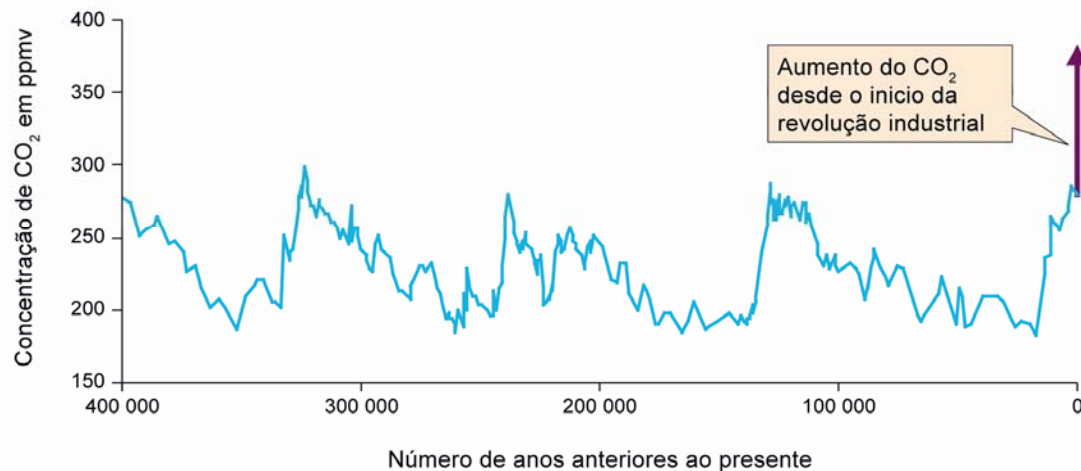
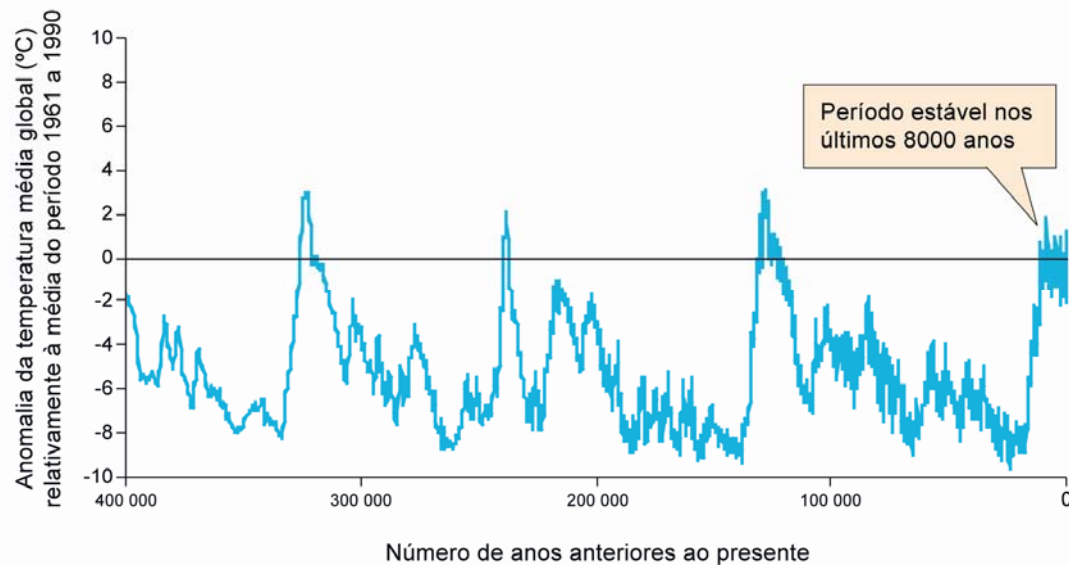


ENERGIA E AMBIENTE CLIMA

Filipe Duarte Santos

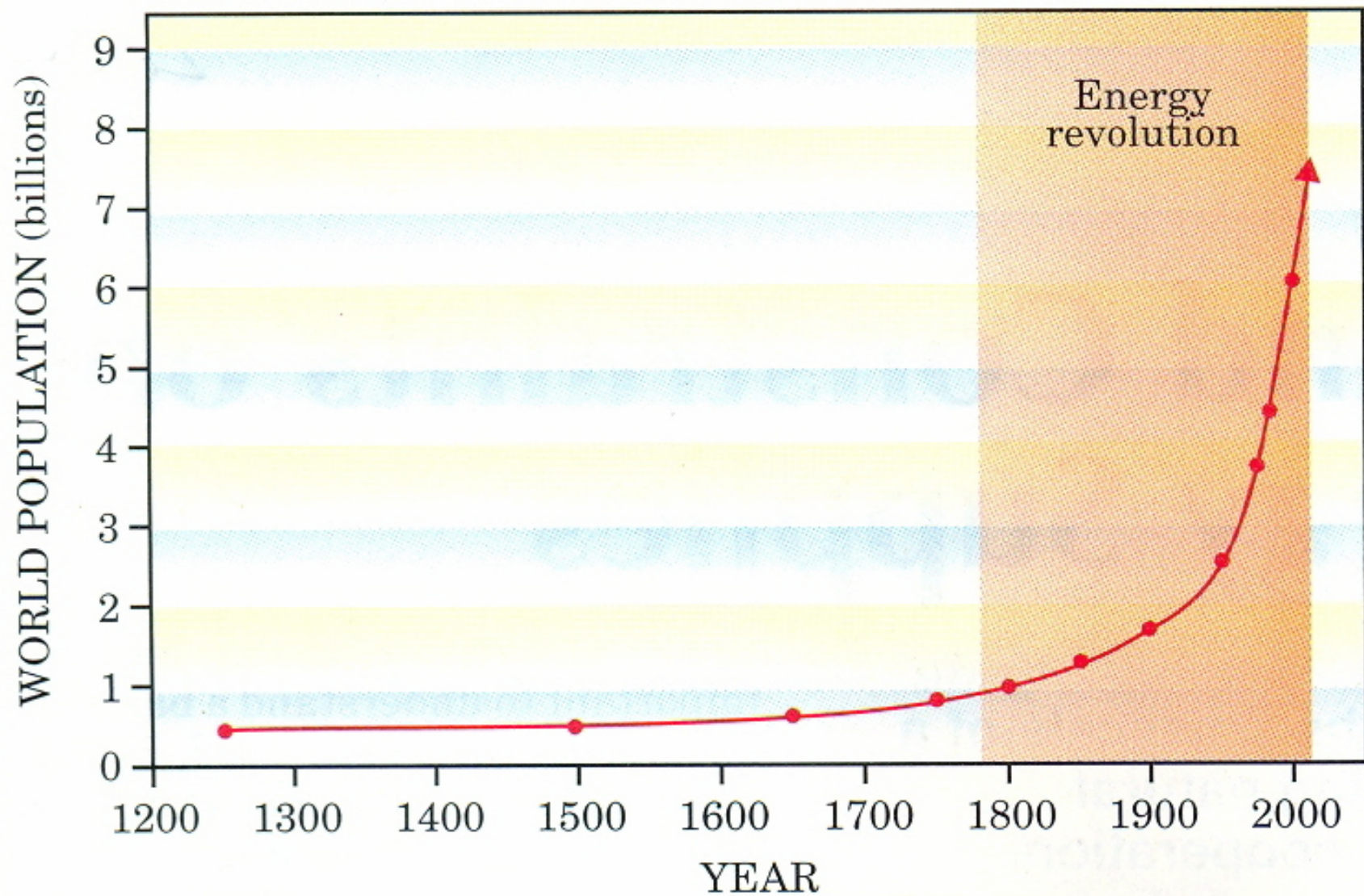
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

21 de Novembro de 2005

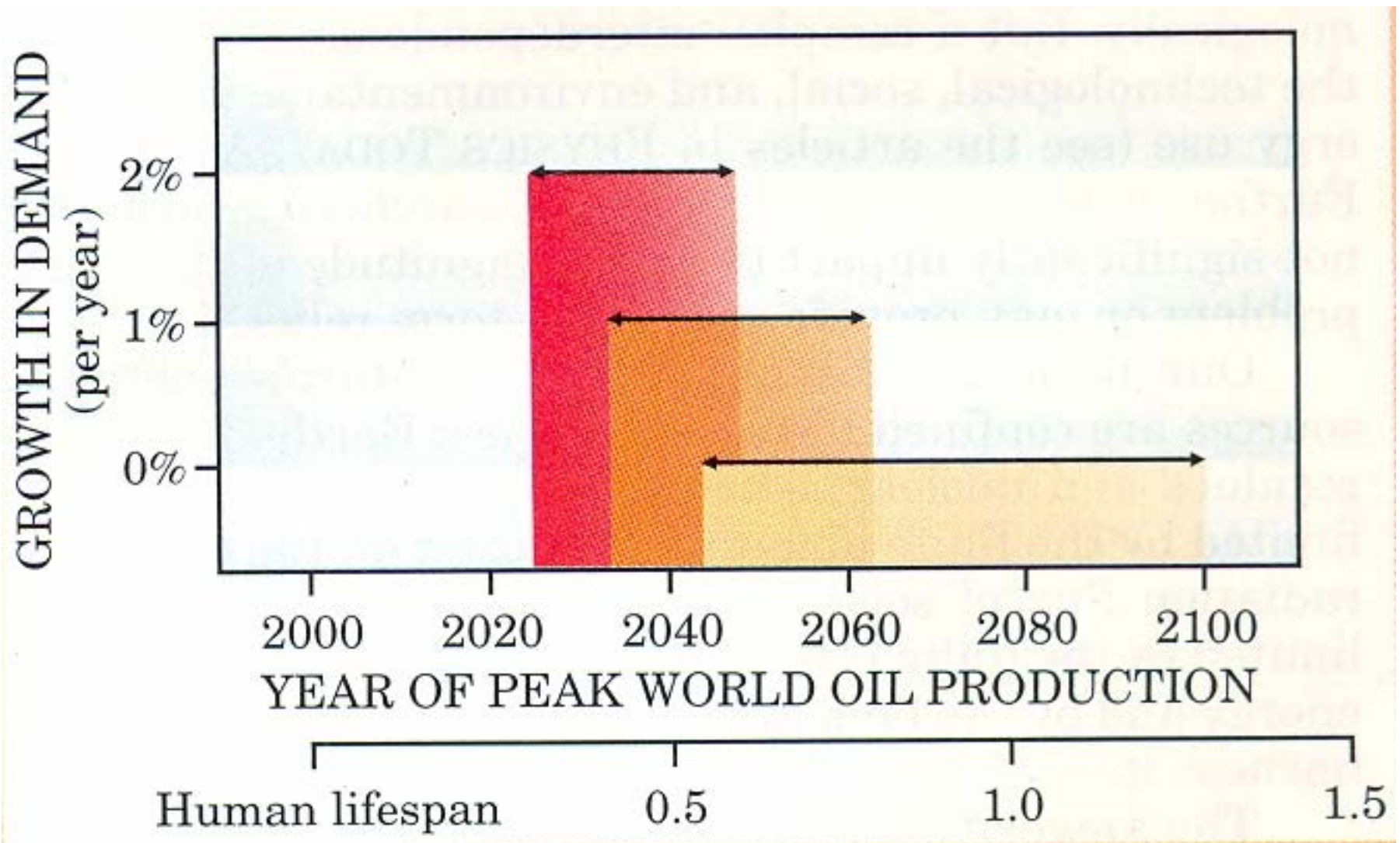


Reconstituição da evolução da temperatura média global da baixa atmosfera, representada por meio da anomalia relativamente à média do período de 1961 a 1990, e da concentração atmosférica do CO₂ nos últimos 400 000 anos (Petit, 1999). Figura adaptada de EEA, 2004. Repare-se na correlação que se observa entre os dois registos. O aumento da concentração do CO₂ a partir da revolução industrial e até ao presente está indicado por um vector aproximadamente vertical devido à escala de tempo utilizada na figura

