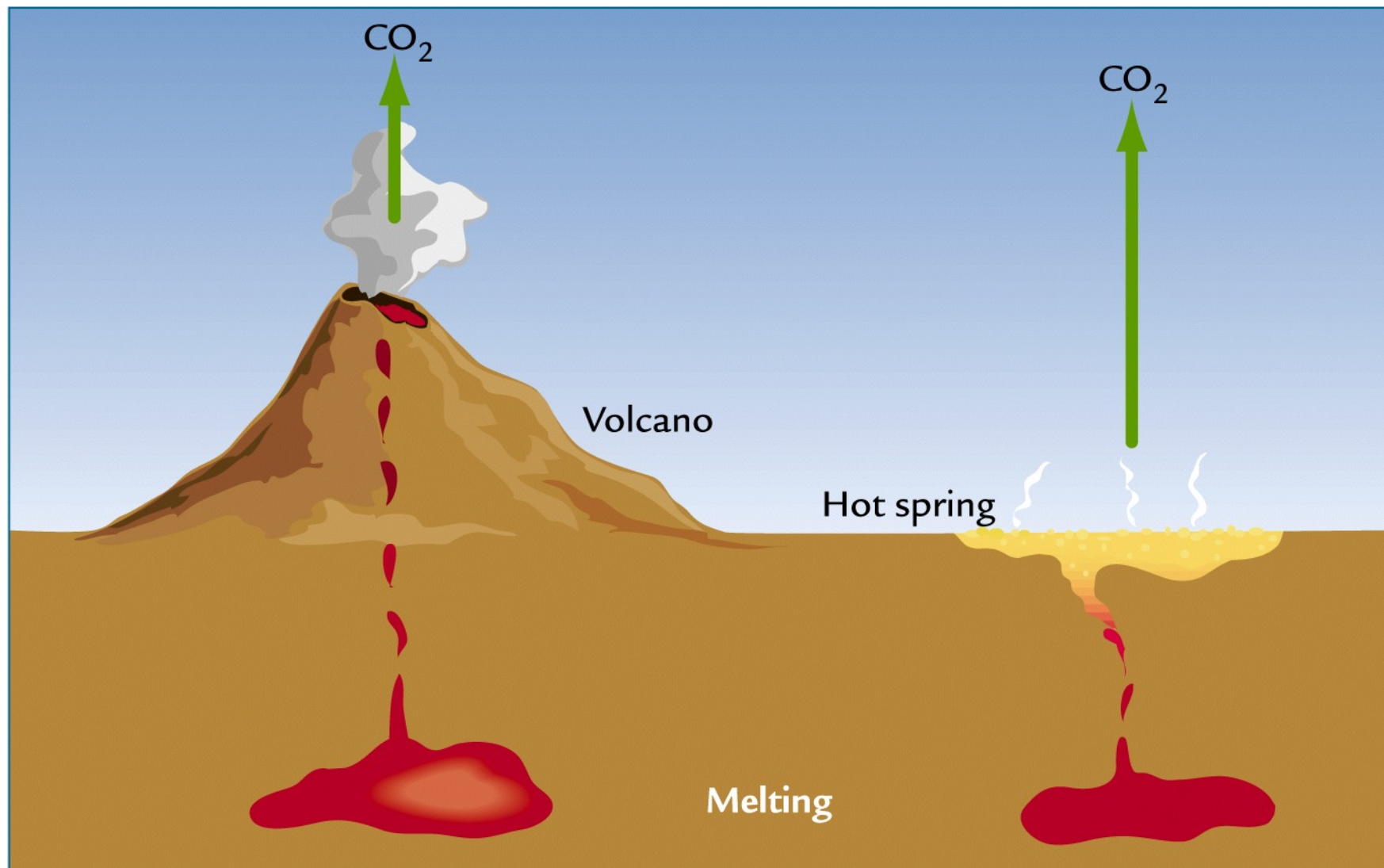


FIGURE 2.10 Absorption of radiation by gases in the atmosphere.



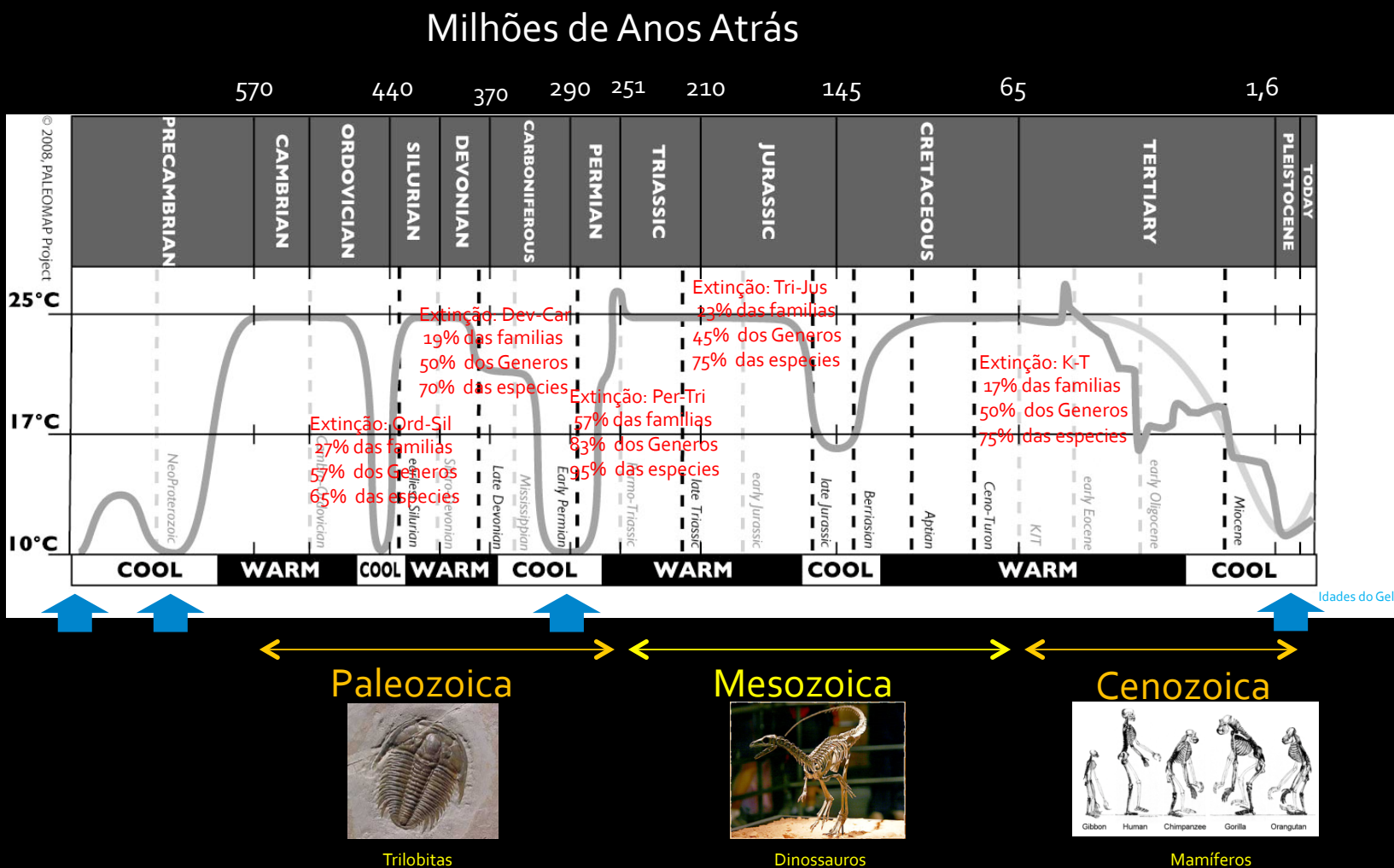


# XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste

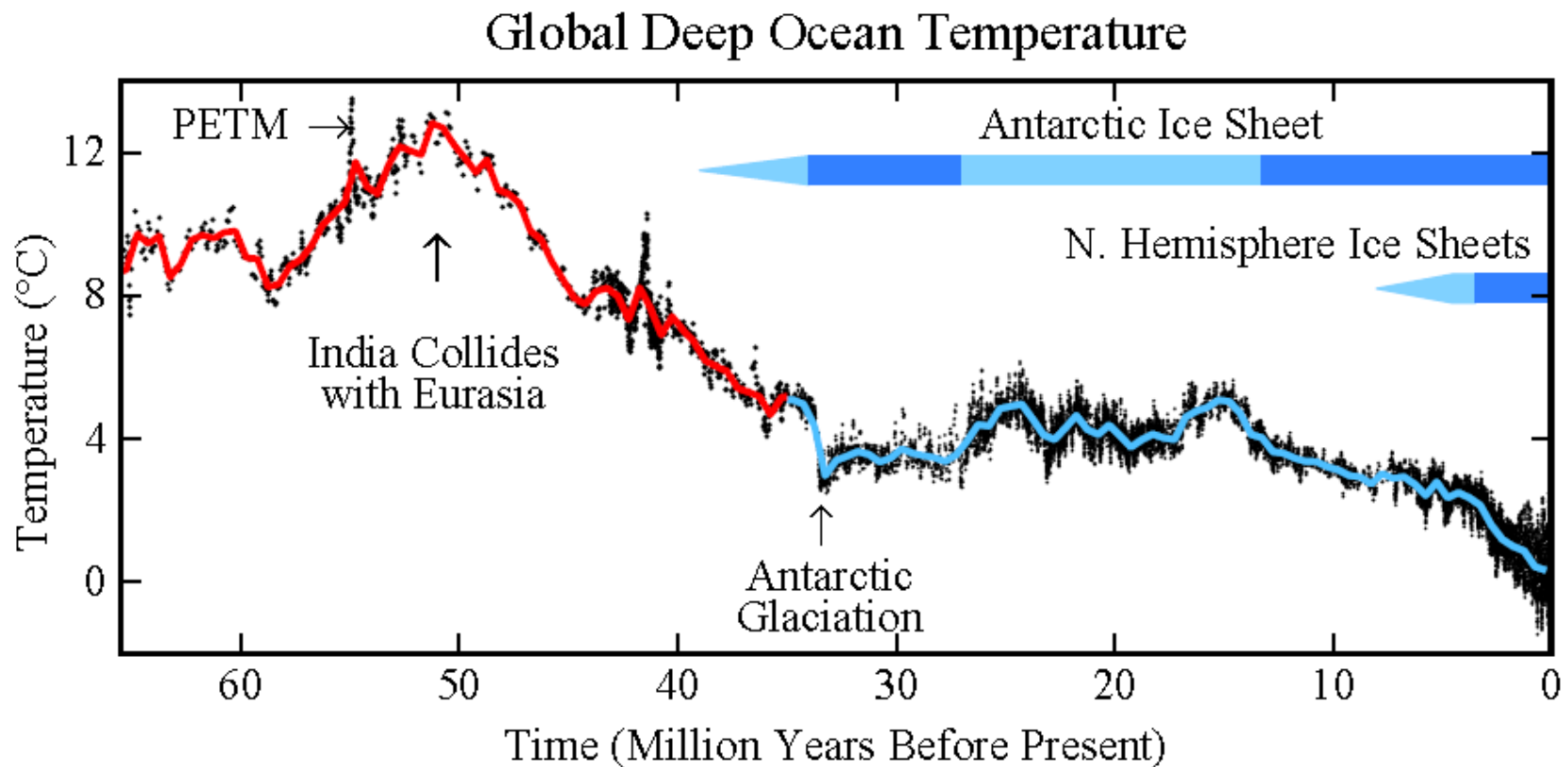
DATA: 27 a 30 de novembro de 2012 - LOCAL: João Pessoa



# Evolução da Terra: Adaptação e Coevolução do Clima e da Vida



# Evolução do Clima nos Últimos 55 Milhões de anos



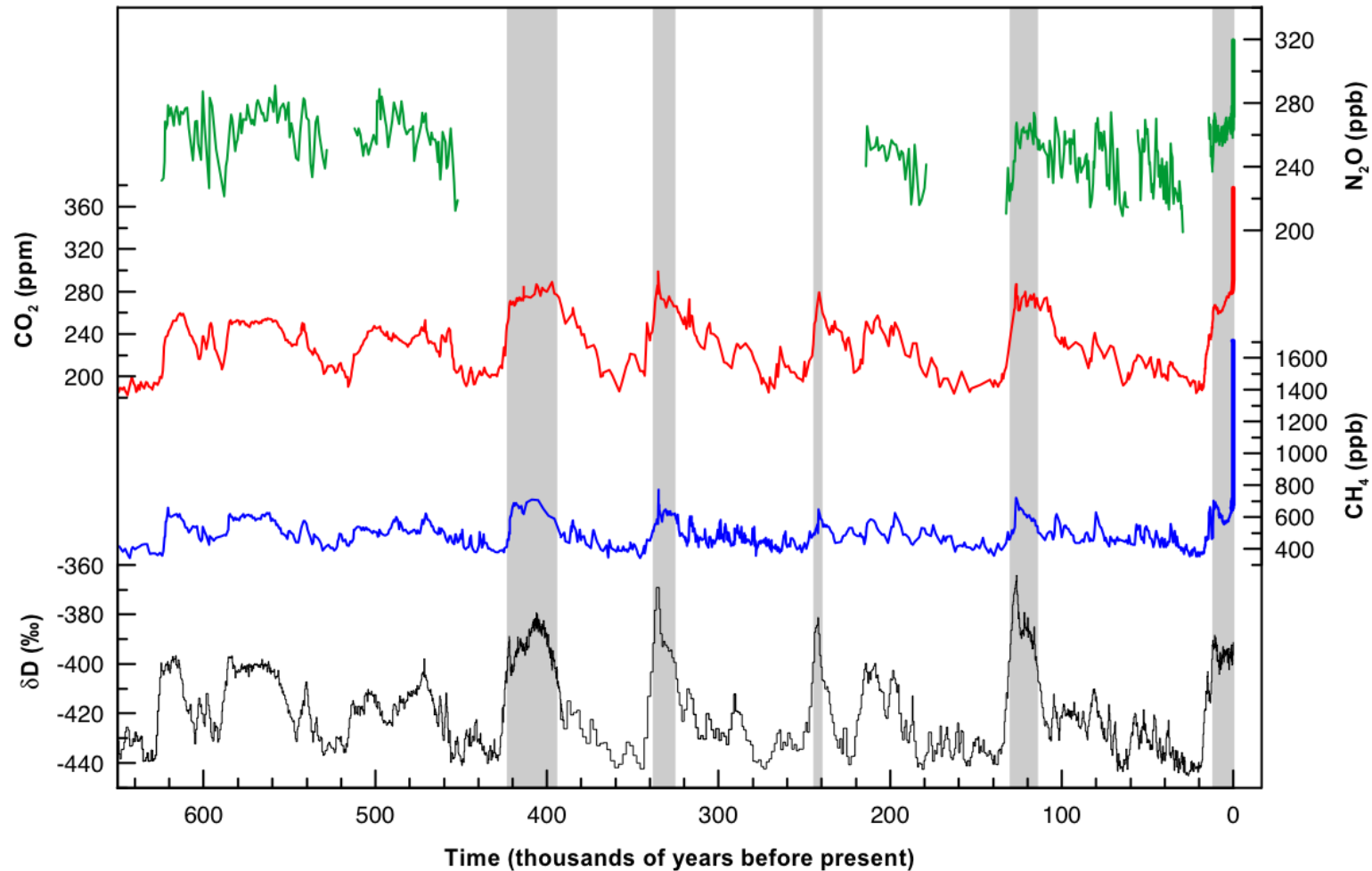
Há 50 milhões de anos atrás a Terra era livre de gelo

O CO<sub>2</sub> na atmosfera era da ordem de 1000 ppm há 50 MYA.

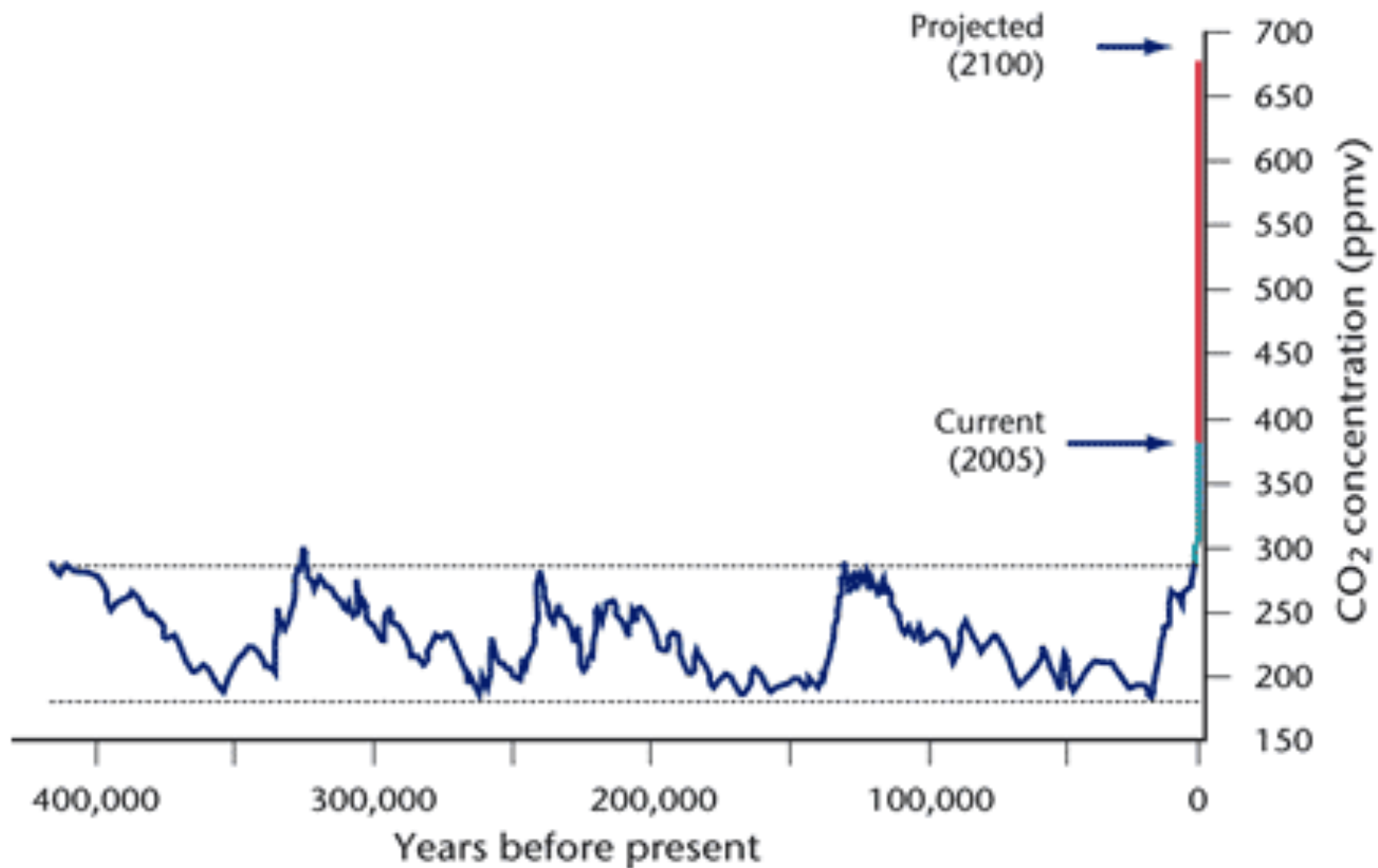
O CO<sub>2</sub> na atmosfera está desbalanceado devido ao tectonismo das placas ~ 10<sup>-4</sup> ppm por ano.

# Períodos Interglaciais

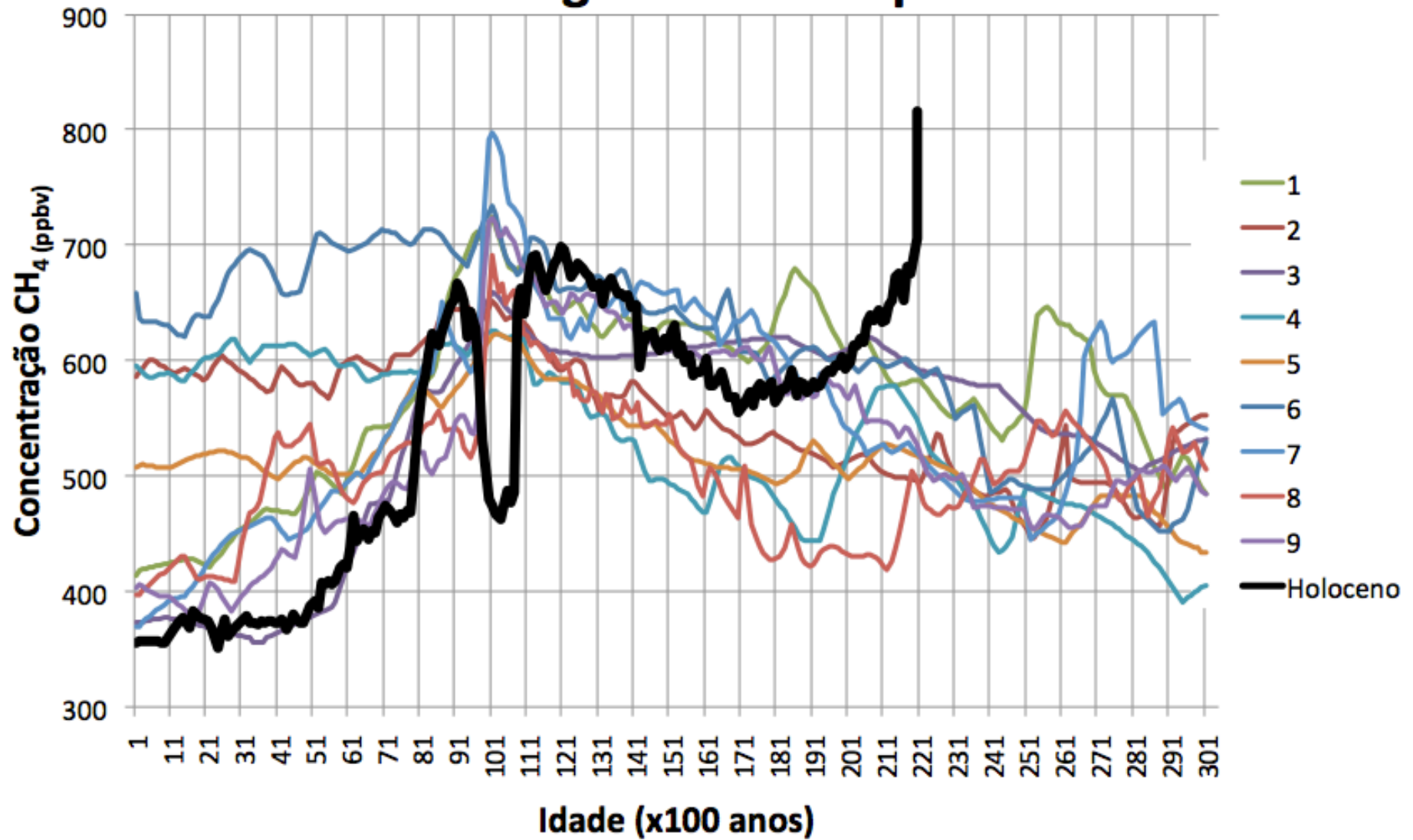
## Glacial-Interglacial Ice Core Data



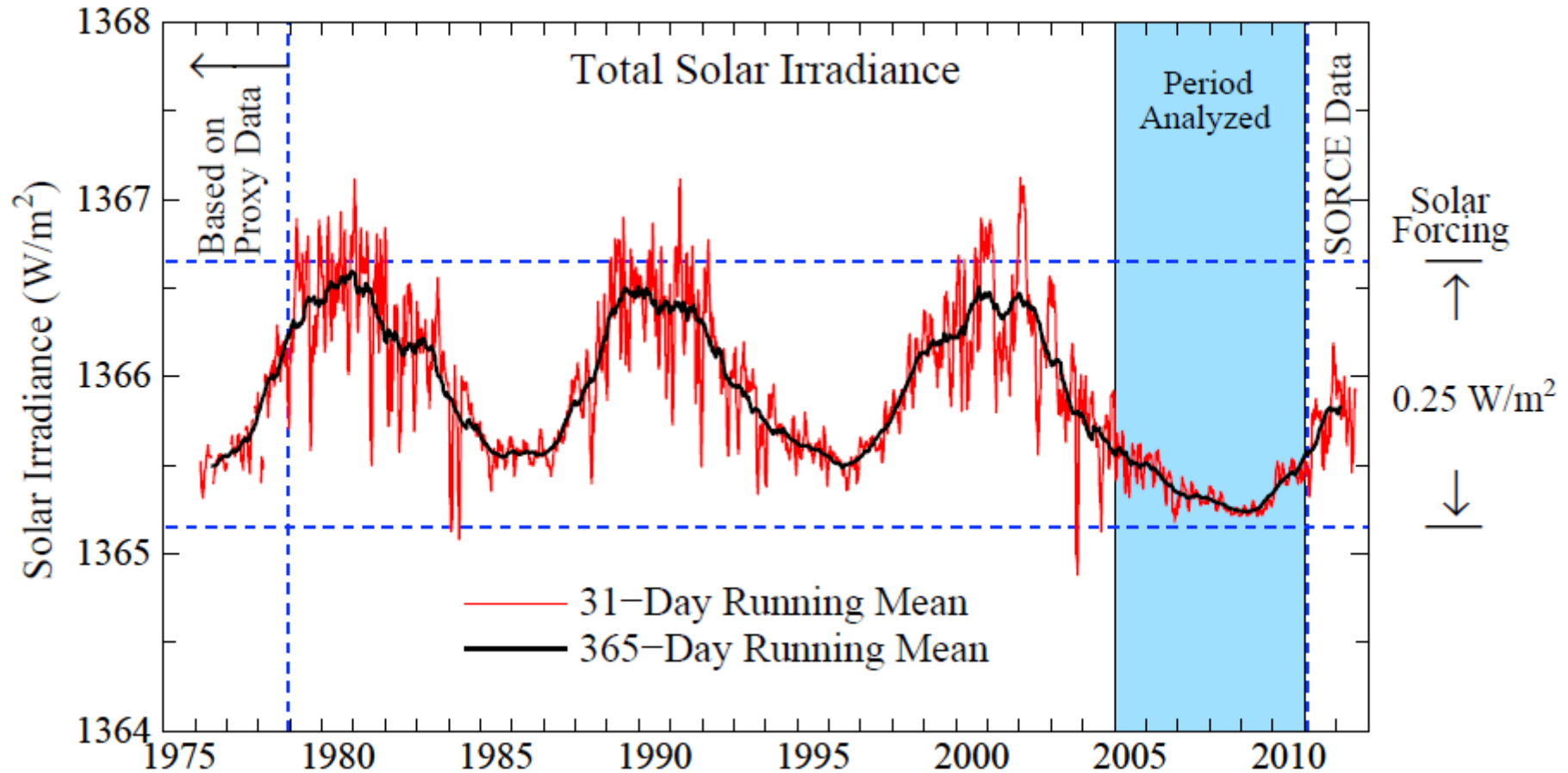
# Vostok ice core



# Interglaciais Sobrepostos



Earth's energy imbalance, more energy in than out, was measured when the energy from the Sun reaching Earth was at its lowest level in the period of accurate data. This confirms that solar variability effects are overwhelmed by greenhouse gases.

