



Hidrologia

8. Alterações climáticas e a hidrologia

Alterações climáticas e emissões

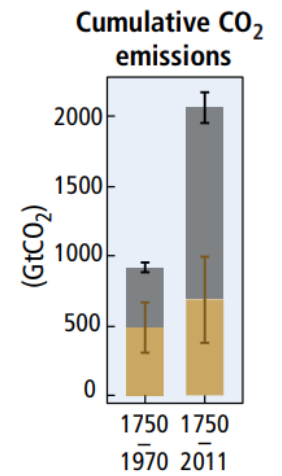
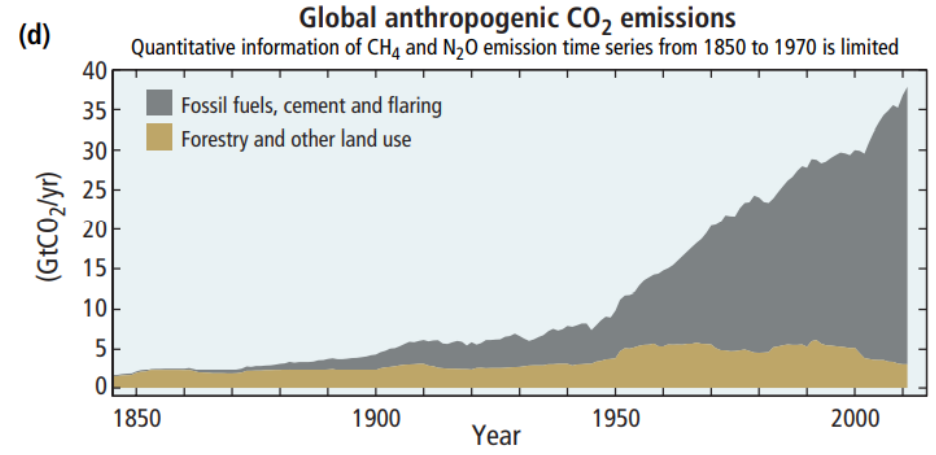
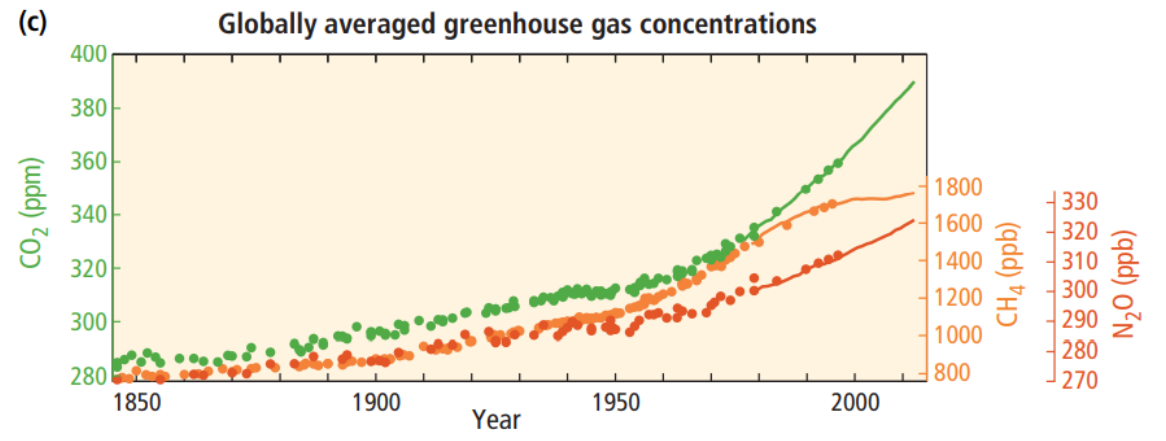
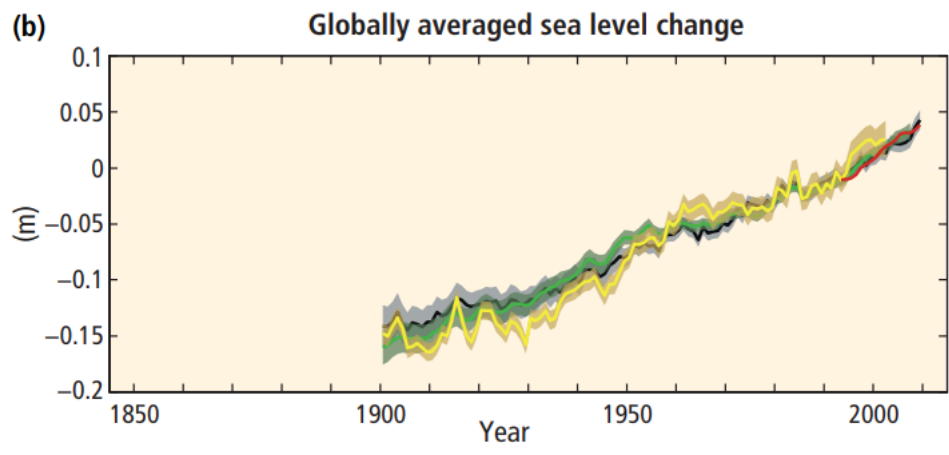
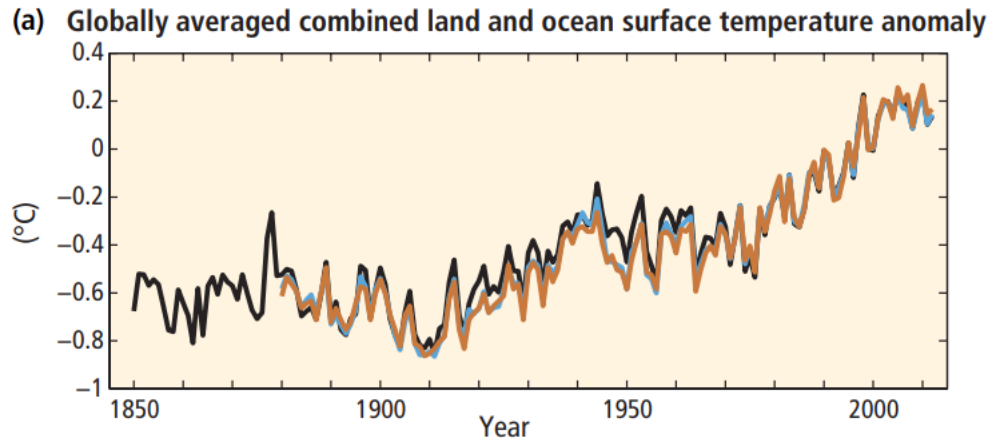
Avaliação dos impactes

ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Alterações climáticas

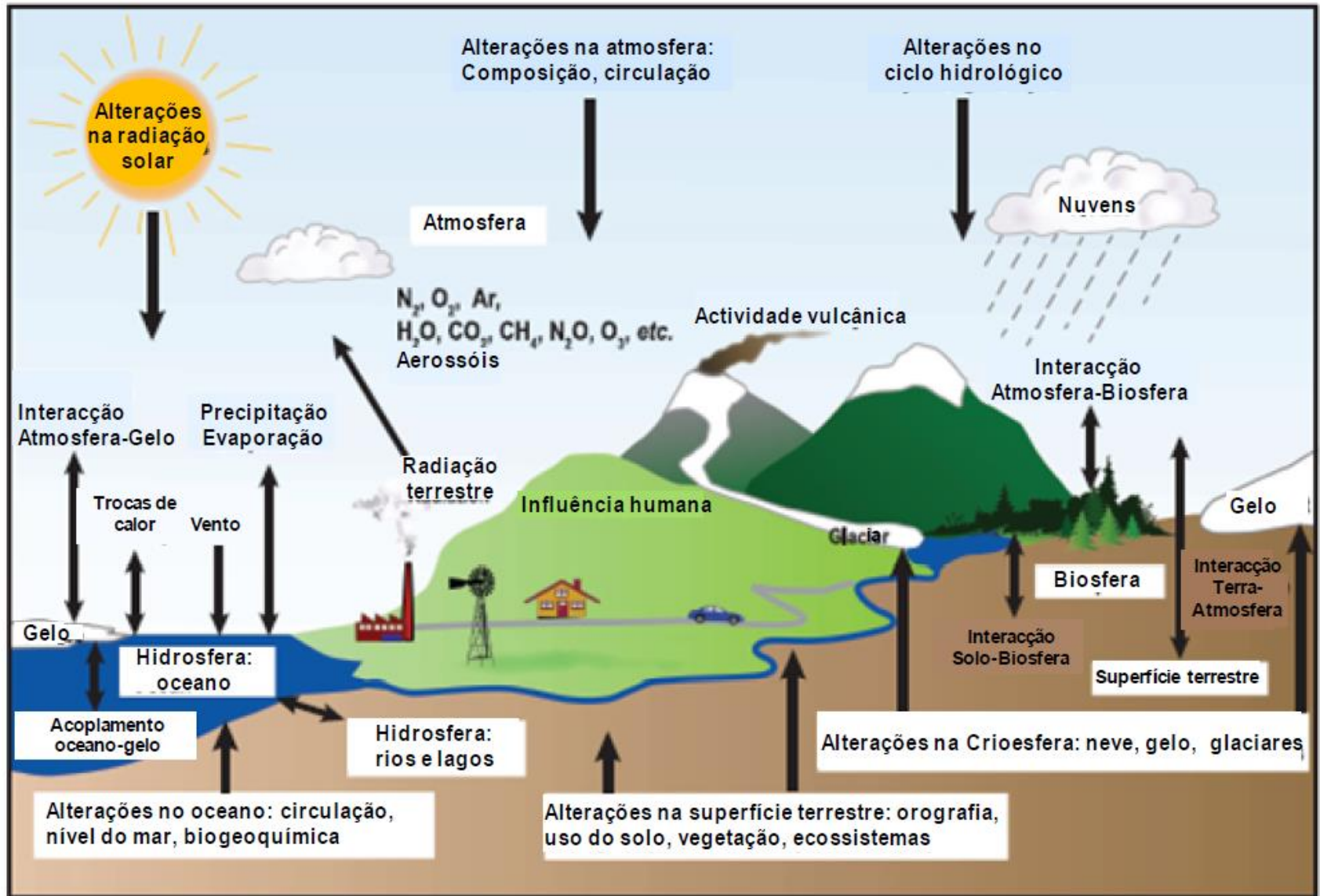
- As alterações climáticas são definidas pelo IPCC como as alterações no estado do clima que podem ser identificadas por variações na média e/ou na variabilidade das suas propriedades, e que persistem por um longo período de tempo, tipicamente décadas ou períodos mais longos.
- A *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) define as alterações climáticas apenas como a alteração no clima que é atribuída directa ou indirectamente à actividade humana, que altera a composição da atmosfera global e que se adiciona à variabilidade climática natural (UNFCCC, 1992).

Aumento temperatura vs. Emissões



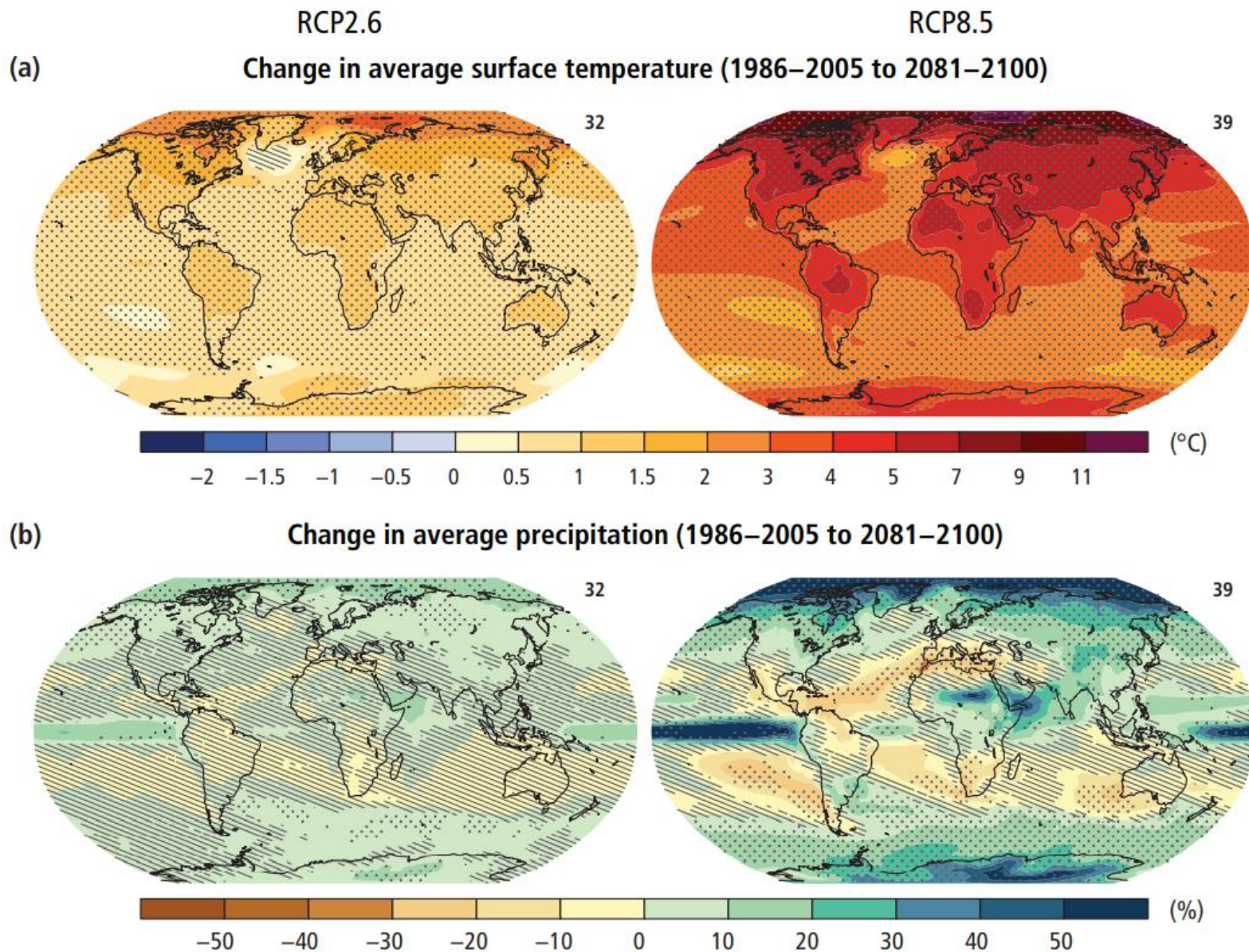
Fonte: IPCC, Fifth Assessment Report (AR5)