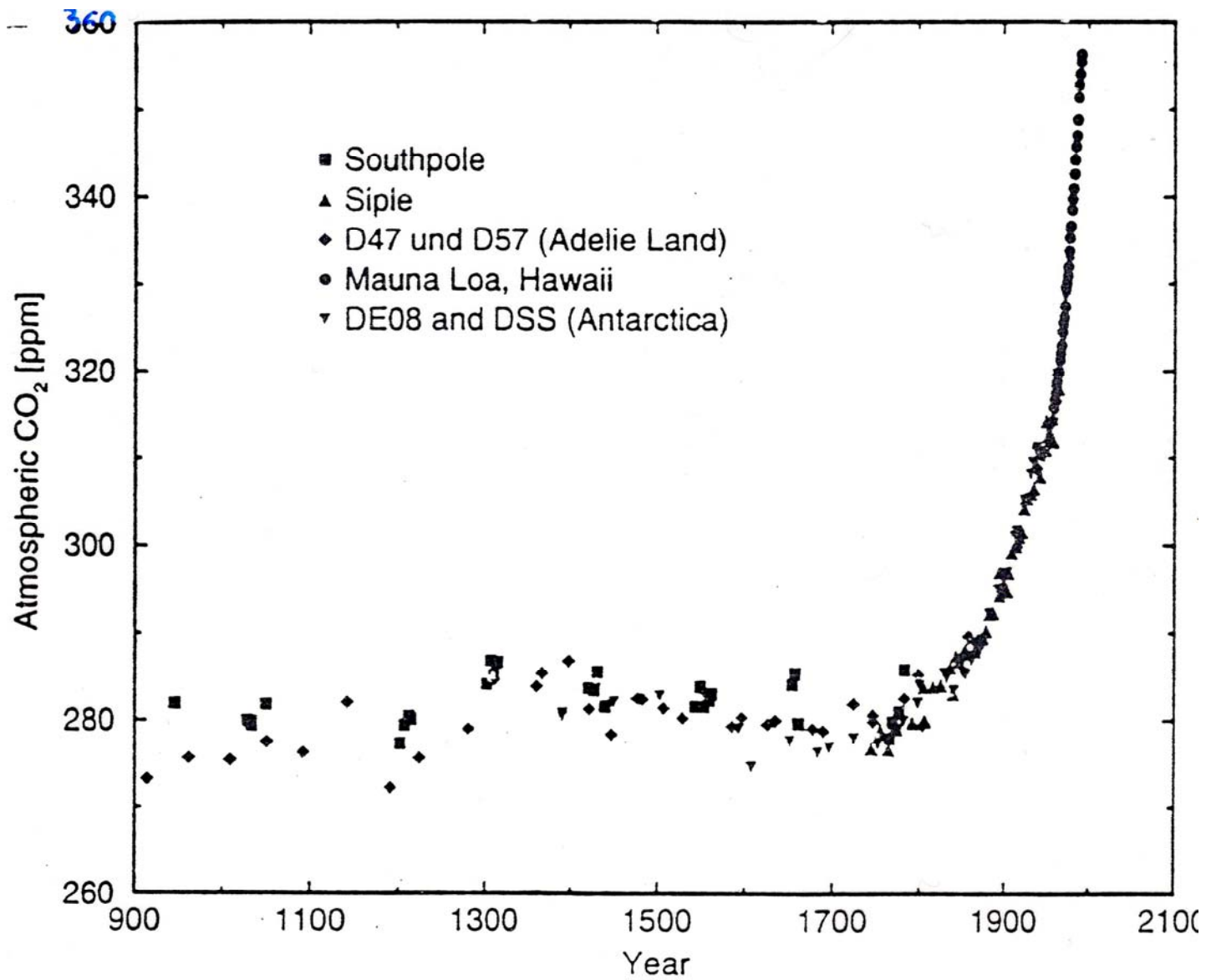
Fonte, Petit et al., 1999



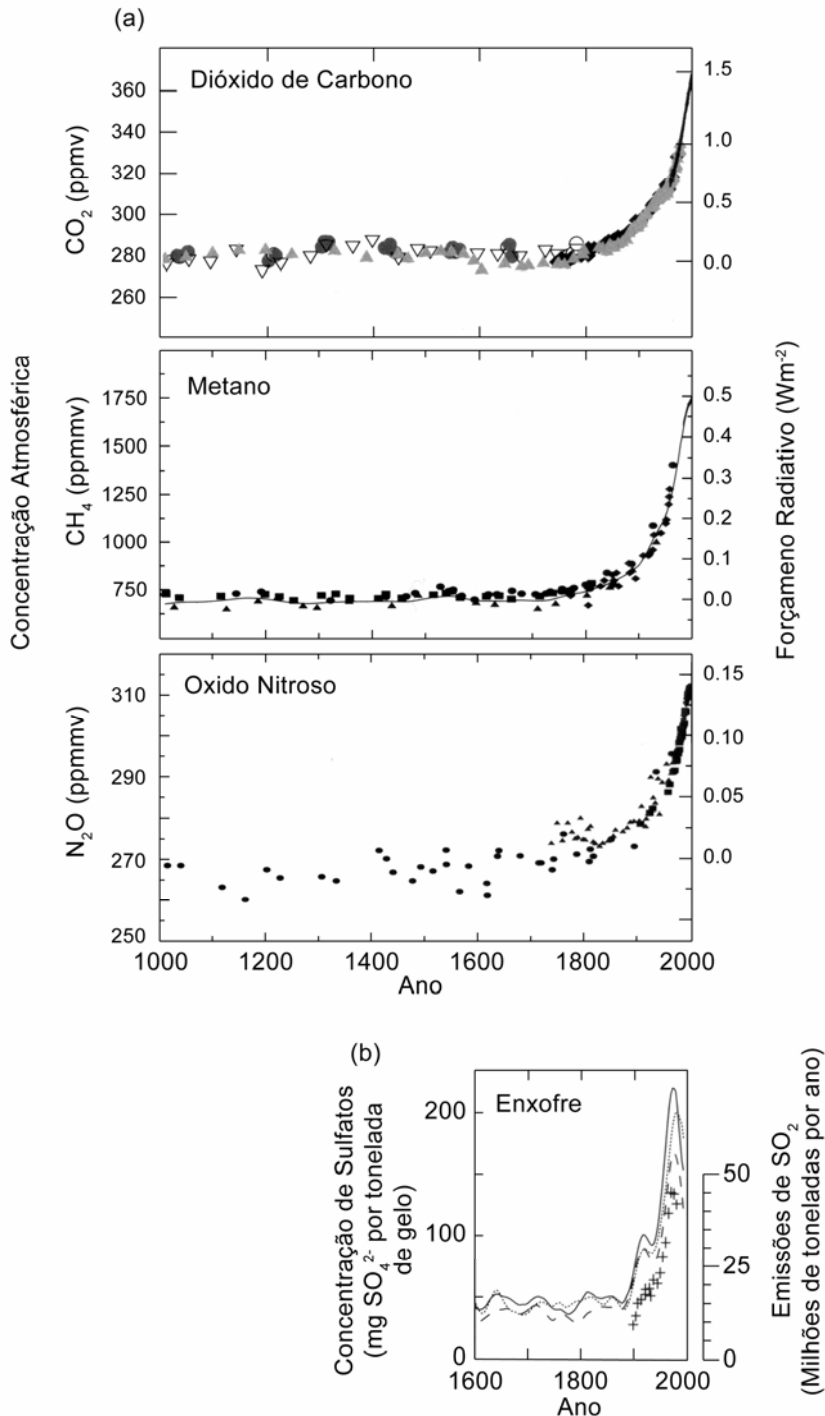
Fonte, P. Weiss, 2004



Fonte, P. Weiss, 2004

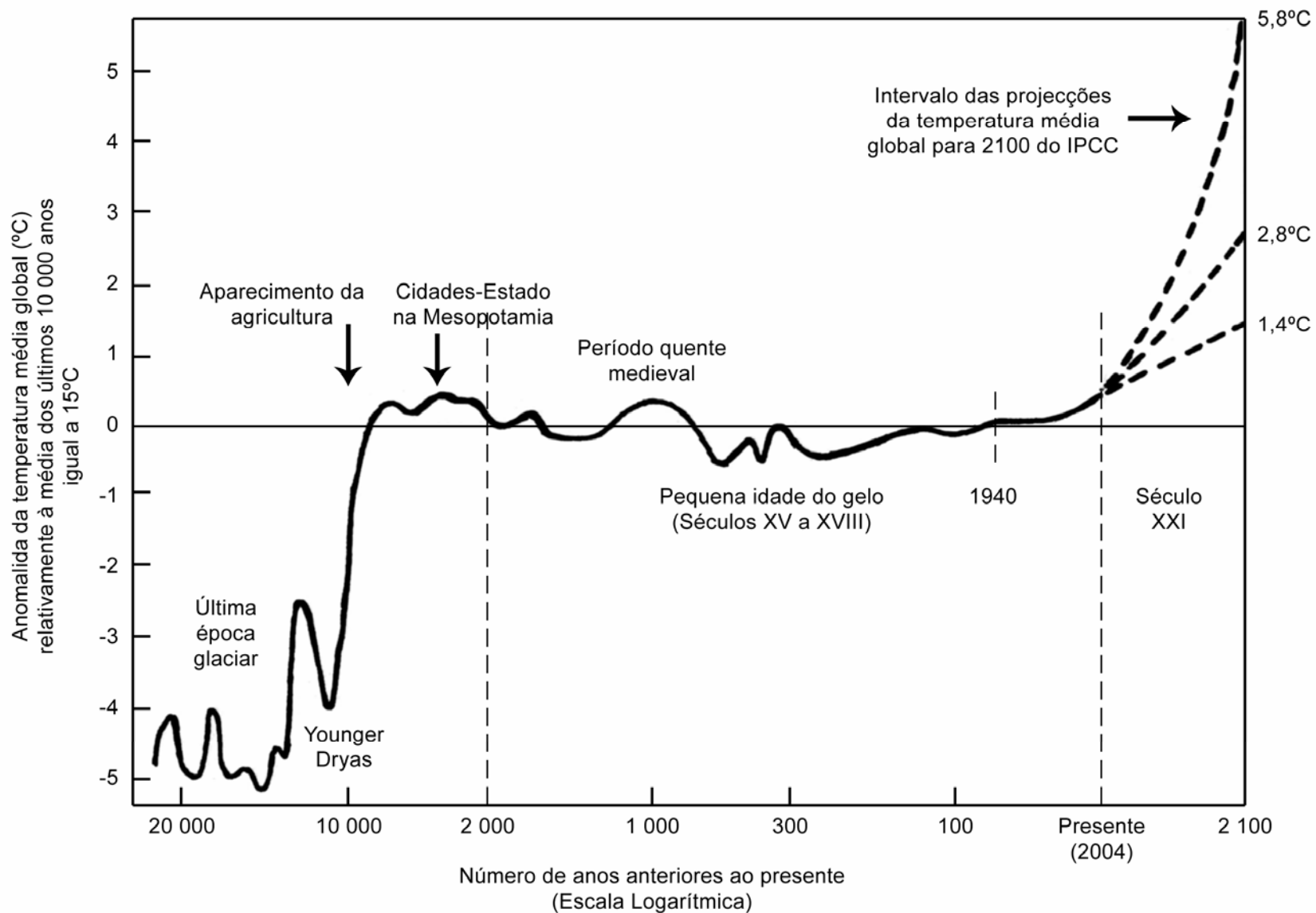


Fonte, IPCC

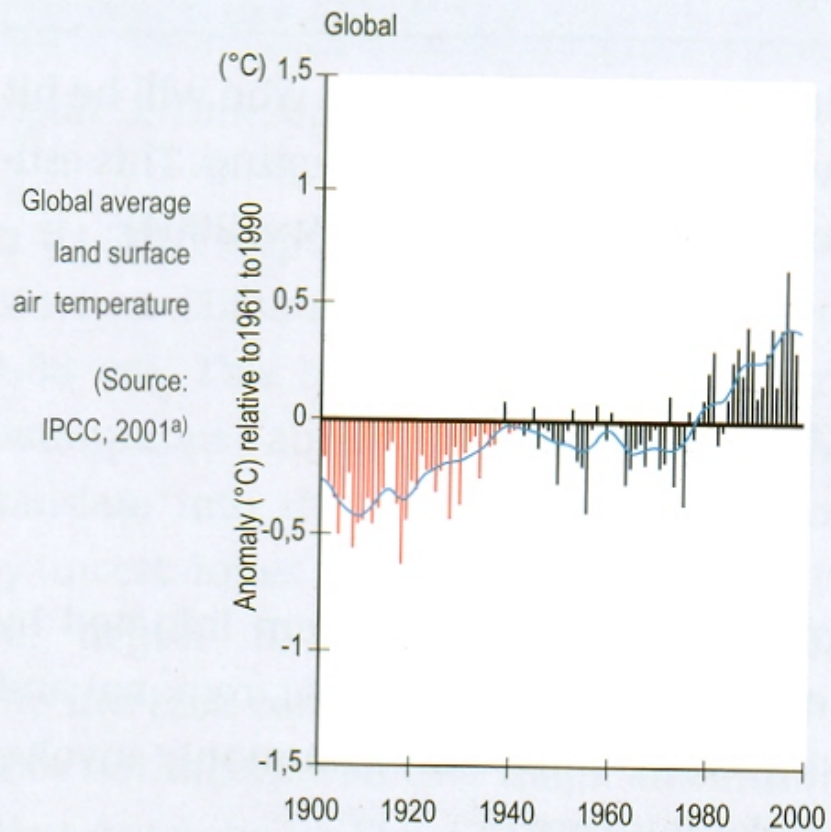


Evolução das concentrações de vários componentes da atmosfera (IPCC, 2001a). (a) Concentrações de três dos principais gases com efeito de estufa (GEE), com emissões antropogénicas – CO₂, CH₄ e N₂O – nos últimos 1 000 anos. Dados obtidos a partir de furos nos gelos da Antárctica e Gronelândia e de observações directas nas últimas décadas (indicada por uma linha no caso do CO₂). No gráfico relativo ao CH₄ a curva representa a média global. O forçamento radiativo provocado pela presença destes gases na atmosfera está representado à direita. No caso do CH₄ e N₂O a concentração está representada em partes por milhar de milhão em volume (ppmmv). (b) Concentrações de sulfatos obtidas a partir de furos nos gelos da Gronelândia em três locais (curvas) e emissões totais de SO₂ na Europa e nos Estados Unidos da América (indicadas com +).