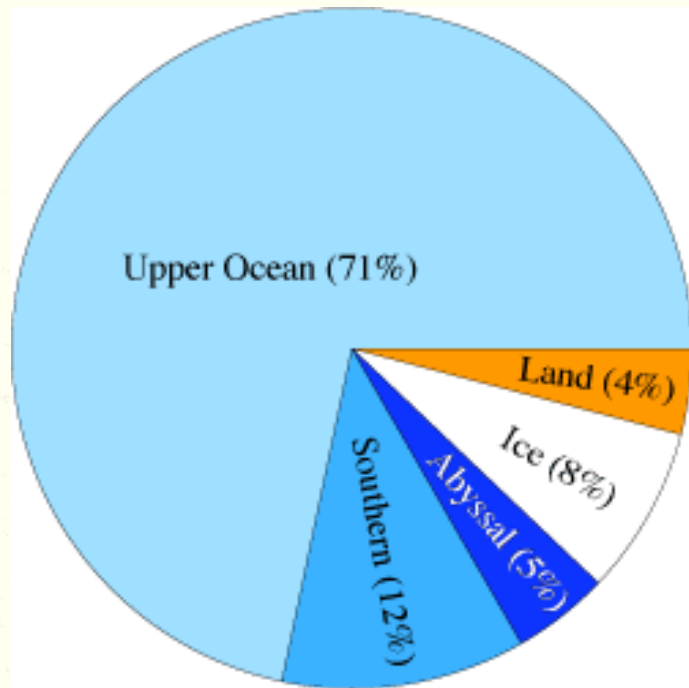


Solar energy reaching Earth; energy absorbed per  $m^2$  of Earth's surface is  $\sim 240 W$ , so 0.1% solar variability is a climate forcing of almost  $0.25 W/m^2$ .

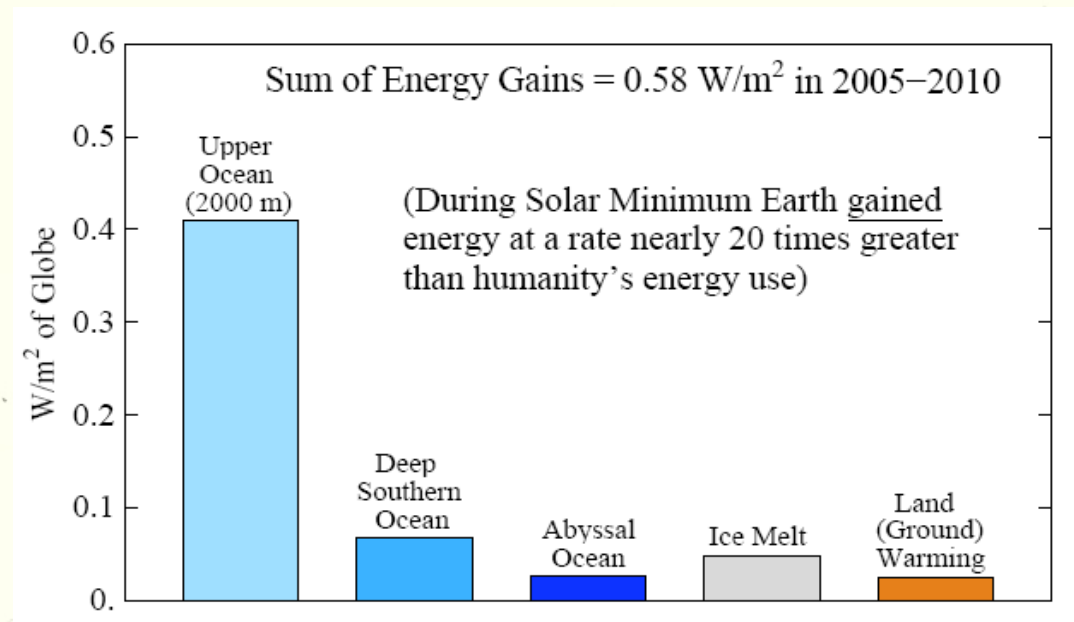
(Update, through Aug. 2012, of Fig. 17 of Hansen et al., *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 13421-13449, 2011. Data through 2 Feb. 2011 is from Frohlich and Lean; more recent data from Univ. Colorado, SORCE experiment.)



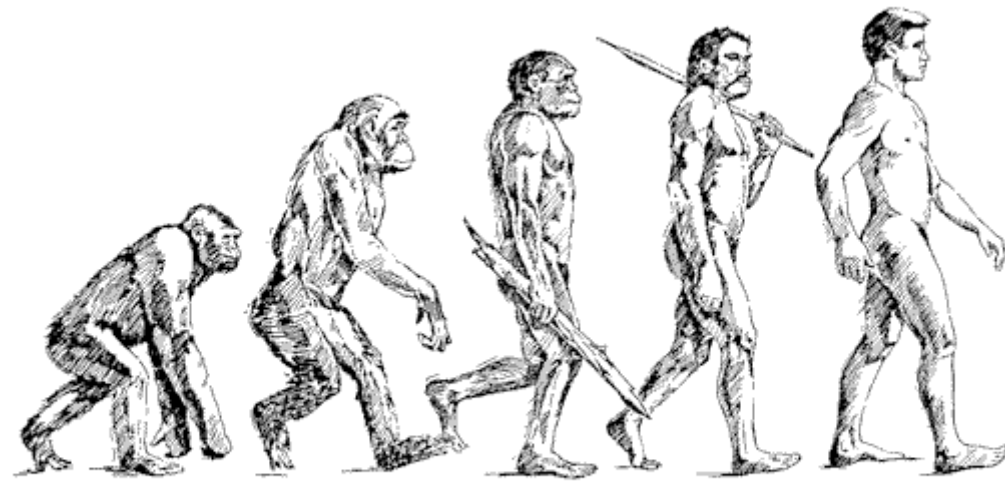
## WHERE EXCESS ENERGY IS GOING



Contributions to Earth's (positive) energy imbalance in 2005-2010. Estimates for the deep Southern and Abyssal Oceans are by Purkey and Johnson (2010) based on sparse observations. (Credit: NASA/GISS)



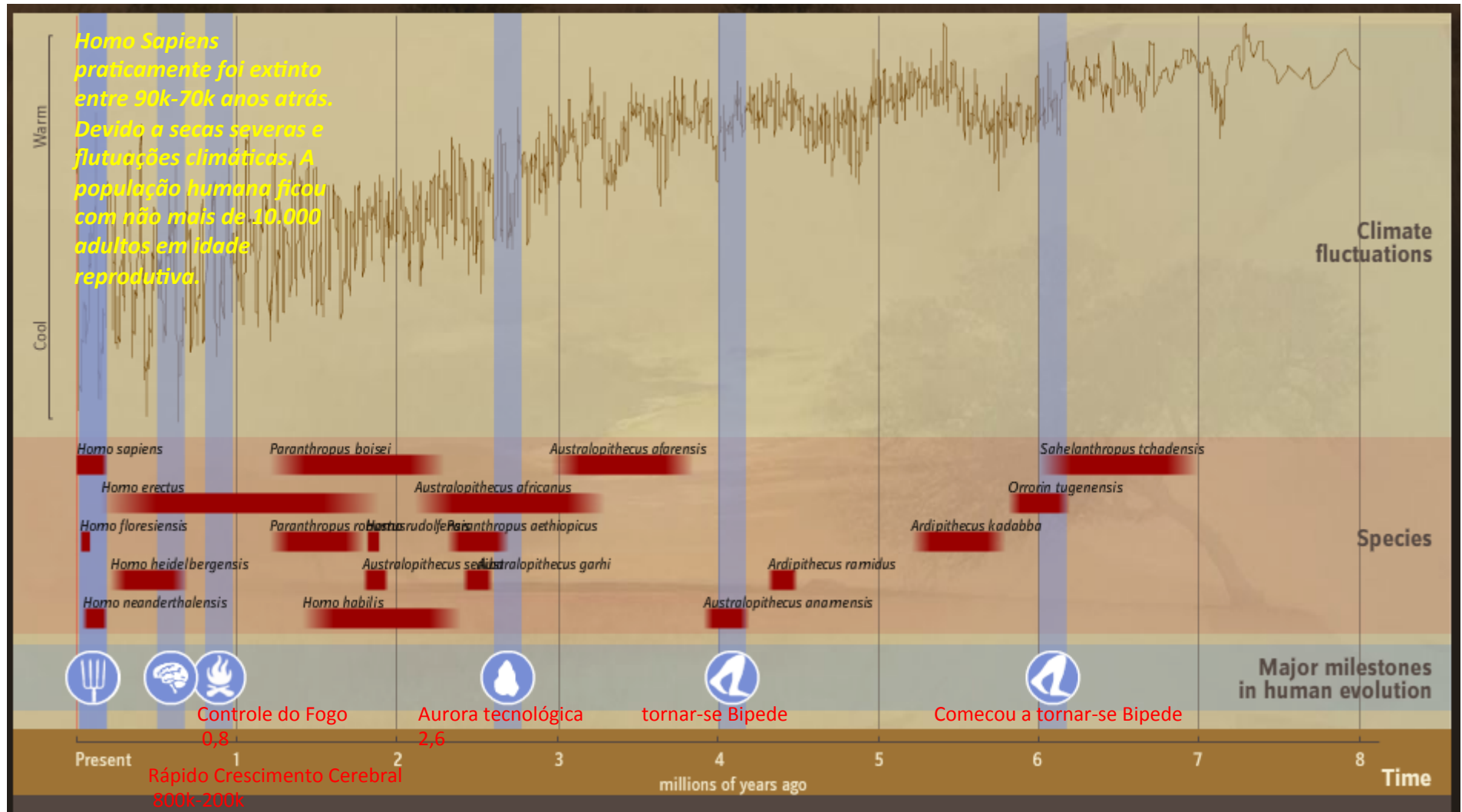
**By James Hansen**



# Evolução Humana como Adaptação ao Ambiente em Transformação

hypothesis that key *human adaptations* evolved in response to environmental instability. This idea was developed during research conducted by the Smithsonian's Human Origins Program. Natural selection was not always a matter of 'survival of the fittest' but also survival of those most adaptable to changing surroundings

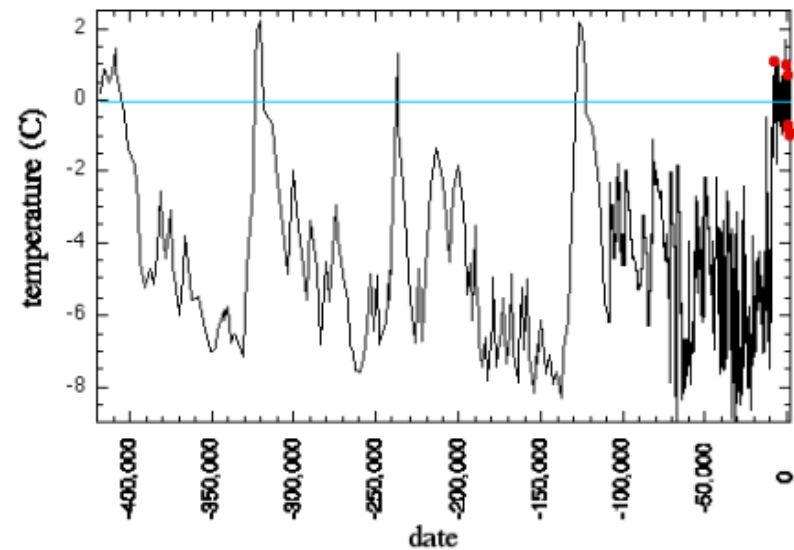
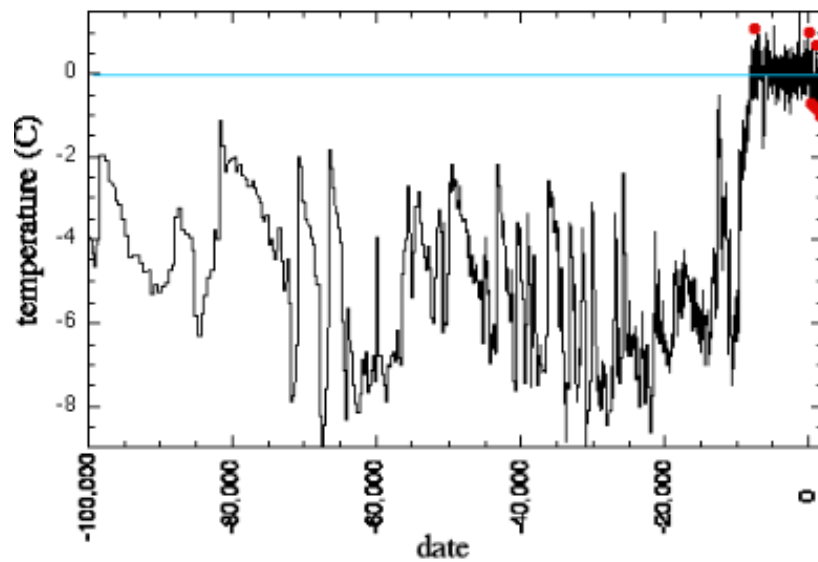
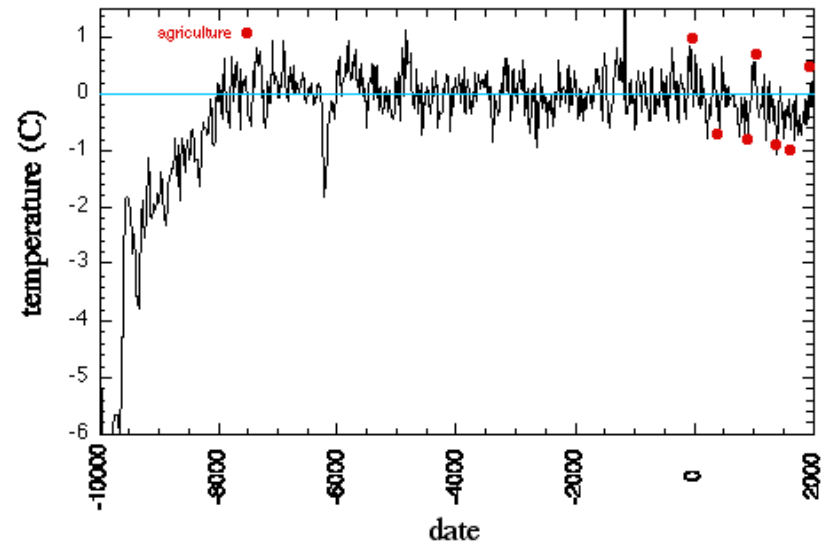
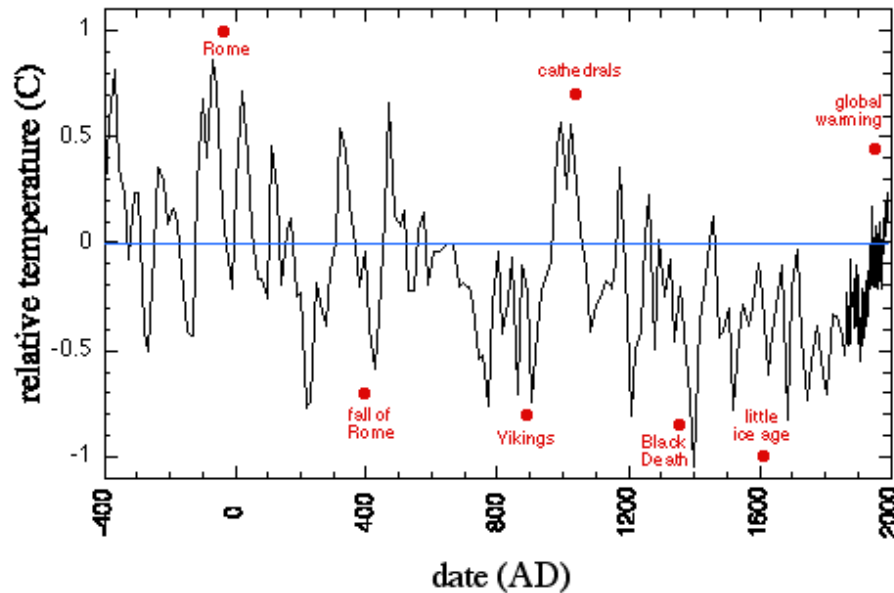
<http://humanorigins.si.edu/research/climate-research/effects>



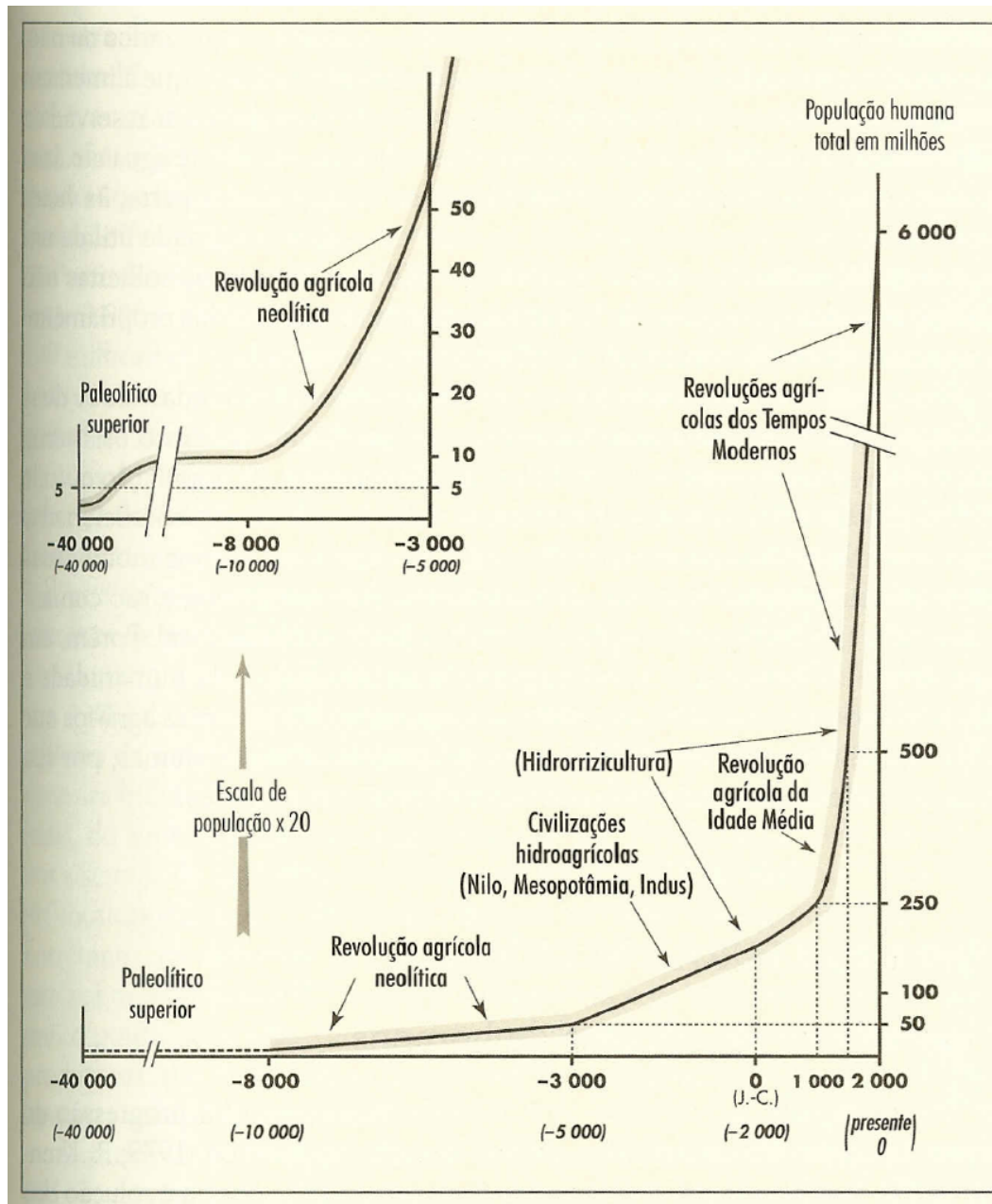
By Smithsonian Museum of Natural History

<http://humanorigins.si.edu/evidence/human-evolution-timeline-interactive>

# Evolução humana e temperatura



# Progressão da população humana em relação ao desenvolvimento do sistema agrário no Mundo



# Consumo de Energia nos Diferentes Estágios de Desenvolvimento do Homem

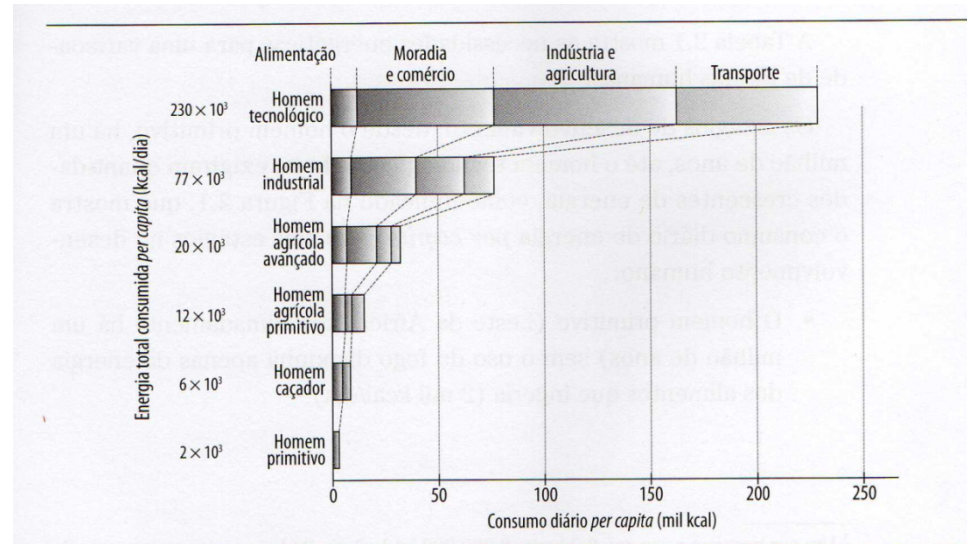


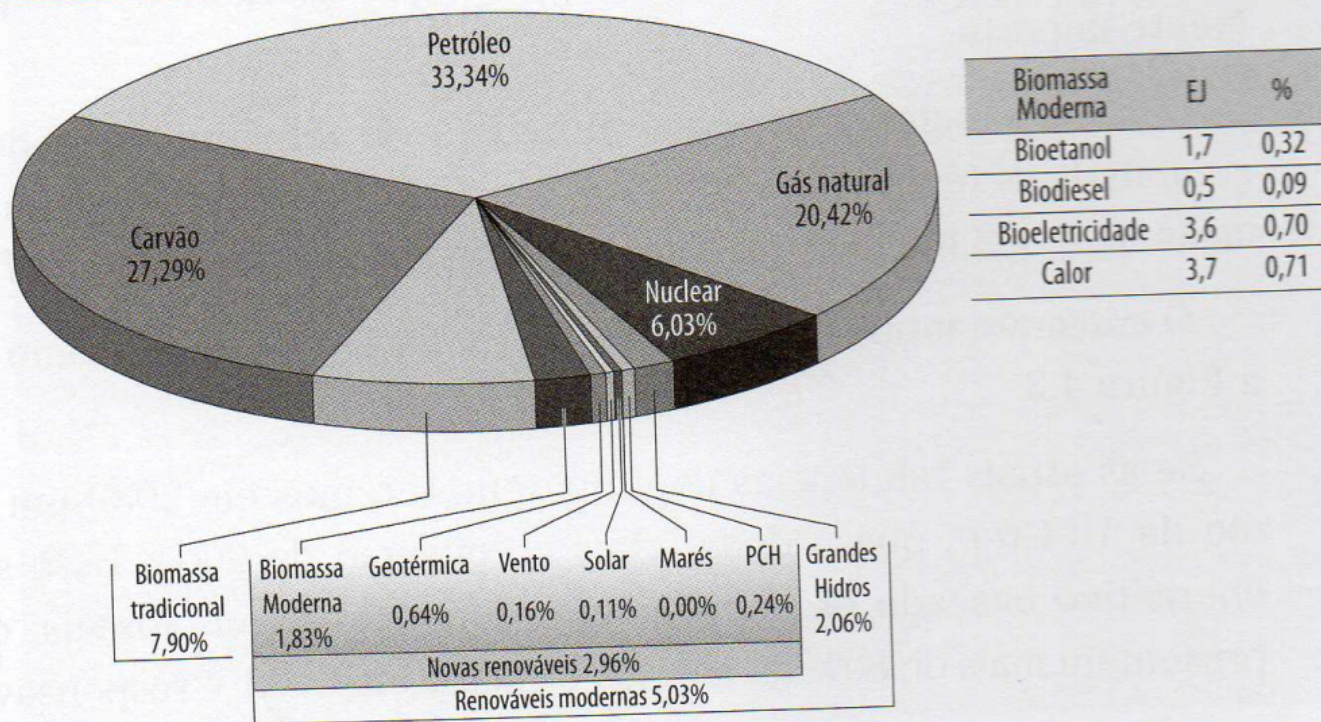
FIGURA 2.1 – Estágios de desenvolvimento e consumo de energia.