Componentes do Sistema climático



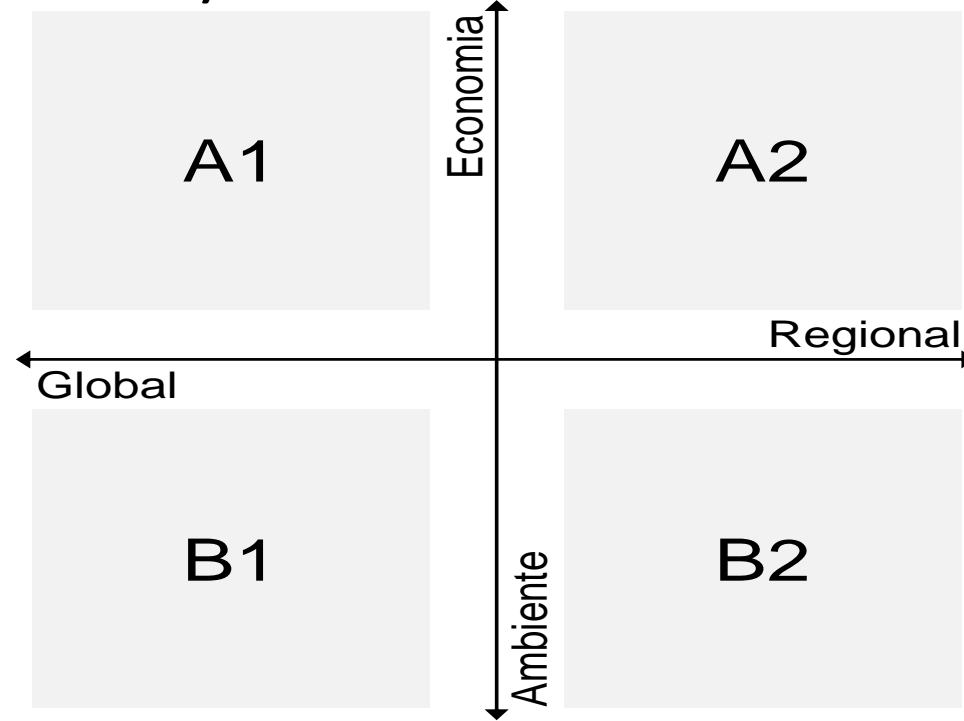
Adaptado de IPCC, 2007

Mudança na temperatura média e precipitação média



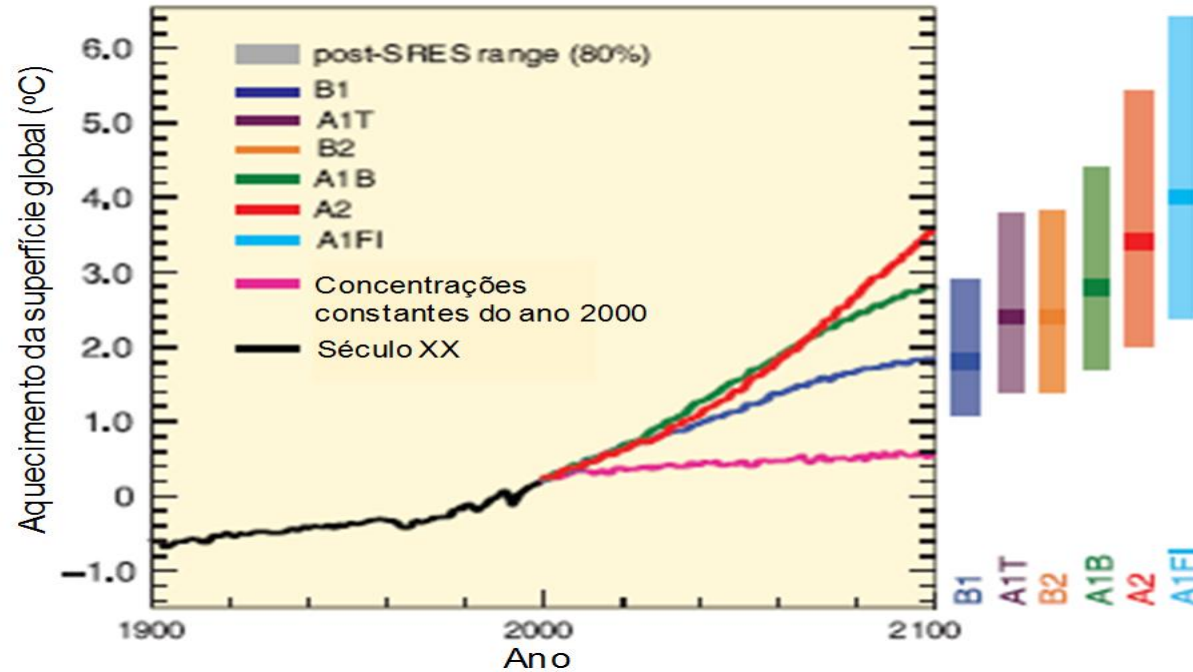
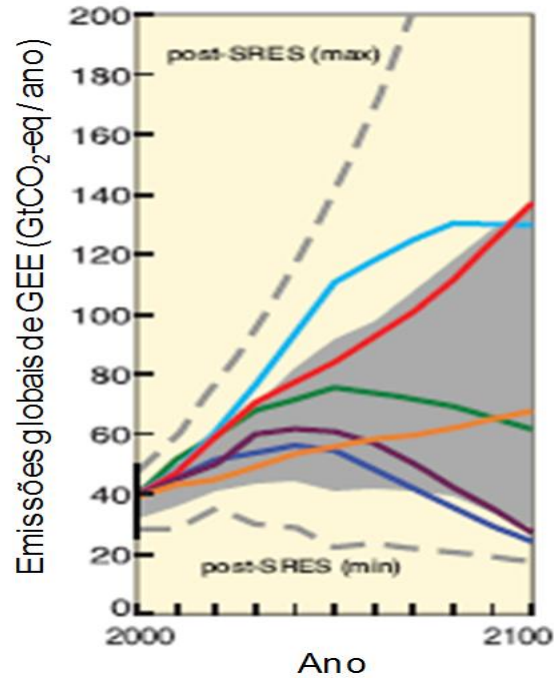
Cenários de emissões (Antigos cenários SRES)

- As quatro famílias de cenários SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) do IPCC:



- ▣ tipo de governação (eixo horizontal) e valores predominantes (eixo vertical).

Projecções climáticas futuras (SRES)

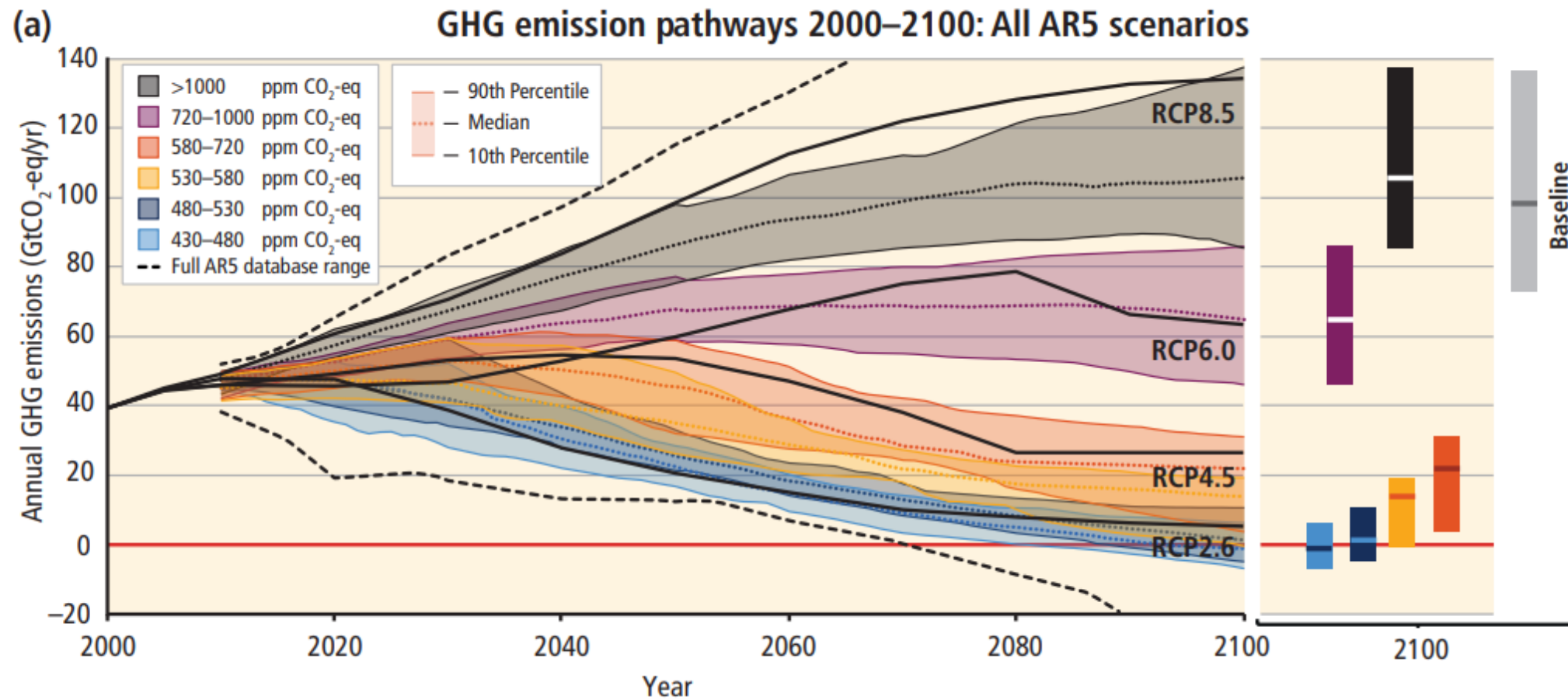


Cenário	Alterações na temperatura (°C em 2090-2099 relativamente a 1980-1999)	
	Melhor estimativa	Varição provável
Concentrações constantes ao nível do ano 2000	0.6	0.3-0.9
Cenário B1	1.8	1.1-2.9
Cenário A1T	2.4	1.4-3.8
Cenário B2	2.4	1.4-3.8
Cenário A1B	2.8	1.7-4.4
Cenário A2	3.4	2.0-5.4
Cenário AaF1	4.0	2.4-6.4

Cenários de emissões (RCPs)

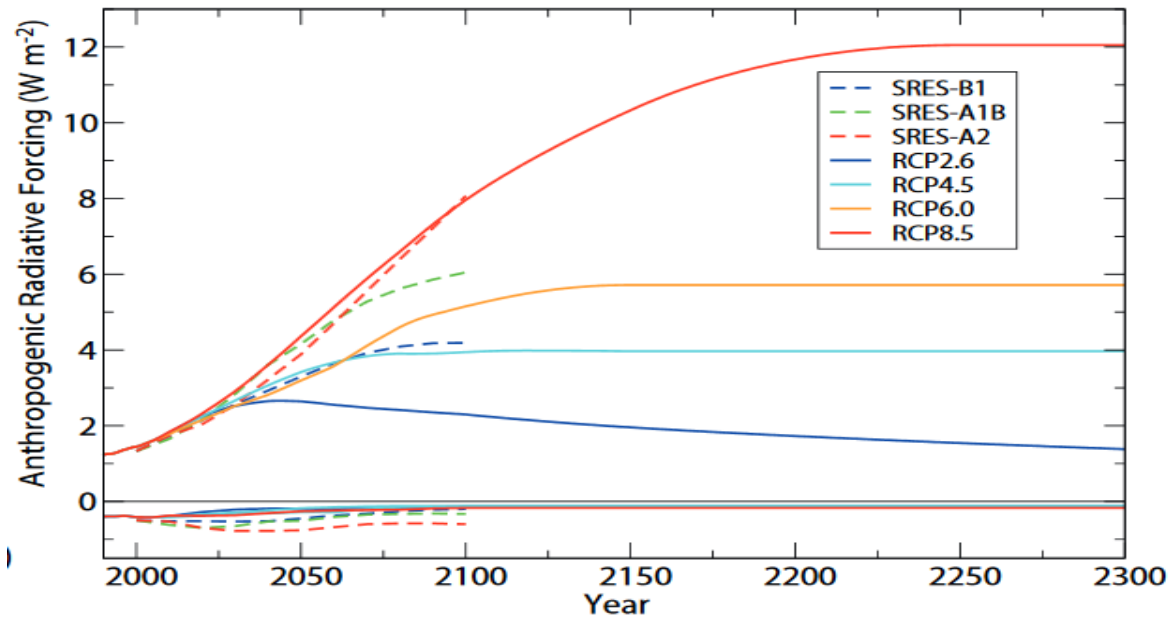
- The Representative Concentration Pathways (RCPs): descrevem quatro percursos diferentes de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e de concentrações atmosféricas ao longo do século XXI.
 - Cenário de mitigação rigoroso (RCP2.6);
 - Dois cenários intermédios (RCP4.5 e RCP6.0);
 - Cenário com emissões muito altas de GEE (RCP8.5).