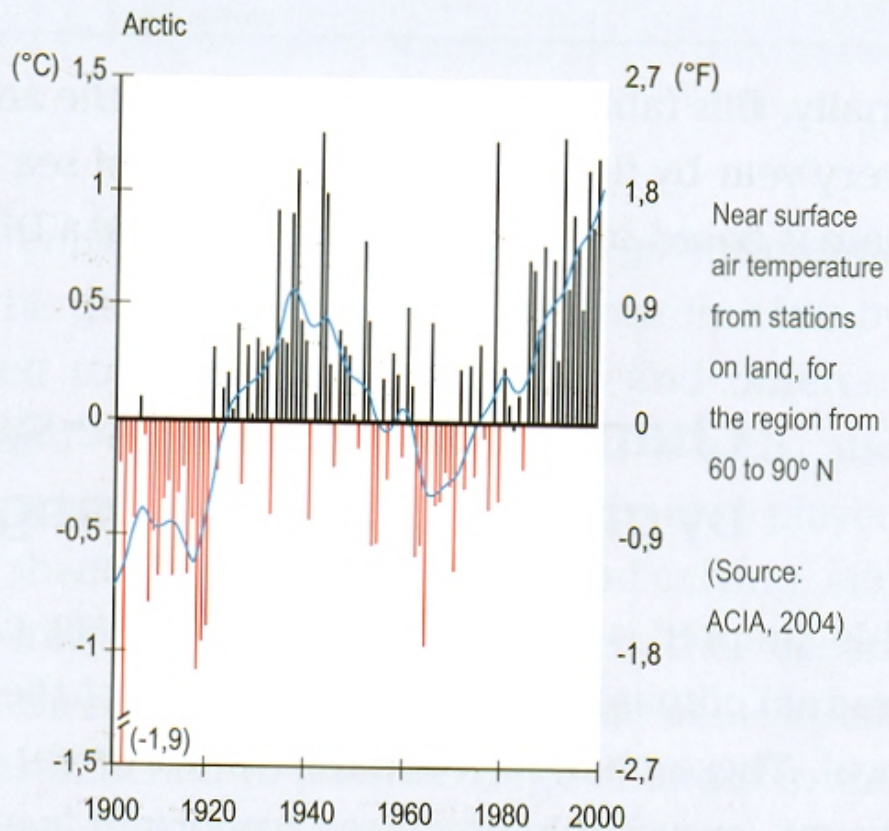
Fonte, IPCC



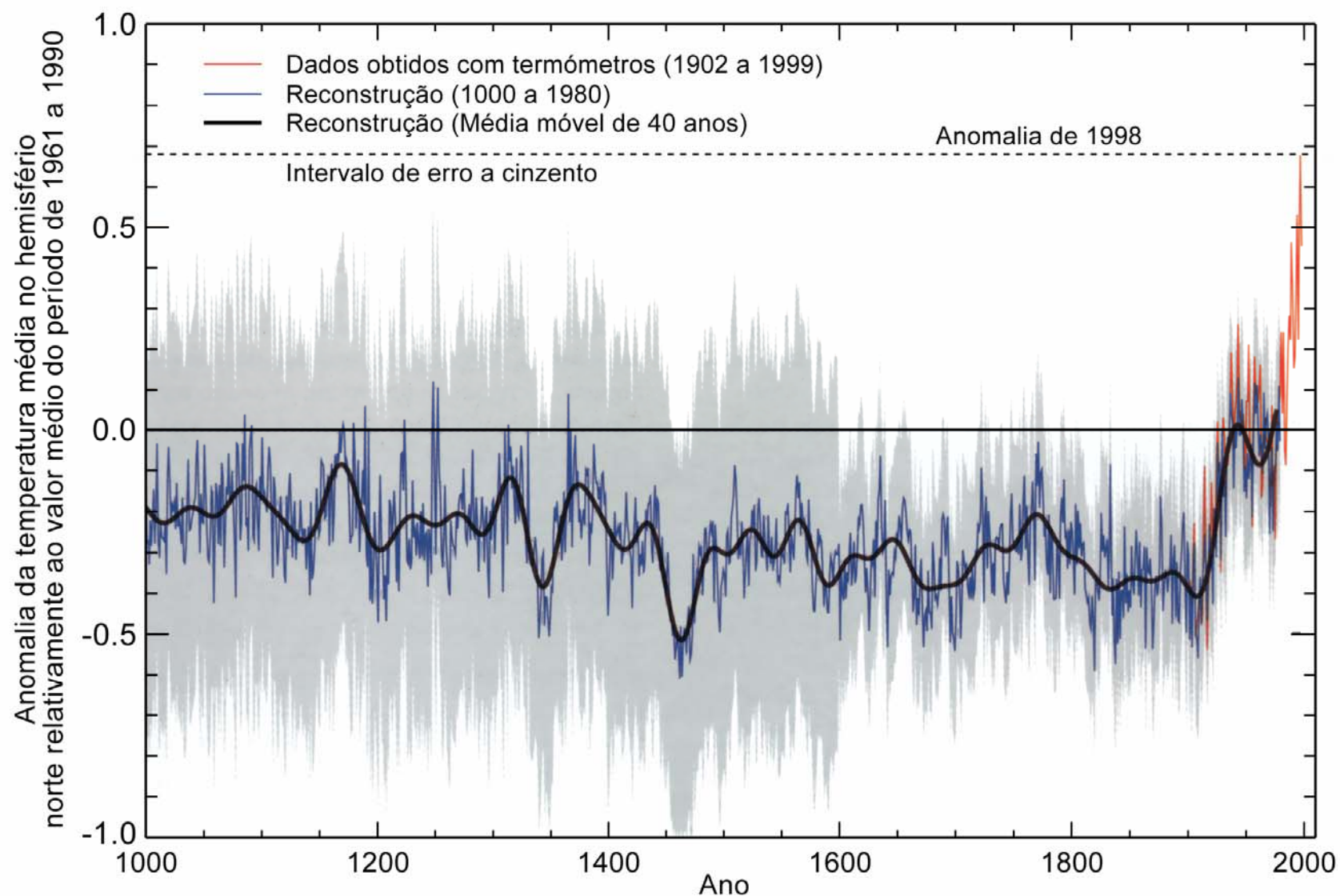
Fonte, SIAM



Fonte, IPCC, 2001

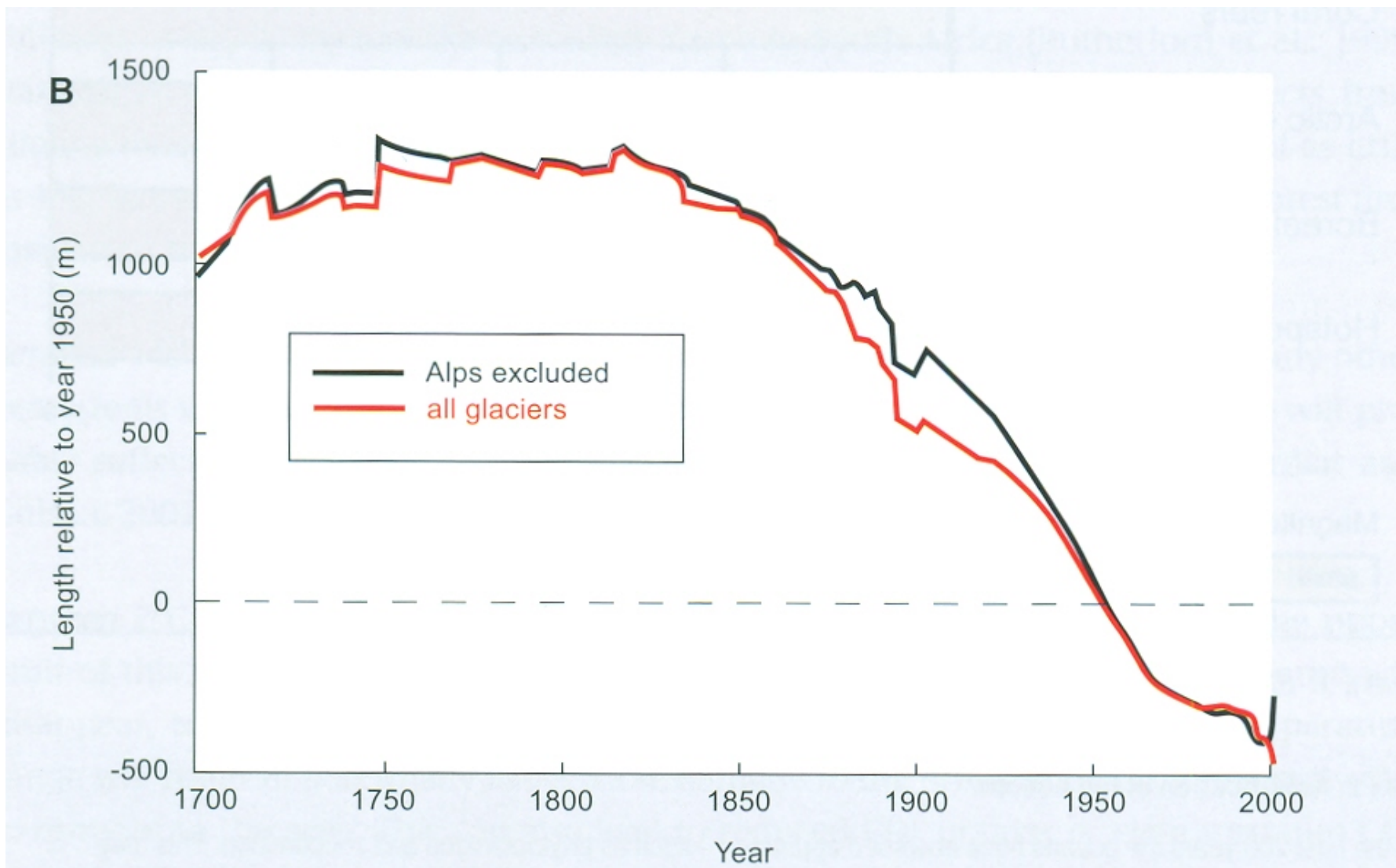


Fonte, ACIA, 2004

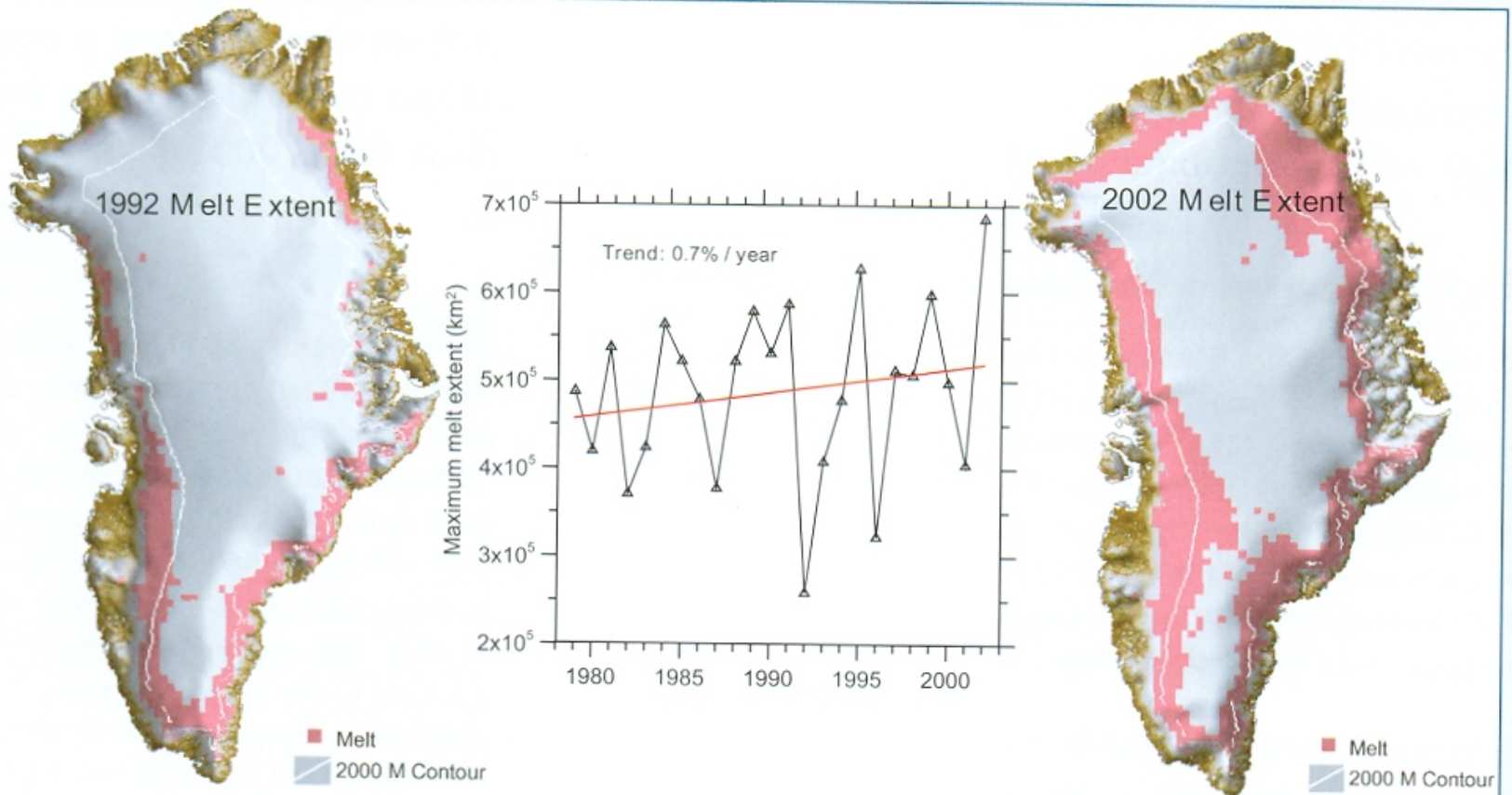


Fonte, IPCC

Temperatura anual média da atmosfera à superfície no Hemisfério Norte desde o ano 1000 (IPCC, 2001a), representada por meio da anomalia relativamente à média do período de 1961 a 1990. Reconstrução de 1000 a 1980 representada a azul e obtida com base na análise dos anéis das árvores, corais, cilindros de gelo obtidos em furos nos gelos polares e dados históricos. Série instrumental representada a vermelho e intervalo de erro a cinzento.



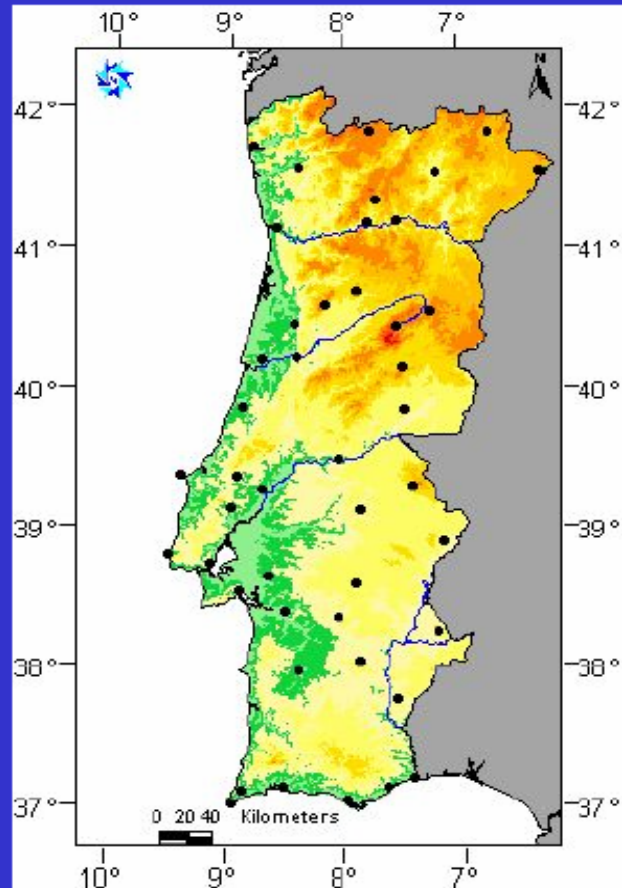
Fonte, Oerlemans, 2005



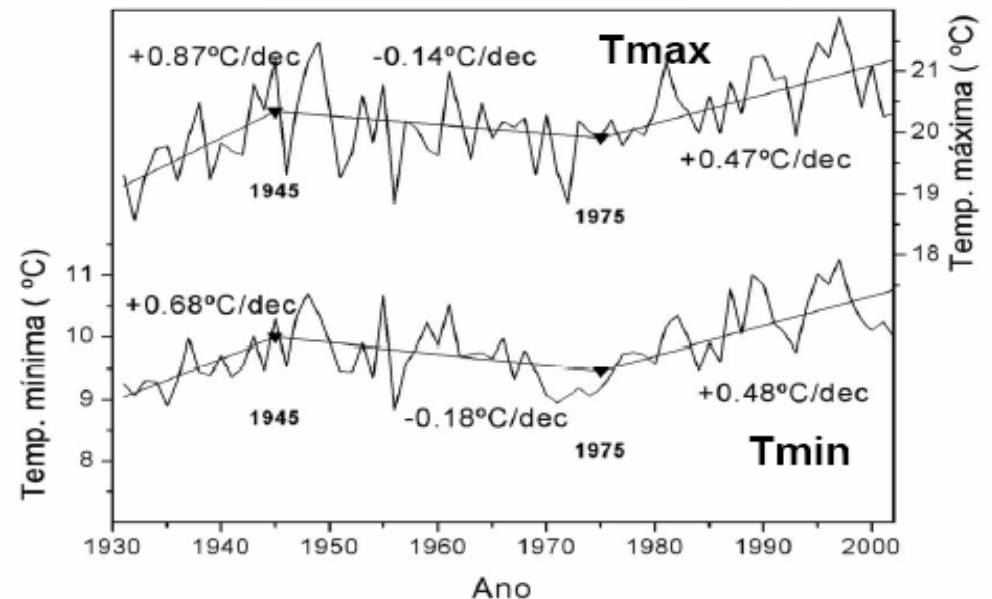
Greenland ice sheet melt area increased on average by **16%** from 1979 to 2002. The smallest melt extent was observed after the Mt. Pinatubo eruption in 1992