Fonte: Referências [1], [2].

| Estágio de desenvolvimento | Ano         | População ( $10^6$ habitantes) | Consumo diário per capita ( $10^3$ kcal) | Consumo ( $10^9$ kcal) |
|----------------------------|-------------|--------------------------------|--|------------------------|
| Agrícola avançado          | -4.000 a.C. | 80                             | 12                                       | 960                    |
|                            | 0           | 130                            |  |                        |
|                            | 1.500 d.C.  | 450                            | 20                                       | 9.000                  |
|                            | 1.800 c.C.  | 900                            |  |                        |
| Industrial                 | 1.950 d.C.  | 2.600                          | 77                                       | 200.200                |
| Tecnológico                | 2.000 d.C.  | 6.000                          | 230                                      | 1.380.000              |

Fonte: Referências [1], [2].

# Demanda Mundial de Energia



**FIGURA 4.1** – Demanda mundial de energia primária (2008) Partes de 516 EJ.

Fonte: Referência [2].



XI Simpósio de Recursos Hídricos  
do Nordeste

DATA: 27 a 30 de novembro de 2012 - LOCAL: João Pessoa



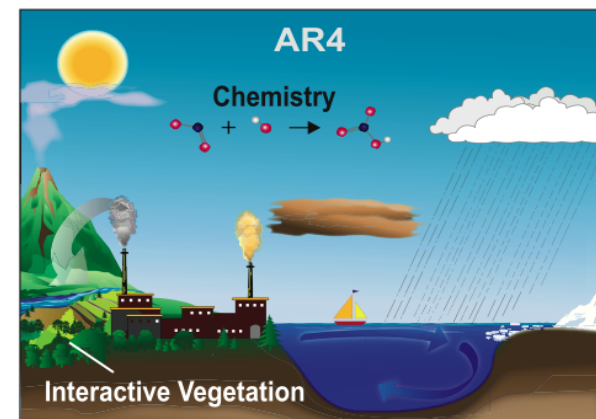
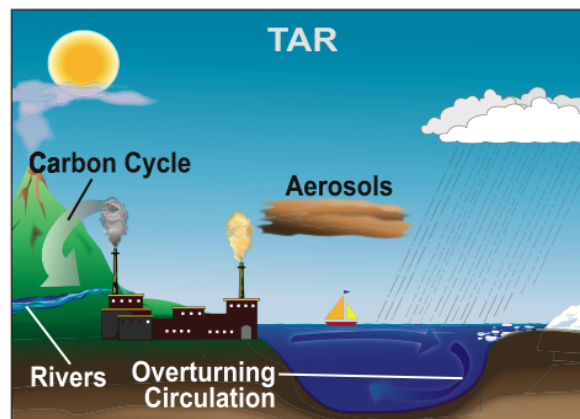
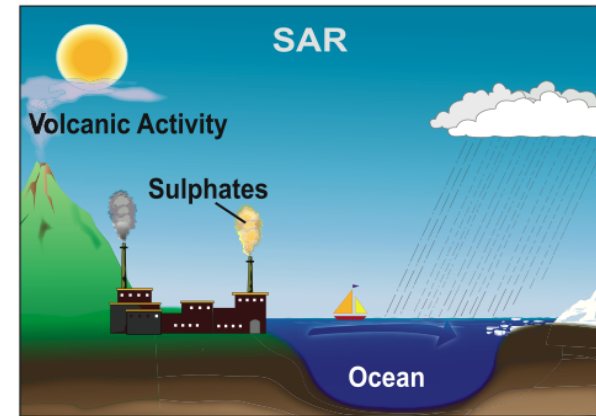
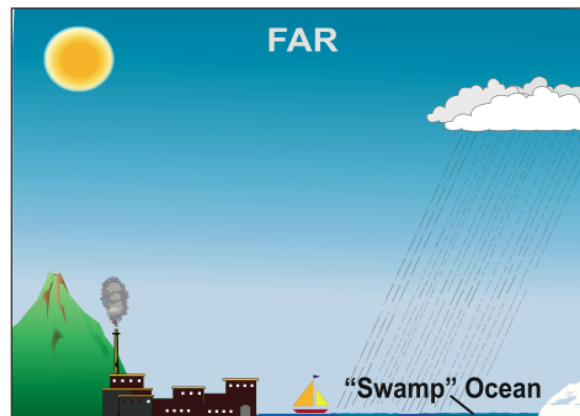
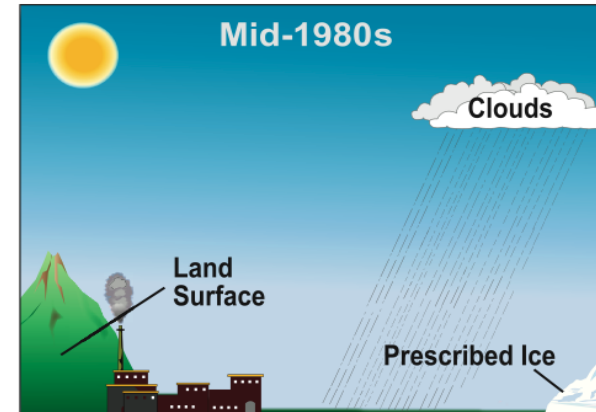
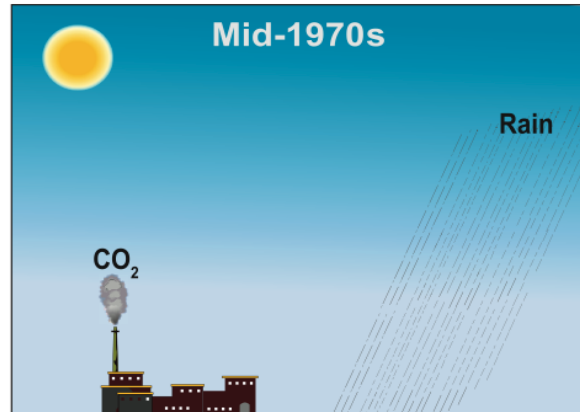
# TÓPICOS

- Introdução
- Evolução do Clima na Terra:
- **Mudança Climática na Escala Global**
- Mudança Climática na Escala Regional: NEB
- Gestão Adaptativa dos Recursos Hídricos



# The World in Global Climate Models

Progressos na representação dos processos físicos nos modelos climáticos.



# REVISÃO DA LITERATURA – MODELOS DO IPCC

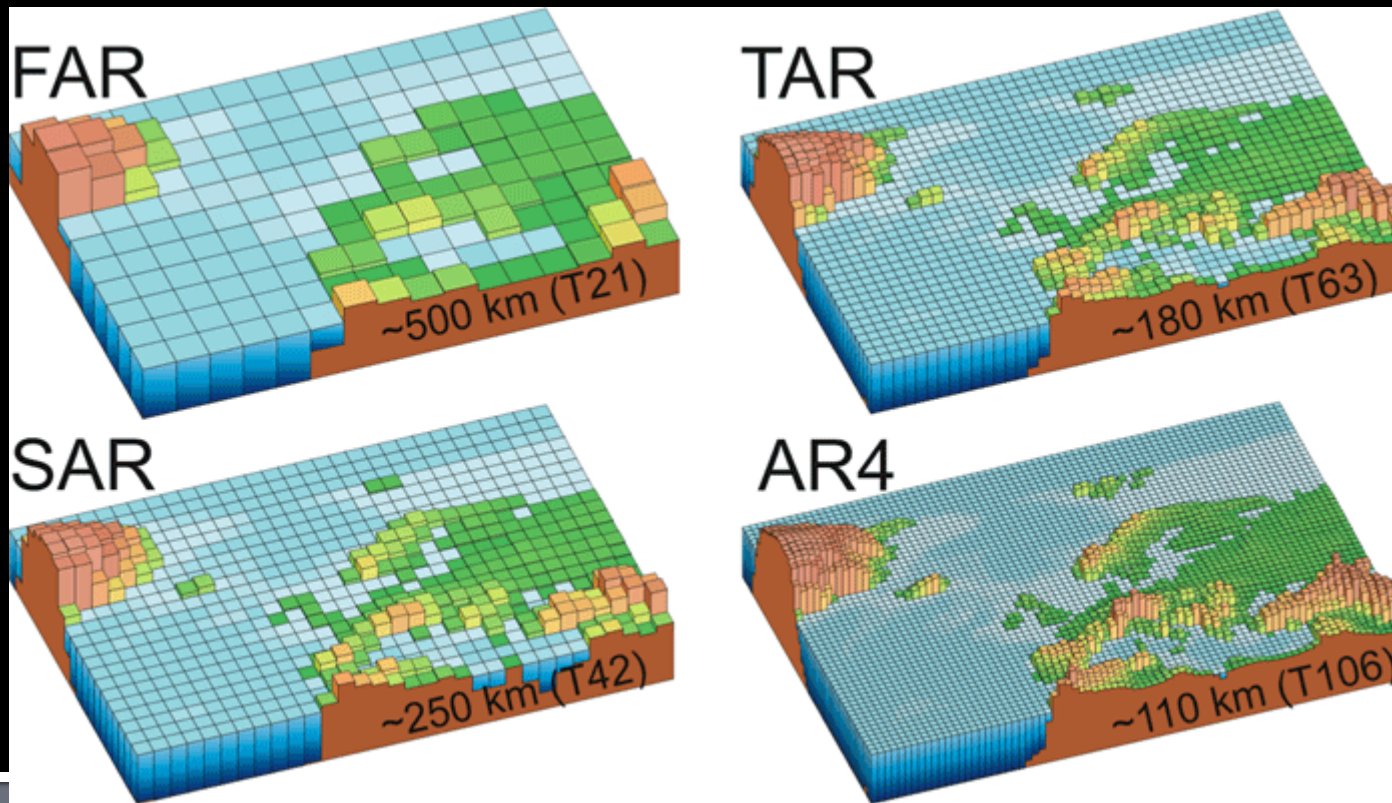


Figura – Características da evolução da resolução dos modelos do IPCC.  
Fonte: IPCC, 2007

# REVISÃO DA LITERATURA – Modelos do IPCC-AR4

| Modelos           | Instituição ou Agência; País  | Topo do modelo /Resolução        |
|-------------------|---|----------------------------------|
| BCC-CM1           | Beijing Climate Center; China   | 25 hPa/ T63 (1.9° x 1.9°) L16    |
| BCCR-BCM2         | Bjerknes Centre for Climate Research, Universidade de Bergen; Noruega   | 10 hPa/ T63 (1.9° x 1.9°) L31    |
| CCCMA-CGCM3 1-T47 | Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis; Canadá  | 1 hPa/ T47 (~2.8° x 2.8°) L31    |
| CCCMA-CGCM3 1-T63 | Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis; Canadá  | 1 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L31    |
| CNRM-CM3          | Centre National de Recherches Meteorologiques, Meteo France; França   | 0.05 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L45 |
| CONS-ECHO-G       | Meteorological Institute of the University of Bonn (Alemanha), Institute of KMA (Correia do Sul), and Model, and Data Group | 10hPa/ T30 (~3.9° x 3.9°) L19    |
| CSIRO-MK3         | CSIRO; Austrália  | 4.5 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L18  |
| CSIRO-MK3.5       | CSIRO; Austrália  | 4.5 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L18  |
| GFDL-CM2.0        | Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos   | 3 hPa/ 2.0° x 2.5° L24           |
| GFDL-CM2.1        | Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos   | 3 hPa/ 2.0° x 2.5° L24           |
| INM-CM3.0         | Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science; Rússia  | 10 hPa/ 4° x 5° L21              |
| INGV-SXG2005      | National Institute of Geophysics and Volcanology; Itália  | 10hPa/ T106 ( 1,125° x1,125°)    |
| IPSL-CM4          | Institut Pierre Simon Laplace (IPSL); França  | 4 hPa/ 2.5° x 3.75° L19          |
| LASG-FGOALS-G1.0  | LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, P.O. Box 9804, Beijing 100029; China                   | 2.2 hPa/ T42 (~2.8 x 2.8°) L26   |
| MPIM-ECHAM5       | Max Planck Institute for Meteorology; Alemanha  | 10 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L31   |
| MRI-CGCM2.3.2     | Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency; Japão   | 0.4 hPa/ T42 (~2.8° x 2.8°) L30  |
| NASA-GISS-AOM     | Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos  | 10hPa/ 3° x 4° L12               |
| NASA-GISS-EH      | Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos  | 0.1 hPa/ 4° x 5° L20             |
| NASA-GISS-ER      | Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos  | 0.1 hPa/ 4° x 5° L20             |
| NCAR-CCSM3        | National Center for Atmospheric Research (NCAR); Estados Unidos   | 2.2 hPa/ T85 (1.4° x 1.4°) L26   |
| NCAR-PCM          | National Center for Atmospheric Research (NCAR), NSF, DOE, NASA, e NOAA; Estados Unidos                                     | 2.2 hPa/ T42 (~2.8° x 2.8°) L26  |
| NIES-MIROC3.2-HI  | CCSR/ NIES/ FRCGC; Japão  | 40 km T 106 (~1.1° x 1.1°) L56   |
| NIES-MIROC3.2-MED | CCSR/ NIES/ FRCGC; Japão  | 30 km T42 (~2.8° x 2.8°) L20     |
| UKMO-HADCM3       | Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; Reino Unido   | 5 hPa/ 2.5° x 3.75° L19          |
| UKMO-HADGEM1      | Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; Reino Unido   | 39.2 km/ ~1.3° x 1.9° L38        |

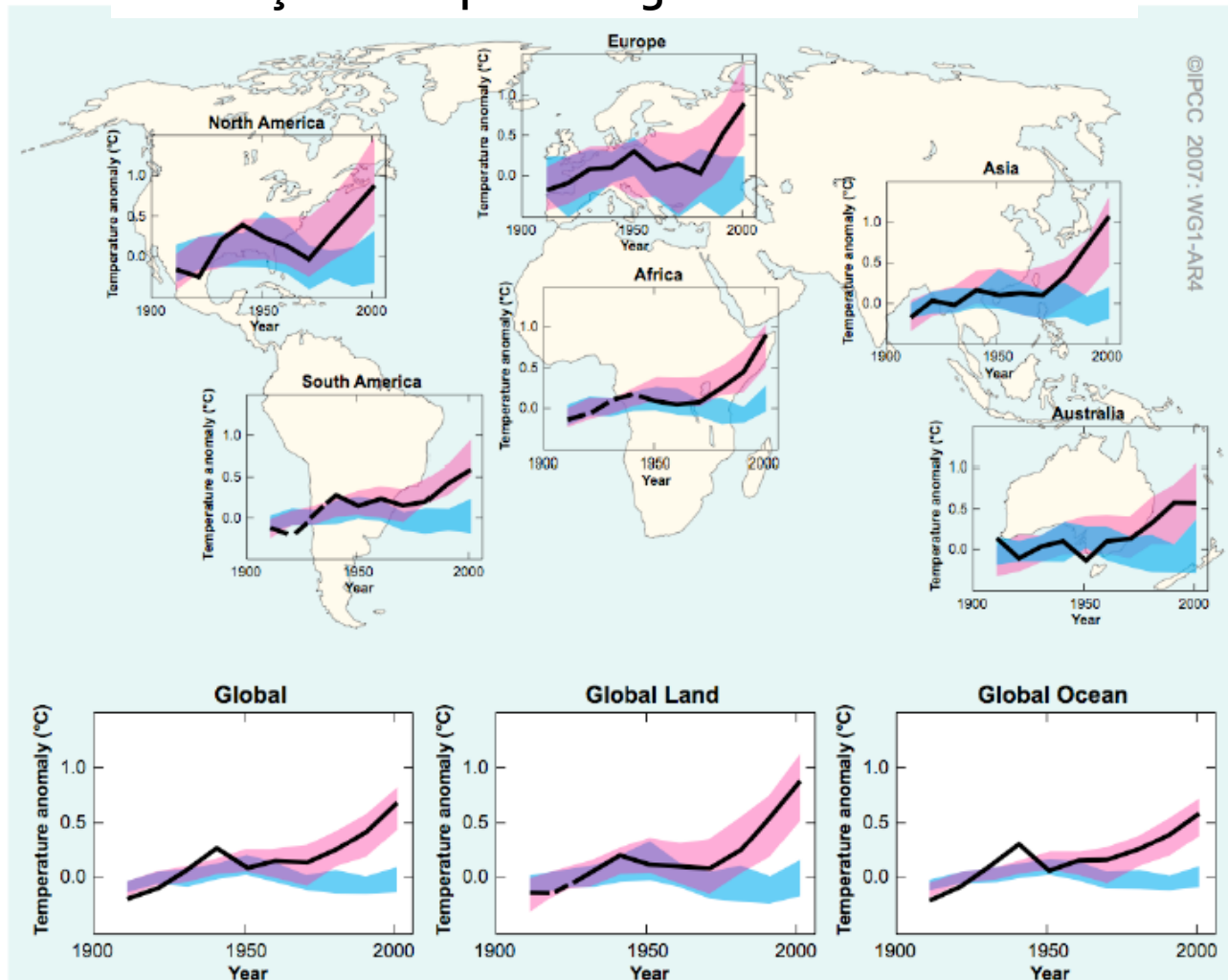
## Modelos de Mudança Climática (CMIP3)

- ▣ Famílias de cenários para o século XXI propostos pelo IPCC-AR4

|   | Foco na economia   | Foco no meio ambiente  |
|---|--|--|
| <b>Globalização<br/>(mundo homogêneo)</b>     | <b>A1 – Rápido crescimento econômico (grupos: A1T, A1B e A1FI). Aumento na temperatura: 1,4 – 6,4 °C</b> | <b>B1 - Sustentabilidade do meio ambiente global. Aumento na temperatura: 1,1 – 2,9 °C</b> |
| <b>Regionalização<br/>(mundo heterogêneo)</b> | <b>A2 – Desenvolvimento econômico no âmbito regional. Aumento na temperatura: 2,0 – 5,4 °C</b>           | <b>B2 - Sustentabilidade do meio ambiente local. Aumento na temperatura: 1,4 – 3,8 °C</b>  |

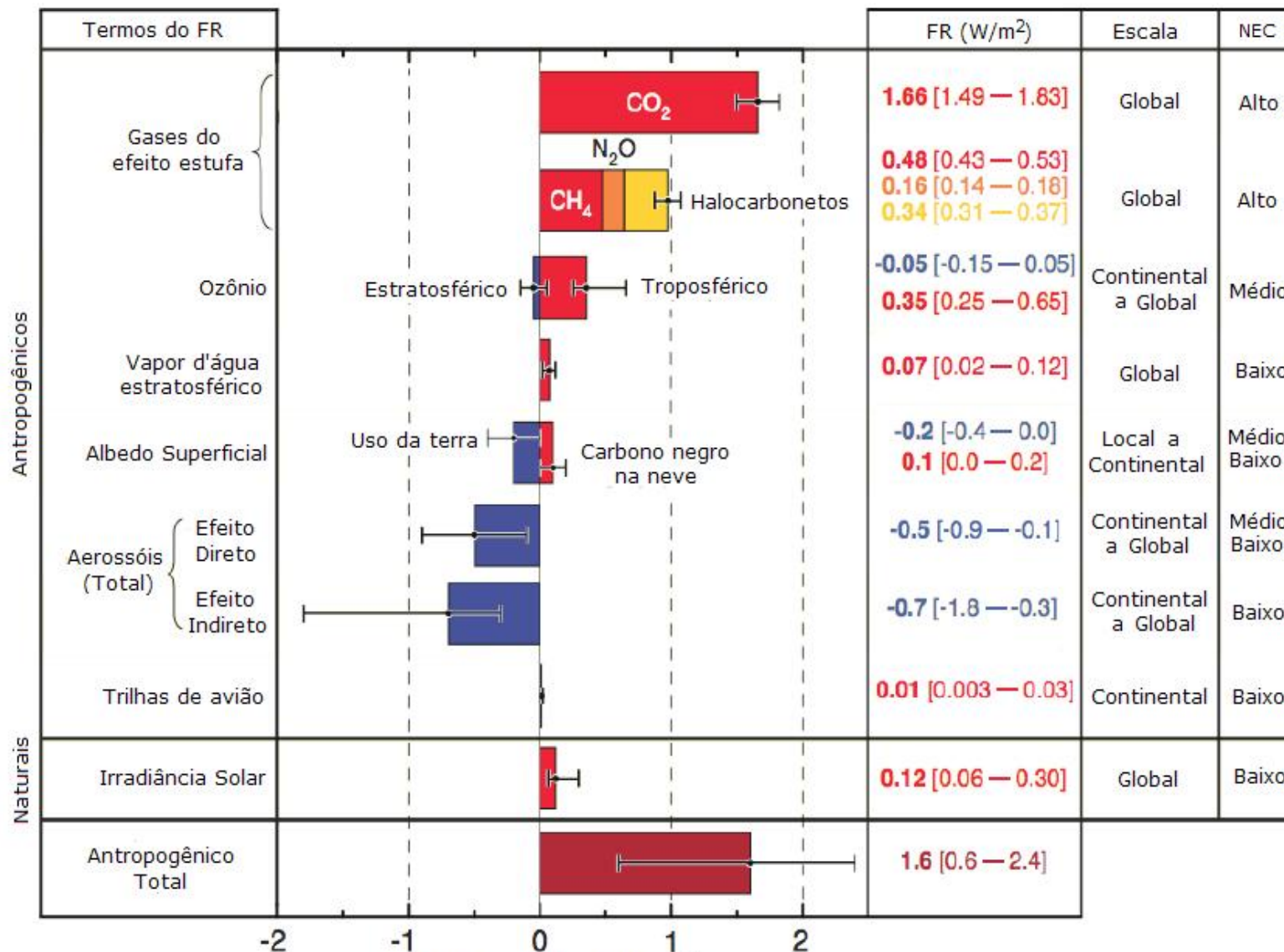
Sem levar em conta as mudanças de composição química da atmosfera, os modelos não conseguem acertar!

### Mudança na temperatura global e continental

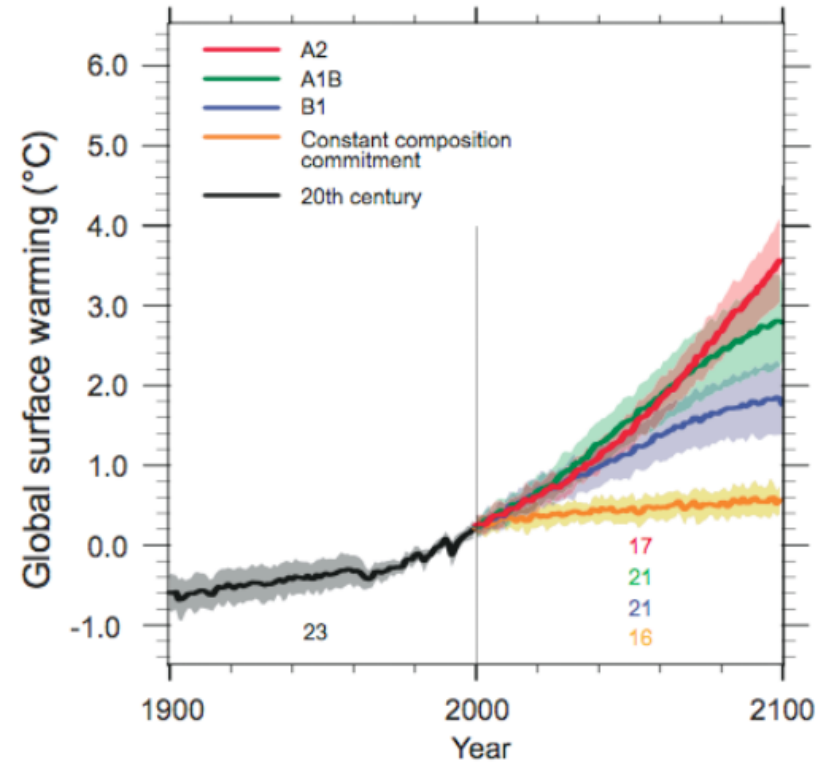


# Qual o tamanho de nossa ignorância?

## Componentes do Forçante Radiativo

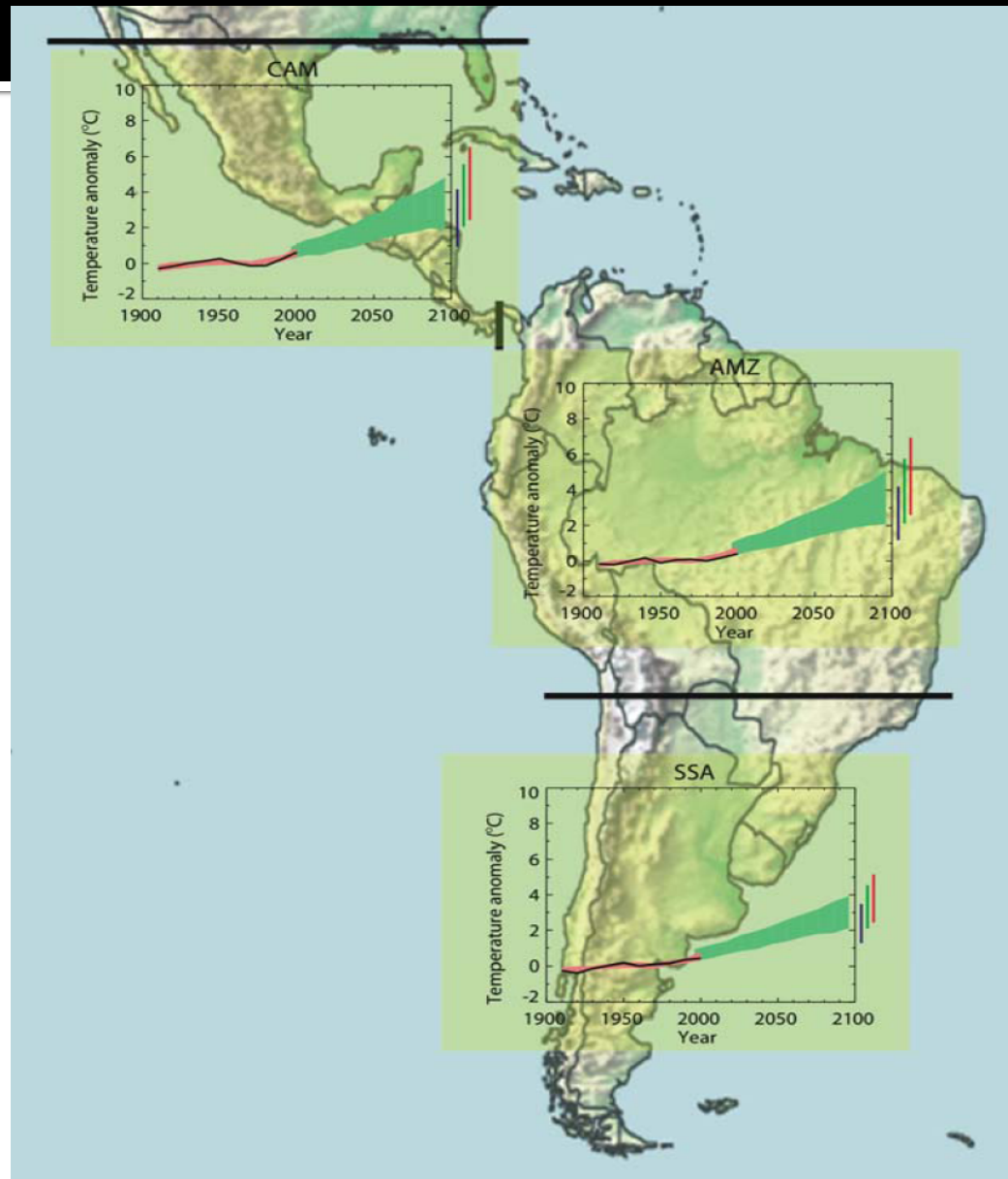


“Como será o amanhã...”