Cenários de emissões RCPs

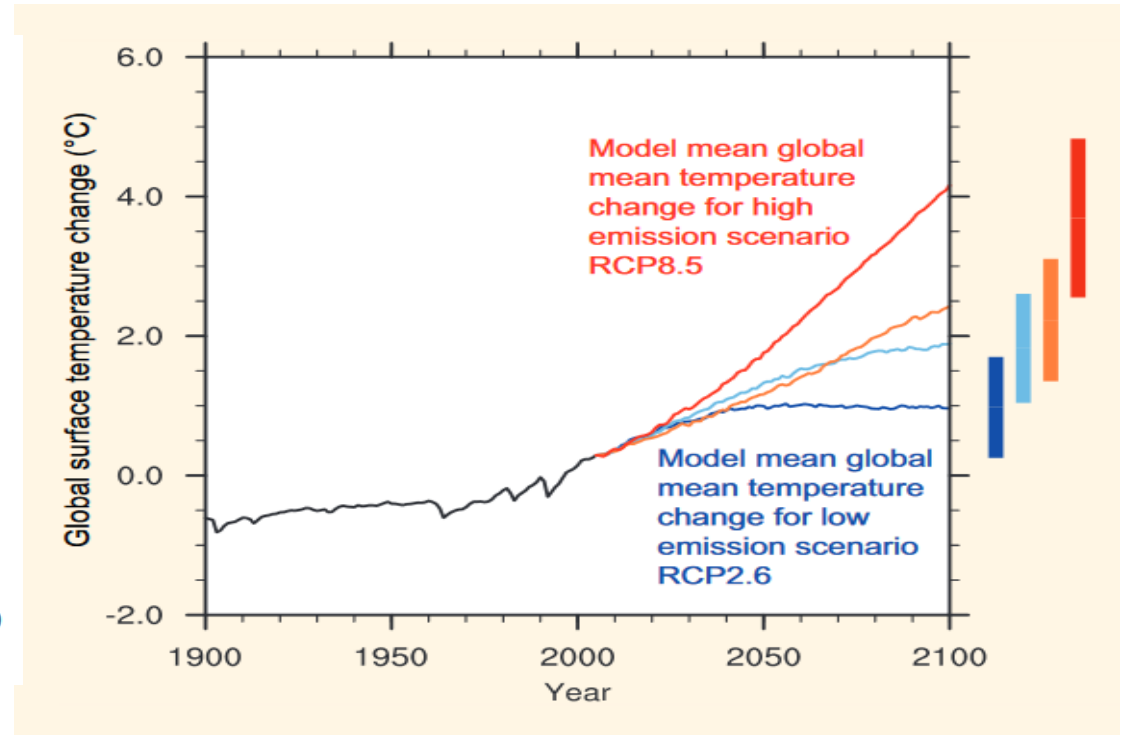


Fonte: IPCC, Fifth Assessment Report (AR5)

Projeções climáticas futuras (RCP)



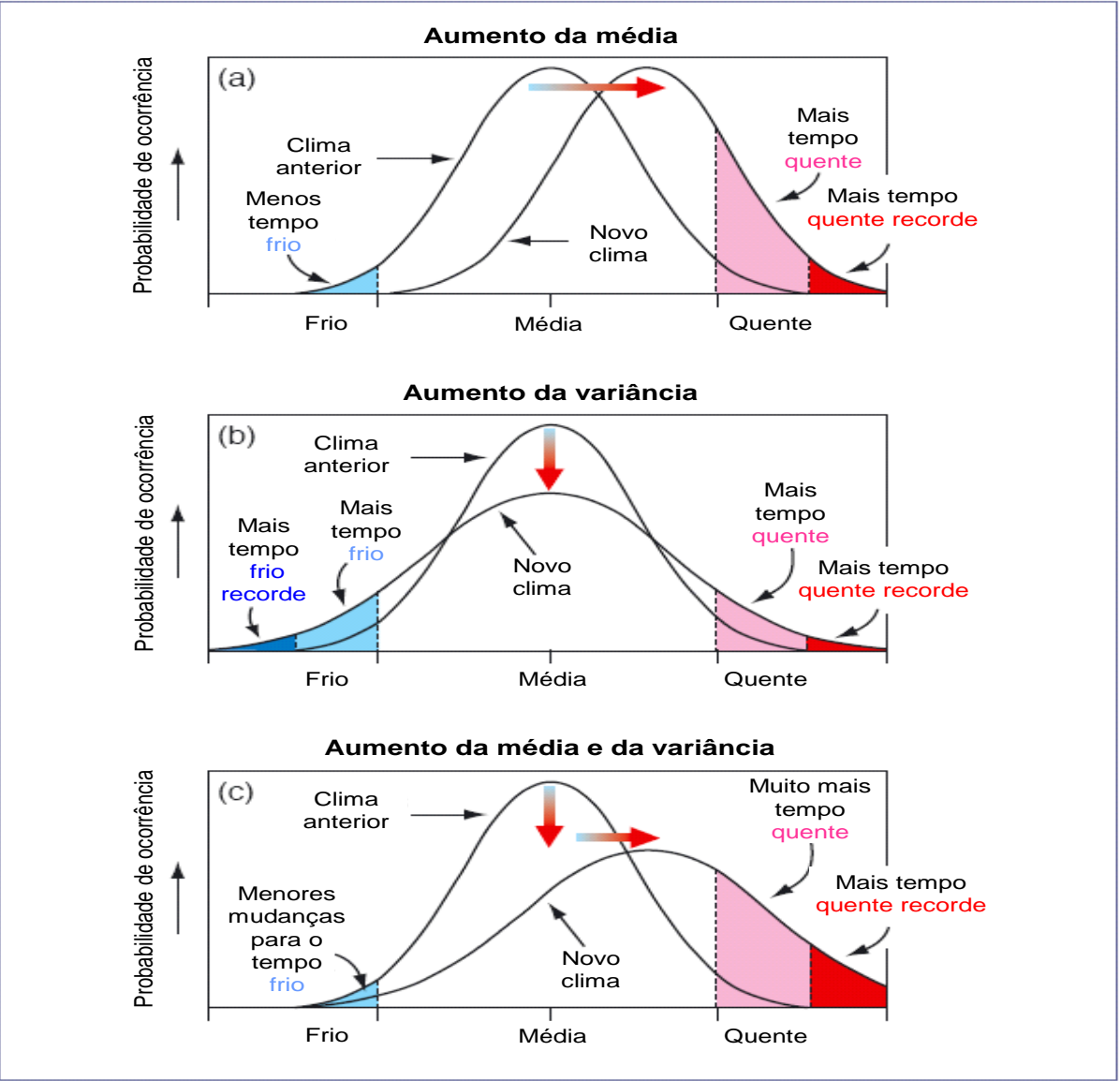
RCP – Representative concentration pathways



		2046-2065		2081-2100	
Cenário		Média	Variação provável	Média	Variação provável
Alterações na temperatura média global em meados e no final do século XXI relativamente a 1986-2005 (°C)	RCP2.6	1.0	0.4 a 1.6	1.0	0.3 a 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 a 2.0	1.8	1.1 a 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 a 1.8	2.2	1.4 a 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 a 2.6	3.7	2.6 a 4.8

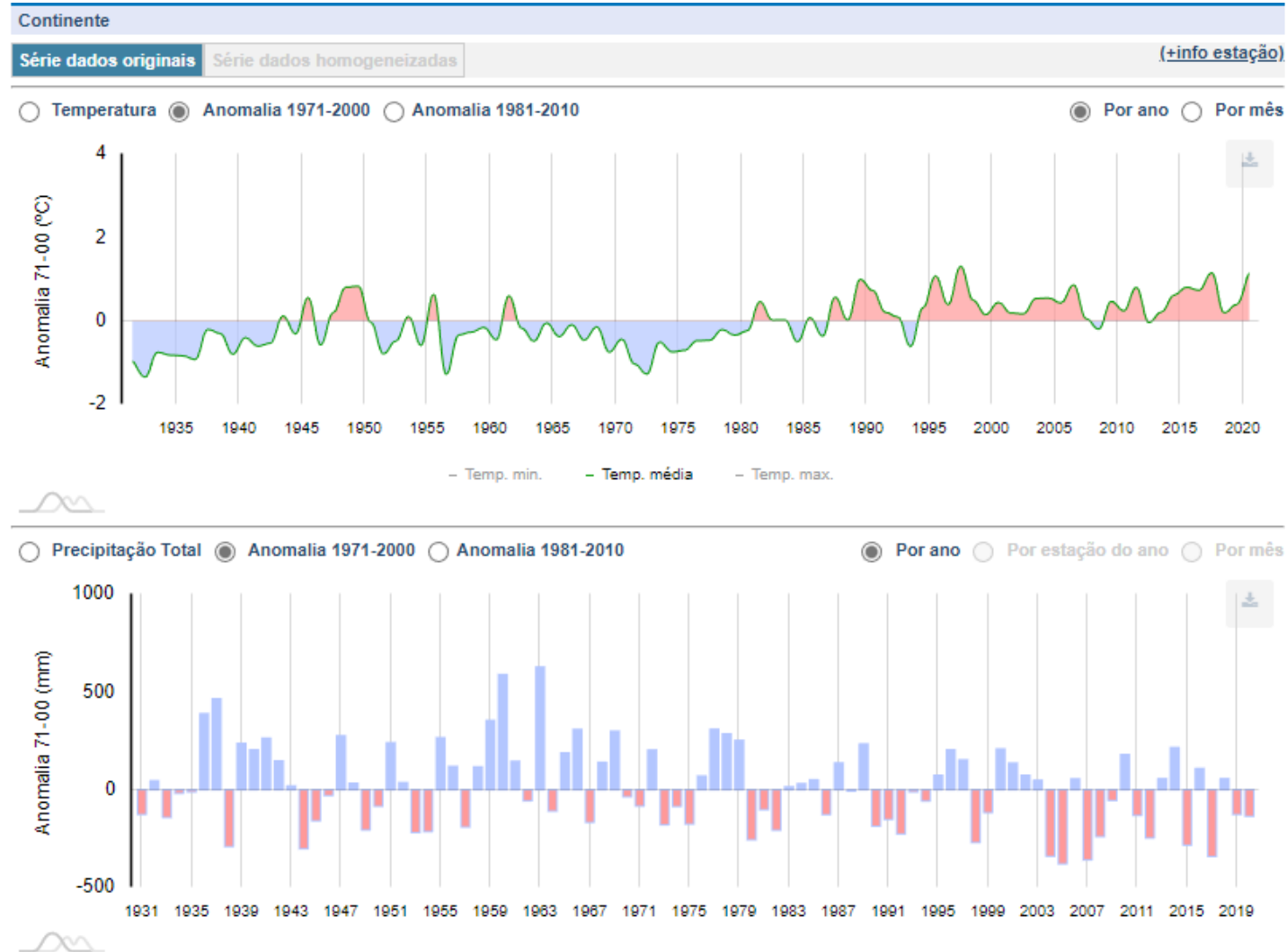
Fonte: IPCC, Fifth Assessment Report (AR5)

Alterações prob. eventos extremos



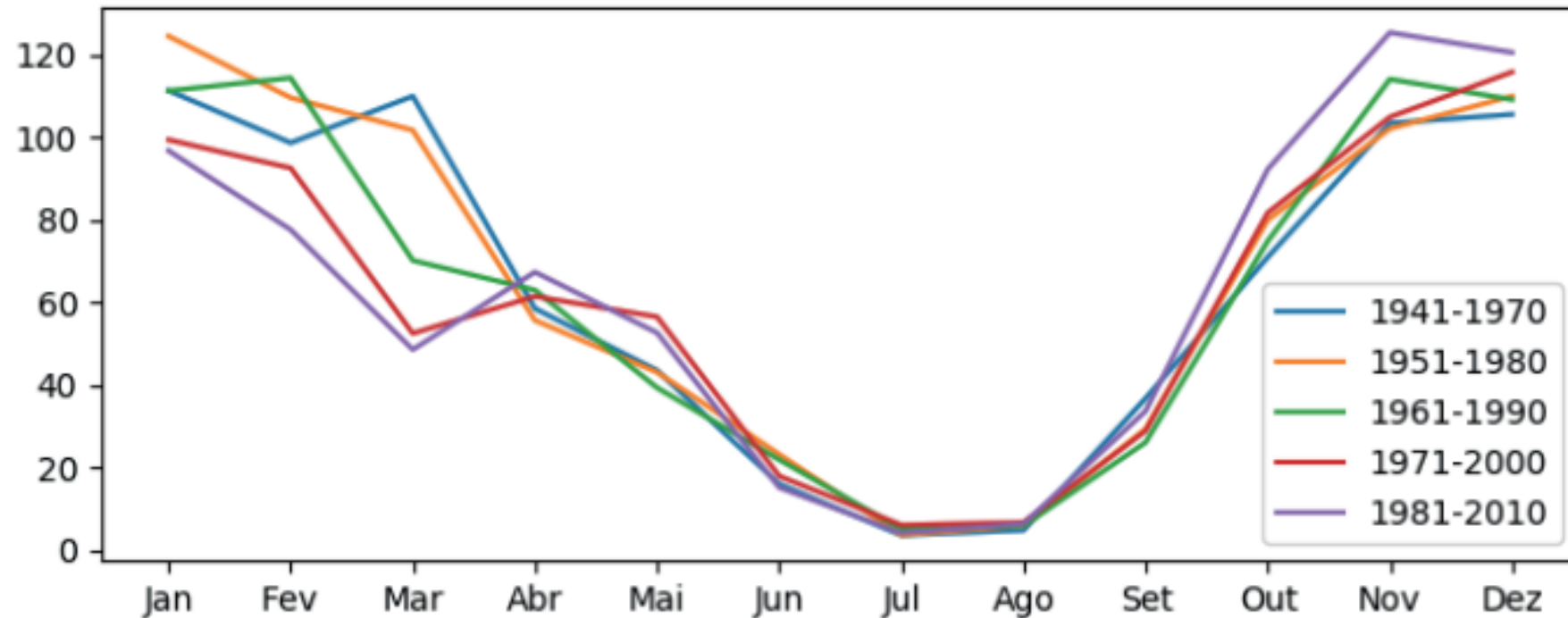
Alterações climáticas (observadas) em Portugal

- Séries longas IPMA – Continente (Série agregada):