Data from Konrad Steffen and Russell Huff, University of Colorado

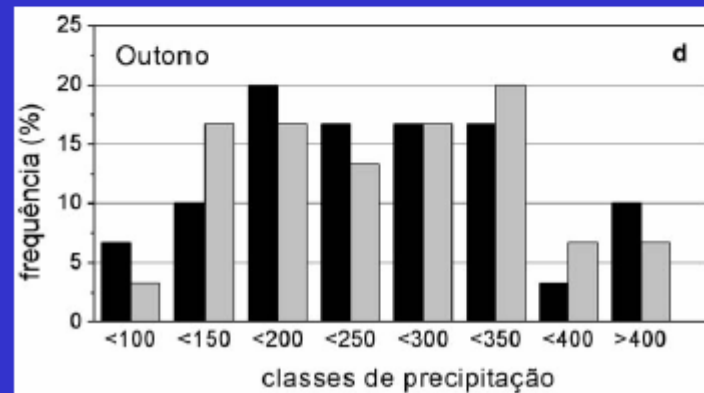
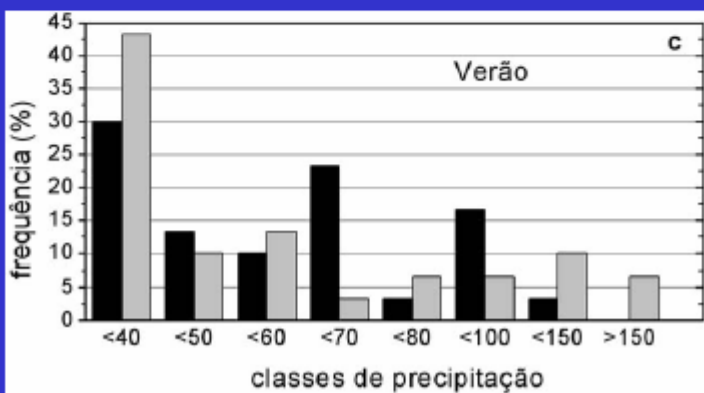
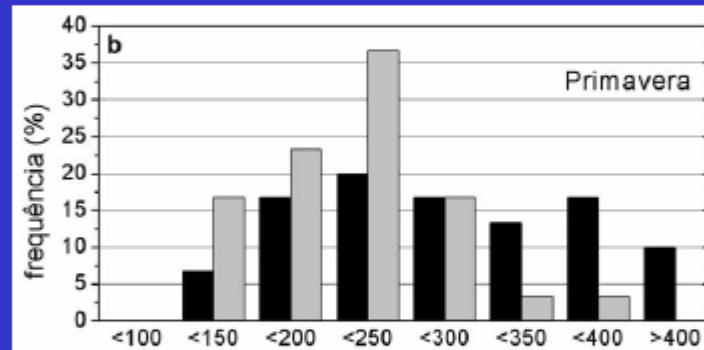
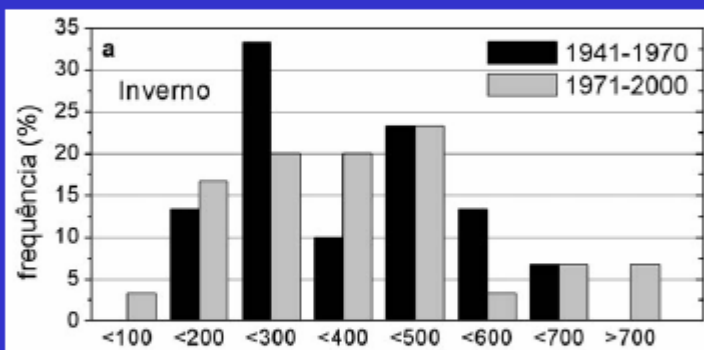
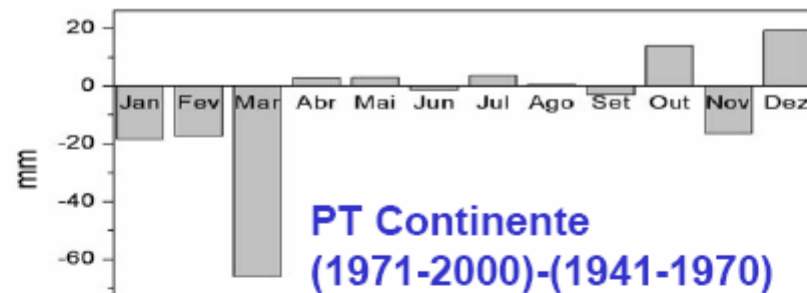
2 – Séries históricas



OBSERVAÇÕES Temperatura em Portugal Continental

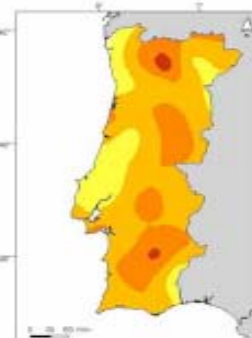
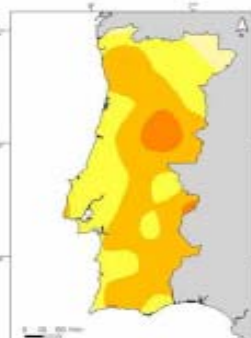
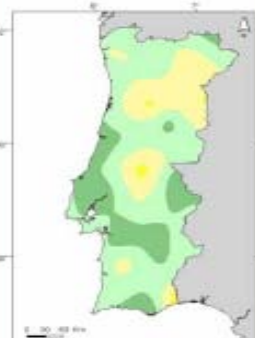
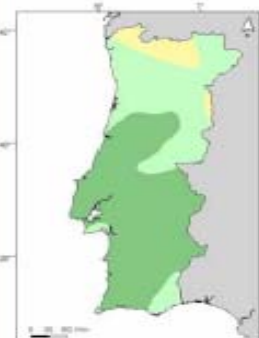


Fonte, SIAM

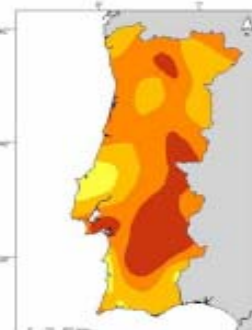
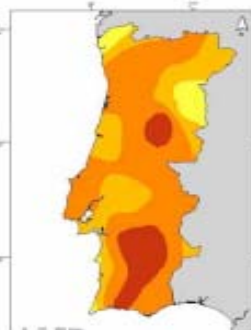
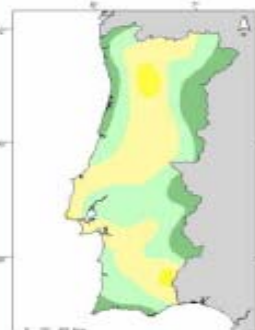
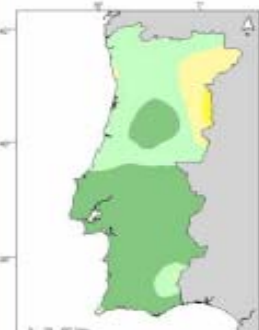


Fonte, SIAM

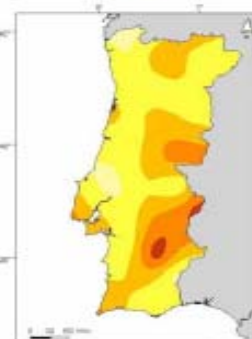
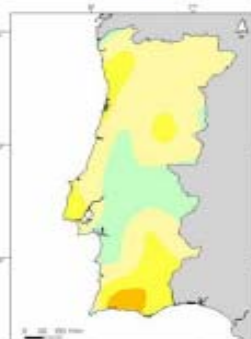
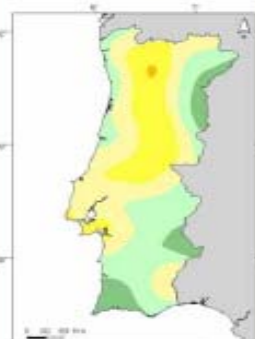
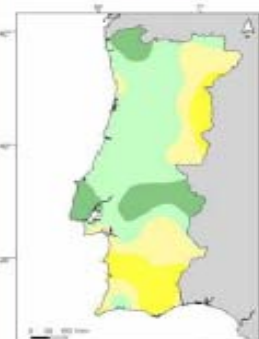
Jan



Fev

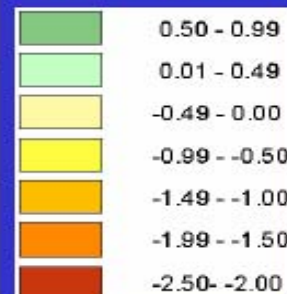


Mar



Indice
PDSI
Seca

Chuva ligeira



Seca moderada

V. Pires 2004, IM

1961-70

1971-80

1981-90

1991-00

Fonte, SIAM

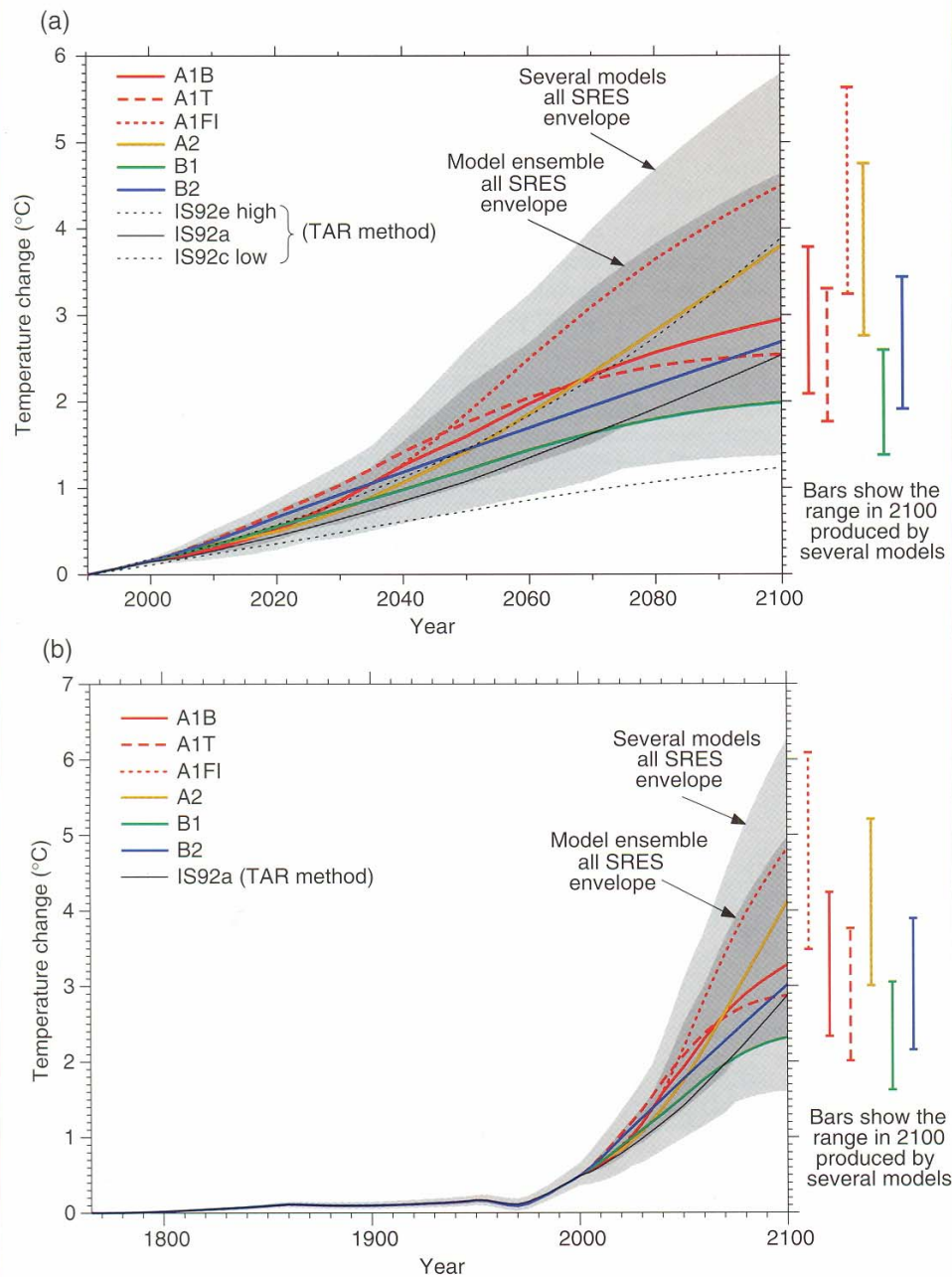
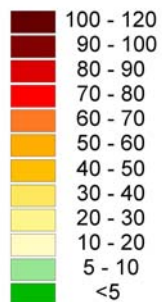
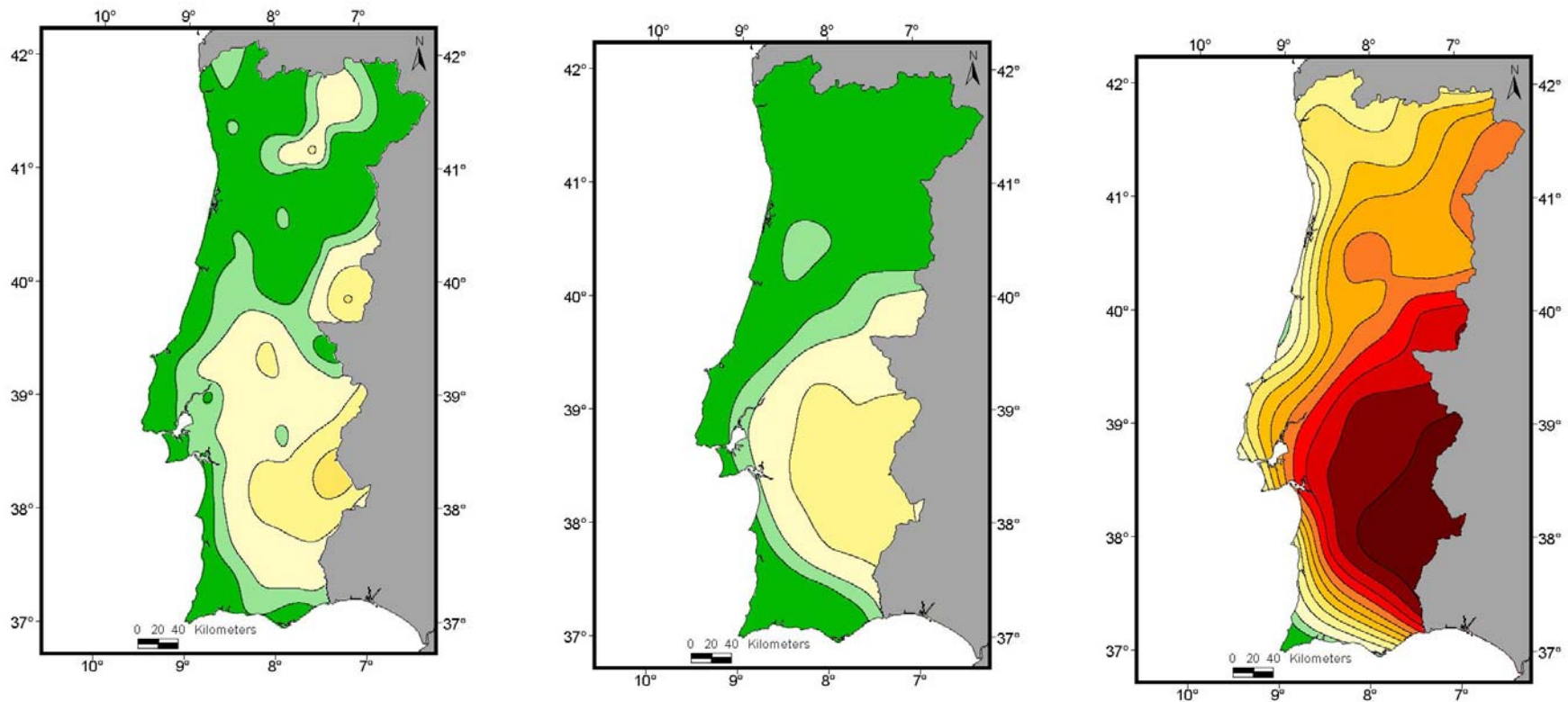