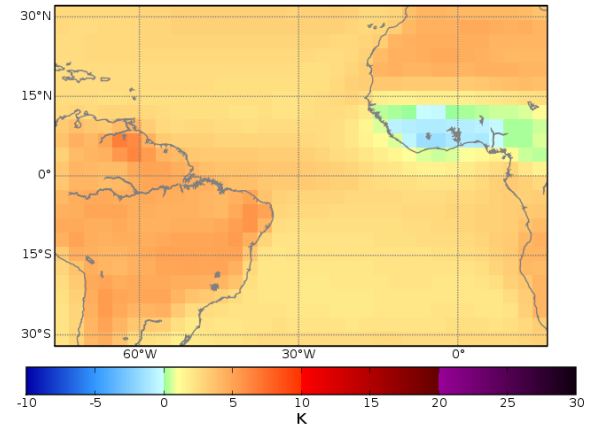
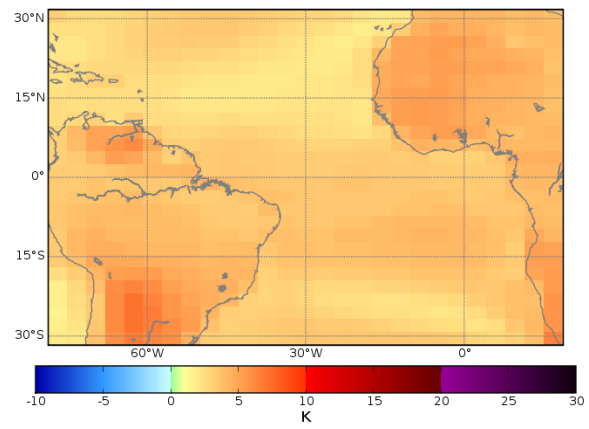
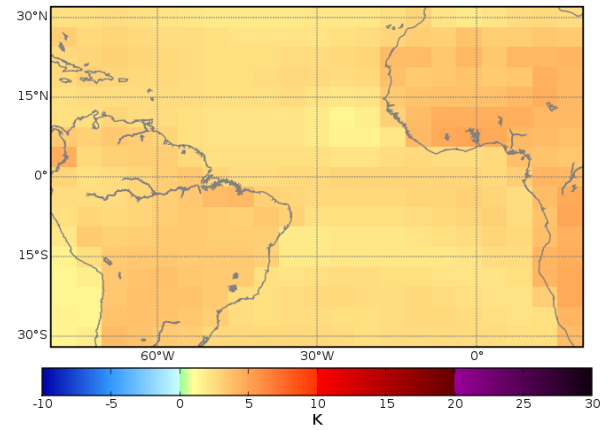
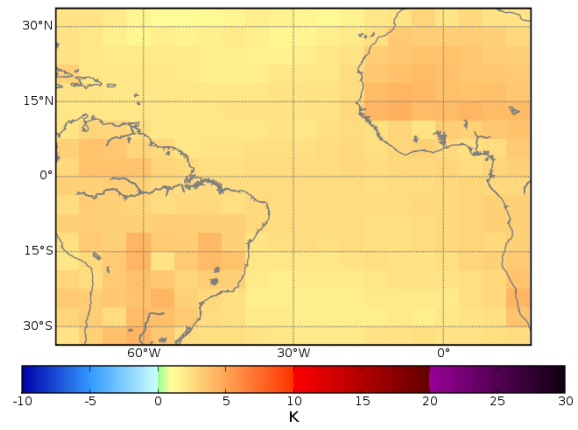
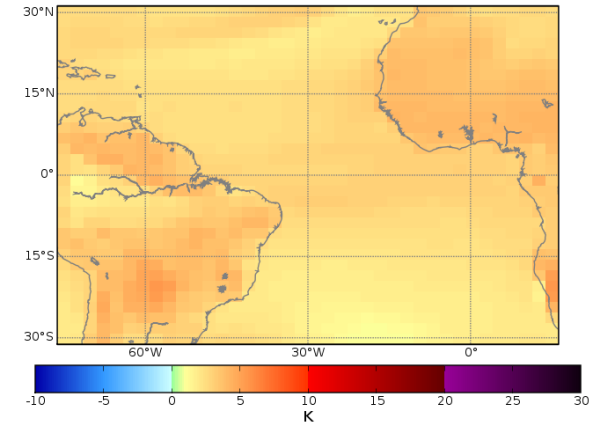
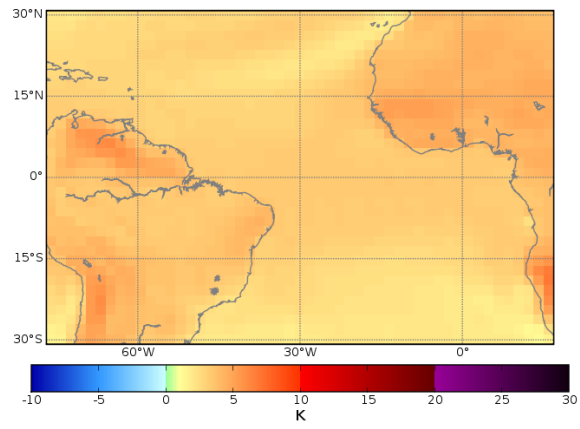


| Case   | Temperature Change (°C at 2090-2099 relative to 1980-1999) <sup>a</sup> |              | Sea Level Rise (m at 2090-2099 relative to 1980-1999)                  |
|--|---|--------------|--|
|  | Best estimate   | Likely range | Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow |
| Constant Year 2000 concentrations <sup>c</sup> | 0.6   | 0.3 – 0.9    | NA   |
| B1 scenario                                    | 1.8   | 1.1 – 2.9    | 0.18 – 0.38  |
| A1T scenario                                   | 2.4   | 1.4 – 3.8    | 0.20 – 0.45  |
| B2 scenario                                    | 2.4   | 1.4 – 3.8    | 0.20 – 0.43  |
| A1B scenario                                   | 2.8   | 1.7 – 4.4    | 0.21 – 0.48  |
| A2 scenario                                    | 3.4   | 2.0 – 5.4    | 0.23 – 0.51  |
| A1FI scenario                                  | 4.0   | 2.4 – 6.4    | 0.26 – 0.59  |

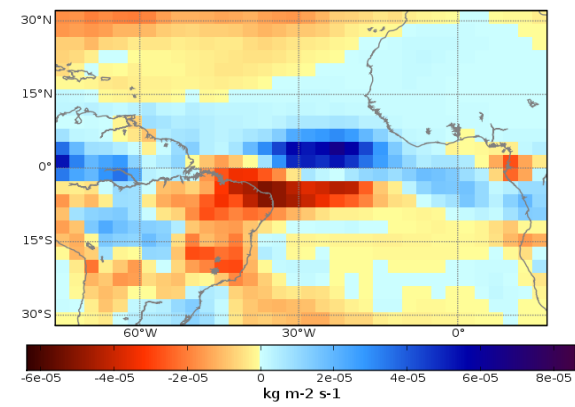
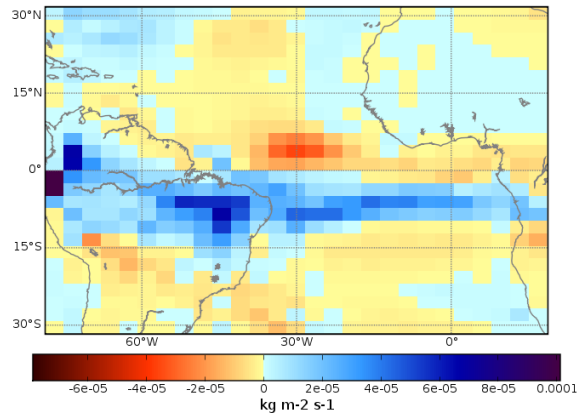
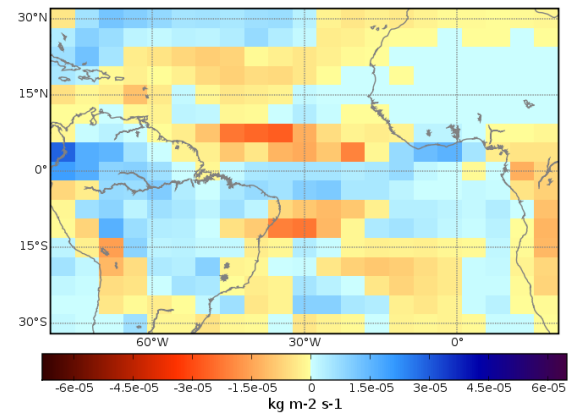
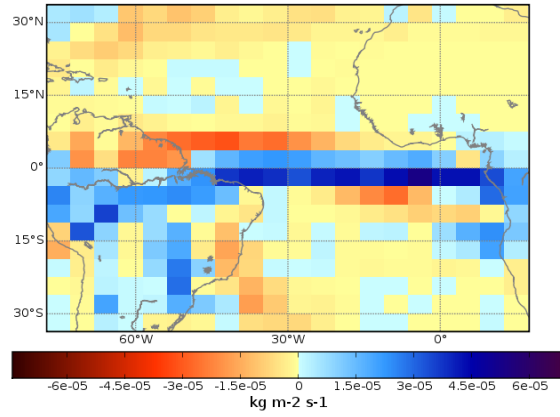
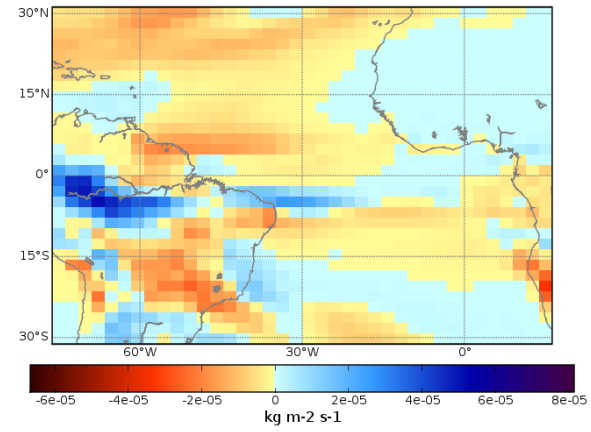
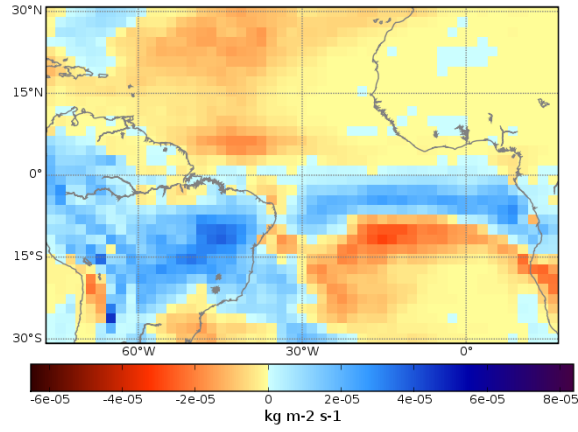
# O Consenso na temperatura...



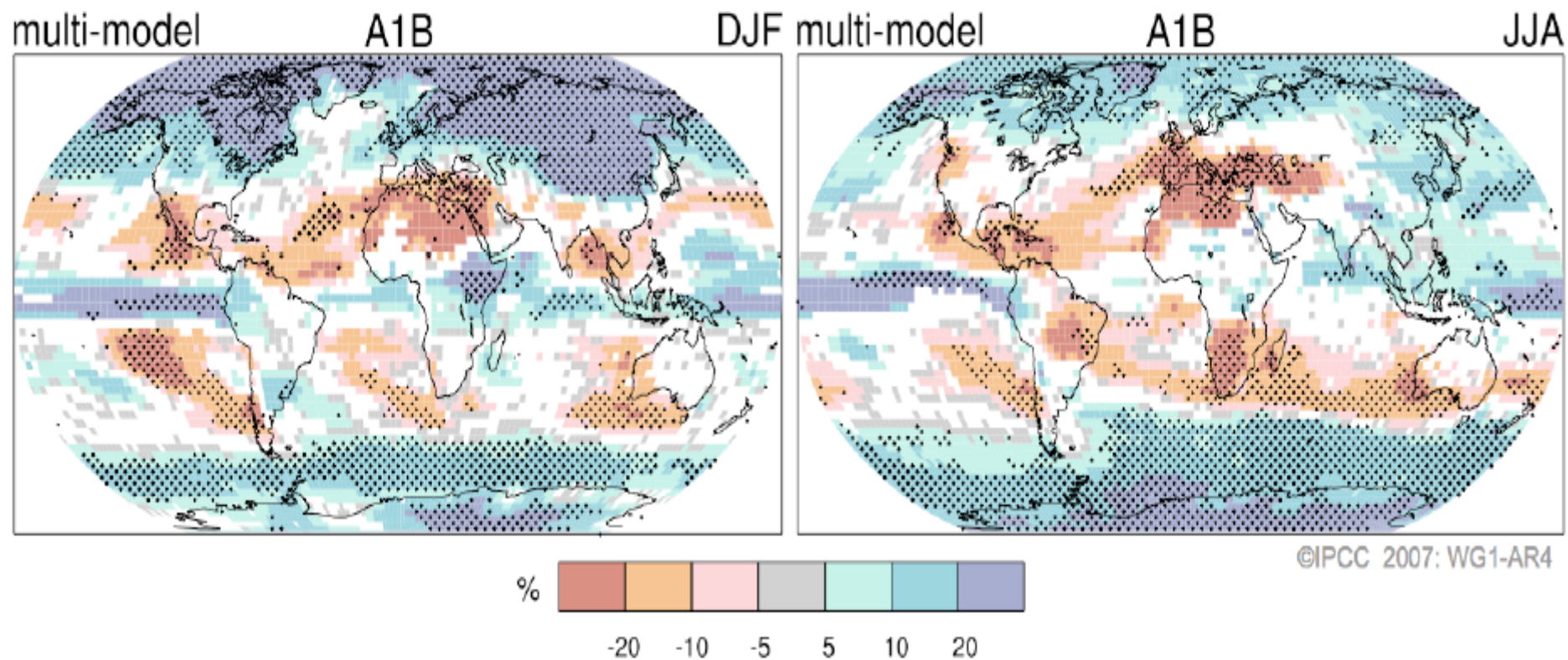




# não se reflete na precipitação...



# Projected Patterns of Precipitation Changes



# América Central e do Sul

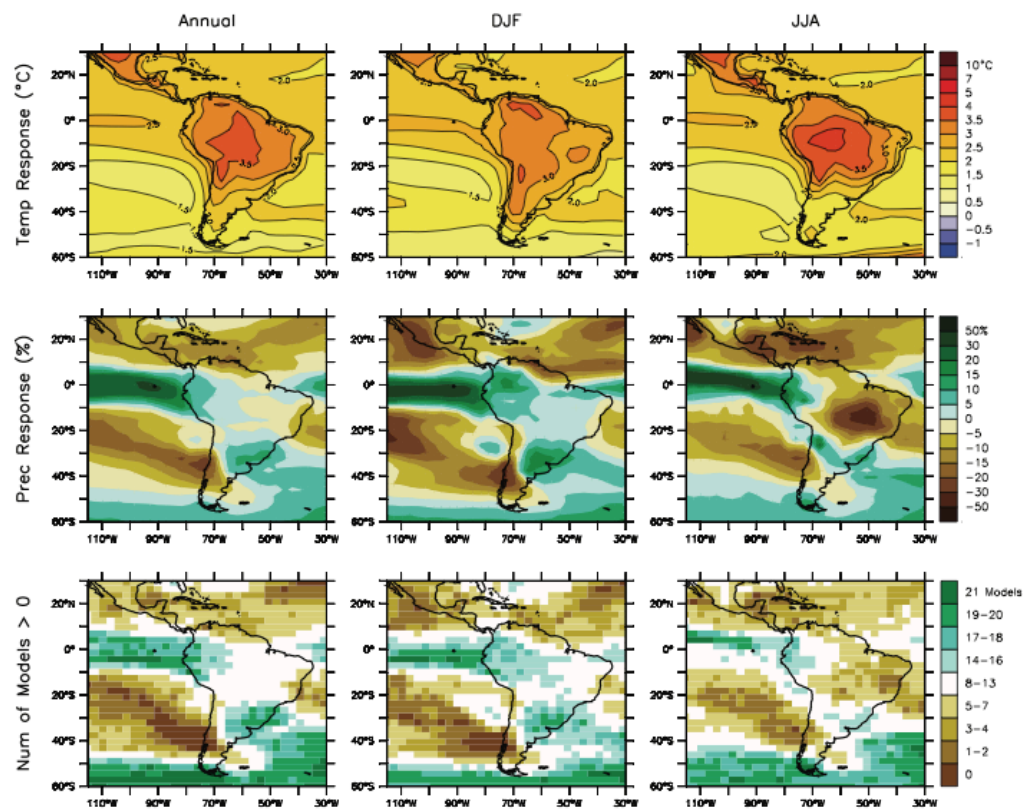
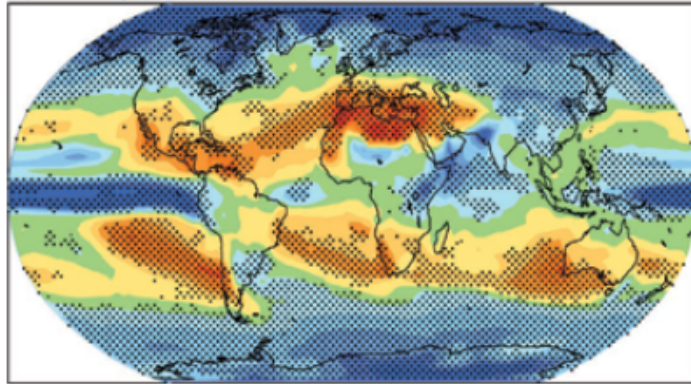


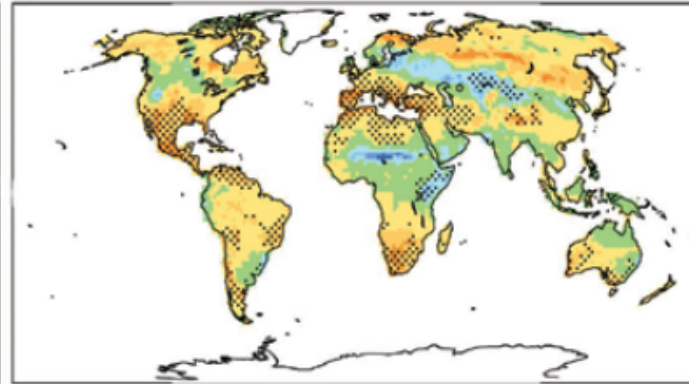
Figure 11.15. Temperature and precipitation changes over Central and South America from the MMD-A1B simulations. Top row: Annual mean, DJF and JJA temperature change between 1980 to 1999 and 2080 to 2099, averaged over 21 models. Middle row: same as top, but for fractional change in precipitation. Bottom row: number of models out of 21 that project increases in precipitation.

- Toda a América Central e do Sul é muito provável que aquecer durante este século. O aquecimento anual média é provável que seja semelhante ao aquecimento global média no sul da América do Sul, mas maior do que o aquecimento global média no resto da área.
- A precipitação anual é susceptível de diminuir na maior parte da América Central, com a primavera boreal relativamente seco se tornando mais seco.
- É incerto como anuais e sazonais de chuva médios vai mudar ao longo do norte da América do Sul, incluindo a floresta amazônica.

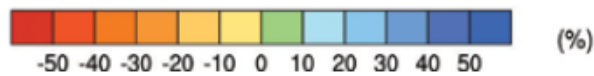
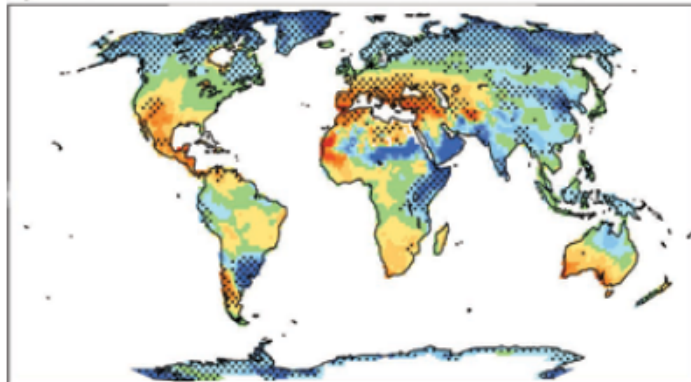
a) Precipitation



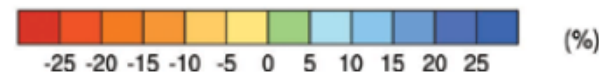
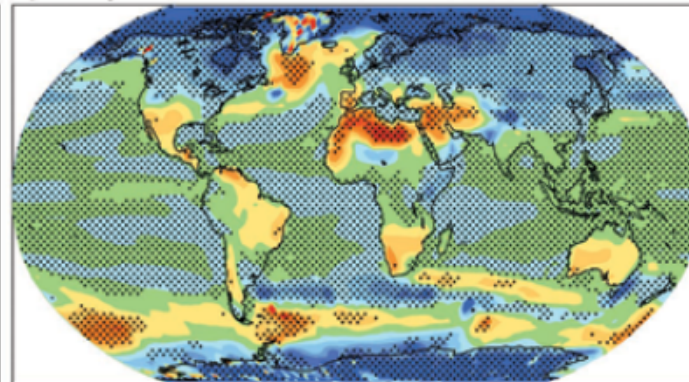
b) Soil moisture