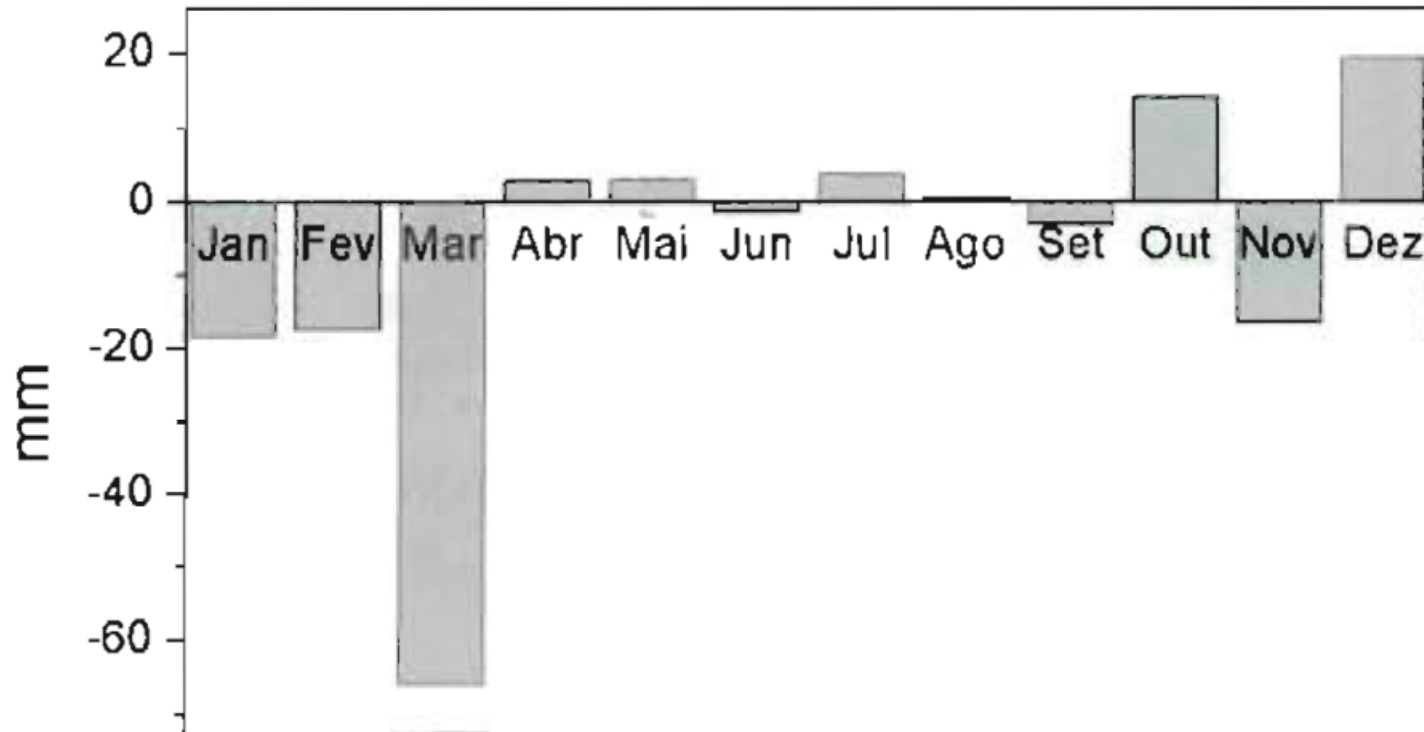
Alterações climáticas (observadas) em Portugal

- Ciclo anual médio da precipitação em Lisboa (Miranda et al., 2018)



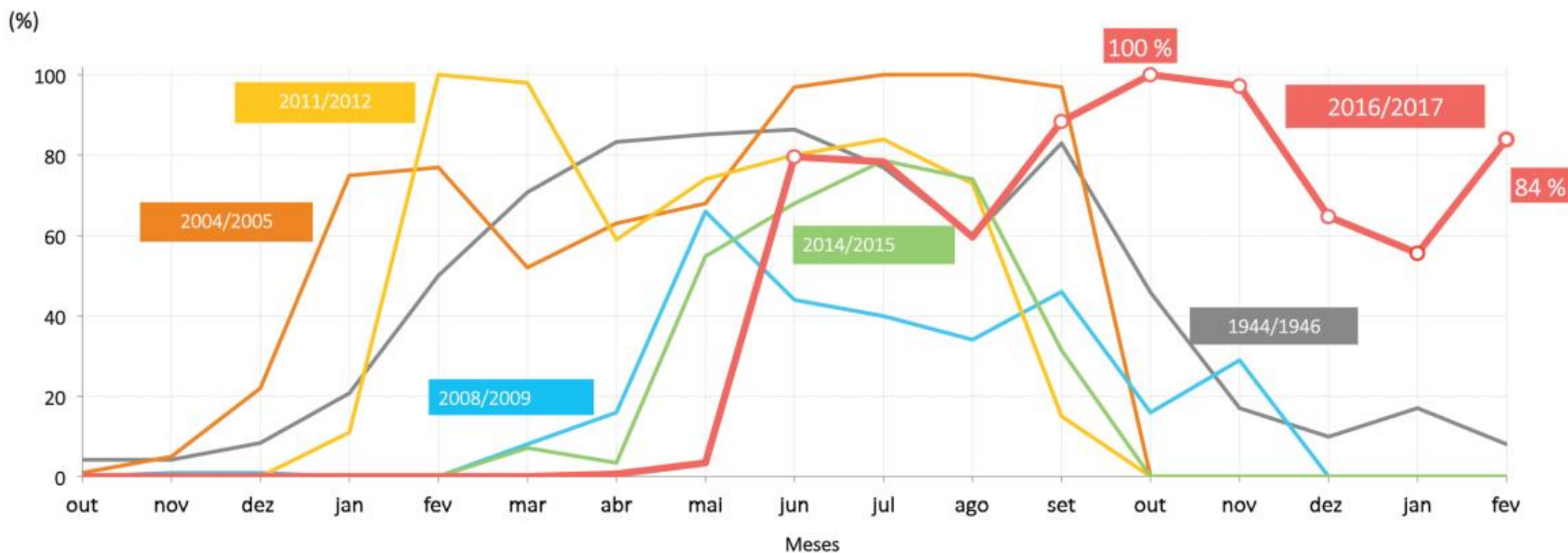
Alterações climáticas (observadas) em Portugal

- Anomalia da precipitação média mensal em Portugal entre os períodos 1971-2000 e 1941-1970 (fonte: Miranda et al., 2006).



Alterações climáticas (observadas) em Portugal

- Seca severa e extrema (histórica:1944/45; após 2000: 2004/05, 2008/09, 2011/12, 2014/15 e 2016/17 (Pires et al., 2018))

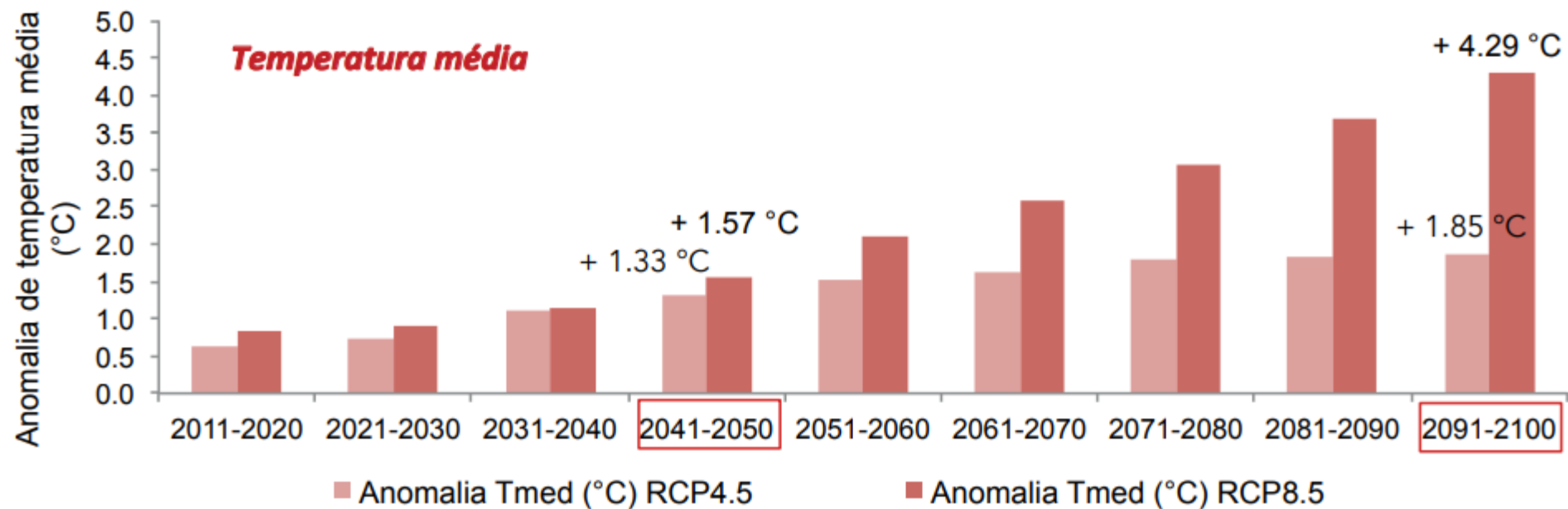


Alterações climáticas (futuras) em Portugal

- Para Portugal ao longo do século XXI é projectado :
 - Aumento da temperatura do ar:
 - entre 1,85 °C (RCP4.5) e 4,29 °C (RCP8.5)
 - Redução na precipitação anual;
 - entre 5 a 10% (RCP4.5) e 10 a 30% (RCP8.5)
 - Maior concentração da precipitação durante o Inverno e um declínio nas outras estações do ano (em especial na Primavera);
 - Aumento da frequência e severidade de fenómenos extremos (secas, ondas de calor, etc.).

Alterações climáticas (futuras) em Portugal

- Anomalias da temperatura média anual do ar em Portugal continental (período de referência 1971-2000)



Alterações climáticas (futuras) em Portugal

Figura 5 – Anomalia da Temperatura máxima de verão: (a) no cenário A2, modelo HadRM3 a 50km (Miranda et al. 2006), (b) Cordex 0.11, (c) WRF9km, ambos no cenário RCP8.5 (Cardoso et al. 2018)

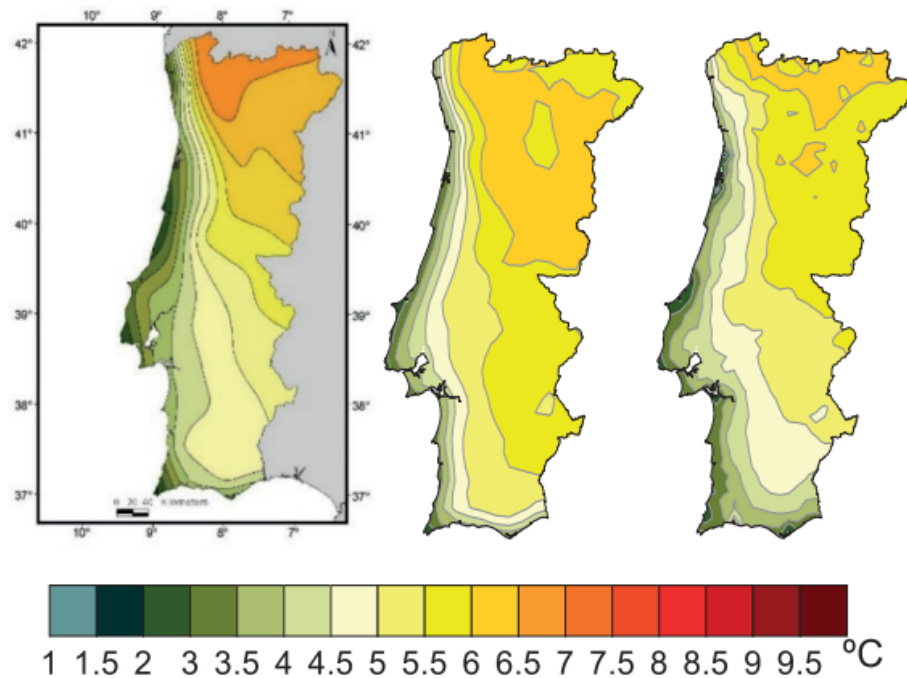
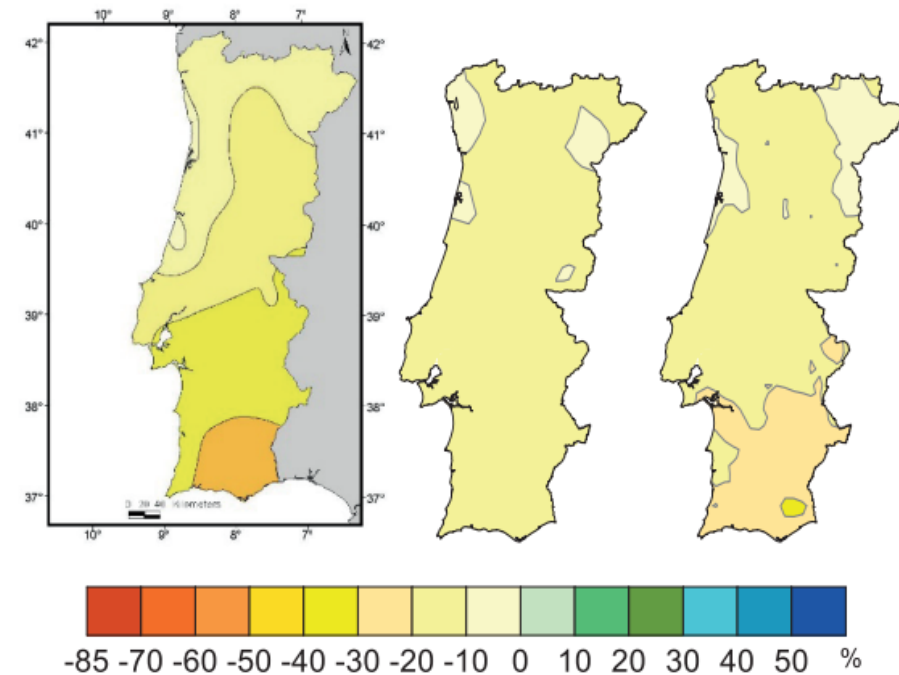