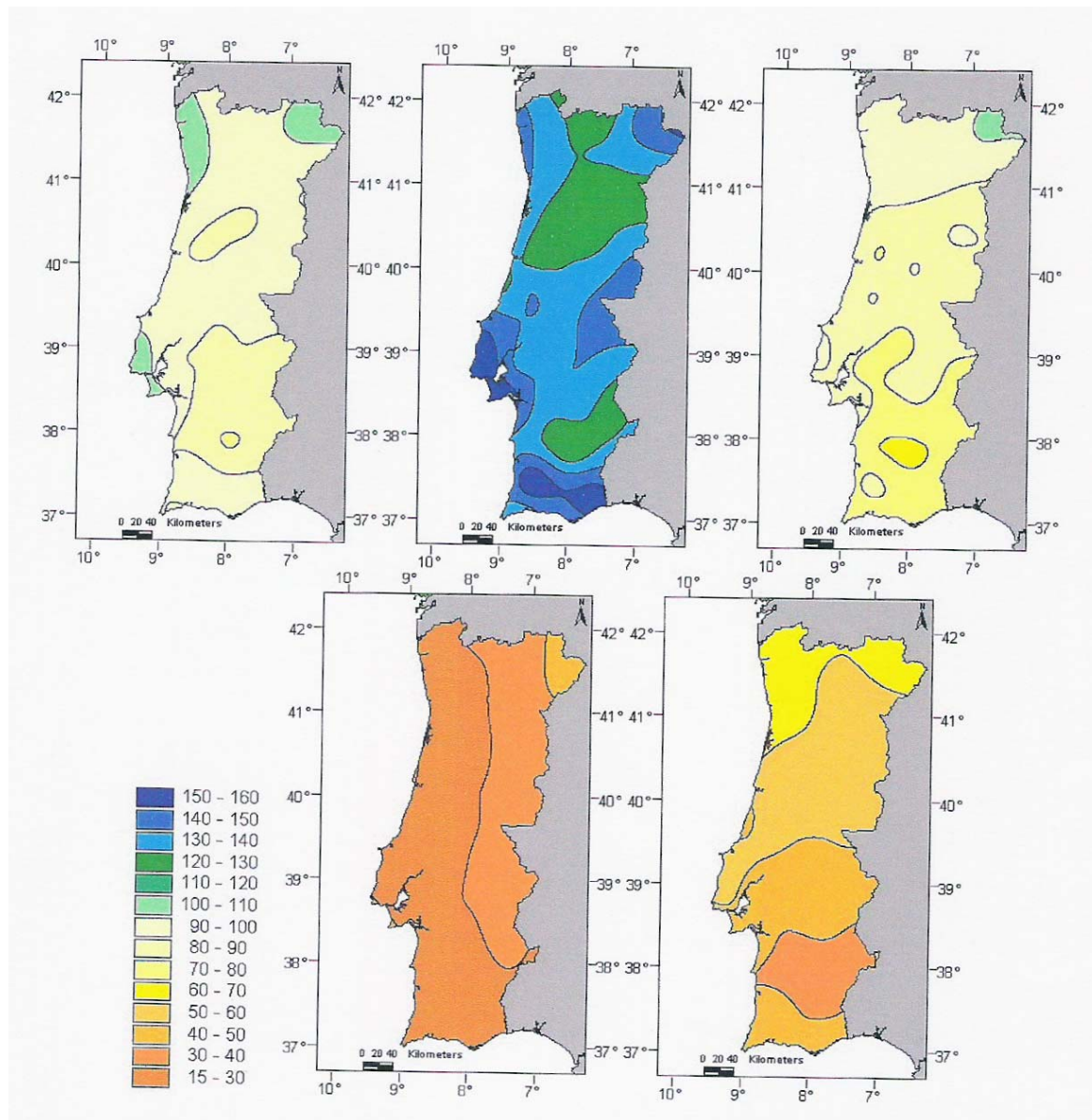
Figure 22: Simple model results: (a) global mean temperature projections for the six illustrative SRES scenarios using a simple climate model tuned to a number of complex models with a range of climate sensitivities. Also for comparison, following the same method, results are shown for IS92a. The darker shading represents the envelope of the full set of thirty-five SRES scenarios using the average of the model results (mean climate sensitivity is 2.8°C). The lighter shading is the envelope based on all seven model projections (with climate sensitivity in the range 1.7 to 4.2°C). The bars show, for each of the six illustrative SRES scenarios, the range of simple model results in 2100 for the seven AOGCM model tunings. (b) Same as (a) but results using estimated historical anthropogenic forcing are also used. [Based on Figures 9.14 and 9.13b]

Fonte, IPCC



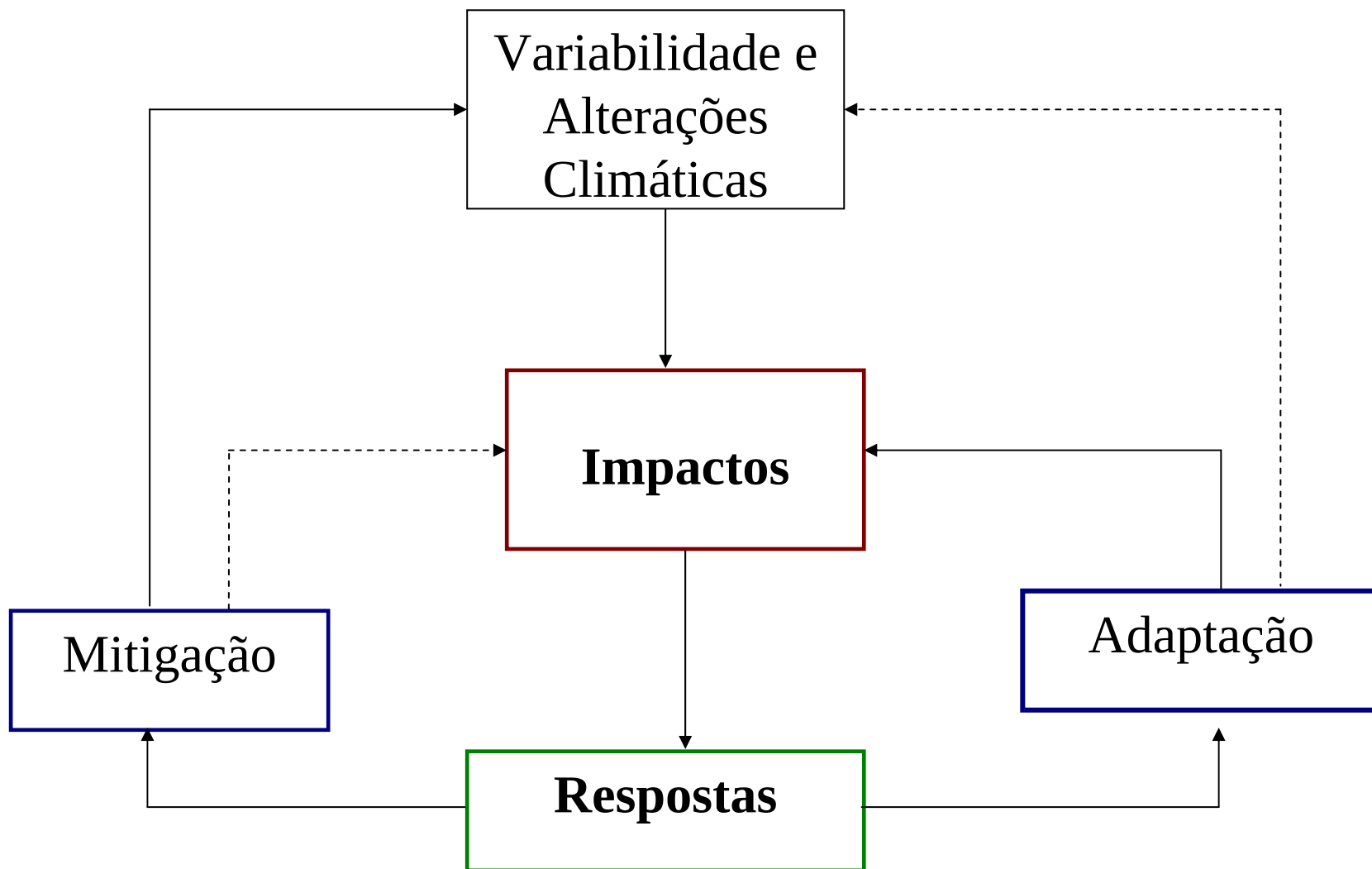
Number of days per year with maximum
temperature above 35°C (hot days)

Fonte, SIAM



Annual and seasonal total precipitation in the HadRm CGa2 simulation in percentage (%) (100xGGa2/control). A) annual; b) winter (DJF); c) spring (MAM); d) summer (JJA); e) autumn (SON)

Fonte, SIAM



———— Efeitos directos ou retroacção

..... Efeitos indirectos

- **Sensibilidade** – Caracteriza o grau com que um dado sistema natural ou social é afectado de forma positiva ou negativa pelos estímulos climáticos.
- **Capacidade de Adaptação** – Capacidade de adaptação às variações da média e variabilidade das variáveis que caracterizam o clima, de moderar os estragos potenciais e tirar vantagens das novas situações.
- **Vulnerabilidade** – Descreve o grau com que um sistema natural ou social é susceptível de suportar ou não os efeitos adversos das alterações climáticas, considerando o seu nível de exposição, a sua sensibilidade e a sua capacidade de adaptação.