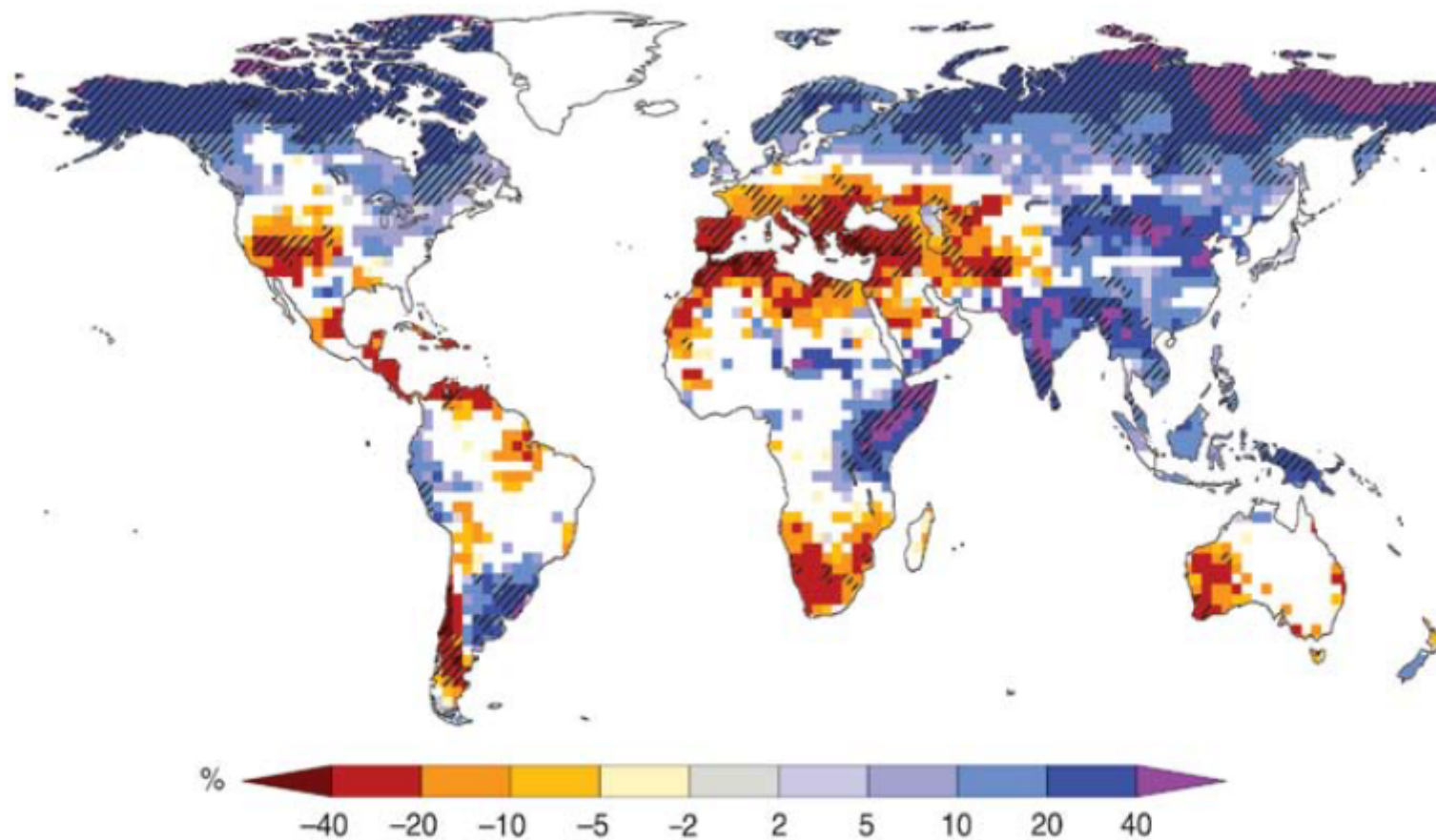
c) Runoff



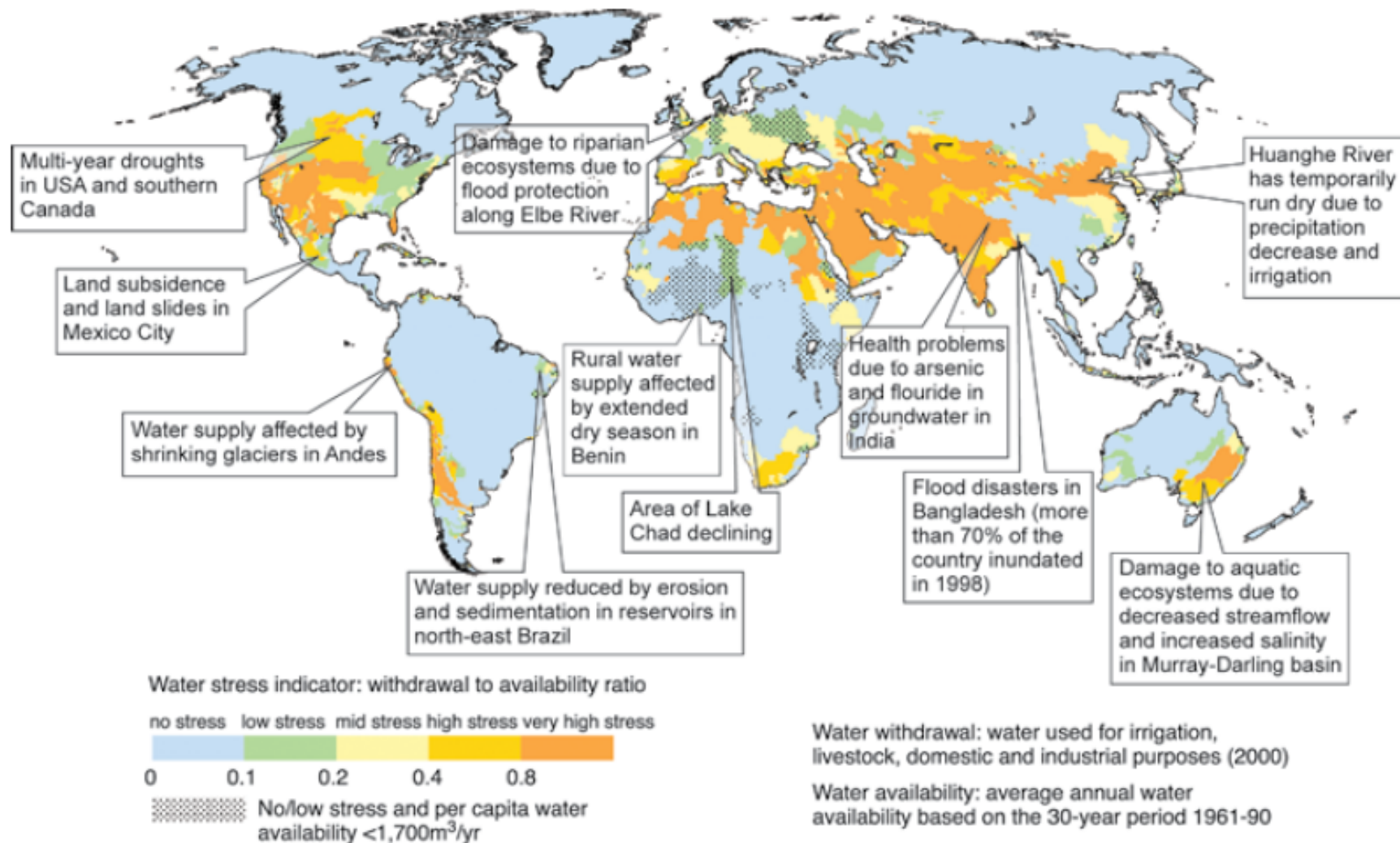
d) Evaporation



**Figure 2.8:** Fifteen-model mean changes in (a) precipitation (%), (b) soil moisture content (%), (c) runoff (%), and (d) evaporation (%). To indicate consistency of sign of change, regions are stippled where at least 80% of models agree on the sign of the mean change. Changes are annual means for the scenario SRES A1B for the period 2080–2099 relative to 1980–1999. Soil moisture and runoff changes are shown at land points with valid data from at least ten models. [Based on WGI Figure 10.12]

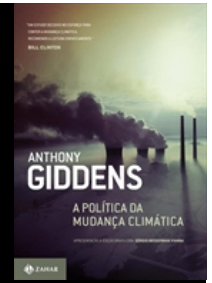


**Figure 2.10:** Large-scale relative changes in annual runoff for the period 2090–2099, relative to 1980–1999. White areas are where less than 66% of the ensemble of 12 models agree on the sign of change, and hatched areas are where more than 90% of models agree on the sign of change (Milly et al., 2005). [Based on SYR Figure 3.5 and WGII Figure 3.4]



*Figure 1.1: Examples of current vulnerabilities of freshwater resources and their management; in the background, a water stress map based on WaterGAP (Alcamo et al., 2003a). See text for relation to climate change. [WGII Figure 3.2]*

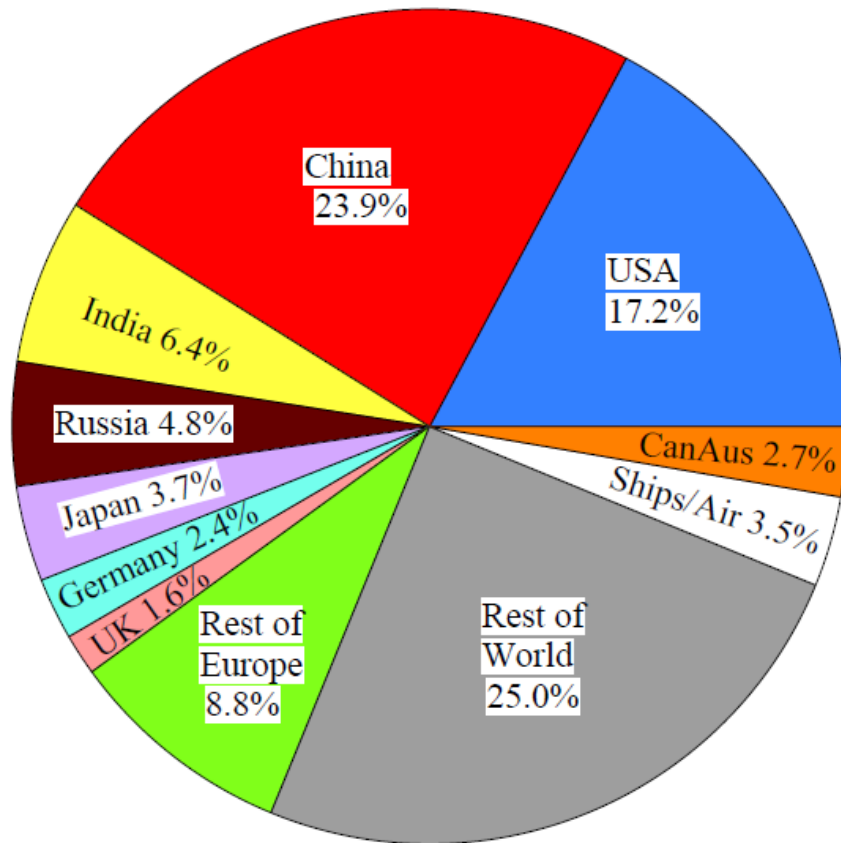
# Política da Mudança Climática (Paradoxo de Giddens)



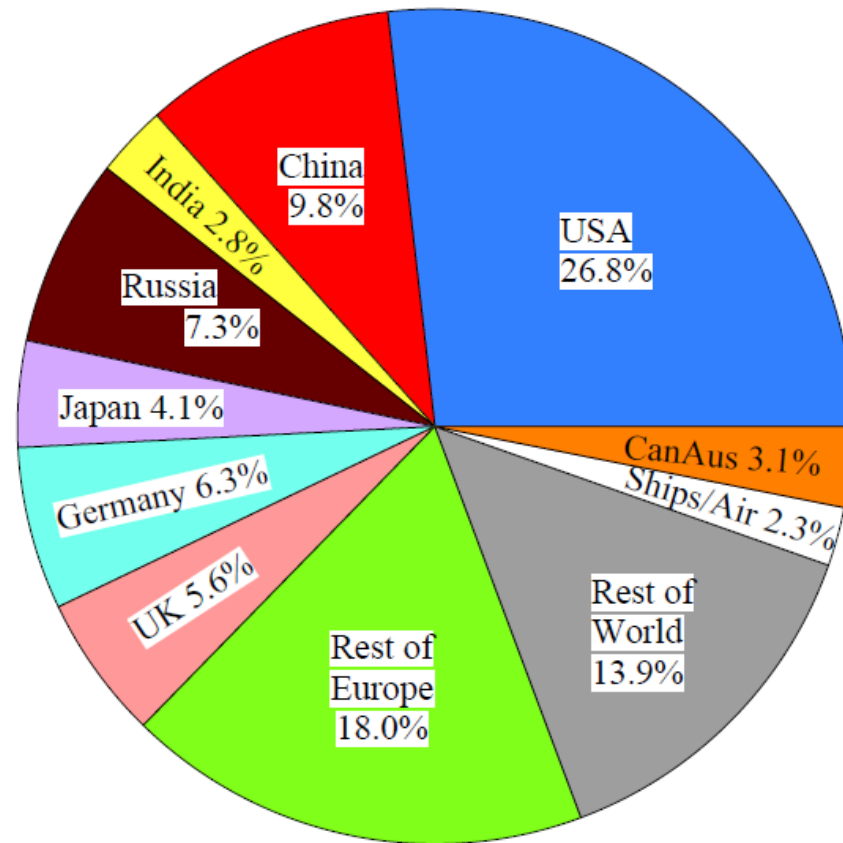
- “Os perigos do aquecimento global não são palpáveis, imediatos ou visíveis no decorrer da vida cotidiana, por mais assustador que se afigurem, muita gente continua sentada, sem fazer nada de completo ao seu respeito. No entanto, esperar que ele se tornem visíveis e agudos para só então tomarmos medidas sérias, por definição, tarde demais”



(a) 2010 Annual Emissions



(b) 1751–2010 Cumulative Emissions



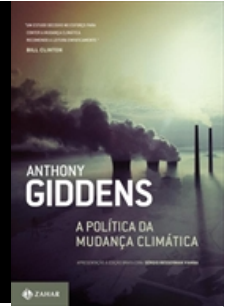
•China tem as maiores emissões de combustíveis fósseis hoje. No entanto, a mudança climática é impulsionado por emissões cumulativas, nações tão desenvolvidos, especialmente os EUA, têm maior responsabilidade.

# Política da Mudança Climática (Para Enfrentar o Aquecimento Global)

- Introduzir na política uma perspectiva de longo prazo
  - Tem que haver algum tipo de planejamento
- Lidar com riscos e incertezas e com maneiras de administrá-los.
- A população necessita participar
- Manter a continuidade da política de mudança climática em países democráticos onde muitos problemas disputam a atenção
- O investimento em recursos energéticos é essencial para combater as mudanças climáticas.
  - Há questões difíceis em termos da tecnologia.

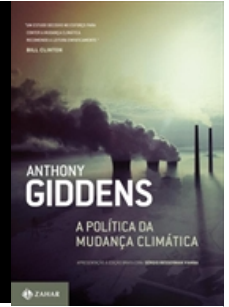


# Política da Mudança Climática (Novos Conceitos)



- **Estado Assegurador**
  - facilitar e assegurar que se alcancem resultados definidos
- **Convergência Política**
  - Superposição da política de mudança climática com outros valores e objetivos políticos
- **Convergência Econômica**
  - Grau em que as inovações econômicas e tecnológicas desenvolvidas para combater o aquecimento global também geram vantagens competitivas para aqueles que as empregam

# Política da Mudança Climática (Estratégias)



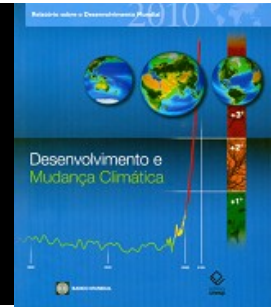
- Imperativo do Desenvolvimento.
  - Os países mais pobres tiveram contribuição marginal no aquecimento global, precisam ter uma chance de se desenvolver mesmo que isto signifique aumento de emissão
- Aliar Mudança Climática a segurança energética
- Contração e Convergência
- Planejar com antecedência mas lembrar que o CURTO PRAZO É A CHAVE PARA O LONGO PRAZO.
- Criar procedimentos detalhados de avaliação de risco
- Adaptação proativa, na medida do possível ao invés da reativa
- Analisar questões geopolíticas em terno do aquecimento global

# Política da Mudança Climática (Estratégias – Três Trilhas)

- **Países Desenvolvidos - Reduzir emissões (contração)**
  - Parcela injusta e insustentável do patrimônio atmosférico
  - Reduzir emissões (contração)
  - Reduzir pegada de carbono
- **Países em Desenvolvimento - Metas de intensidade de Carbono**
  - Imperativo do desenvolvimento
  - Expansão expressiva em energia, transporte, sistemas urbanos e produção agrícola
- **Países Pobres – Adaptação**
  - Imperativo do desenvolvimento



# Abordagem Banco Mundial (Estratégias )



- **Agir Agora**
  - Opções desaparecem
  - Custos aumentam
- **Agir em Conjunto**
  - Chave para manter os custos baixos
  - Enfrentar tanto a mitigação como a adaptação
- **Agir de modo diferente**
  - Necessário para manter um futuro sustentável em um mundo em evolução
  - Reforçar Infraestrutura; produtividade agrícola; eficiência no uso dos recursos hídricos
  - Gestão integrada e planejamento flexível e de longo prazo e larga escala



XI Simpósio de Recursos Hídricos  
do Nordeste

DATA: 27 a 30 de novembro de 2012 - LOCAL: João Pessoa



# TÓPICOS

- Introdução
- Evolução do Clima na Terra:
- Mudança Climática na Escala Global
- **Mudança Climática na Escala Regional: NEB**
- Gestão Adaptativa dos Recursos Hídricos

# Avaliação de Desempenho dos Modelos na Escala Regional

Quais os modelos que melhor representam o século XX?

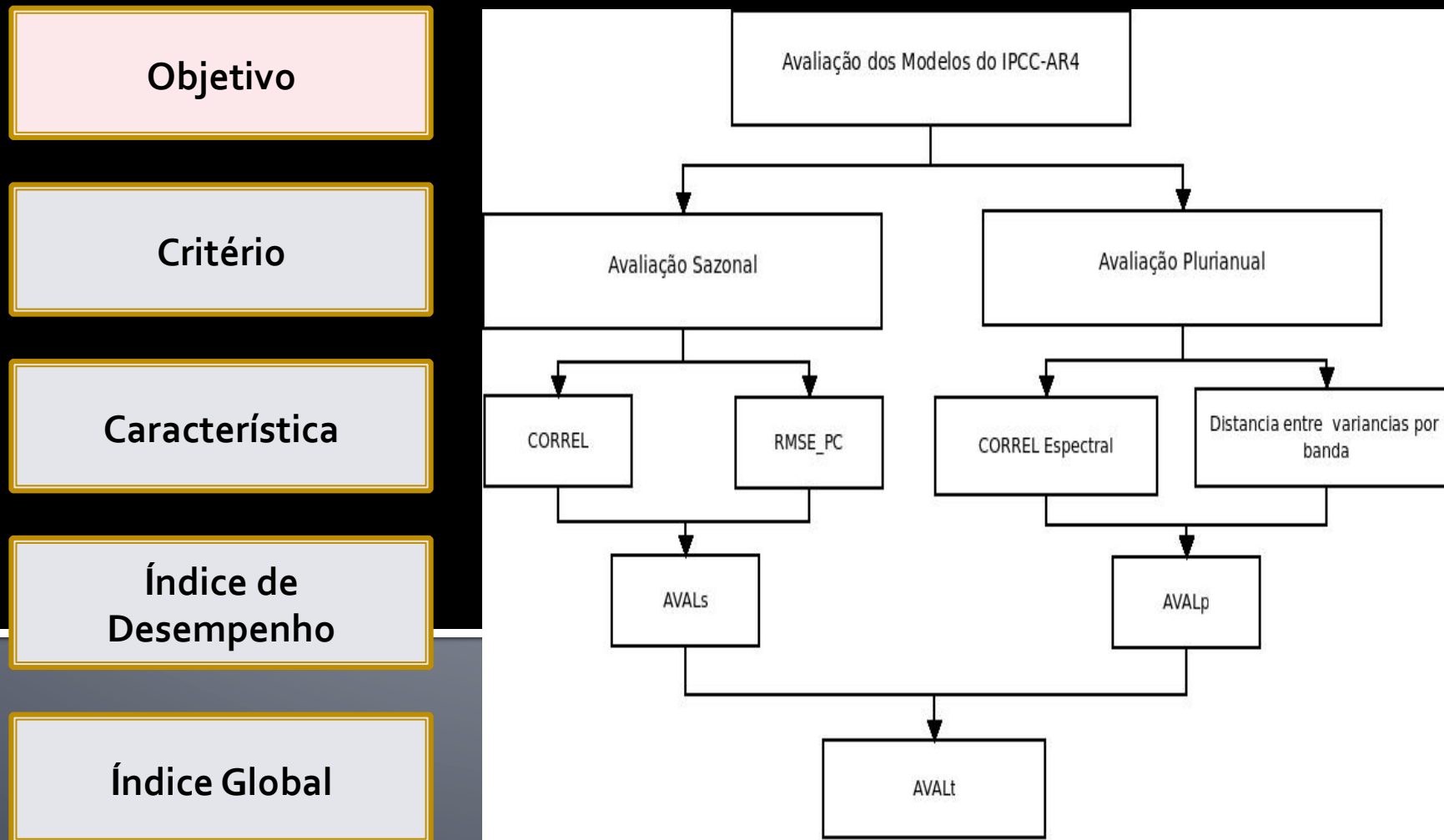


Figura – Método hierárquico dos modelos do IPCC-AR4.



# Quais os impactos das mudanças climáticas na precipitação para estas regiões?

Admite-se que os melhores do século XX possuem uma melhor representação do século XXI

Projeção Sazonal

Projeção Plurianual

Transformada de ondeletas  
Métodos clássicos:  
Man Kendall Sen e outros

Análise de tendência e variabilidade

Projeção total

A partir das projeções dos melhores modelos é feita uma Análise identificando as mais prováveis condições do futuro

# Região de Estudo

## NORDESTE

- ✓ ZCIT, frentes frias,
- ✓ VCAS, linhas de instabilidade.

## AMAZÔNIA

- ✓ Radiação solar controlada pela nebulosidade advinda da convecção amazônica
- ✓ posição da Alta Bolívia.

## BACIA DA PRATA

- ✓ Sistemas frontais, Ciclones e frentes frias
- ✓ influencia da ZCAS.

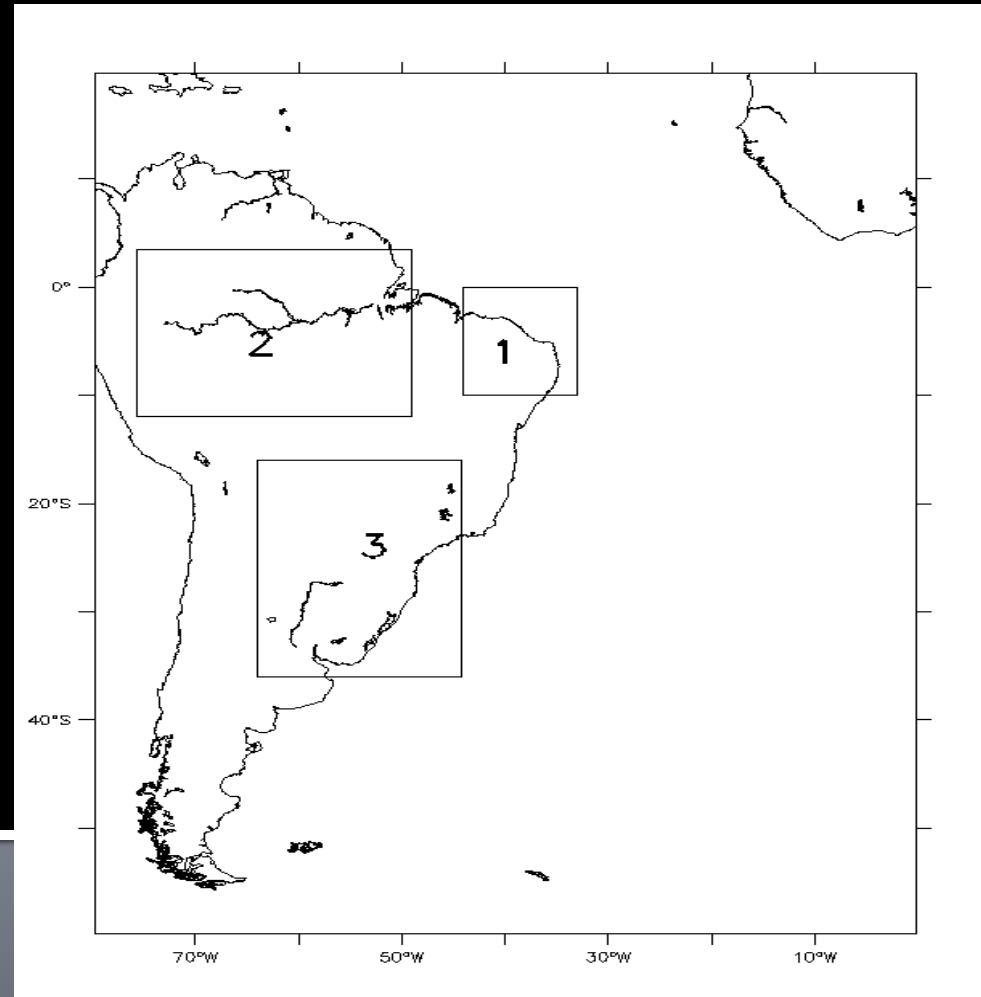


Figura 3.3 – Regiões do Nordeste, Amazônia e bacia da Prata

# RESULTADOS E ANÁLISES – PRECIPITAÇÃO SAZONAL

| Modelos                | NEB  |                   | Bacia da Prata |                   | Amazônia |                   |
|------------------------|------|-------------------|----------------|-------------------|----------|-------------------|
|                        | Clas | Aval <sub>s</sub> | Clas           | Aval <sub>s</sub> | Clas     | Aval <sub>s</sub> |
| → bccr.bcm2.0.run1     | 2    | 0,956             | 4              | 0,780             | 14       | 0,730             |
| cccma.cgcm3.1.run1     | 14   | 0,785             | 7              | 0,670             | 13       | 0,748             |
| cccma.cgcm3.1.t63.run1 | 11   | 0,798             | 3              | 0,795             | 7        | 0,853             |
| cnrm.cm3.run1          | 3    | 0,927             | 9              | 0,650             | 6        | 0,853             |
| csiro.mk3.0.run1       | 13   | 0,792             | 16             | 0,480             | 3        | 0,938             |
| → csiro.mk3.5.run1     | 20   | 0,651             | 21             | 0,234             | 23       | 0,454             |
| gfdl.cm2.0.run1        | 15   | 0,767             | 22             | 0,225             | 17       | 0,648             |
| gfdl.cm2.1.run1        | 8    | 0,837             | 24             | 0,047             | 19       | 0,602             |
| giss.aom.run1          | 22   | 0,586             | 2              | 0,811             | 11       | 0,786             |
| → giss.model.e.h.run1  | 7    | 0,863             | 11             | 0,588             | 1        | 0,976             |
| giss.model.e.r.run1    | 4    | 0,911             | 18             | 0,409             | 10       | 0,812             |
| iap.fgoals1.0.g.run1   | 6    | 0,879             | 12             | 0,566             | 21       | 0,549             |
| ingv.echam4.run1       | 9    | 0,809             | 6              | 0,690             | 12       | 0,773             |
| inmcm3.0.run1          | 17   | 0,707             | 10             | 0,609             | 4        | 0,883             |
| ipsl.cm4.run1          | 5    | 0,903             | 23             | 0,156             | 9        | 0,837             |
| miroc3.2.hires.run1    | 12   | 0,794             | 5              | 0,706             | 8        | 0,850             |
| miroc3.2.medres.run1   | 16   | 0,766             | 15             | 0,526             | 16       | 0,701             |
| miub.echo.g.run1       | 21   | 0,599             | 13             | 0,556             | 22       | 0,464             |
| mpi.echam5.run1        | 23   | 0,582             | 14             | 0,498             | 15       | 0,717             |
| → mri.cgcm2.3.2a.run1  | 1    | 0,994             | 17             | 0,452             | 18       | 0,607             |
| ncar.cesm3.0.run1      | 19   | 0,676             | 20             | 0,315             | 20       | 0,595             |
| → ncar.pcm1.run1       | 24   | 0                 | 19             | 0,374             | 24       | 0,119             |
| ukmo.hadcm3.run1       | 10   | 0,807             | 8              | 0,635             | 5        | 0,870             |
| → ukmo.hadgem1.run1    | 18   | 0,684             | 1              | 0,931             | 2        | 0,941             |

Tabela 3 – Classificação e AVAL<sub>s</sub> dos modelos do IPCC-AR<sub>4</sub> para  $\alpha_c$  igual 0,5 e para as três regiões avaliadas.