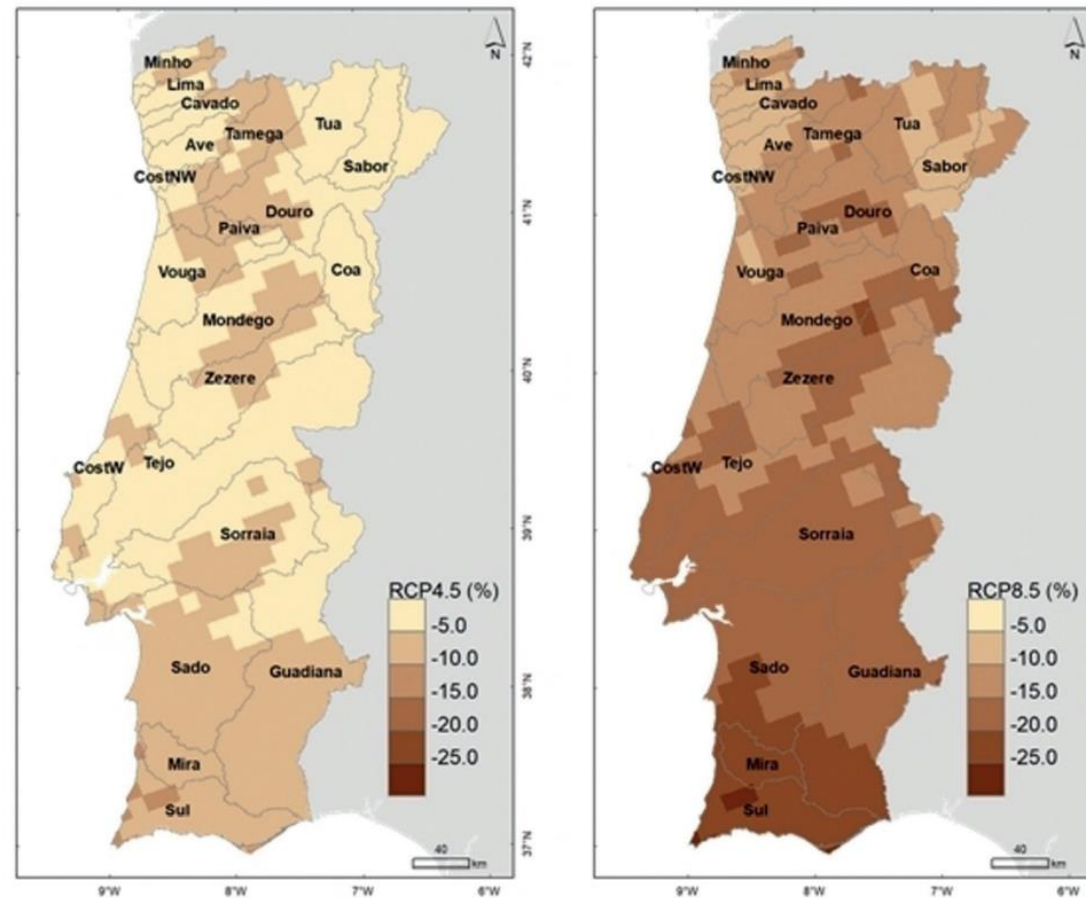
Figura 6 – Anomalia da precipitação anual: (a) no cenário A2, modelo HadRM3 a 50km (Miranda et al. 2006), (b) Cordex 12km e (c) WRF 9km no cenário RCP8.5 (Soares et al. 2017)



Fonte: Miranda et al. (2018)

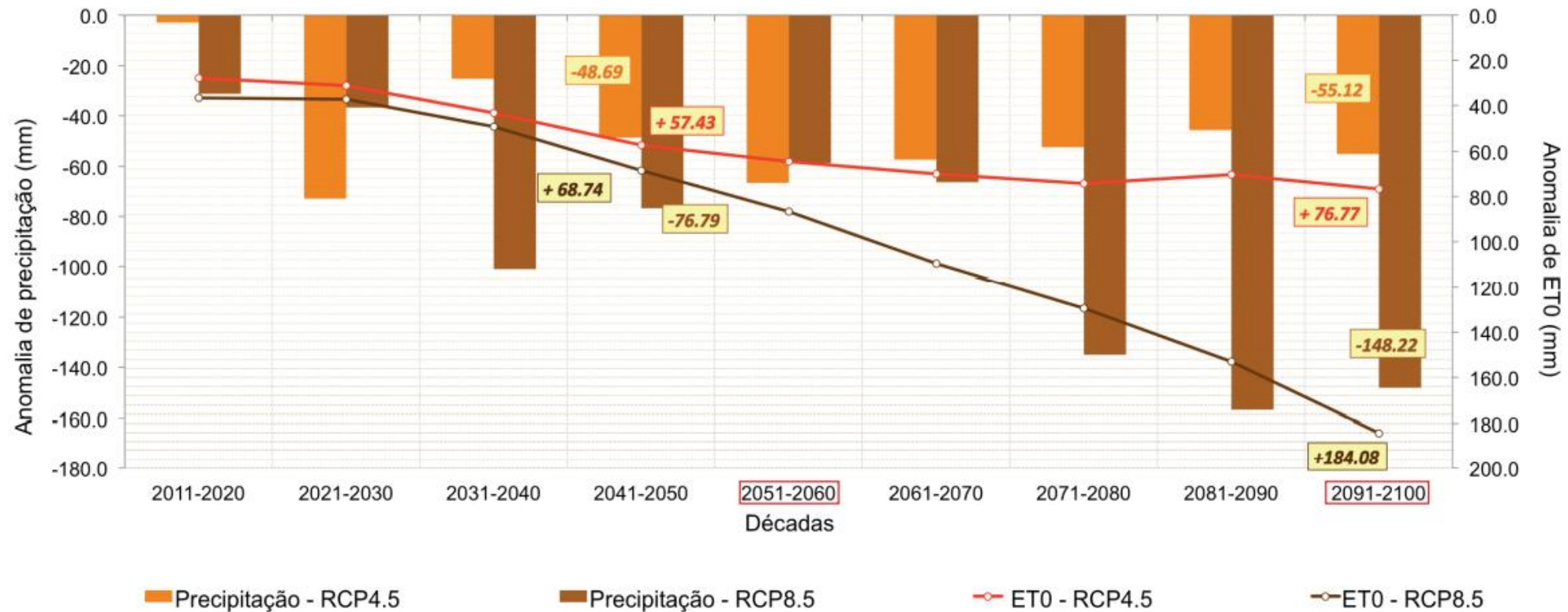
Alterações climáticas (futuras) em Portugal

- Anomalias da precipitação anual no período 2071-2100 (diferença em relação aos valores médios no período 1971-2000)



Alterações climáticas (futuras) em Portugal

- Anomalias da precipitação e da evapotranspiração de referência (período de referência 1971-2000)



Impactes esperados nos recursos hídricos em Portugal

- Devido à mudança climática é expectável:
 - Aumento da procura climática (ETo)
 - Diminuição das disponibilidades hídricas (superficiais e subterrâneas)
 - Percolação e escoamento;
 - Maior frequência e intensidade de fenómenos extremos (e.g. secas e cheias)
 - Reservatórios para armazenamento; diques;
 - Aumento da procura de água para a rega (maior consumidor);
 - Aumento da pressão sobre os recursos hídricos,
 - Alteração das áreas de regadio,
 - Evolução do padrão cultural e das tecnologias de rega.

MODELAÇÃO DOS IMPACTOS DAS AC

Modelos climáticos

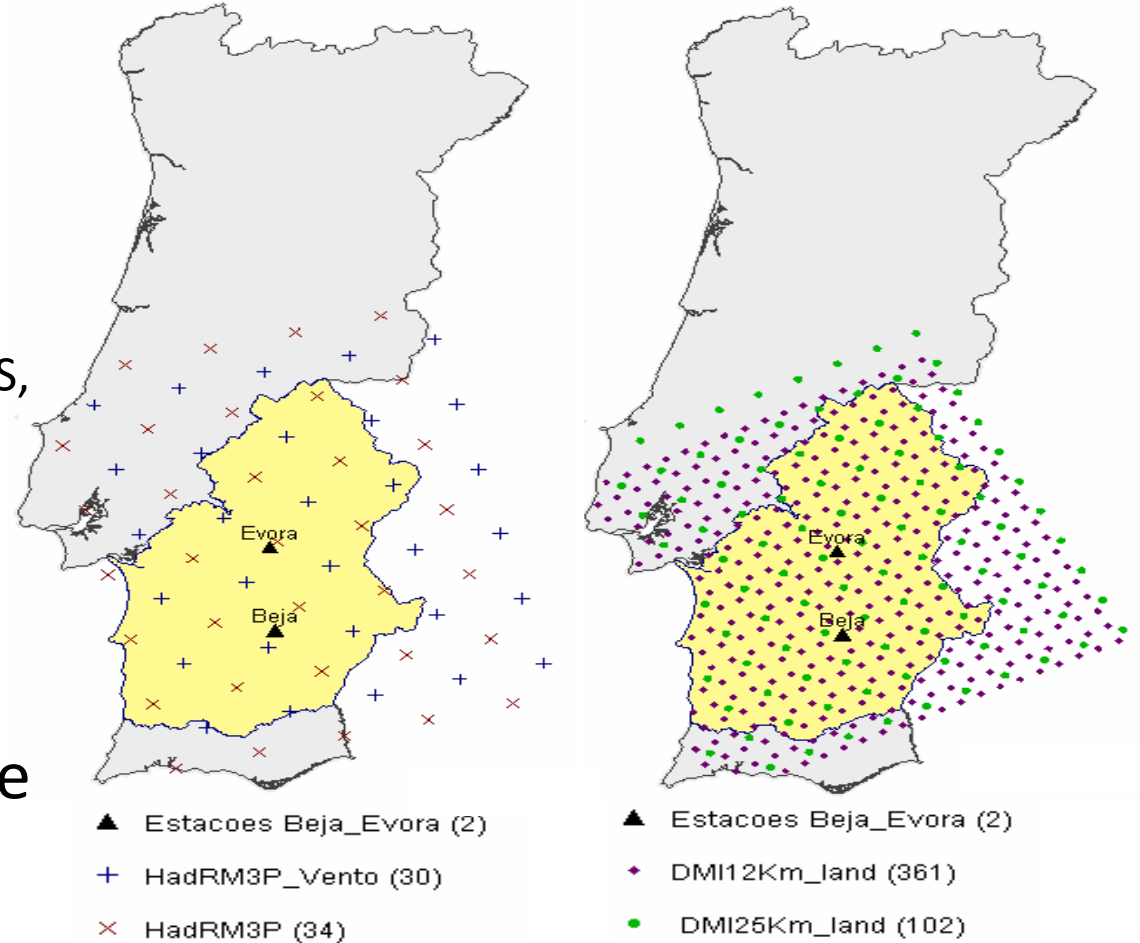
- Modelos climáticos de circulação global (GCM);
 - Representações matemáticas do sistema climático;
 - Simulam uma malha tridimensional que cobre todo o globo com resoluções horizontais de cerca de 300Km;
- Modelos climáticos regionais (RCM);
 - Realizam simulações para regiões limitadas do globo com resoluções espaciais tipicamente entre os 50 e os 25 km;
 - As condições de fronteira são geradas pelos modelos GCM.

Técnicas de regionalização

- Regionalização dinâmica;
 - Utilização de modelos climáticos regionais (RCM), sendo as condições de fronteira geradas pelos modelos GCM;
- Regionalização estatística;
 - Identificação de relações estatísticas entre os resultados dos modelos GCM e variáveis climáticas observadas localmente (numa dada estação meteorológica);

Dados cenários de alt. climática

- Os dados dos cenários são disponibilizados:
 - IPCC Data Distribution Center;
 - IS-ENES Climate4Impact;
 - Projectos de investigação: PRUDENCE, ENSEMBLES, CORDEX, ...
 - Portal do clima (IPMA)
- Espacialmente distribuídos;
- Grande volume de dados;
- Disponibilizados num formato difícil de aceder.
- Desvios consideráveis entre as simulações dos modelos RCMs e os dados observados nas estações meteorológicas.
 - Correção dos desvios dos modelos climáticos (precipitação);



Dados AC: Portal do clima (IPMA)

PORTAL DO CLIMA Alterações Climáticas em Portugal

DADOS O PROJETO NOTÍCIAS QUIZ PT

CLIMA COMPARAÇÃO **DOWNLOAD** ESTAÇÕES AJUDA

Download de dados

Normais climatológicas
Cenário RCP8.5

Média temporal
Anual

Áreas geográfica
Continente

Variável
Média

Estatística
Média 30 anos

Modelo Global
Ensemble

Modelo Regional
Ensemble

Download

Ajuda | Links | Avisos legais | Ficha técnica | Contactos

IPMA um projeto da responsabilidade do Instituto Português do Mar e da Atmosfera
eurotop GISQEO Copyright © 2015 Programa ADAPT Alterações Climáticas em Portugal
Ciências ULisboa
eea grants
AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE
Fundo português de Carbono

- <http://portaldoclima.pt/pt/>

Dados AC: IS-ENES Climate4Impact

The screenshot shows the IS-ENES Climate4Impact data portal. The browser address bar indicates the URL: <https://climate4impact.eu/impactportal/data/esgfsearch.jsp>. The page header features the IS-ENES logo and the tagline "Exploring climate model data". The navigation menu includes "Home", "Data discovery", "Downscaling", "Documentation", "Help", "About us", and "Sign in". A search bar is located in the top right corner. Below the navigation menu, there is a news banner: "News! Checkout Climate4Impact v2, with new Search interface and Jupyter notebooks and become alpha user! Thanks for your feedback!". The main content area is titled "Filters" and includes a "Help" button. The filter section displays various categories: Project (50), Parameter (5704), Frequency (25), Frequency (17), Experiment (256), Domain (48), Model (148), Source_id (375), Access (8), Date, Geobox, and Free text. There are buttons for "show all filters" and "clear all filters". Below the filters, there is a "Quick select Project" section with three columns: CMIP, CORDEX, and OBSERVATIONS. Each column contains checkboxes for different data types: CMIP (GCM data CMIP6 project, GCM data CMIP5 project, GCM data NEXGDDP), CORDEX (RCM data CORDEX, RCM data CORDEX-Adjust), and OBSERVATIONS (satellite data obs4MIPs, station data CLIPC project). Below the filters, there is a "Selected filters" section showing "none". At the bottom, a message states "Found 14532400 datasets. Displaying page 1 of 581297." and a pagination control shows "« Previous 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 581297 Next »" and an "Export to CSV" button.