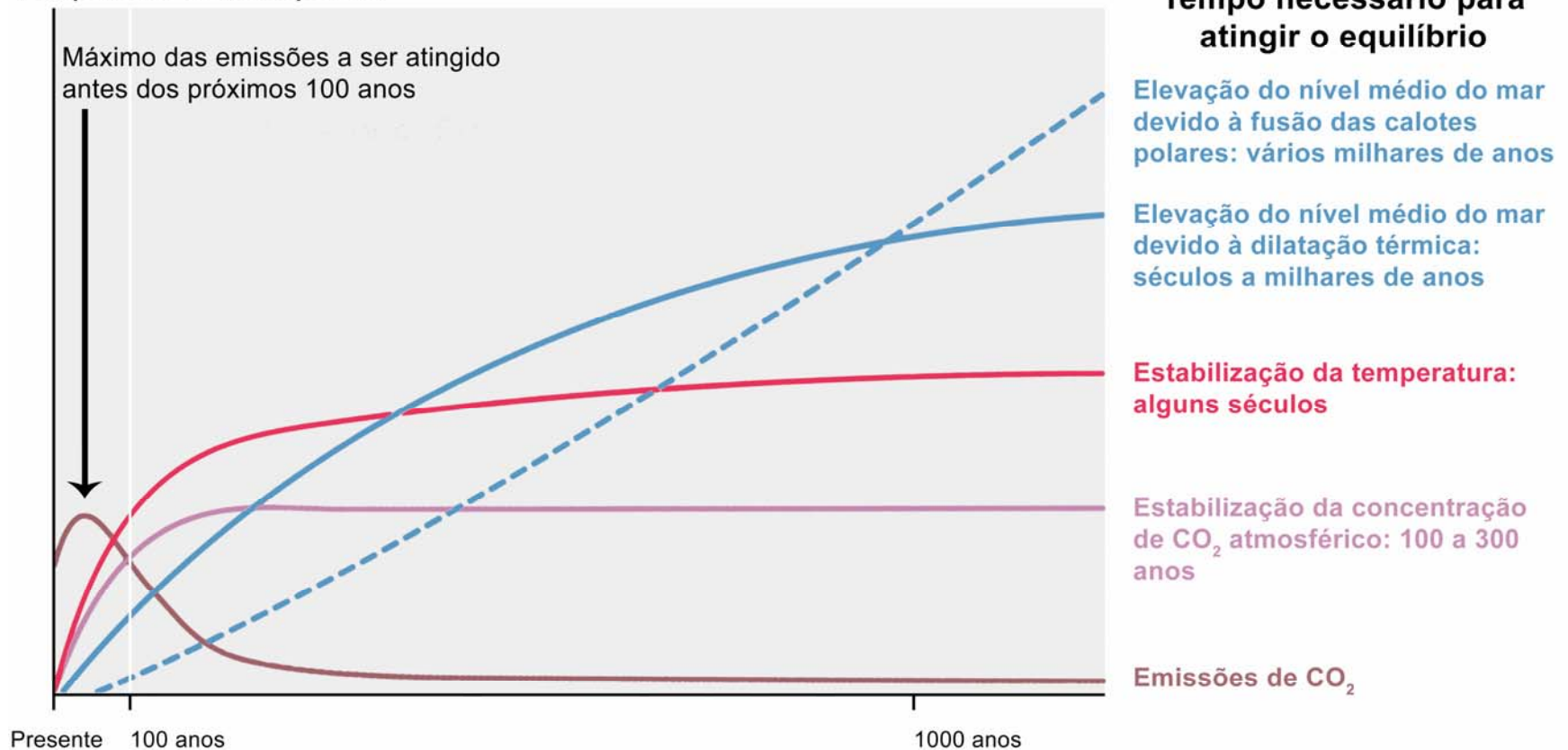
Impactos das Alterações Climáticas

- Praticamente todos os sistemas naturais e sociais são sensíveis ao clima e interactuam entre si e com o sistema climático de forma mais ou menos complexa pelo que é extremamente difícil fazer uma avaliação completa dos impactos das alterações climáticas;
- É pois conveniente seleccionar um conjunto de sistemas nos quais os impactos são já suficientemente perceptíveis e mensuráveis para servirem de indicadores dos impactos no sistema global.

- **Estratégia de Adaptação** –
Conjunto de políticas e medidas concebidas e planeadas para minimizar um determinado risco ou um conjunto de riscos resultantes dos impactos das alterações climáticas

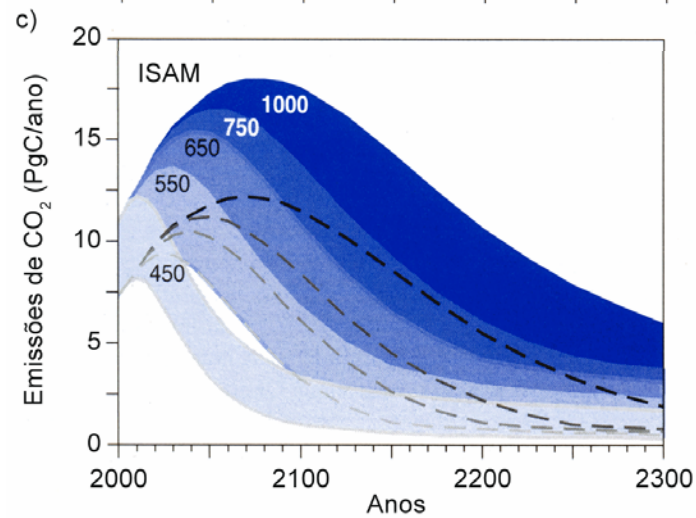
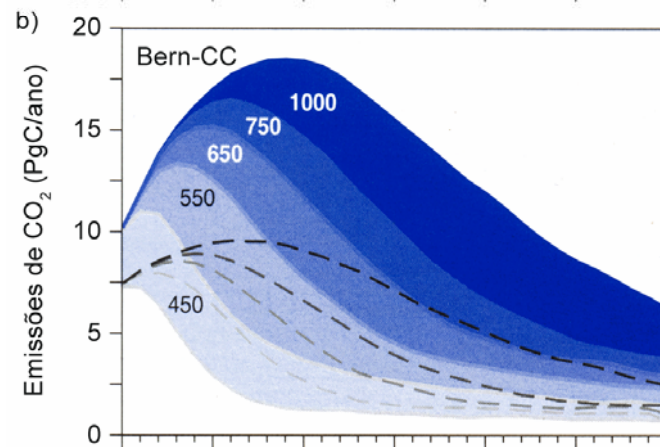
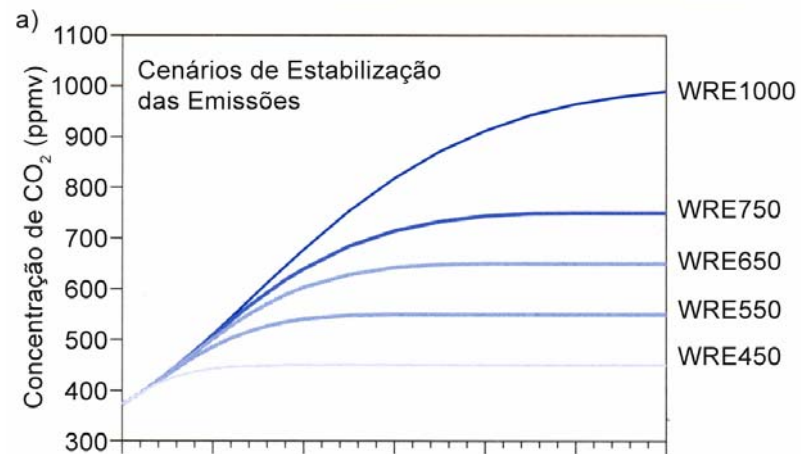
- Passos necessários para estabelecer uma **Estratégia de Adaptação**:
 - Cenários climáticos futuros
 - Avaliação multi-sectorial e integrada dos impactos das alterações climáticas:
 - A) “Top down” ou “scenario based” quando parte dos cenários climáticos e avalia os impactos sectoriais;
 - B) “Bottom-up” ou “vulnerability-based” quando parte da vulnerabilidade actual dos sistemas naturais e sociais e do modo de adaptação actual das comunidades populacionais para depois projectar a adaptação nos cenários climáticos futuros.

Amplitude da Resposta

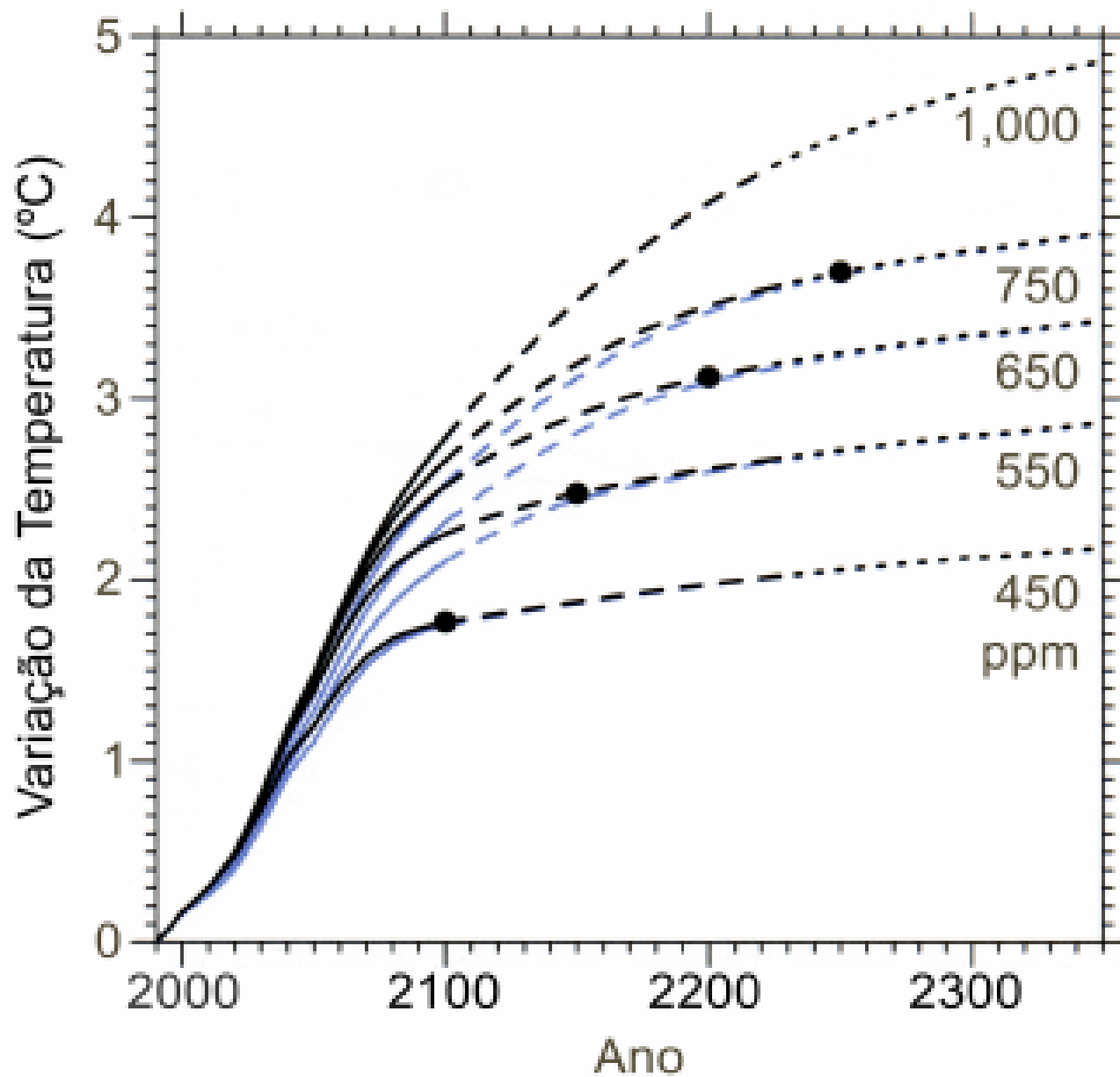


Evolução da concentração do CO₂ atmosférico, da temperatura média global da baixa atmosfera e do nível médio do mar induzida por uma evolução das emissões antropogénicas de CO₂ que atingem um máximo nos próximos 100 anos. Neste cenário a estabilização da concentração do CO₂ dá-se passados 100 a 300 anos e a estabilização da temperatura média global passados alguns séculos. No que respeita ao nível médio do mar a estabilização do seu aumento, provocado pela dilatação térmica e pelo degelo das calotes polares, dá-se passadas várias centenas de anos a mais de um milhar e passados vários milhares de anos, respectivamente. Figura adaptada de IPCC, 2003.

Fonte, IPCC



Fonte, IPCC



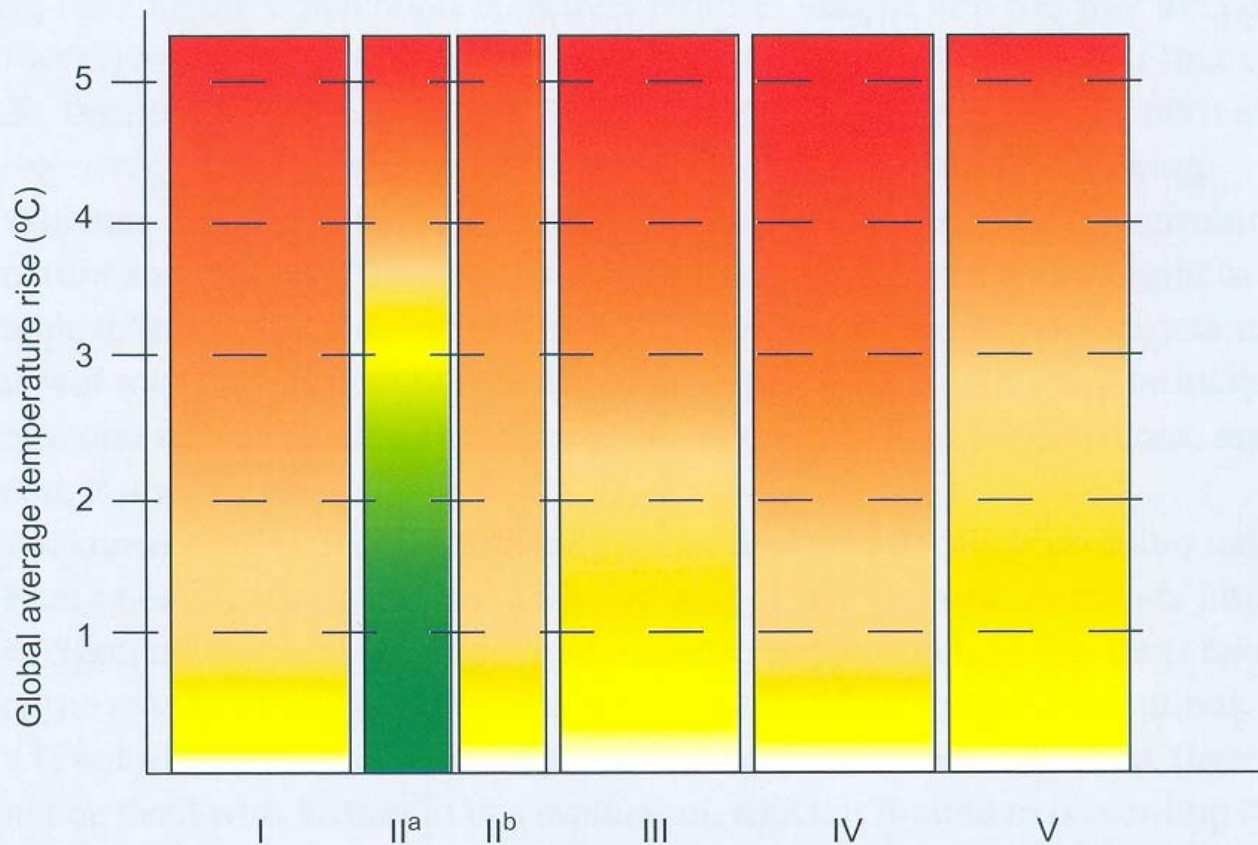
Fonte, IPCC

Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC)

- Artigo 2º

“The ultimate objective of this Convention and any related legal instruments (...) is to achieve (...) stabilization of greenhouse gas concentrations in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system...”