# RESULTADOS E ANÁLISES – PRECIPITAÇÃO SAZONAL

## AVALIAÇÃO ESPACIAL

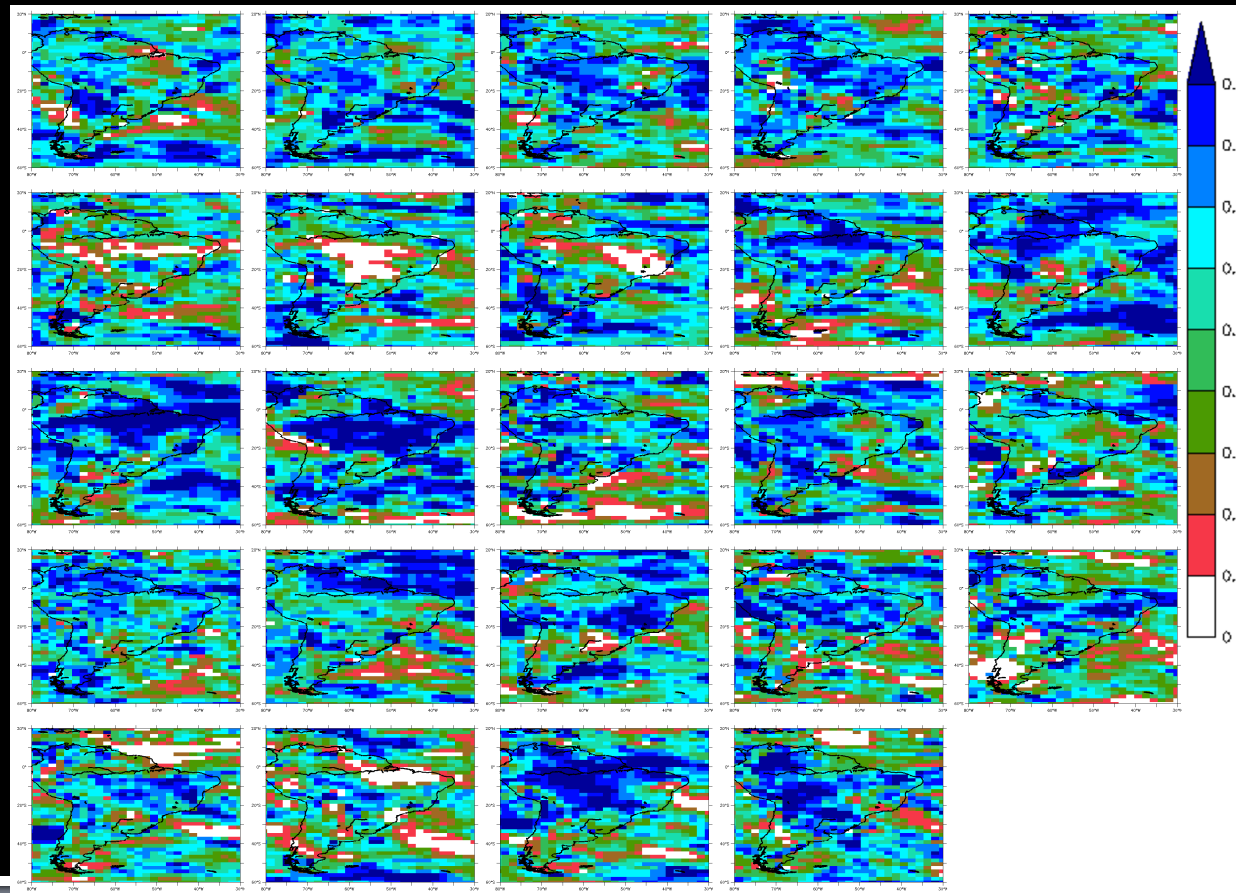
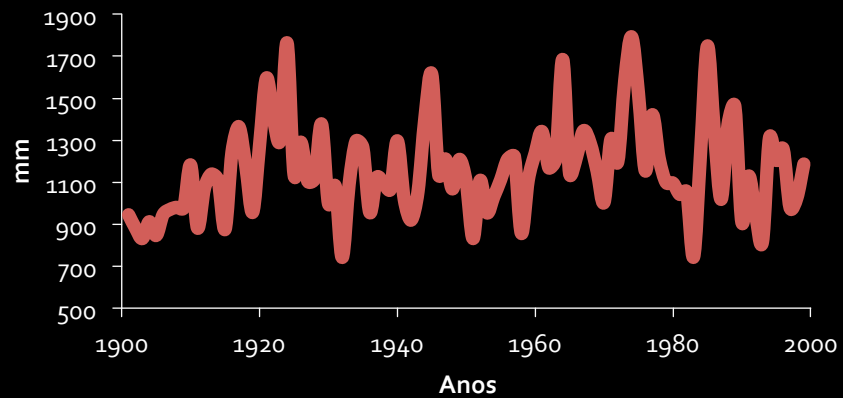


Figura - AVAL<sub>5</sub> dos modelos do IPCC em relação à climatologia da Análise CRU/NOAA.  
BCCR.BCM2.0, CCCMA.CGCM3.1, CCCMA.CGCM3.1.T63, CNRM.CM3, CSIRO.MK3.0,  
CSIRO.MK3.5, GFDL.CM2.0, GFDL.CM2.1, GISS.AOM, GISS.MODEL.E.H,  
GISS.MODEL.E.R, IAP.FGOALS1.0.G, INGV.ECHAM4, INMCM3.0, IPSL.CM4, MIROC3.2.HIRES,  
MIROC3.2.MEDRES, MIUB.ECHO.G, MPI.ECHAM5, MRI.CGCM2.3.2A, NCAR.CCSM3.0,  
NCAR.PCM1, UKMO.HADCM3, UKMO.HADGEM1

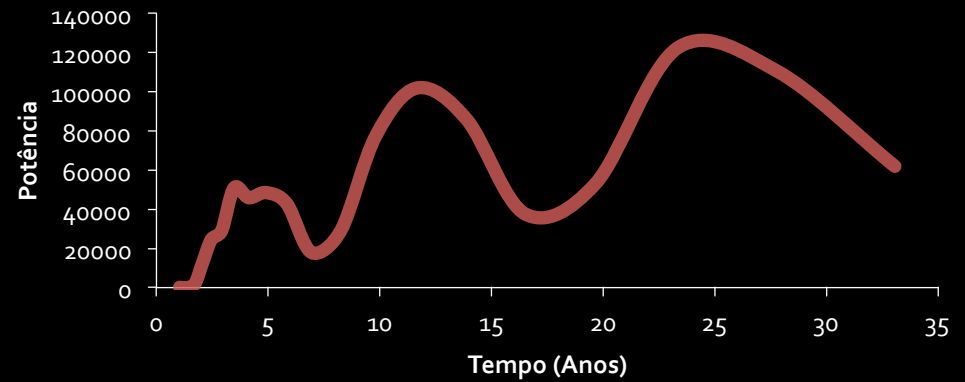
# RESULTADOS E ANÁLISES

## VARIABILIDADE PLURIANUAL: TRANSFORMADA DE ONDELETAS

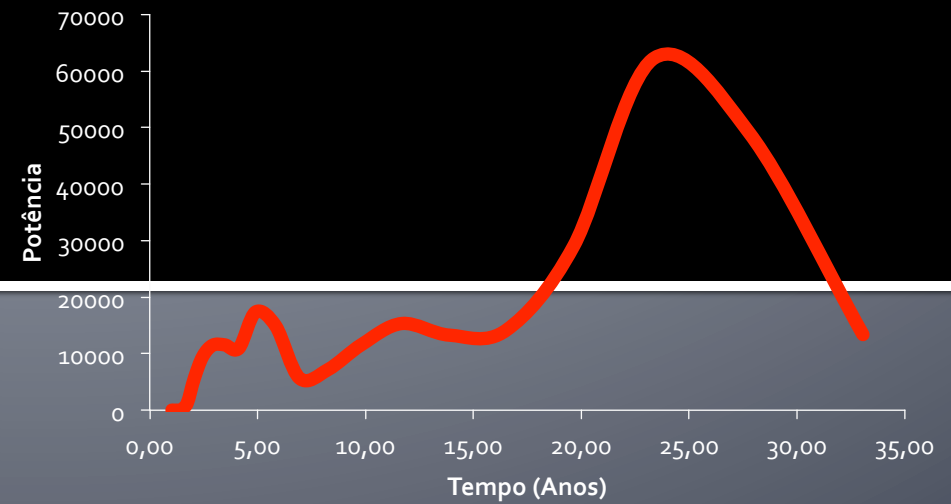
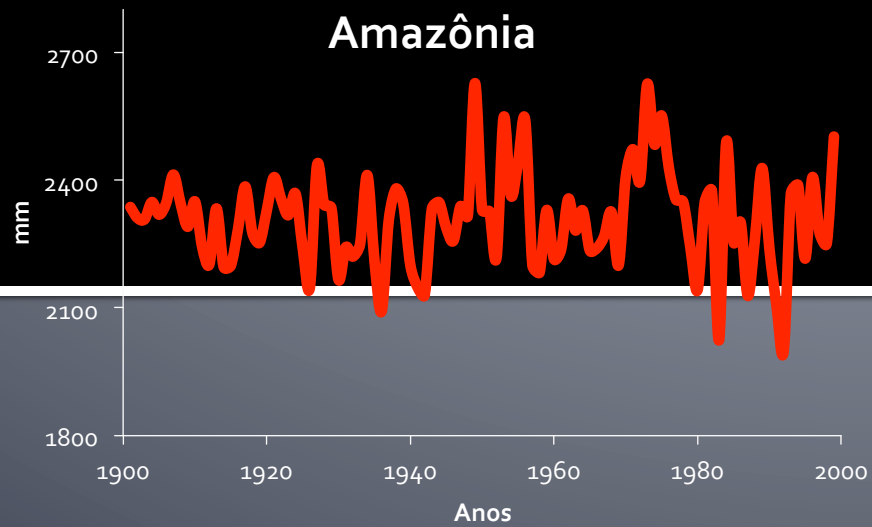
### Nordeste



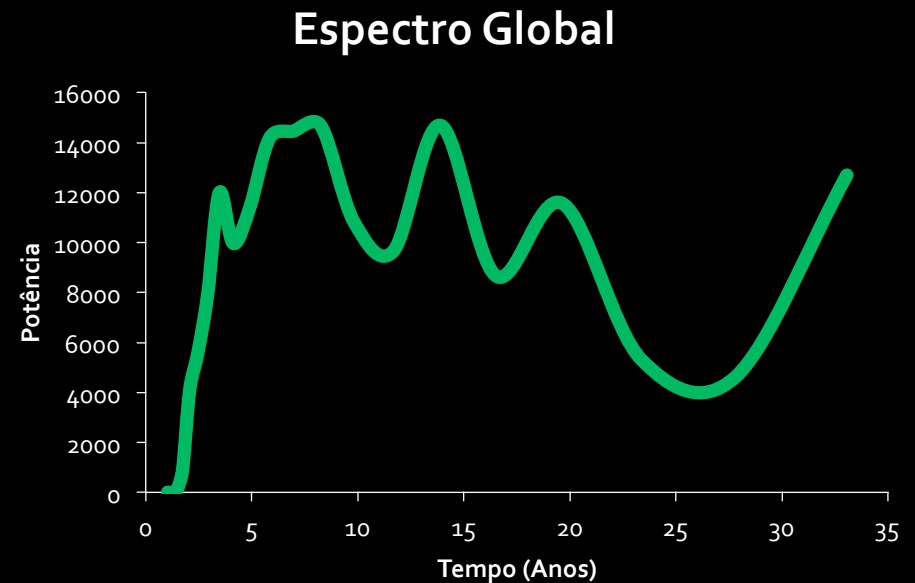
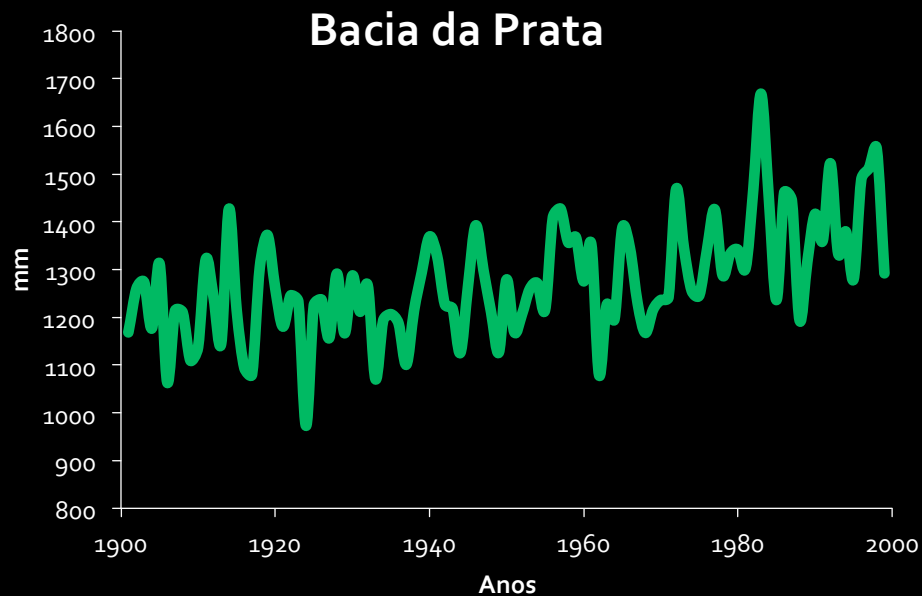
### Espectro Global



### Amazônia



# RESULTADOS E ANÁLISES – VARIABILIDADE PLURIANUAL: TRANSFORMADA DE ONDELETAS



**Tabela – Principais bandas das regiões avaliadas**

|            | <b>Banda 1</b> | <b>Banda 2</b>  | <b>Banda 3</b>   |
|------------|----------------|-----------------|------------------|
| <b>AMA</b> | 2 a 6 anos     | 8,2 a 13,9 anos | 19,6 a 27,8 anos |
| <b>NEB</b> | 3 a 6 anos     | 9 a 14 anos     | 19 a 33 anos     |
| <b>PRA</b> | 2,9 a 8,2 anos | 11 a 15 anos    | 16,5 a 25 anos   |

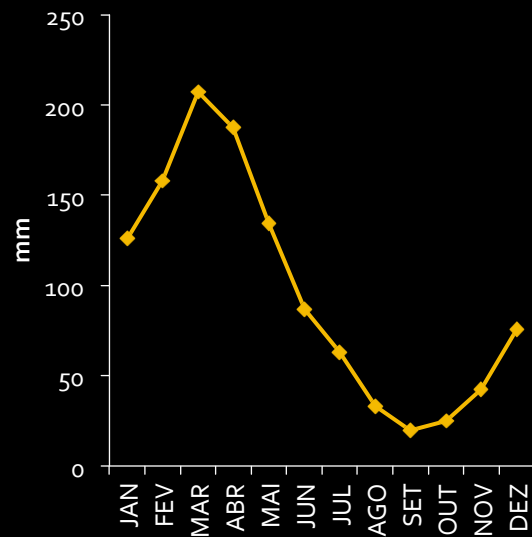
# RESULTADOS E ANÁLISES – AVALIAÇÃO GERAL

| Modelos              | AMAZ | PRA | NEB | Modelos              | AMAZ | PRA | NEB |
|----------------------|------|-----|-----|----------------------|------|-----|-----|
| bccr.bcm2.0.run1     | 48   | 59  | 8   | iap.fgoals1.0.g.run3 | 39   | 66  | 40  |
| cccma.cgcm3.1.run1   | 3    | 4   | 17  | ingv.echam4.run1     | 4    | 42  | 44  |
| cccma.cgcm3.1.run2   | 45   | 1   | 20  | inmcm3.0.run1        | 34   | 52  | 48  |
| cccma.cgcm3.1.run3   | 55   | 21  | 11  | ipsl.cm4.run1        | 6    | 24  | 32  |
| cccma.cgcm3.1.run4   | 32   | 10  | 25  | miroc3.2.hires.run1  | 7    | 20  | 36  |
| cccma.cgcm3.1.run5   | 51   | 73  | 49  | miroc3.2.medres.run1 | 22   | 57  | 10  |
| cgcm3.1.t63.run1     | 5    | 43  | 9   | miroc3.2.medres.run2 | 19   | 60  | 29  |
| cnrm.cm3.run1        | 23   | 37  | 12  | miroc3.2.medres.run3 | 71   | 28  | 15  |
| csiro.mk3.0.run1     | 2    | 27  | 7   | miub.echo.g.run1     | 49   | 14  | 52  |
| csiro.mk3.0.run2     | 41   | 40  | 1   | miub.echo.g.run2     | 47   | 71  | 69  |
| csiro.mk3.0.run3     | 15   | 69  | 2   | miub.echo.g.run3     | 27   | 64  | 55  |
| csiro.mk3.5.run1     | 50   | 49  | 61  | miub.echo.g.run4     | 13   | 53  | 58  |
| csiro.mk3.5.run2     | 60   | 51  | 30  | miub.echo.g.run5     | 18   | 68  | 65  |
| csiro.mk3.5.run3     | 17   | 17  | 42  | mpi.echam5.run1      | 66   | 35  | 64  |
| gfdl.cm2.0.run1      | 59   | 11  | 56  | mpi.echam5.run2      | 31   | 12  | 67  |
| gfdl.cm2.0.run2      | 42   | 2   | 46  | mpi.echam5.run3      | 70   | 44  | 71  |
| gfdl.cm2.0.run3      | 21   | 62  | 53  | mpi.echam5.run4      | 69   | 15  | 34  |
| gfdl.cm2.1.run1      | 62   | 33  | 47  | mri.cgcm2.3.2a.run1  | 28   | 41  | 19  |
| gfdl.cm2.1.run2      | 36   | 46  | 38  | mri.cgcm2.3.2a.run2  | 65   | 30  | 31  |
| giss.aom.run1        | 40   | 55  | 24  | mri.cgcm2.3.2a.run3  | 29   | 25  | 3   |
| giss.aom.run2        | 33   | 26  | 43  | mri.cgcm2.3.2a.run4  | 53   | 31  | 60  |
| giss.model.e.h.run1  | 20   | 6   | 45  | ncar.cesm3.0.run1    | 68   | 38  | 66  |
| giss.model.e.h.run2  | 14   | 47  | 28  | ncar.cesm3.0.run2    | 64   | 36  | 54  |
| giss.model.e.h.run3  | 9    | 8   | 16  | ncar.cesm3.0.run3    | 46   | 70  | 62  |
| giss.model.e.h.run4  | 24   | 29  | 26  | ncar.cesm3.0.run4    | 57   | 5   | 59  |
| giss.model.e.h.run5  | 63   | 22  | 14  | ncar.cesm3.0.run5    | 58   | 61  | 39  |
| giss.model.e.r.run1  | 10   | 65  | 21  | ncar.cesm3.0.run6    | 16   | 23  | 50  |
| giss.model.e.r.run2  | 25   | 34  | 4   | ncar.cesm3.0.run7    | 30   | 13  | 63  |
| giss.model.e.r.run3  | 44   | 48  | 22  | ncar.cesm3.0.run9    | 35   | 16  | 72  |
| giss.model.e.r.run4  | 8    | 18  | 27  | ncar.pcm1.run1       | 12   | 3   | 70  |
| giss.model.e.r.run5  | 1    | 39  | 13  | ncar.pcm1.run2       | 43   | 67  | 68  |
| giss.model.e.r.run6  | 1    | 19  | 6   | ncar.pcm1.run3       | 54   | 56  | 73  |
| giss.model.e.r.run7  | 56   | 7   | 33  | ncar.pcm1.run4       | 38   | 50  | 41  |
| giss.model.e.r.run8  | 26   | 32  | 2   | ukmo.hadcm3.run1     | 37   | 54  | 5   |
| giss.model.e.r.run9  | 67   | 58  | 18  | ukmo.hadcm3.run2     | 61   | 9   | 23  |
| iap.fgoals1.0.g.run1 | 72   | 63  | 51  | ukmo.hadgem1.run1    | 52   | 45  | 37  |
| iap.fgoals1.0.g.run2 | 73   | 72  | 57  |                      |      |     |     |

Tabela 7- Classificação Geral dos modelos do CMPI<sub>3</sub> (IPCC-AR<sub>4</sub>) para  $\alpha_c = \beta_c = \gamma_c = 0,5$ .

# ANÁLISES DAS PROJEÇÕES SAZONAIS

## NORDESTE



2010-2039

2040-2069

2070-2099

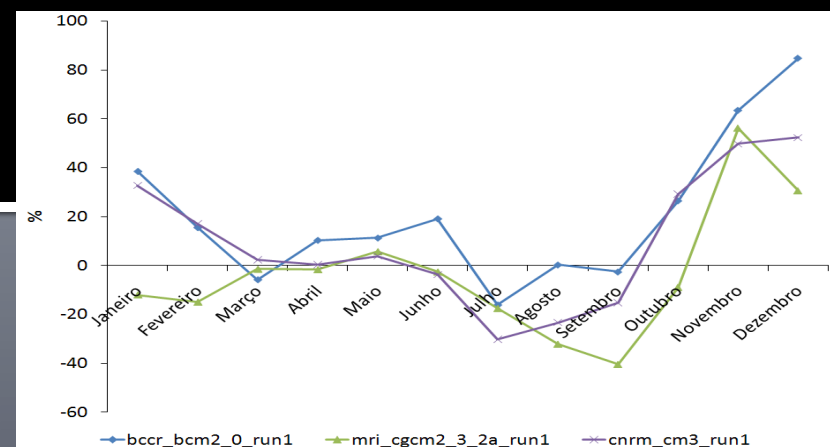
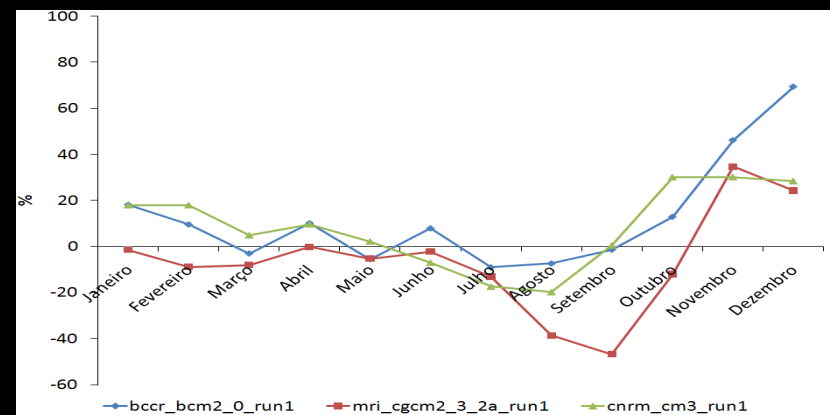
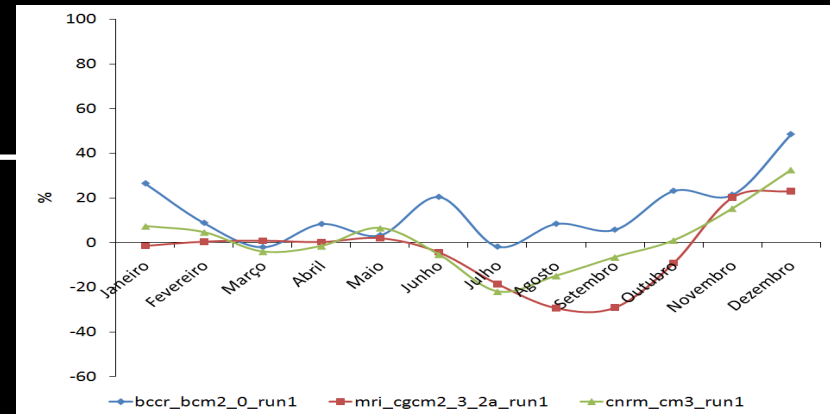


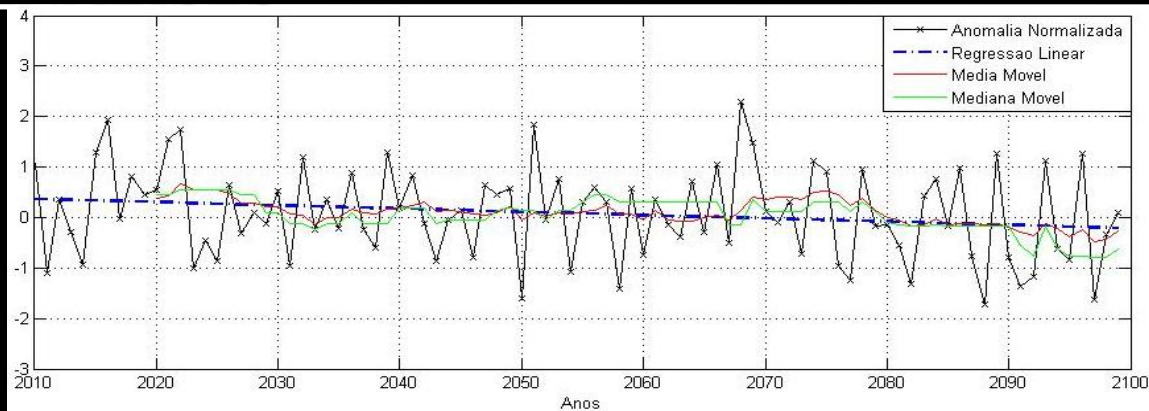
Figura – Anomalia de precipitações mensais com relação ao século XX no NEB.