Correcções dos desvios mod. RCM I

- Desvios consideráveis entre as simulações dos modelos RCMs e os dados observados (estações meteorológicas);
 - É necessário corrigir os desvios dos modelos climáticos;
 - Em particular da variável precipitação;
- Três métodos de correcção das séries futuras de cenários de alteração climática;
 - Delta Change;
 - Direct Forcing;
 - Lenderink;

Correcções dos desvios mod. RCM II

- Método Delta Change;

$$T_{\text{cenário}} = T_{\text{obs}} + (\bar{T}_{\text{RCMcenário}} - \bar{T}_{\text{RCMcontrolo}})$$

- ▣ Temperatura;

$$P_{\text{cenário}} = P_{\text{obs}} \times \frac{\bar{P}_{\text{RCMcenário}}}{\bar{P}_{\text{RCMcontrolo}}}$$

- ▣ Precipitação;

- Método Direct Forcing;

$$T_{\text{cenário}} = T_{\text{RCMcenário}} + (\bar{T}_{\text{obs}} - \bar{T}_{\text{RCMcontrolo}})$$

- ▣ Temperatura;

$$P_{\text{cenário}} = P_{\text{RCMcenário}} \times \frac{\bar{P}_{\text{obs}}}{\bar{P}_{\text{RCMcontrolo}}}$$

- ▣ Precipitação;

Correcções dos desvios mod. RCM III

- Método de Lenderink;

- Temperatura;

$$T_{\text{controloCorr}} = T_{\text{RCMcontrolo}} + (\bar{T}_{\text{obs}} - \bar{T}_{\text{RCMcontrolo}})$$

$$T_{\text{cenário}} = T_{\text{controloCorr}} + (\bar{T}_{\text{RCMcenário}} - \bar{T}_{\text{RCMcontrolo}})$$

- Precipitação;

$$P_{\text{controloCorr}} = P_{\text{RCMcontrolo}} \times \frac{\bar{P}_{\text{obs}}}{\bar{P}_{\text{RCMcontrolo}}}$$

$$P_{\text{cenário}} = P_{\text{controloCorr}} \times \frac{\bar{P}_{\text{RCMcenário}}}{\bar{P}_{\text{RCMcontrolo}}}$$

Incerteza

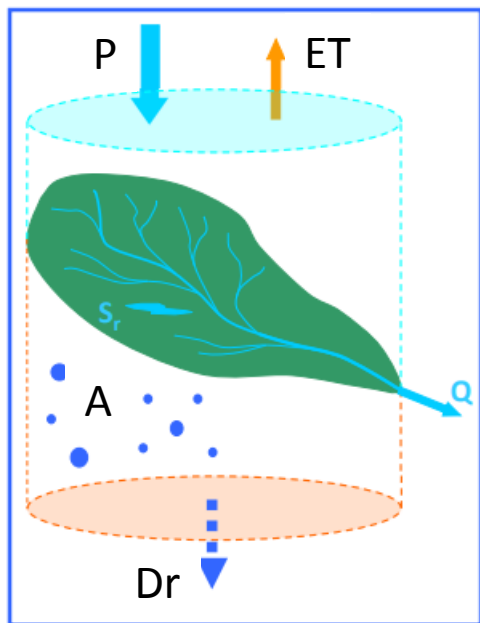
- A incerteza é um conceito central em qualquer estudo de alterações climáticas:
 - Incerteza na modelação do sistema climático;
 - Incerteza nas estimas das emissões de gases com efeito de estufa (GEE);
 - Incerteza devida ao método de regionalização.
 - Incerteza na resposta da evapotranspiração cultural (ETc) ao aumento da temperatura e aumento da concentração atmosférica de CO₂.
 - Incerteza na modelação do balanço hídrológico.
 - Incerteza na evolução do uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas.

Metodologias de estudo dos impactes das AC

- Modelos de simulação (balanço hidrico do solo, hidrológicos, etc.):
 - Compreende os seguintes passos:
 - Selecção/desenvolvimento de um modelo numérico;
 - Calibração e validação do modelo para a situação actual;
 - Obtenção de dados de projecções de cenários climáticos;
 - Especial atenção à selecção dos cenários;
 - Escolha estratégica de apenas alguns cenários ou utilização de uma grande quantidade de cenários;
 - Não utilizar apenas um cenário médio devido à incerteza;
 - Definição dos cenários de evolução no uso e ocupação do solo ;
 - Aplicação do modelo;
 - Avaliação dos impactes (diferença entre situação actual e os cenários futuros);

A equação geral do balanço hidrológico, aplicada a um determinado período de tempo Δt , pode ser simplificada se:

a) A área de aplicação for a bacia hidrográfica



- Só há uma entrada de água
- Relativamente ao escoamento, só há uma saída de água

$$P = ET + Q + Dr + \Delta A$$

P, ET, Q e Dr são quantidade (por exemplo mm ou m³)

$$p \Delta t = et \Delta t + q \Delta t + dr \Delta t + \Delta A$$

p, et, q e dr são taxas (por exemplo mm/h ou m³/h)

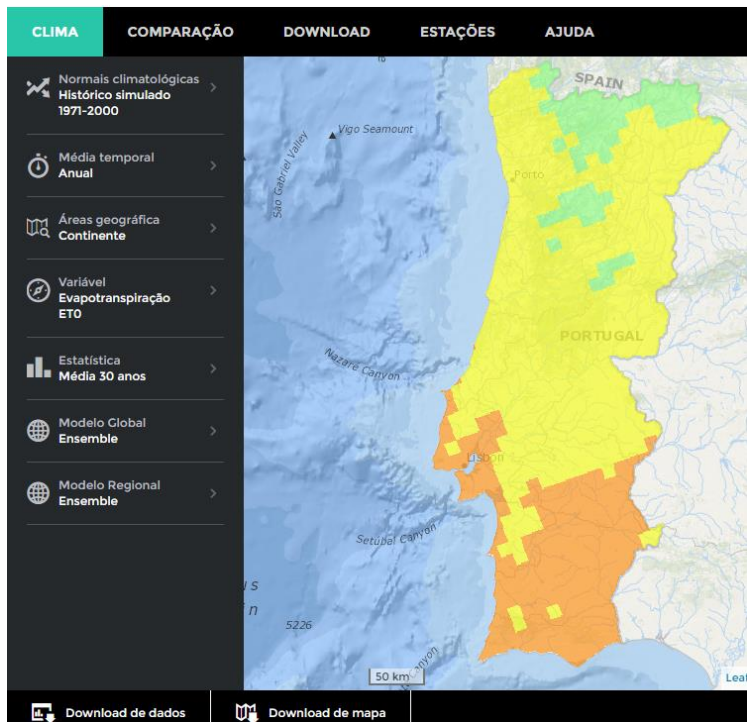
b) O período de tempo for o **ano hidrológico**

Se Δt for o ano hidrológico $\Rightarrow \Delta A \approx 0 \Rightarrow P = ET + Q + Dr$

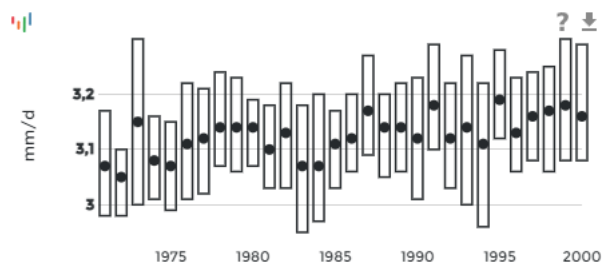
NOTA: Em Portugal, os serviços oficiais consideram que o ano hidrológico começa a 1 de Outubro e termina a 30 de Setembro.

Variação da evapotranspiração de referência (ETo)

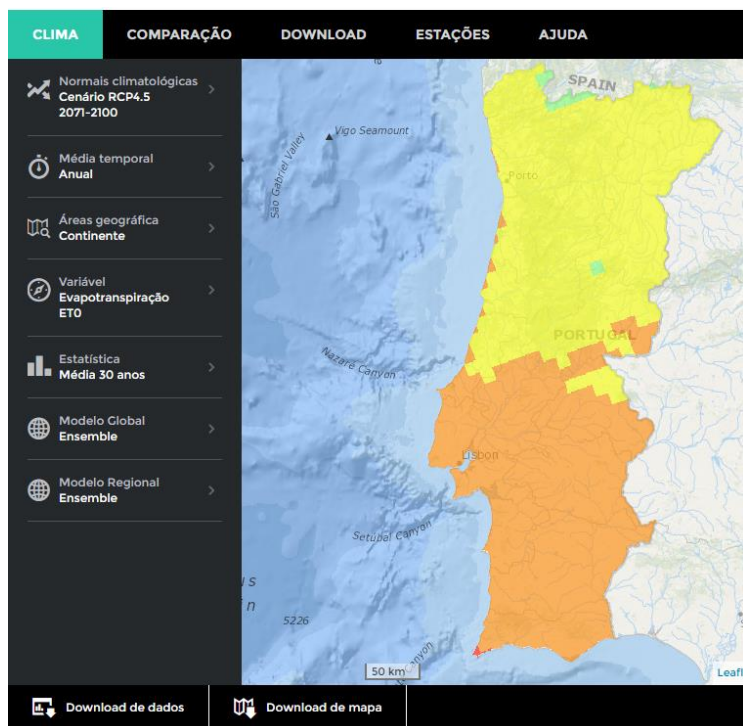
- Portal do clima (IPMA):



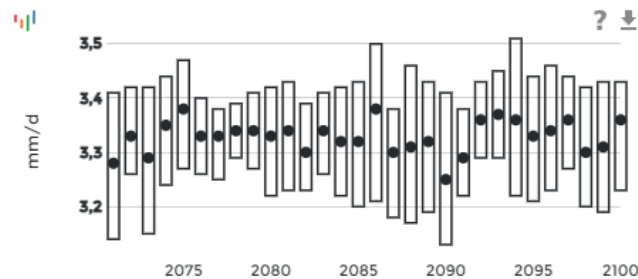
Evapotranspiração de Referência
Evolução Anual 1971-2000, Continente



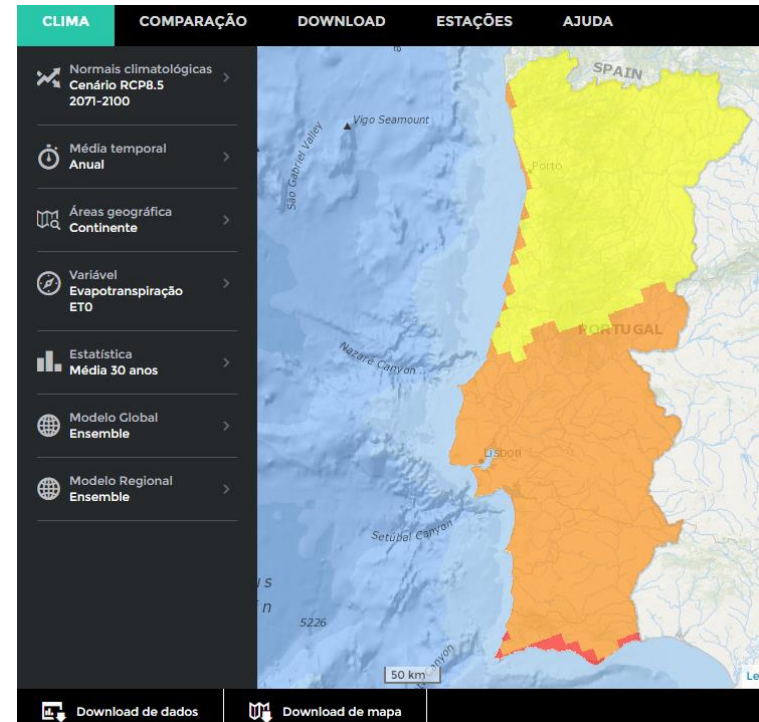
Normalis climatológicas: Histórico simulado - 1971-2000, Média temporal : Anual, Estatística: Média 30 anos, Modelo Regional: Ensemble, Modelo Global: Ensemble



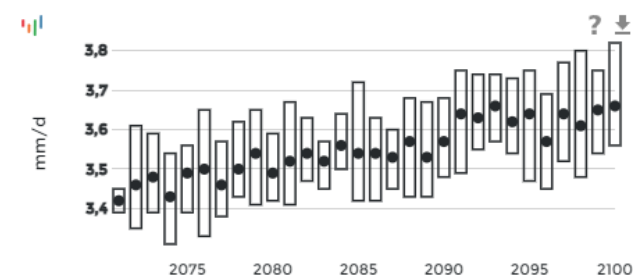
Evapotranspiração de Referência
Evolução Anual 2071-2100, Continente



Normalis climatológicas: Cenário RCP4.5 - 2071-2100, Média temporal : Anual, Estatística: Média 30 anos, Modelo Regional: Ensemble, Modelo Global: Ensemble