- Como se definem os valores da estabilização?
- Quando é que a interferência com o sistema climático se torna perigosa?

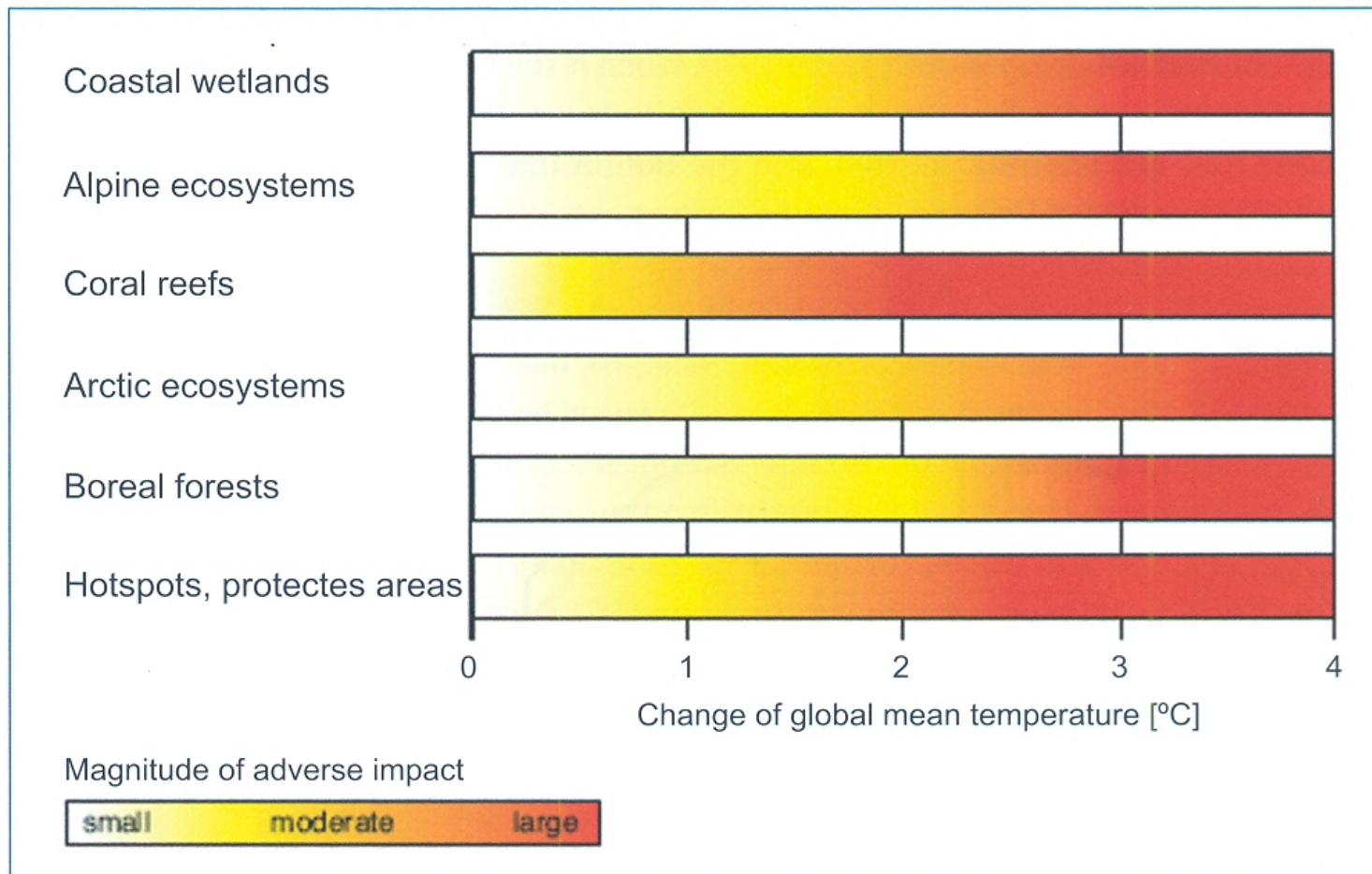


Green: positive effects
Yellow: limited negative effects
Red: large negative effects

Risk categories:

- I ecosystems
- II food production (II^a: global; II^b: regional)
- III sea level rise (especially irreversible melting of the Greenland ice sheet)

Fonte, IPCC



Fonte, Hare, 2003

LONGO PRAZO

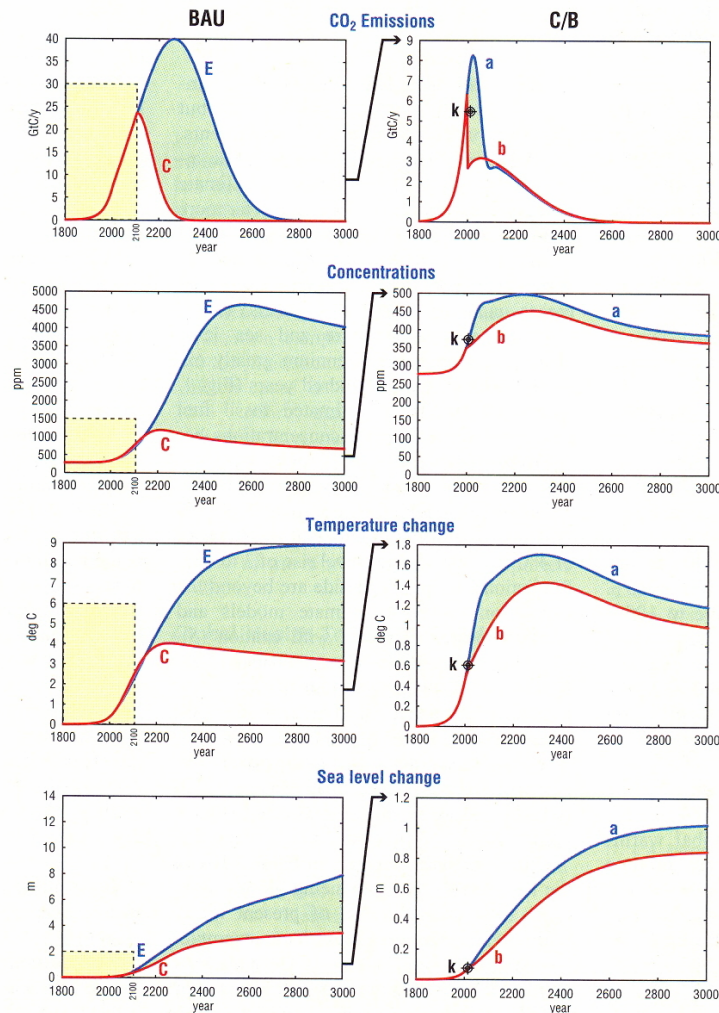


Fig. 1. CO₂ emissions and concentrations, global mean near surface temperature, and global mean sea level for business-as-usual (BAU) emission scenarios (left) and optimized cost/benefit (C/B) trajectories (right; note change of scale). The BAU scenarios assume that all fossil fuel resources, ranging from 4000 gigatons of carbon (GtC) (conventional resources, C) to 15,000 GtC (conventional plus exotic resources, E), are used. The sea level rise represents the sum of thermal expansion of the warming ocean, the melting of smaller inland glaciers, and the slow melting of the Greenland Ice Sheet (7). Inclusion of other greenhouse gases could increase the peak values by ~10 to 20%. The cost/benefit solutions include (a) or ignore (b) economic inertia. Pronounced differences between these cases in the short term have little impact on long-term climate. The impact of the Kyoto period (k) is not discernible on these multicentennial time scales.

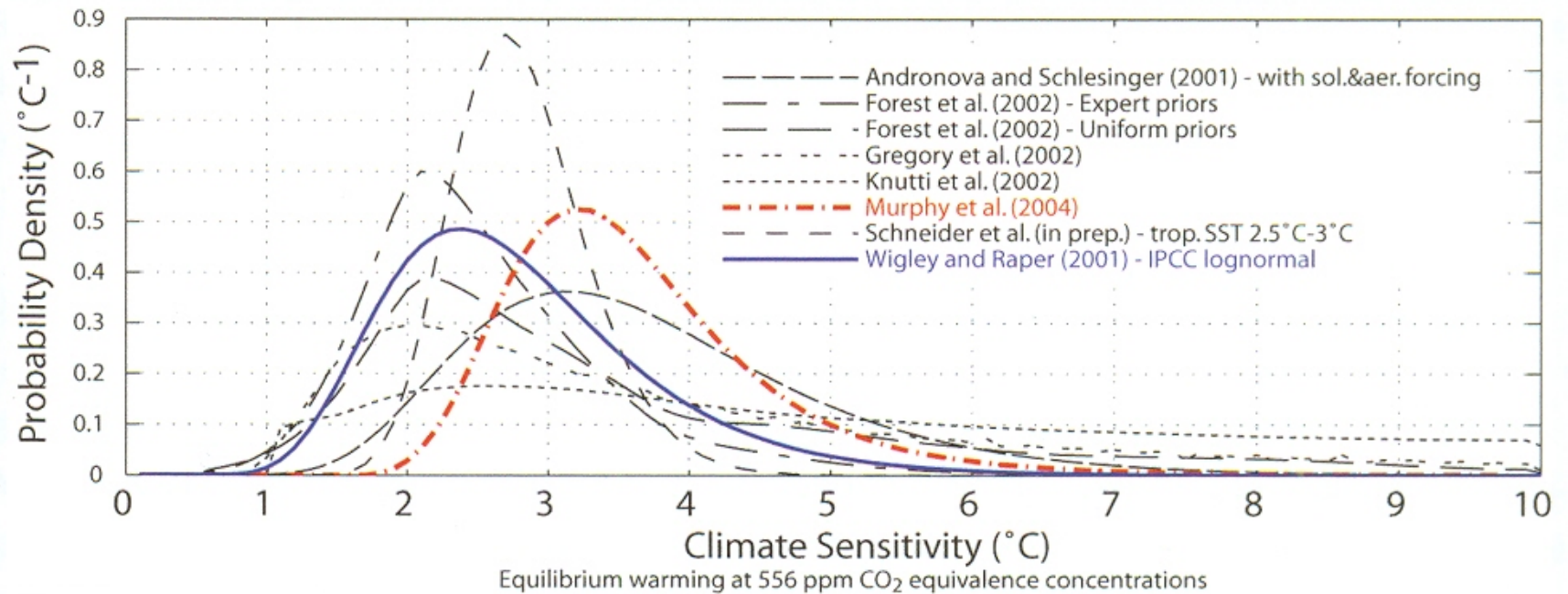
Fonte, Hasselmann *et al.*, 2003

O Conselho Europeu na reunião de 25-26 de Março de 2004 considerou que:

- **“Acknowledges that to meet the ultimate objective of the UNFCCC to prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system, overall global temperature increase should not exceed 2° C above pre-industrial levels”.**

Qual o nível de estabilização dos GEE que garantem um aumento de temperatura igual ou inferior a 2° C?

- A resposta depende da sensibilidade climática do sistema climático terrestre.
- Só se torna provável não ultrapassar 2° C se a estabilização dos GEE se fizer para uma concentração em CO₂ equivalente de 400 ppmv! O valor da concentração de CO₂ em 2004 era 379 ppmv!



Probability density functions for climate sensitivity

Source: Hare and Meinshausen, 2004

Sinais Contraditórios Para o Pós-Quito (depois de 2012)

- Resolução do CE da Primavera de 2005 de promover a redução das emissões dos países desenvolvidos de 15 a 30 % até 2020 relativamente a 1990;
- CE não aprovou a recomendação do Parlamento Europeu de redução das emissões dos países desenvolvidos de 60 a 80 % até 2050 relativamente a 1990.

- Segundo a AIE (2004) as emissões globais anuais de CO₂ vão aumentar 60 % até 2030 relativamente a 2004 se não houver mudanças significativas nas políticas energéticas;
- Mais de 2/3 do aumento das emissões provém dos países em desenvolvimento que, de acordo com as projecções, continuarão a utilizar o carvão de forma intensiva.