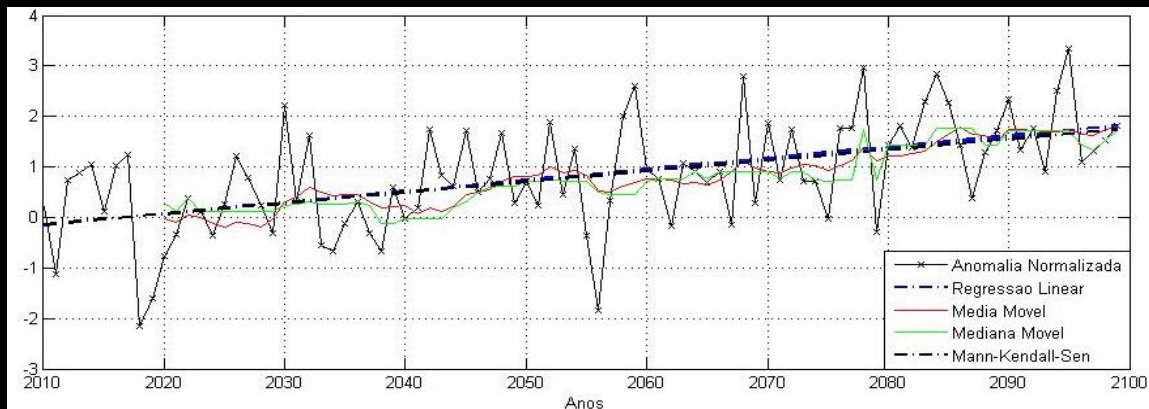
# RESULTADOS E ANÁLISES – TENDÊNCIA PLURIANUAL

## NORDESTE

MRI.CGCM2.3.2A.RUN3



GISS.MODEL.E.R.RUN2



UKMO.HADCM3.RUN1

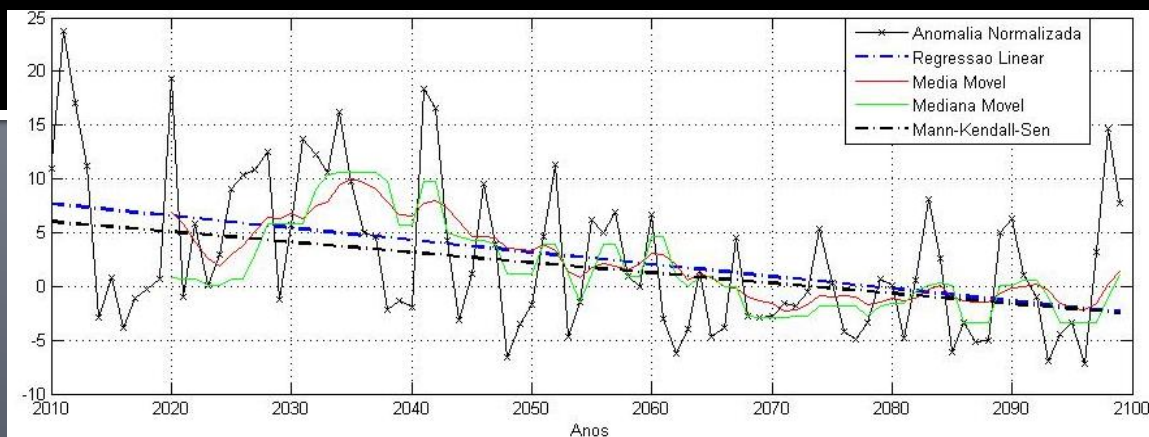


Figura – Anomalias de precipitação para o período de 2010 a 2099 e medidas de tendência para o NEB.

# RESULTADOS E ANÁLISES – TENDÊNCIA PLURIANUAL

## NORDESTE

Tendência Positiva  
11 modelos  
Tendência Negativa  
5 modelos

| Modelos do IPCC-AR4    | Teste de Hipótese | Tendência mm/ano | Modelos do IPCC-AR4  | Teste de Hipótese | Tendência mm/ano |
|------------------------|-------------------|------------------|----------------------|-------------------|------------------|
| bccr_bcm2_0_run1       | 0                 | -                | miroc3_2_medres_run1 | 0                 | -                |
| cccma_cgcm3_1_run1     | 0                 | -                | miroc3_2_medres_run2 | 0                 | -                |
| cccma_cgcm3_1_run2     | 0                 | -                | miroc3_2_medres_run3 | 0                 | -                |
| cccma_cgcm3_1_run3     | 1                 | -1,45            | miub_echo_g_run1     | 0                 | -                |
| cccma_cgcm3_1_run4     | 0                 | -                | miub_echo_g_run2     | 1                 | -1,33            |
| cccma_cgcm3_1_run5     | 0                 | -                | miub_echo_g_run3     | 0                 | -                |
| cccma_cgcm3_1_t63_run1 | 0                 | -                | mpi_echam5_run1      | 0                 | -                |
| cnrm_cm3_run1          | 1                 | 2,53             | mpi_echam5_run2      | 0                 | -                |
| csiro_mk3_0_run1       | 1                 | 2,51             | mpi_echam5_run3      | 0                 | -                |
| gfdl_cm2_0_run1        | 0                 | -                | mpi_echam5_run4      | 0                 | -                |
| gfdl_cm2_1_run1        | 0                 | -                | mri_cgcm2_3_2a_run2  | 0                 | -                |
| giss_aom_run1          | 1                 | 1,53             | mri_cgcm2_3_2a_run3  | 0                 | -                |
| giss_aom_run2          | 0                 | -                | mri_cgcm2_3_2a_run4  | 0                 | -                |
| giss_model_e_h_run1    | 0                 | -                | ncar_ccsm3_0_run1    | 0                 | -                |
| giss_model_e_h_run2    | 0                 | -                | ncar_ccsm3_0_run2    | 0                 | -                |
| giss_model_e_h_run3    | 1                 | 1,17             | ncar_ccsm3_0_run3    | 0                 | -                |
| giss_model_e_r_run2    | 1                 | 3,28             | ncar_ccsm3_0_run5    | 0                 | -                |
| giss_model_e_r_run4    | 1                 | 5,23             | ncar_ccsm3_0_run6    | 0                 | -                |
| iap_fgoals1_0_g_run1   | 1                 | -1,37            | ncar_ccsm3_0_run7    | 0                 | -                |
| iap_fgoals1_0_g_run2   | 0                 | -                | ncar_pcm1_run1       | 1                 | 0,52             |
| iap_fgoals1_0_g_run3   | 1                 | -1,25            | ncar_pcm1_run2       | 0                 | -                |
| ingv_echam4_run1       | 0                 | -                | ncar_pcm1_run3       | 0                 | -                |
| inmcm3_0_run1          | 1                 | 1,72             | ncar_pcm1_run4       | 0                 | -                |
| ipsl_cm4_run1          | 1                 | 4,61             | ukmo_hadcm3_run1     | 1                 | -4,24            |
| miroc3_2_hires_run1    | 1                 | 3,03             | ukmo_hadgem1_run1    | 1                 | 4,42             |

Figura – Teste de Hipótese para a região do Nordeste.

# Stationarity Is Dead: Whither Water Management?

P. C. D. Milly,<sup>1\*</sup> Julio Betancourt,<sup>2</sup> Malin Falkenmark,<sup>3</sup> Robert M. Hirsch,<sup>4</sup> Zbigniew W. Kundzewicz,<sup>5</sup> Dennis P. Lettenmaier,<sup>6</sup> Ronald J. Stouffer<sup>7</sup>

Systems for management of water throughout the developed world have been designed and operated under the assumption of stationarity. Stationarity—the idea that natural systems fluctuate within an unchanging envelope of variability—is a foundational concept that permeates training and practice in water-resource engineering. It implies that any variable (e.g., annual streamflow or annual flood peak) has a time-invariant (or 1-year-periodic) probability density function (pdf), whose properties can be estimated from the instrument record. Under stationarity, pdf estimation errors are acknowledged, but have been assumed to be reducible by additional observations, more efficient estimators, or regional or paleohydrologic data. The pdfs, in turn, are used to evaluate and manage risks to water supplies, waterworks, and floodplains; annual global investment in water infrastructure exceeds U.S.\$500 billion (1).



An uncertain future challenges water planners.

In view of the magnitude and ubiquity of the hydroclimatic change apparently now

Climate change undermines a basic assumption that historically has facilitated management of water supplies, demands, and risks.

that has emerged from climate models (figure, p. 574).

*Why now?* That anthropogenic climate change affects the water cycle (9) and water supply (10) is not a new finding. Nevertheless, sensible objections to discarding stationarity have been raised. For a time, hydroclimate has not demonstrably exited the envelope of natural variability and/or the effective range of optimally operated infrastructure (11). Accounting for the substantial uncertainty of climatic parameters estimated from short records (13) effectively hedged against such climate changes. Additionally, climate predictions were not considered credible (12, 14).

Recent developments have led us to opinion that the time has come to move beyond the wait-and-see approach. Projections of runoff changes are bolstered by recently demonstrated retrodictive skill of climate models. The global pattern of observed annual streamflow trends is unlikely to be



XI Simpósio de Recursos Hídricos  
do Nordeste

DATA: 27 a 30 de novembro de 2012 - LOCAL: João Pessoa



# TÓPICOS

- Introdução
- Evolução do Clima na Terra:
- Mudança Climática na Escala Global
- Mudança Climática na Escala Regional: NEB
- **Gestão Adaptativa dos Recursos Hídricos**

# Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (IWRM)

- O Propósito da gestão dos recursos hídricos é prover água de forma adequada para o ambiente natural e humano.
- ***IWRM balanceia as visões e objetivos dos grupos políticos afetados, regiões geográficas, propósitos da gestão de águas, e proteção do suprimento para os sistemas naturais e ecossistemas***
- Integração
  - Componentes do ciclo hidrológico
  - Água com Ambientes Ecológico e Intersectorial
  - Desenvolvimento social e econômico



# GESTÃO INTEGRADA (de que ?)

- Integração dos Componentes do Ciclo Hidrológico (aérea, superficial, subsuperficial, subterrâneo)
- Integração dos Aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos
- Integração das esferas de poder público (municipal, estadual e federal)
- Integração das Políticas Públicas (Recursos Hídricos, Ambiental, Saneamento, Energia...)
- Integração das esferas econômicas do setor público e privado
- Integração das componentes do desenvolvimento (social, econômico e proteção ao meio ambiente)



# Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (IWRM)

- **Há um amplo consenso sobre a IWRM**
  - Processo no qual promove-se a coordenação do desenvolvimento e gestão dos recursos hídricos, terra e recursos relacionados de forma a maximizar os resultados econômicos e bem estar social de forma equilibrada sem comprometer a vida dos ecossistemas
- **Há críticas**
  - Conceito vago
  - Não é possível integrar diversos tópicos e gestão em um propósito específico de forma simultânea
  - Falta de exemplos de sucesso de IWRM
  - Ênfase no processo sem clara definição de objetivos mensuráveis

# Gestão Adaptativa para um Mundo em Mudança

- O sistema de recursos hídricos necessita de um novo procedimento para tratar com:
  - **COMPLEXIDADE**
    - Competência
  - **CONFLITO**
    - Cooperação
    - Coordenação
    - Comunicação
  - **INCERTEZA**
    - Gestão de Risco





# ADAPTAÇÃO

## Governança Adaptativa em Sistemas Complexos

- Fornecimento de Informação
- Tratar com Conflitos
- Induzir o cumprimento das regras
- Prover Infra-estrutura
- Estar Preparado para Mudanças
- Gerenciar o Risco



Elinor Ostrom



# Gestão Adaptativa dos Recursos Hídricos

- Define-se como processo sistemático de melhoria da política e práticas através do aprendizado sistemático dos resultados de estratégias de gestão implementadas levando em conta mudanças em fatores externos.
- Aprender fazendo
- Tratar com incertezas: imprevisibilidade do desenvolvimento, conhecimento incompleto, perspectivas de conflitos, dimensões das mudanças
- Gestão Adaptativa e Governança Adaptativa

# Fundamentais para a Governança Adaptativa em Recursos Hídricos

## ■ **Informação e Conhecimento**

- geração e disponibilização de informações confiáveis e conhecimento sobre os sistemas naturais e humanos, incorporando as incertezas naturais e epistêmicas (existência de cadastros confiáveis e atuais de usuários, informação sobre as cultura, utilização de previsão climática, monitoramento, séries hidrológicas longas, base espacial de dados, etc);

## ■ **Gestão de conflitos**

- mecanismos para resolução de potenciais conflitos (existência de comitês de bacia, estímulo da participação do usuário, existência de mecanismos de alocação negociada, flexibilidade na alocação em anos secos, existência de planos de contingência, capital social, etc);

## ■ **Cumprimento de Regras**

- regras de utilização dos recursos bem definidas e adaptadas à realidade local, de amplo conhecimento, e com mecanismos que induzam o seu cumprimento, com sanções compatíveis às violações;

## ■ **Presença de infraestrutura física, tecnológica e institucional**

- a forma com que os recursos hídricos serão gerenciados depende da *infraestrutura física* existente (reservatórios, canais, adutoras, poços, etc), da *tecnologia disponível* (modelagem para previsão de Tempo e Clima, hidrológica e agrícola, modelos para simulação e operação de sistemas hídricos, sistema de monitoramento meteorológico e hidrológico, etc) e do *arcabouço institucional* (diversidade institucional, aninhamento das instituições, participação do usuário, etc);

## ■ **Aprendizado e Adaptação**

- as instituições devem ser concebidas para proporcionar a adaptação para lidar com novos problemas e contextos de mudança. O “aprendizado social”, baseado em participação diversa, através da qual surgem novos entendimentos compartilhados sobre as condições e problemas dos recursos, é considerado fundamental para a governança eficiente de recursos hídricos. Os instrumentos da gestão da demanda podem ser entendidos como essenciais para garantir o aumento da resiliência do sistema diante das incertezas e das mudanças.

# Medidas de adaptação necessárias para operacionalizar os cinco princípios da gestão adaptativa

## ■ ***Redução Vulnerabilidade do sistema***

- a partir de ações estruturais e não estruturais dos sistemas hídricos como os modelos legais, institucionais e técnicos e os procedimentos econômicos - considerando as mudanças e a variabilidade climática;

## ■ ***Flexibilidade e capacidade de adaptação***

- alcançada através de ações estruturais e não estruturais. Como exemplo dos processo que estão associados a esta flexibilidade cita-se: a) o sistema de alocação de água flexível deverá prevê formas ágeis de realocação de água em anos secos; b) um sistema de oferta hídrica que disponha de mananciais alternativos (tais como reuso e dessalinização) e boa capacidade de transporte espacial desta disponibilidade;

## ■ ***Água como uma política pública fundamental para o desenvolvimento das demais políticas setoriais.***

- Analisar os processos e condicionantes históricos que levaram a afirmar que o entendimento de que o homem é o foco da questão, e que de uma certa forma, faz-se necessário conviver e integrar diferentes formas e setores de produção (da subsistência a indústria petroquímica) são elementos indispensáveis para a construção de uma solução socialmente justa e tecnicamente sustentável para o Nordeste;

## ■ ***Gestão da oferta (infraestrutura hidráulica e transposições de bacias)***

- através do aumento da capacidade de armazenamento de água, transportando a água no tempo, mitigará os efeitos da variabilidade temporal, e através das transposições de bacias para mitigar os efeitos da variabilidade espacial. Indica-se ainda outras fontes de suprimento alternativo: tais como reuso da água e dessalinização; aprimorar os sistemas de operação de reservatórios de curto prazo incorporando previsão climática; e aprimorar as ferramentas de operação de reservatórios de longo prazo com vistas a incorporar as incertezas oriundas da variabilidade e mudança climáticas;

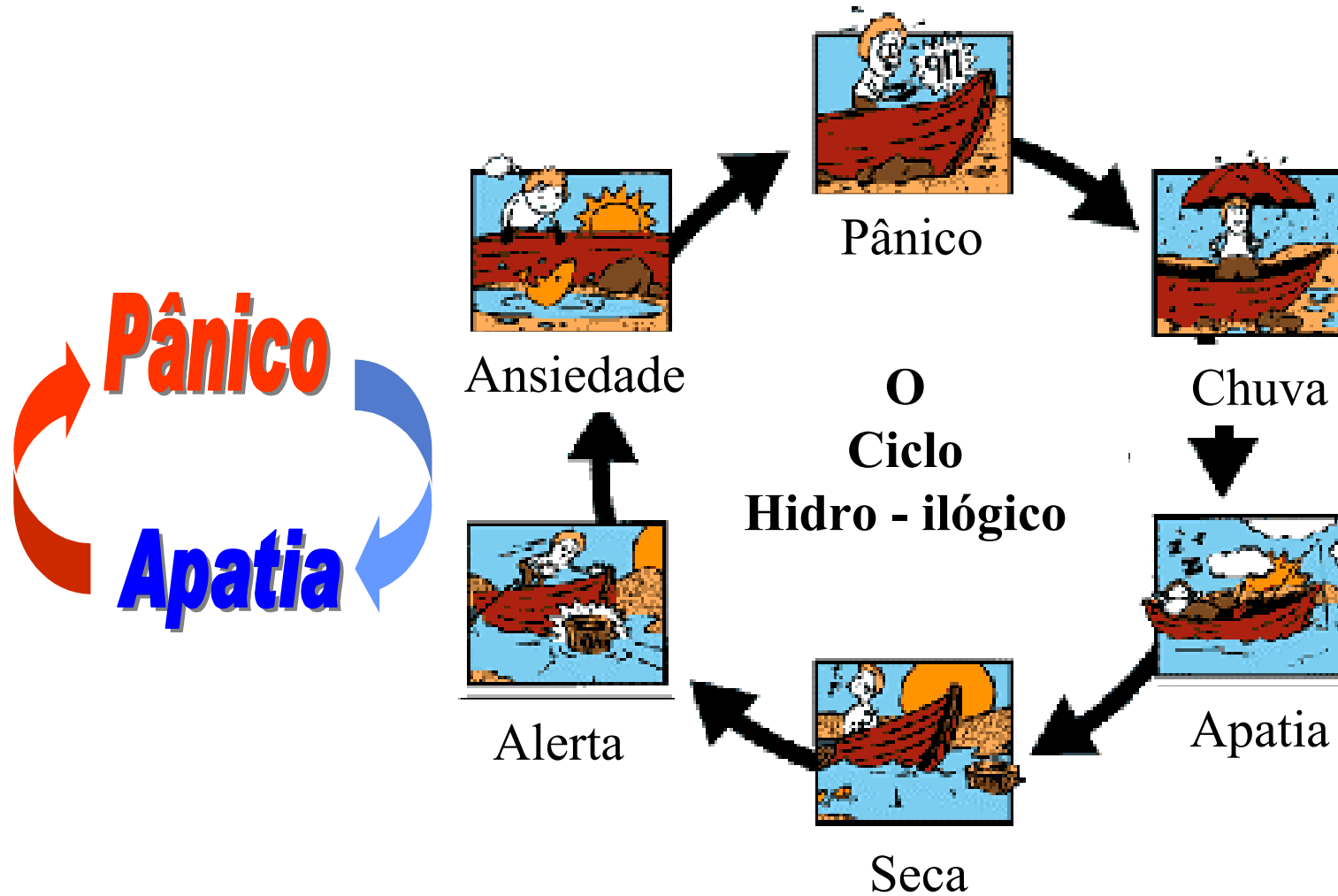
## ■ ***Gestão da demanda e a adaptação institucional***

- como instrumentos essenciais para garantir o aumento da resiliência do sistema diante das incertezas e da variabilidade climática. Para isso sugerem os seguintes programas: a) cadastro de usuários de água; b) programa de hidrometração; c) programa para adaptar às mudanças; e d) transposições e integração de bacias; e) fiscalização como instrumento de garantia do direito de uso da água. O cadastro de usuários de água é fundamental para a implementação dos programas de promoção do direito de uso da água (outorga), hidrometração e cobrança. A hidrometração consiste na medição do consumo de água dos maiores e mais importantes usuários da bacia hidrográfica;

# Medidas de adaptação necessárias para operacionalizar os cinco princípios da gestão adaptativa

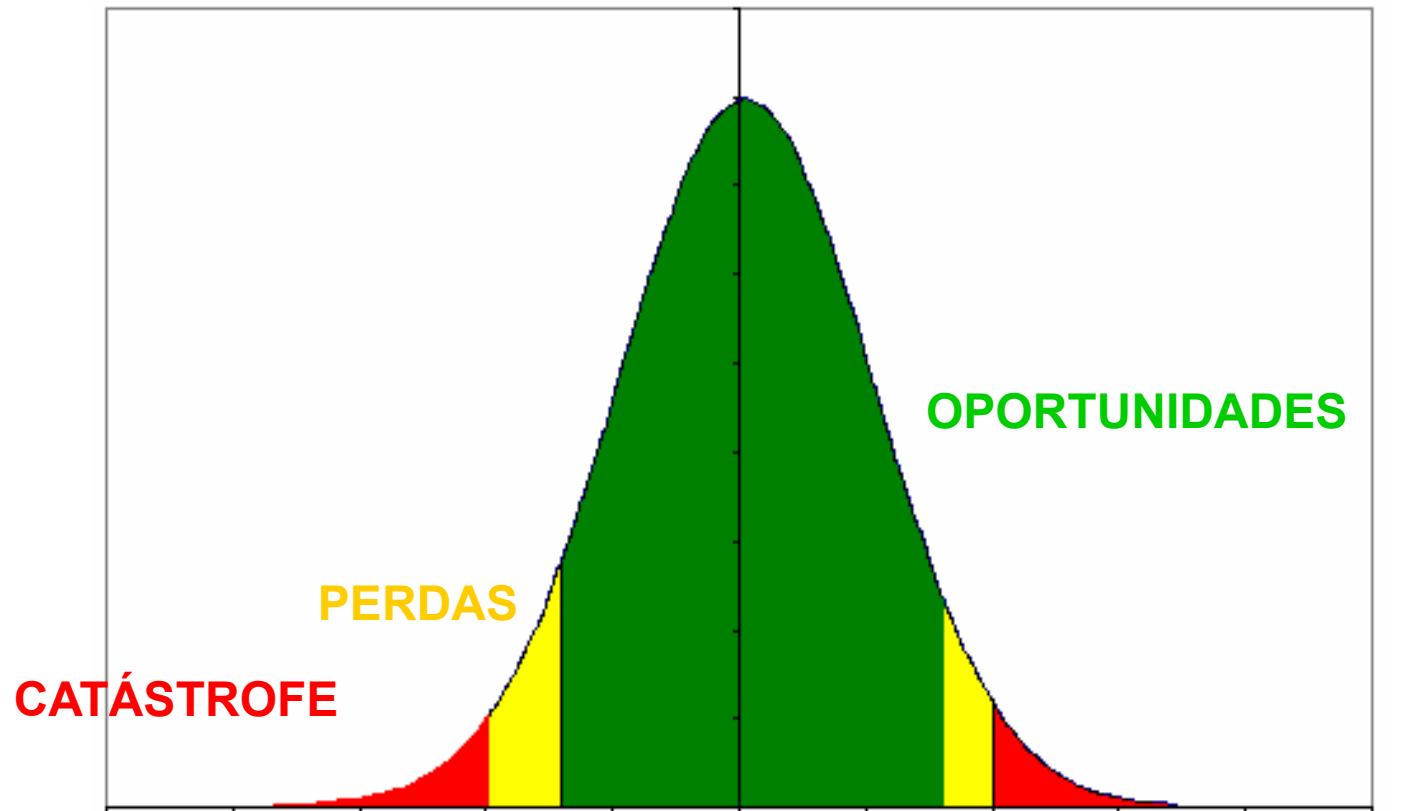
- **Planejamento e gestão de riscos**
  - na construção de cenários futuros para o planejamento de longo prazo, levando-se em conta conjuntamente as incertezas nas vazões nas demandas futuras provenientes das mudanças do clima ou da modelagem do comportamento dos diversos atores econômicos e sociais que definem esta demanda. Desse modo, deve-se realizar a melhoria nos métodos de planejamento diante das incertezas por meio de ações de desenvolvimento e aplicação;
- **Elaboração de planos de contingência (a seca e cheias)**
  - associados ao planejamento de longo prazo e continuamente atualizados, pois estes planos orientarão as ações em momentos de eventos extremos, preparando as condições que mitiguem a ocorrência dos mesmos;
- **Aprimoramento dos modelos de previsão climática**
  - para geração de informação e sua utilização acopladas a modelos hidrológicos e agrícolas, a fim de avaliar os impactos na hidrologia e agricultura, ou na economia em geral;
- **Aprimoramento do conhecimento da natureza para prever mudanças**
  - visando avaliar melhor os processos físicos nas bacias hidrográficas;
- **Produção de conhecimento e trocas de conhecimentos**
  - entre as instituições de administração da água objetivando a atualização do mesmo sobre impactos da variabilidade e mudanças de clima no setor.