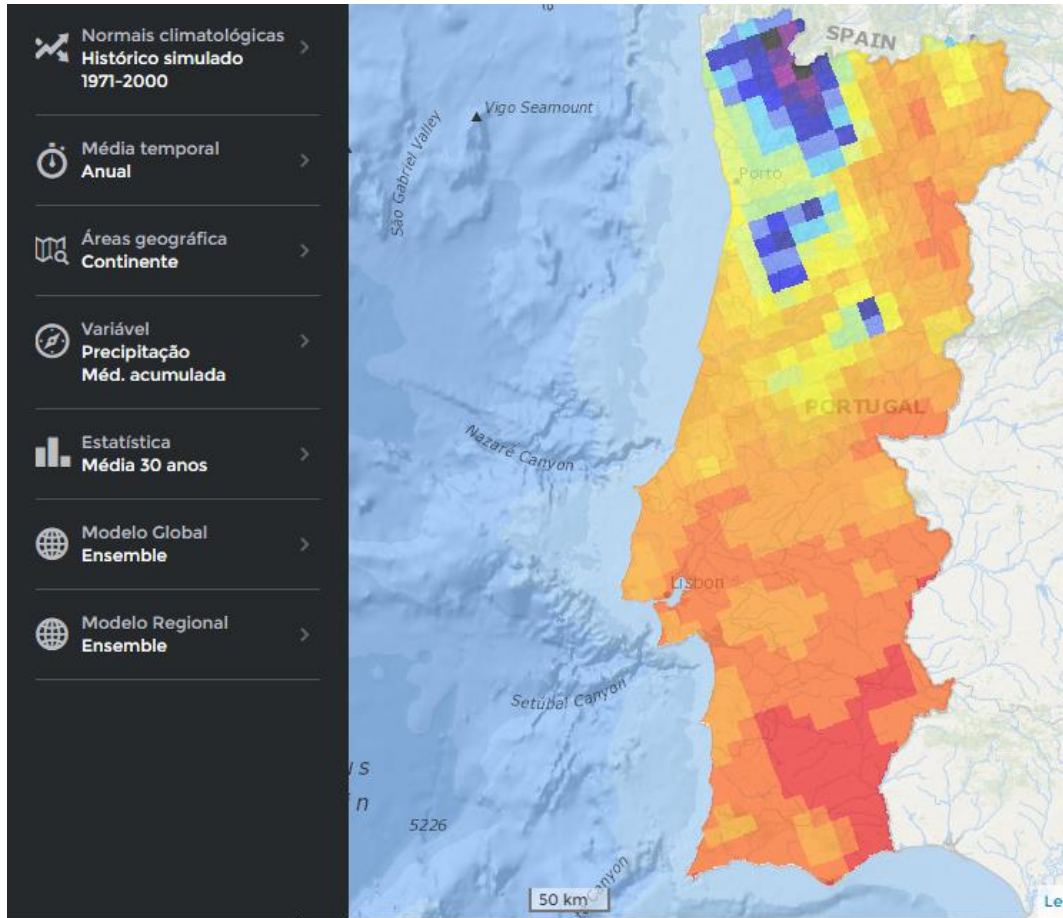
Evapotranspiração de Referência
Evolução Anual 2071-2100, Continente



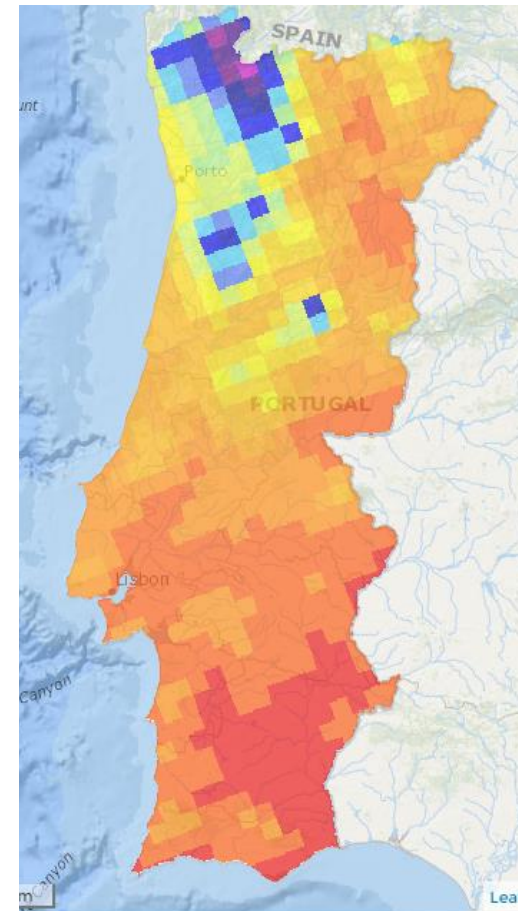
Normalis climatológicas: Cenário RCP8.5 - 2071-2100, Média temporal : Anual, Estatística: Média 30 anos, Modelo Regional: Ensemble, Modelo Global: Ensemble

Variação da Precipitação

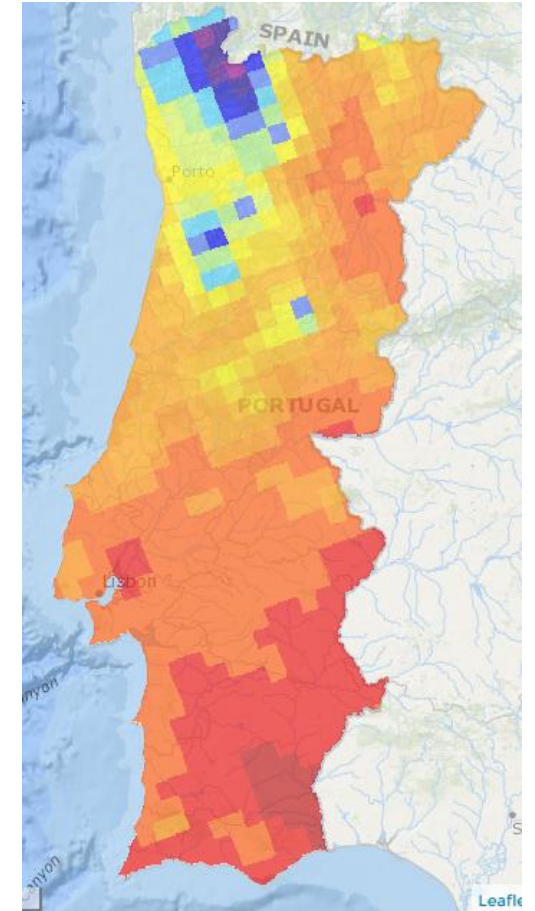
- Portal do clima (IPMA):



Histórico simulado (1971-2000)



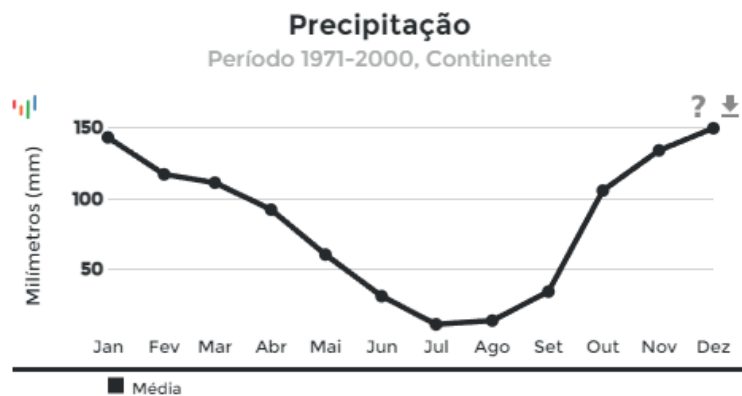
RCP4.5 (2071-2100)



RCP8.5 (2071-2100)

Variação da Precipitação

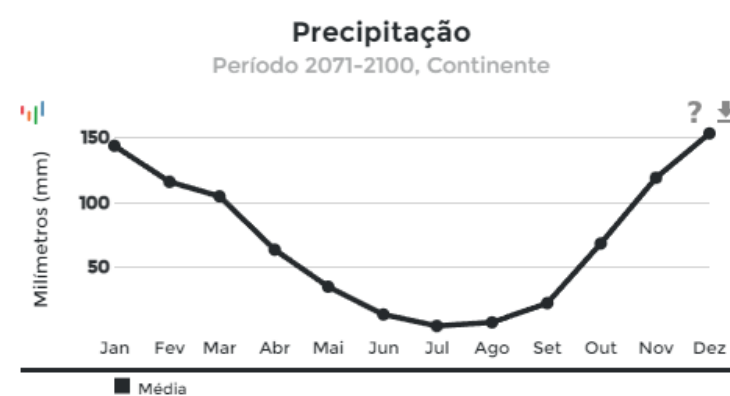
- Portal do clima (IPMA):



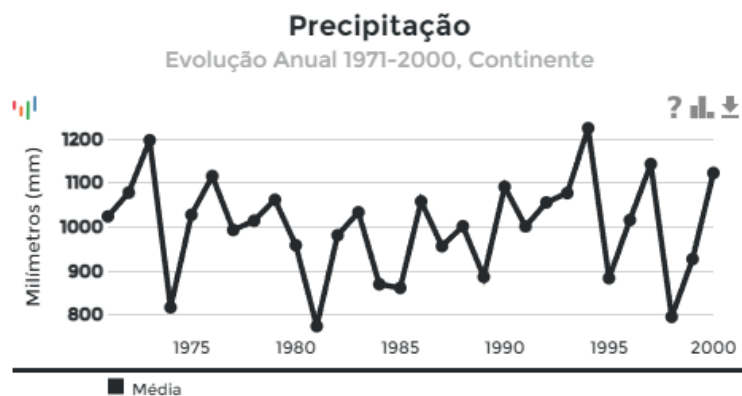
Normais climatológicas: Histórico simulado - 1971-2000, Estatística: Média 30 anos, Modelo Global: Ensemble, Modelo Regional: Ensemble



Normais climatológicas: Cenário RCP4.5 - 2071-2100, Estatística: Média 30 anos, Modelo Global: Ensemble, Modelo Regional: Ensemble



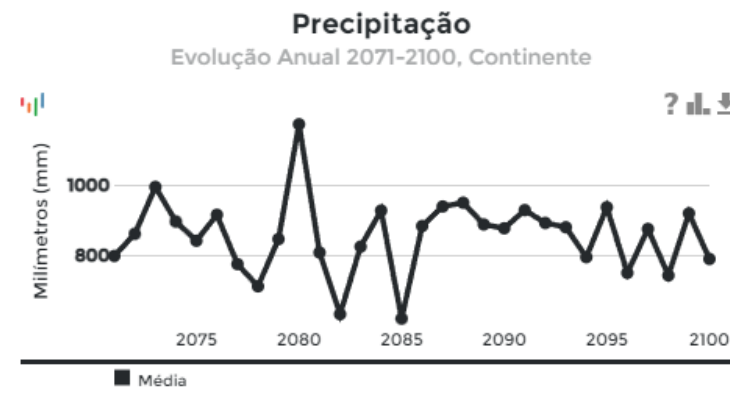
Normais climatológicas: Cenário RCP8.5 - 2071-2100, Estatística: Média 30 anos, Modelo Global: Ensemble, Modelo Regional: Ensemble



Normais climatológicas: Histórico simulado - 1971-2000, Média temporal: Anual, Estatística: Média 30 anos, Modelo Regional: Ensemble, Modelo Global: Ensemble

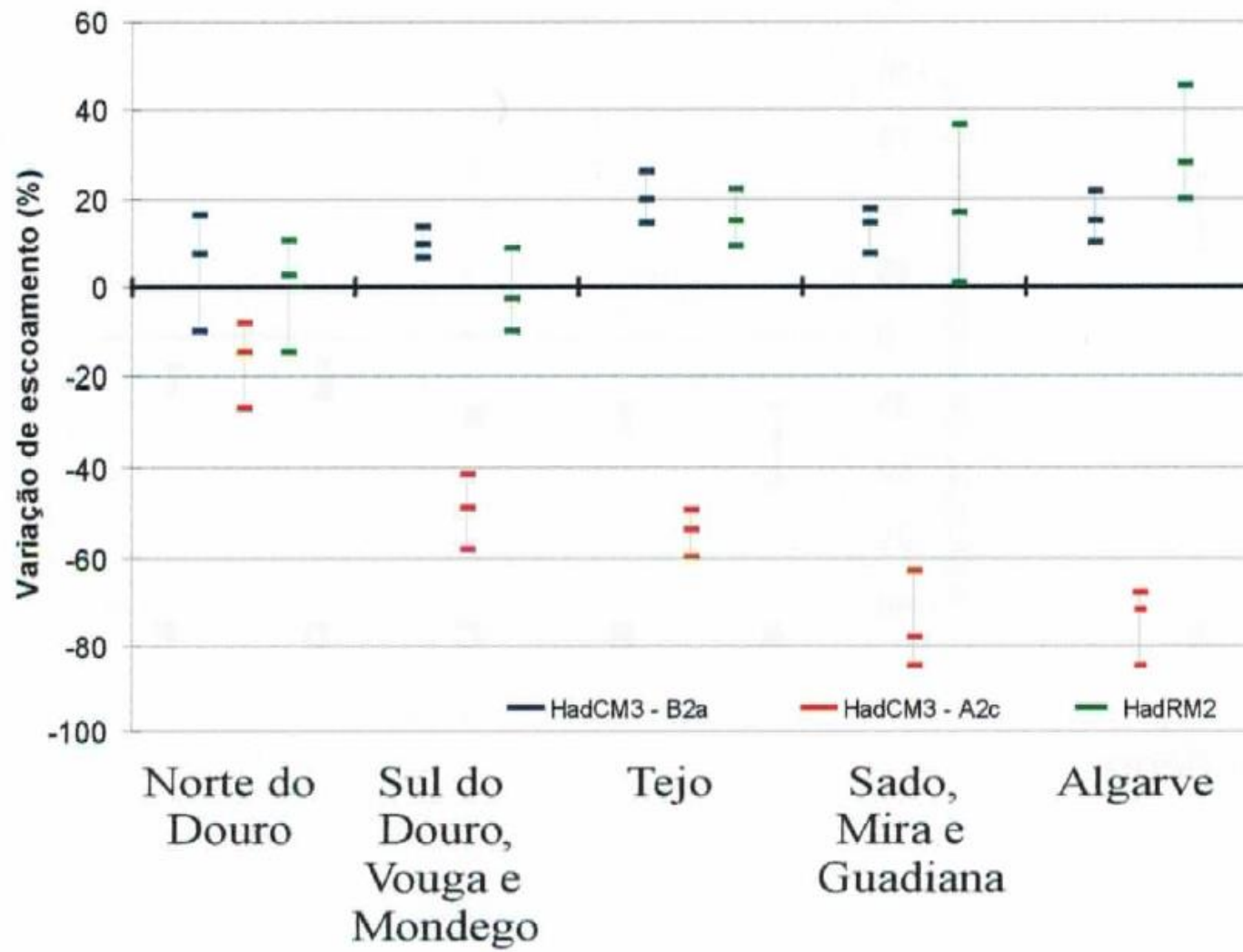


Normais climatológicas: Cenário RCP4.5 - 2071-2100, Média temporal: Anual, Estatística: Média 30 anos, Modelo Regional: Ensemble, Modelo Global: Ensemble