# Ciclo Hidro-ilógico



*(adaptado de National Drought Mitigation Center, USA)*

# Fundamento da Gestão do Risco Climático



Adaptado de Baethgen (2007)

Engenharia de Risco x Gerenciamento dos Riscos

# Gerenciamento do Risco Climático



```
graph LR; A[Análise do Risco] --> B[Projetar Sistema Sócio-Natural Resiliente]; B --> C[Gestão de Crises];
```

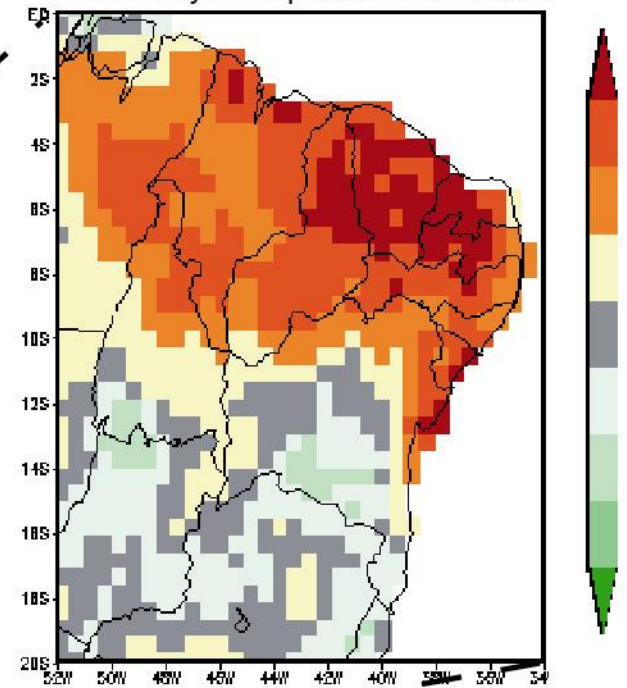
**Análise  
do  
Risco**

**Projetar  
Sistema  
Sócio-Natural  
Resiliente**

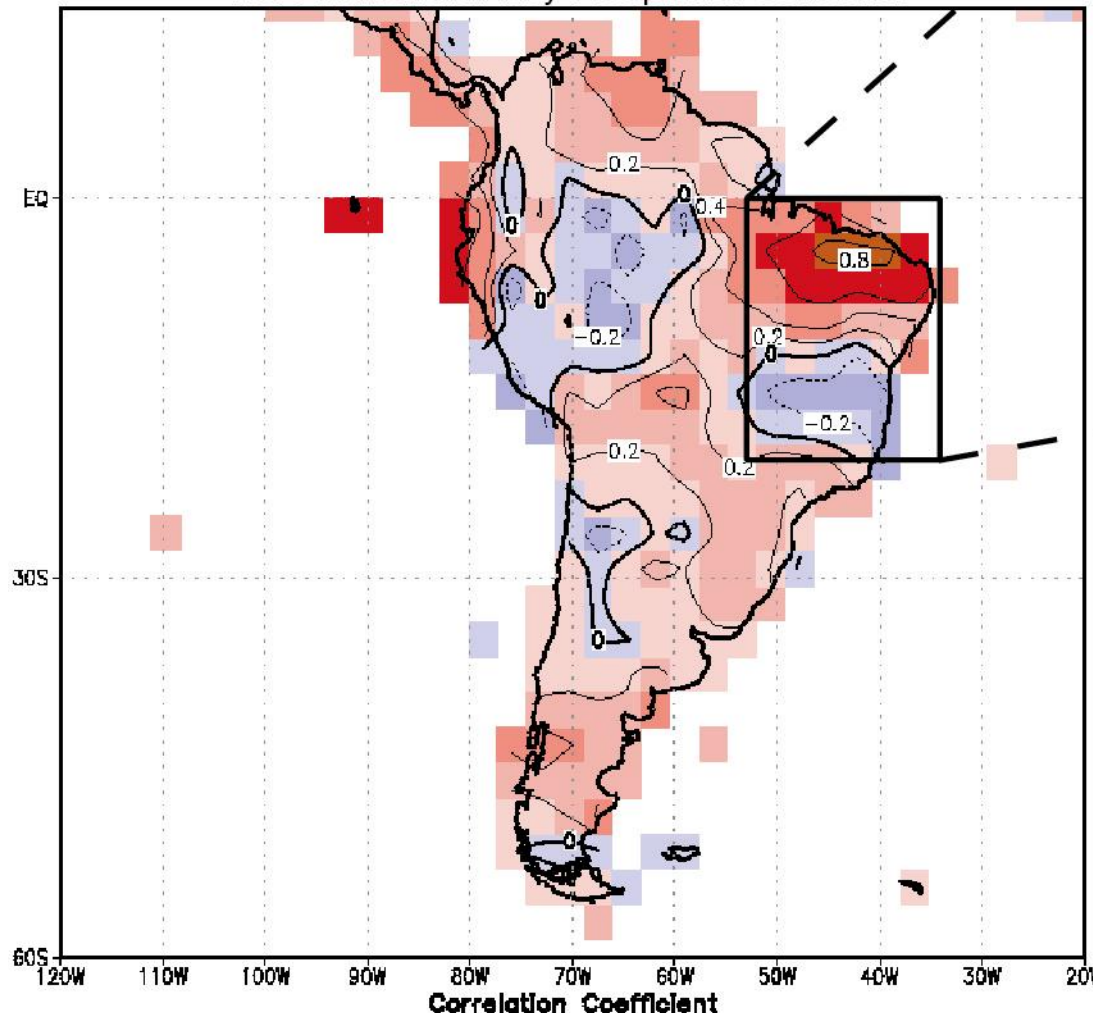
**Gestão  
de  
Crises**



RSM Downscaling for  
March-May Precipitation Correlation



ECHAM4.5 March-May Precipitation Correlation



Previsibilidade das Precipitações  
após *Downscaling*  
("hindcast" modo de simula



XI Simpósio de Recursos Hídricos  
do Nordeste

DATA: 27 a 30 de novembro de 2012 - LOCAL: João Pessoa



# OBSERVAÇÕES FINAIS

- O CURTO PRAZO É A CHAVE PARA O LONGO PRAZO
- ADAPTACAO PROATIVA

Columbia Water Center / Pepsico Foundation Project

# Designing Sustainable Water Systems Under Climate Stress In Northeast Brazil





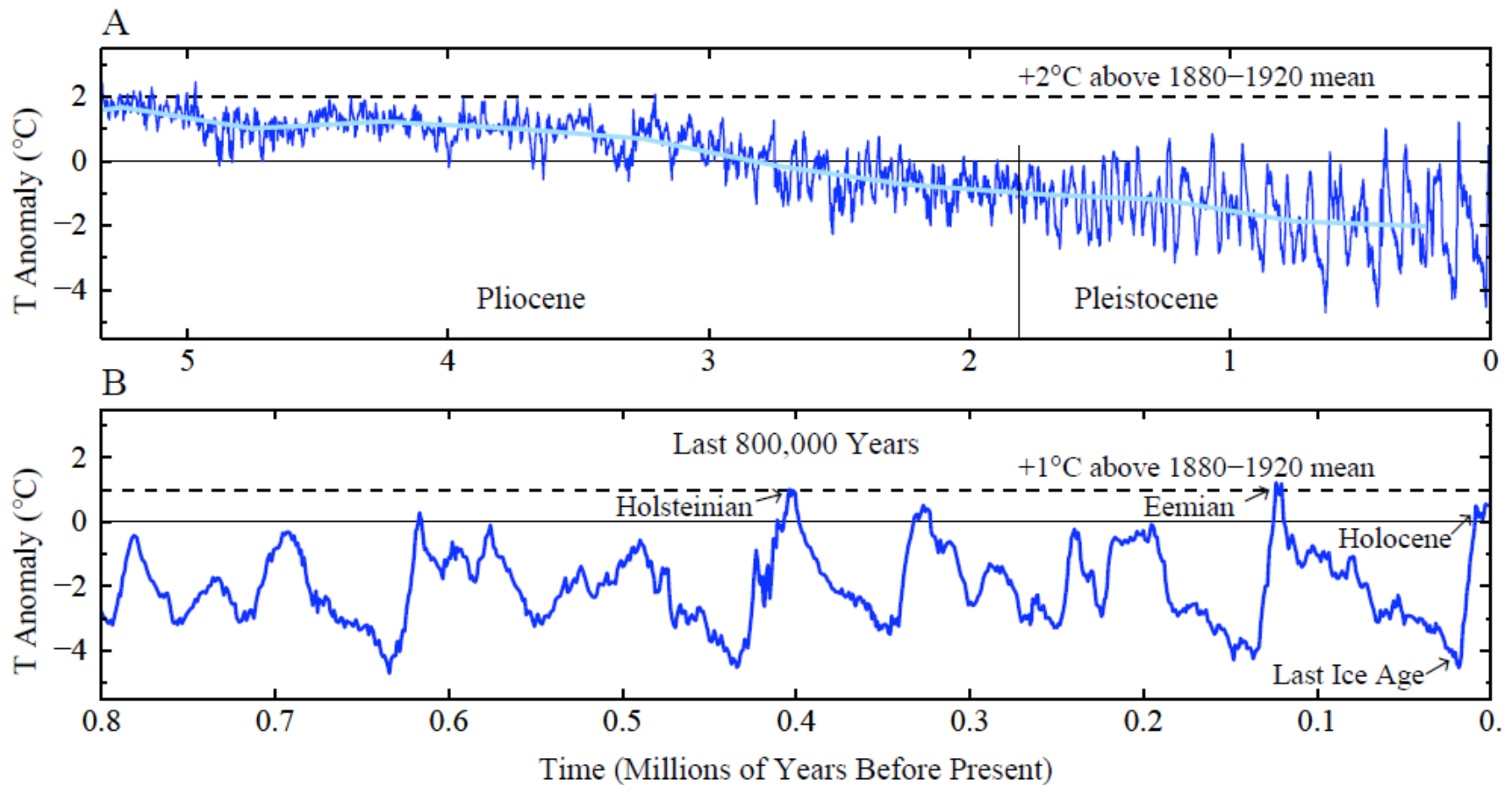
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
DEPTº DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL



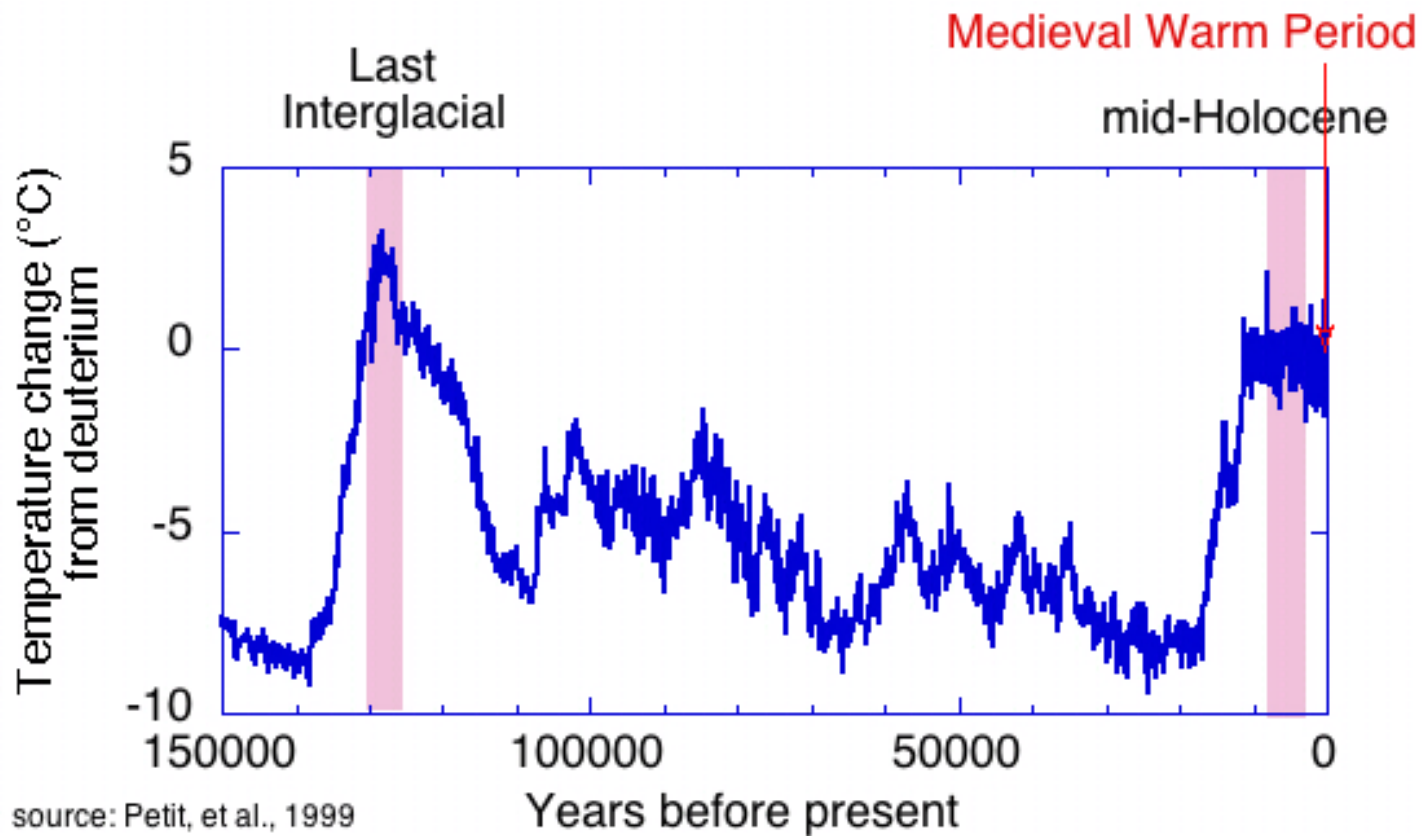
"Demoiselles d'Avignon" - pintura cubista de Pablo Picasso

**FIM**

**assis@ufc.br**

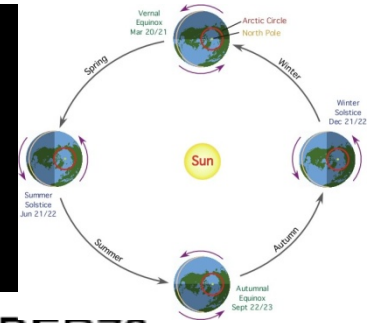


**Fig. 2.** Global temperature relative to 1880-1920 in (A) past 5,300,000 years and (B) past 800,000 years. (Hansen, J.E. and Sato, M., Berger, A., Mesinger, F., and Sijacki, D., 2012: *Paleoclimate implications for human-made climate change*. . Springer, ~350 pp.)

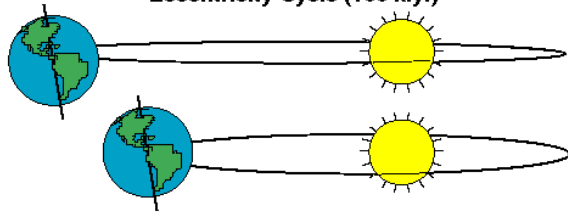


Temperature change for the past 150,000 years at the VOSTOK site in Antarctica, based on the deuterium proxy found in ice cores.

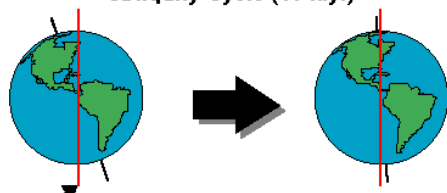
# Ciclos de Milankovitch



**Eccentricity Cycle (100 k.y.)**



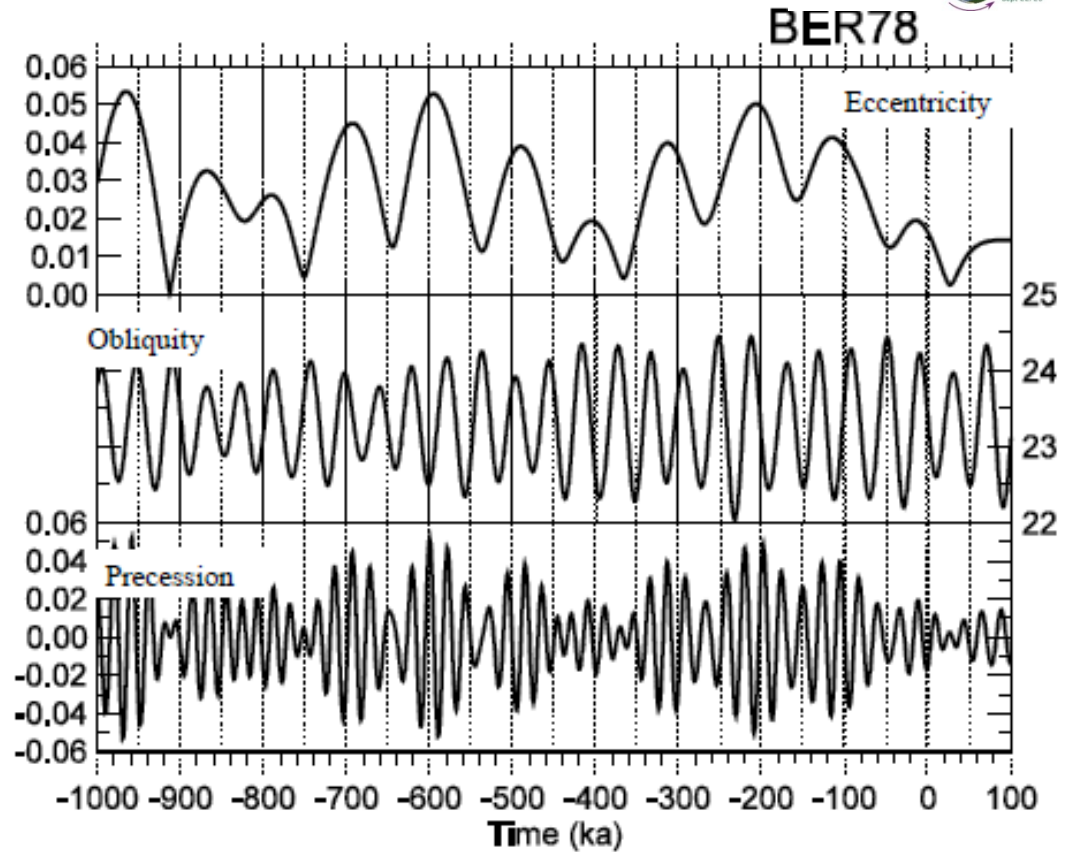
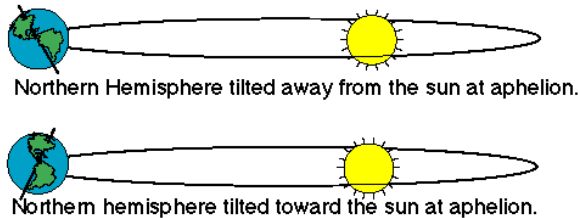
**Obliquity Cycle (41 k.y.)**



Normal to Ecliptic

©Scott Rutherford (1997)

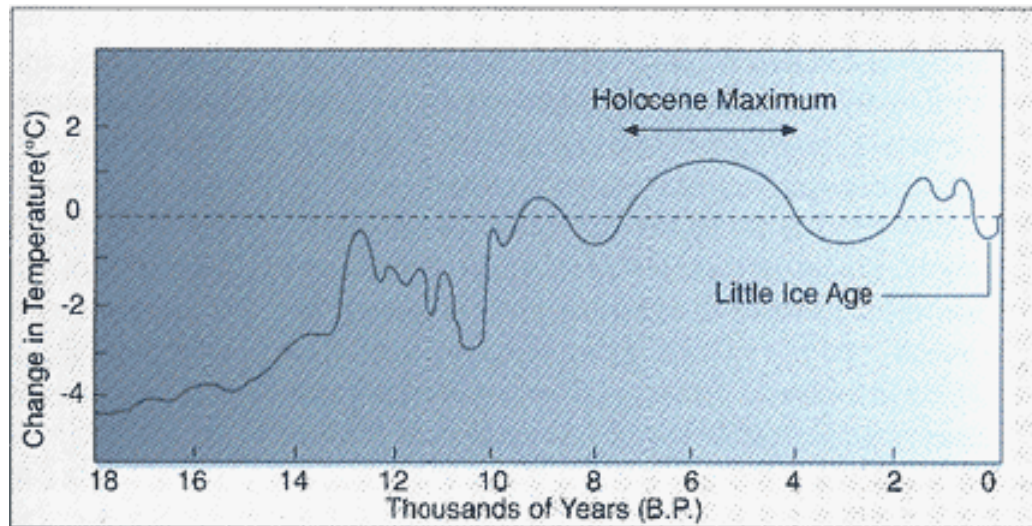
**Precession of the Equinoxes (19 and 23 k.y.)**



The eccentricity of the Earth's orbit (Fig. 5.16) has varied over the last million years between nearly zero, corresponding nearly to a circular orbit, to 0.054 (Fig. 5.18). Using Eq. 2.24, it can be shown that the annual mean energy received by the Earth is inversely proportional to  $\sqrt{1-ec^2}$ . As expected, this value is independent of the obliquity because of the integration over all latitudes, and is independent of  $\hat{\omega}$  because of the integration over a whole year. The annual mean energy received by the Earth is thus at its smallest when the Earth's orbit is circular and increases with the eccentricity. However, as the variations in eccentricity are relatively small (Fig. 5.18), there are only minor differences in the annual mean radiations received by the Earth. The maximum relative variation is  $0.15\% (1.5 \cdot 10^{-3} = 1 - \sqrt{1 - 0.054^2})$ , corresponding to about  $0.5 \text{ W m}^{-2}$  ( $0.5 = 1.5 \cdot 10^3 \times 342 \text{ W m}^{-2}$ ).

Finally, the position of the seasons relative to the perihelion (i.e., the precession) also has an influence on insolation. If Earth is closer to the Sun during the boreal summer and further away during the boreal winter, the summer in the northern hemisphere will be particularly warm and the winter particularly cold. On the other hand, if the Earth is closer to the Sun during boreal winter, the seasonal contrast will be smaller in the northern hemisphere. This effect is particularly marked if the eccentricity is large. If the eccentricity is nearly zero, the distance between the Earth and the Sun is nearly constant, implying no impact of the changes in the position of the seasons relative to the perihelion. The climatic precession varies roughly between  $-0.05$  and  $0.05$ . This produces changes in insolation that can be greater than  $20 \text{ W m}^{-2}$  at all the latitudes (Fig. 5.19). As a consequence, the climatic precession dominates the variations of insolation at low and mid latitudes.

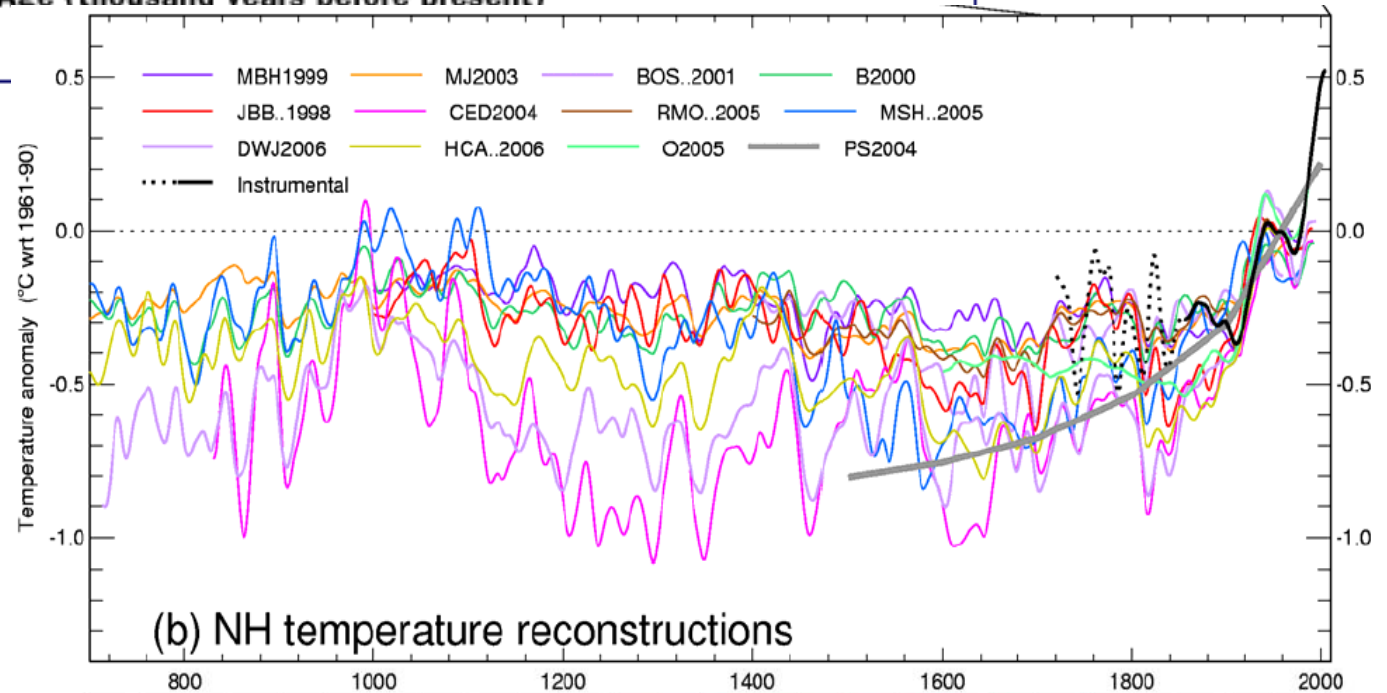
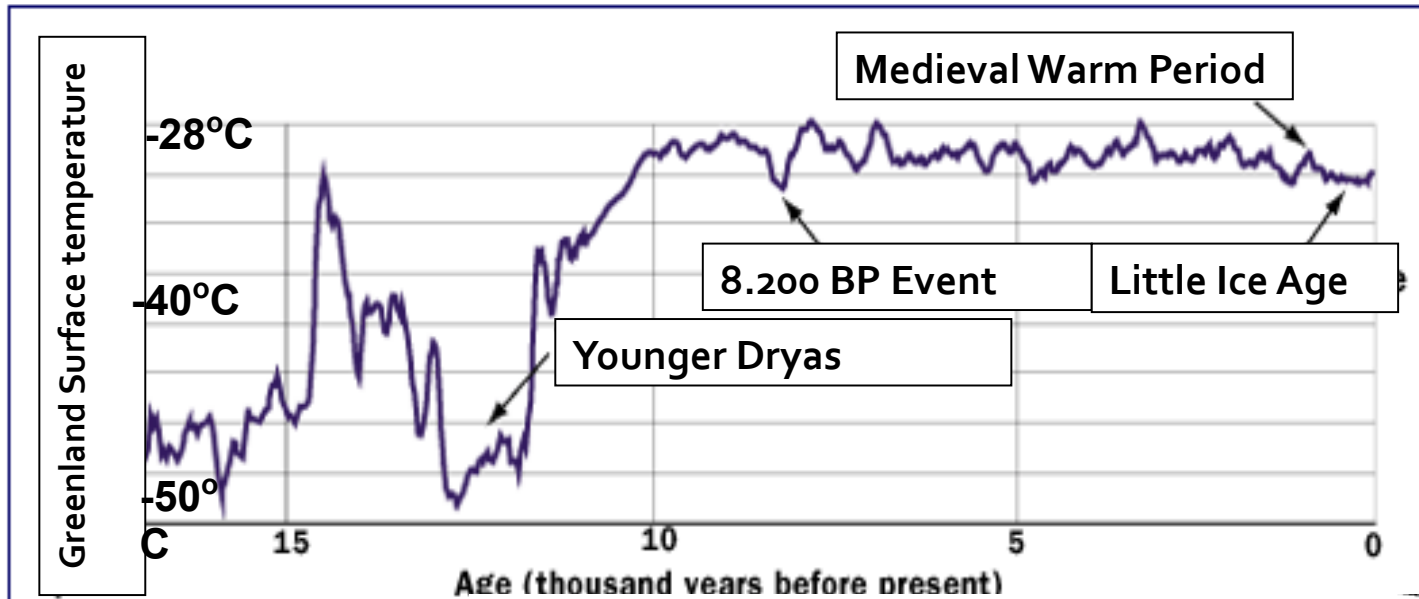
# Holoceno



- 8,000 years ago - The climate begins to warm
- 15,000 years ago - Advance of glaciers halts and sea levels begin to rise
- 10,000 years ago - Ice Age megafauna goes extinct
- 8,000 years ago - Bering Strait land bridge becomes drowned, cutting off migration of men and animals.
- 6,000 years ago - The Holocene Maximum warm period



# Variações Climáticas "Recentes"



## Anomalia da temperatura média global do modelos do século XX (20C3M)