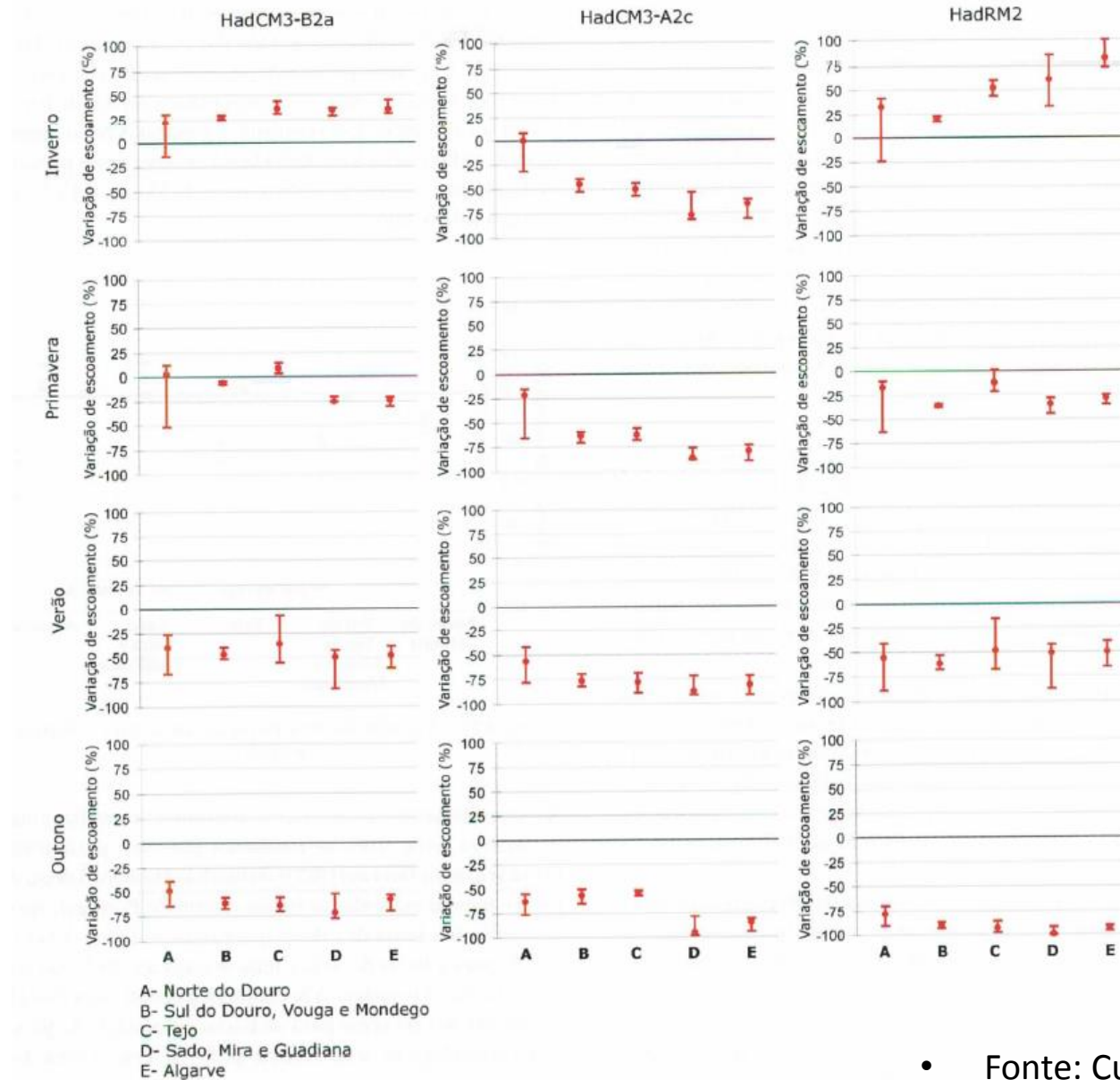
Normais climatológicas: Cenário RCP8.5 - 2071-2100, Média temporal: Anual, Estatística: Média 30 anos, Modelo Regional: Ensemble, Modelo Global: Ensemble

Variação do escoamento médio anual (2100)



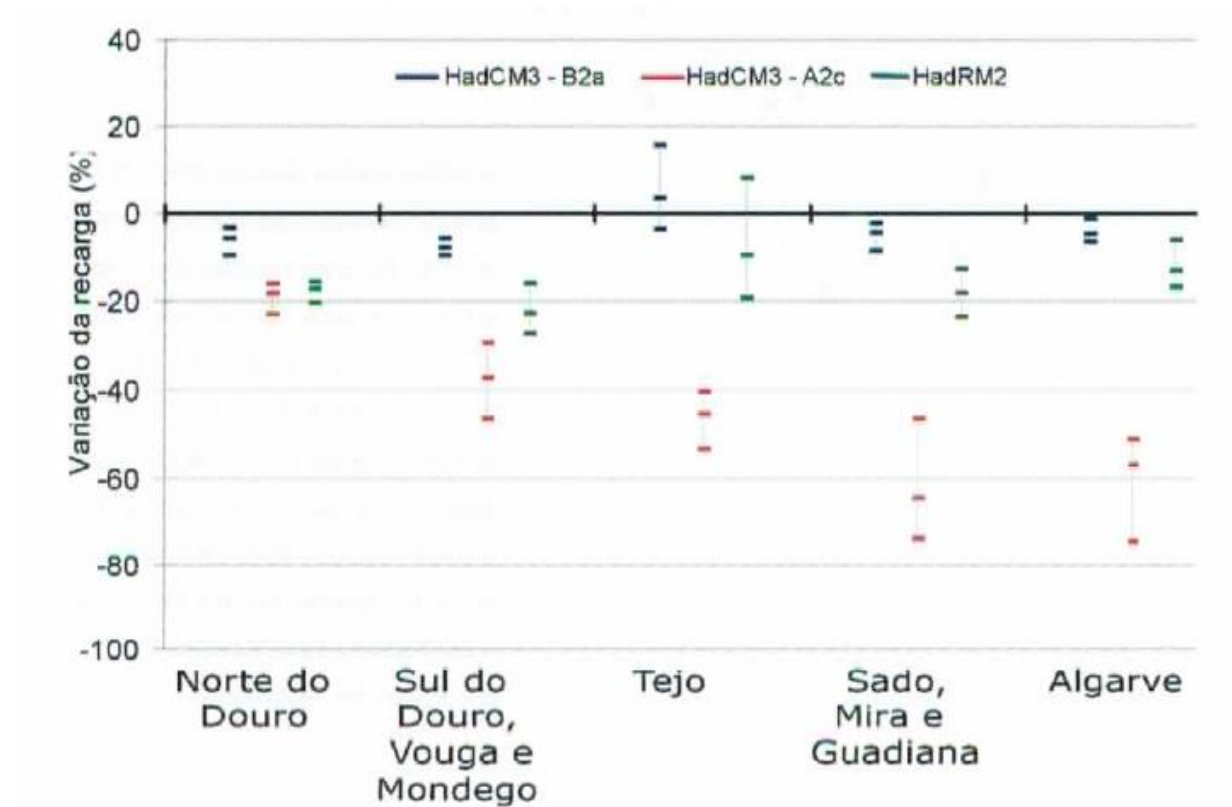
- Fonte: Cunha et al. (2006). (Projecto Siam II)

Variação do escoamento médio sazonal (2100)



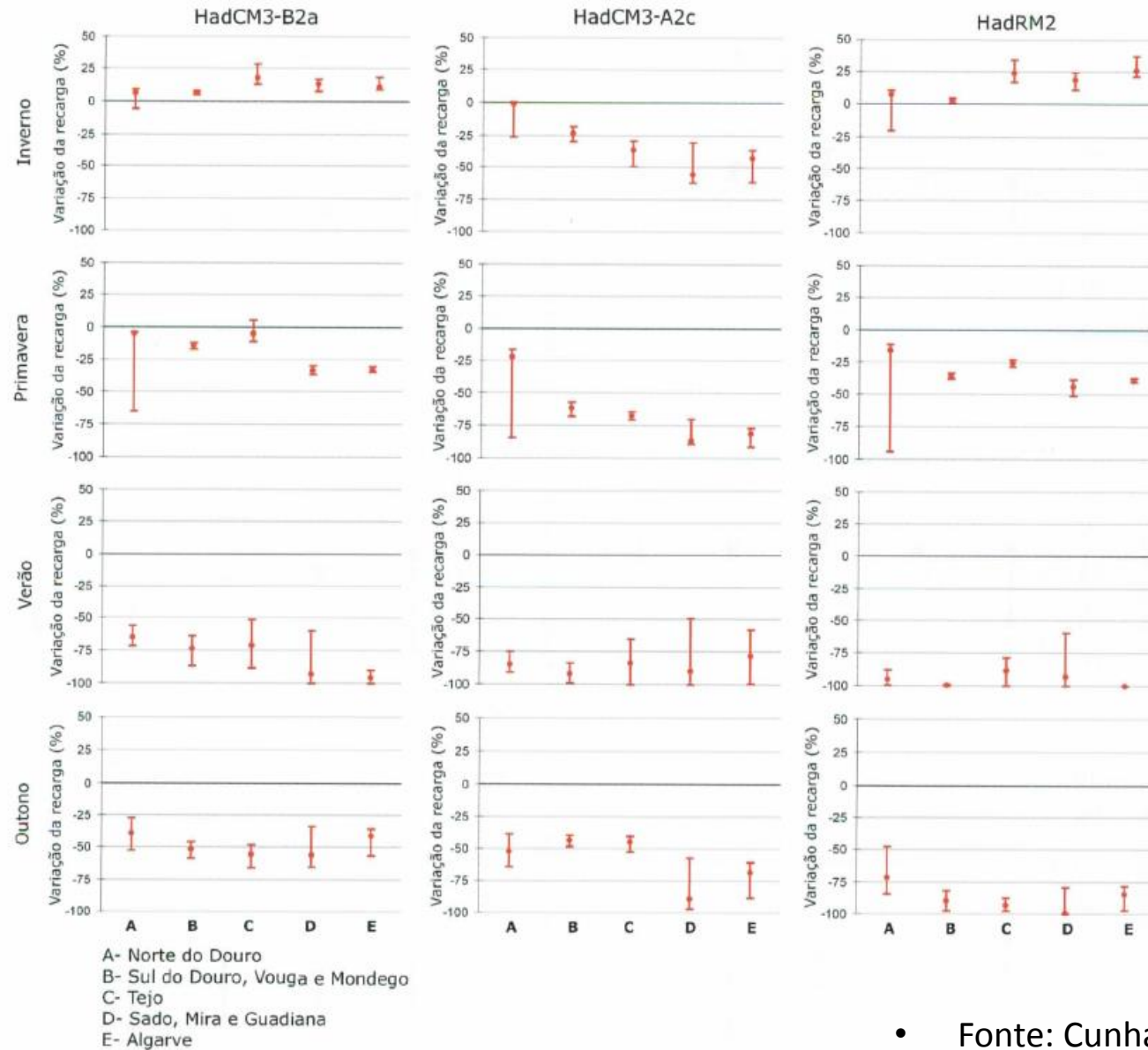
• Fonte: Cunha et al. (2006). (Projecto Siam II)

Variação da recarga média anual (2100)



- Fonte: Cunha et al. (2006). (Projecto Siam II)

Variação da recarga média sazonal (2100)



- Fonte: Cunha et al. (2006). (Projecto Siam II)

Anomalias projectadas para o escoamento

- Copernicus Climate Change Service (C3S)
- SMHI Hypeweb:

The screenshot shows the SMHI Hypeweb interface for Europe Climate Change. The main map displays projected flow anomalies, with a color scale ranging from blue (negative anomalies) to red (positive anomalies). The map includes a legend for 'Change relative to 1971-2000 (%)' with categories: Main river basins (red line), Lakes (blue area), Rivers (blue line), and Sub-basins (grey area). A scale bar indicates 100 km. The right-hand control panel, titled 'CLIMATE IMPACTS', includes tabs for 'MAPS' and 'GRAPHS AND DOWNLOAD'. Under 'Indicators and models', the 'Indicator type' is set to 'Water quantity', the 'Climate impact indicator' is 'Water runoff (mean)', and the 'Impact model ensemble' is 'Ensemble mean'. The 'Key Message and Confidence' section contains icons for a key and a document. The 'View Settings' section includes radio buttons for 'Absolute mean values (reference period)' and 'Climate Change Impact period', a slider for the impact period (set to 2020's, 2050's, or 2080's), radio buttons for 'Emission scenario (RCP)' (Low (RCP 2.6), Moderate (RCP 4.5), High (RCP 8.5), Mean of low to high), and sliders for 'Ensemble range' (Min, Mean, Max) and 'Opacity'.

Bibliografia

- IPCC (2014). AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- Projecto "Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures" (SIAM) . Livro SIAM I (2002) e SIAM II (2006): <http://cciam.fc.ul.pt/prj/siam/index.php>
- Impacte das alterações climáticas nos sistemas de regadio no Alentejo, (2014). Teixeira, J.L. & Rolim, J., (eds). ISAPress, Lisboa, Portugal. 150 pp. ISBN: 978-972-8669-59-1.
https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/13246/1/Livro_Impacte_alteracoes_climaticas.pdf
- Rolim, J., Teixeira, J.L., Catalão J., Shahidian, S. (2017). The Impacts of Climate Change on Irrigated Agriculture in Southern Portugal. *Irrigation and Drainage*. 66:3-18 (doi: 10.1002/ird.1996).
- GPP (2018). **ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**. CULTIVAR Cadernos de Análise e Prospetiva e Prospetiva N.º 12. Lisboa, Portugal. 119 pp. https://www.gpp.pt/images/GPP/O_que_disponibilizamos/Publicacoes/CULTIVAR_12/CULTIVAR-12.pdf