Fontes Primárias de Energia

	1973		1999	
	Mundo (%)	OCDE (%)	Mundo (%)	OCDE (%)
Petróleo	45	53,1	35	41,3
Carvão	24,9	22,4	23,5	20,3
Gás natural	16,2	18,8	20,7	21,1
Combustíveis Fósseis	86,1	94,3	79,2	82,7
Renováveis e resíduos combustíveis	11,1	2,1	11,2	3,4
Hidroelectricidade	1,8	2,1	2,3	2,2
Nuclear	0,9	1,3	6,8	11,0
Renováveis (eólica, solar, geotérmica, marés, ondas,...)	0,1	0,2	0,5	0,7
	100	100	100	100

Fluxos globais anuais de CO₂ em GtC

	1980 a 1989	1990 a 1999
Aumento do CO₂ atmosférico	3.3 ± 0.1	3.2 ± 0.1
Emissões de CO₂ para a atmosfera (queima de combustíveis fósseis e produção de cimento)	5.4 ± 0.3	6.3 ± 0.4
Fluxo atmosfera – oceano	$- 1.9 \pm 0.6$	$- 1.7 \pm 0.5$
Fluxo atmosfera – terra firme	$- 0.2 \pm 0.7$	$- 1.4 \pm 0.7$

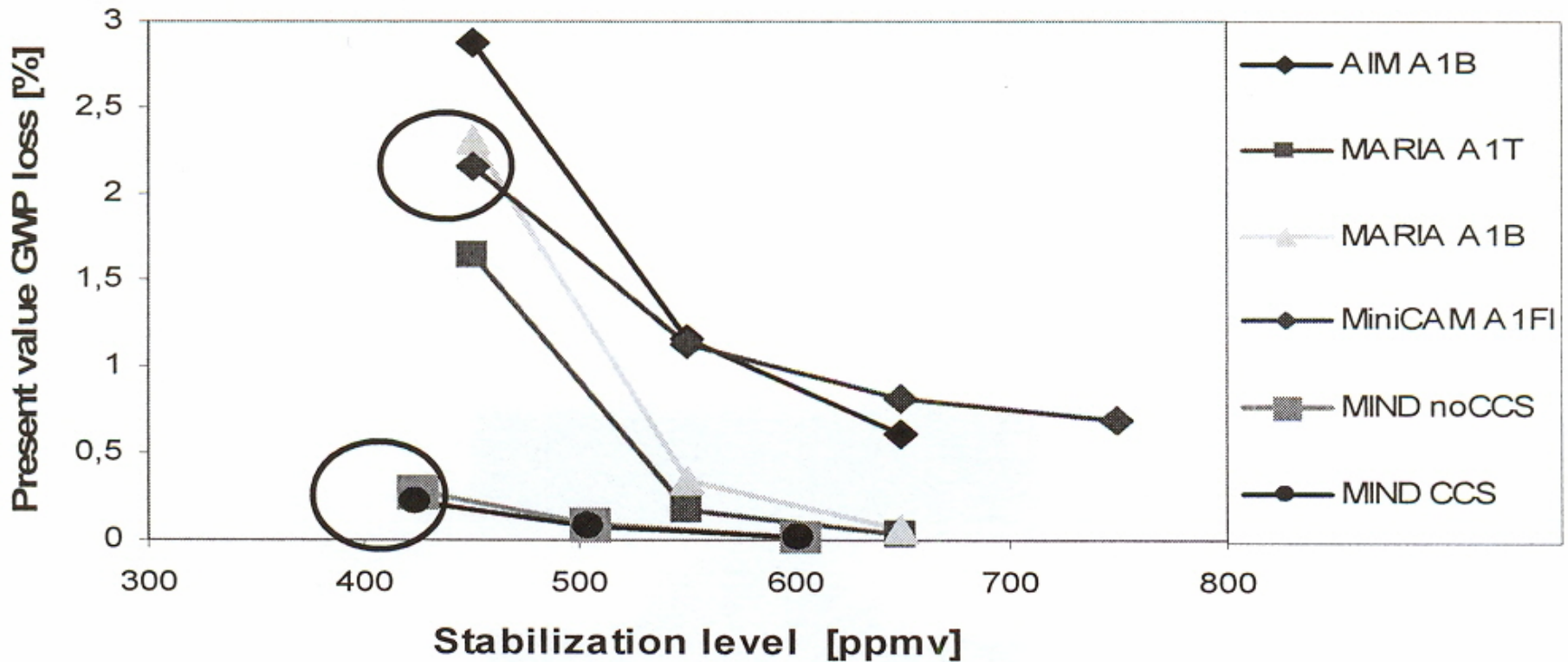
- O comportamento das emissões futuras de GEE será determinado principalmente pelo aumento da população nos países em desenvolvimento que procuram atingir os mesmos níveis de qualidade de vida dos países desenvolvidos;
- A maior parte dos países em desenvolvimento têm taxas anuais de emissão per capita de 2t de CO₂;
- Na UE a média das taxas anuais de emissão per capita é de 9 t de CO₂;
- Reduções de 50 a 80 % até 2050 na Europa baixam as taxas médias para valores compreendidos entre 4,5 e 2,39 t de CO₂.

Custo das medidas de Mitigação

- Redução de 50 % das emissões globais de GEE relativamente a 1990 reduz o PMB de 1 a 3 % (vasta bibliografia recente).
- Cenários do IPCC projectam taxas anuais de crescimento mundial entre 0,8 e 2,8 % para o período 1990 a 2100.

Mitigation Costs

(Source: Morita et al. (2000) Env. Econ. and Policy Studies 3: 65-88)



Fonte, EEAC

Qual é o custo de reduzir globalmente de 50% as emissões até 2050?

Admitamos uma taxa anual média de crescimento do PMB de 2 % e que as medidas de adaptação implicam uma redução de 5 % no PMB

- Neste cenário em 2050 a economia mundial global cresce, relativamente a 2005, por um factor de 2,45 em lugar de 2,34! Tal corresponde a “perder” 2,5 anos de crescimento a 2 %.
- **Por que razão este plano não será viável?**

Como planejar o Pós-Quito (após 2012) a nível global? Será possível planejar o Pós-Quito a nível global?

- Sem **novas tecnologias** competitivas capazes de garantir reduções globais de emissões de GEE bastante mais elevadas, eventuais metas exigentes de redução serão consideradas inviáveis e não serão adoptadas.
- É necessário desenvolver **novos paradigmas de estilo de vida e de padrões de consumo**. Será possível atingir este objectivo num processo gradualista ou apenas por meio de crises mais ou menos violentas?

- Creio não ser possível **evitar uma interferência antropogénica perigosa sobre o sistema climático** sem assegurar primeiro a equidade entre países no acesso a padrões de qualidade de vida comparáveis. Por outras palavras, sem primeiro anular a enorme e crescente disparidade no acesso à riqueza entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento.

Medidas específicas de política climática

- O objectivo a longo prazo da política climática deverá ser o de procurar influenciar o investimento na indústria e nas empresas, a investigação científica, a educação e a opinião pública no sentido de racionalizar e tornar aceitáveis medidas eficazes de redução das emissões a nível nacional, regional e global.
- Este objectivo específico só será possível com o desenvolvimento de novas tecnologias que conduzam ao decréscimo das emissões de GEE.

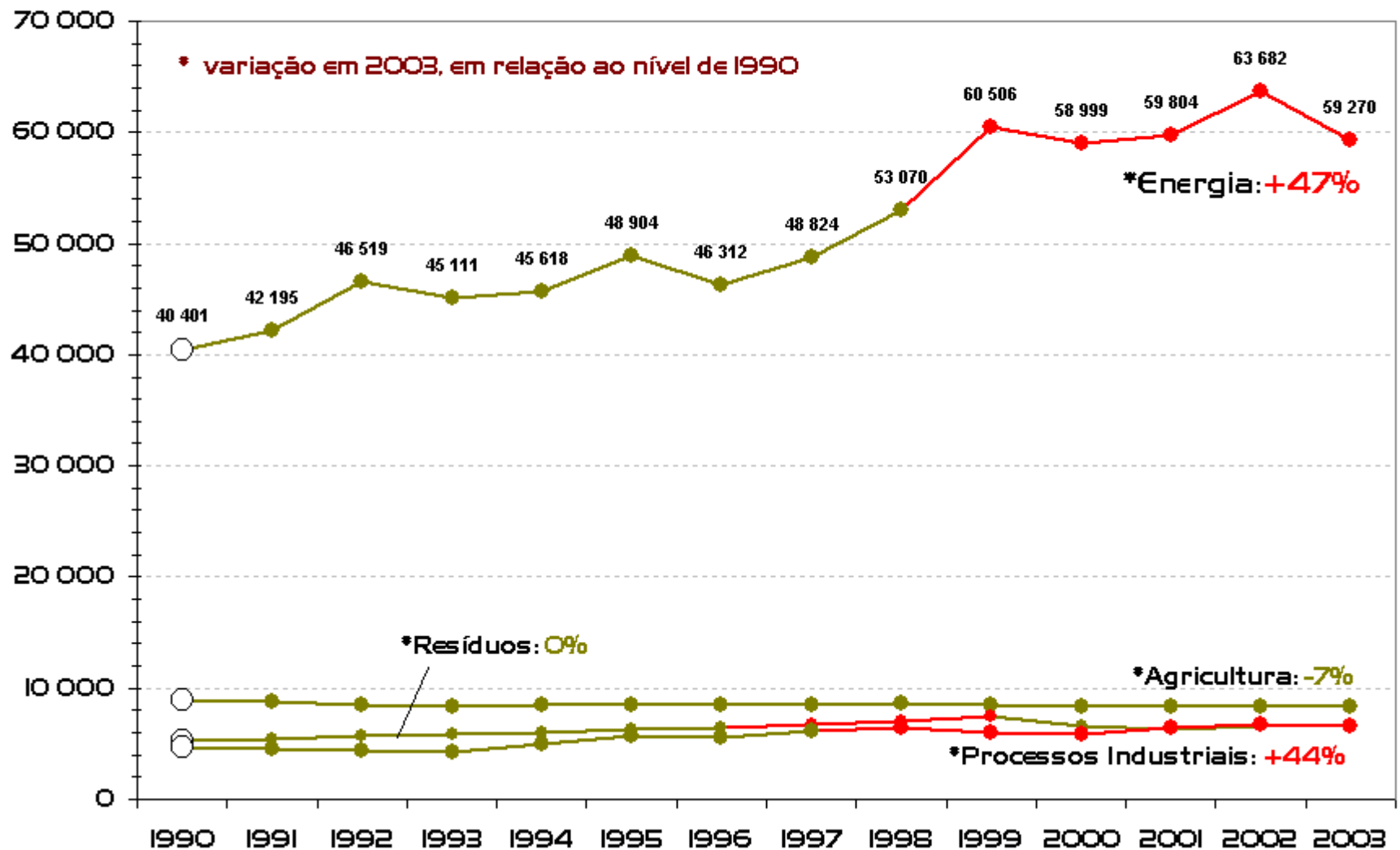
Soluções

- Energias não-fósseis
 - Solar térmica e fotovoltaica, eólica, biomassa, geotérmica, ondas, marés...
- Sequestro do CO₂;
- Energia nuclear?
 - A nível global e a médio prazo a contribuição da cisão nuclear para o total das fontes primárias de energia tenderá a diminuir, excepto, se surgirem novas tecnologias competitivas de tratamento dos resíduos e garantias de utilização não-militar.
 - A fusão nuclear comerciável só será viável daqui a mais de 50 anos numa perspectiva moderadamente optimista.

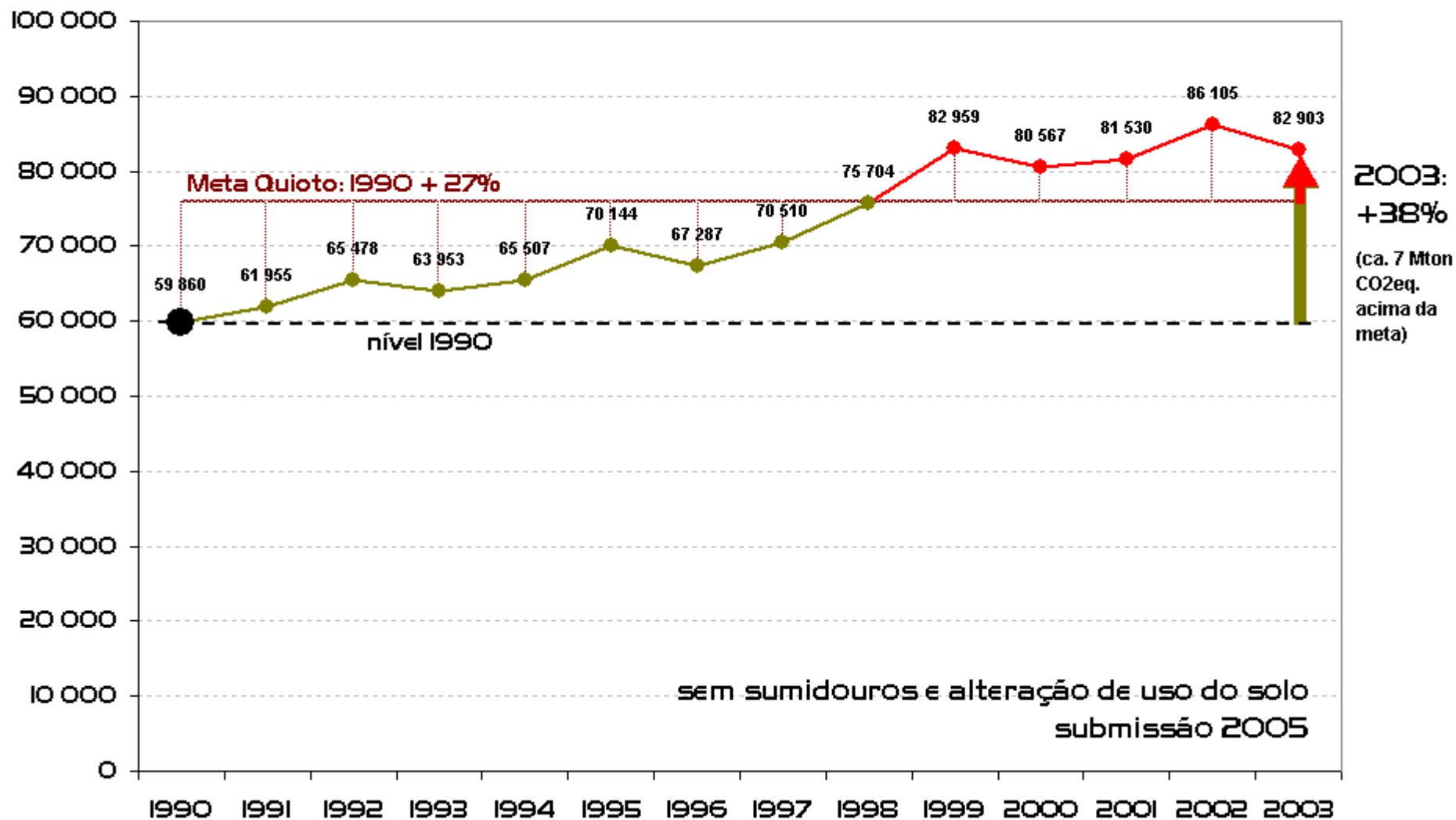
Sequestração do CO₂ na utilização de combustíveis fósseis

- Sequestro em formações geológicas: aquíferos de água salgada e antigos jazigos de petróleo e gás natural;
- Sequestro pós-combustão: processos físico-químicos em exaustores;
- Sequestro pré-combustão: reacção de carvão e petróleo com oxigénio para produzir hidrogénio, que passa a ser o combustível e CO₂ que é sequestrado.

Emissões de GEE em Portugal (Mton CO₂eq.) - principais sectores



Emissões totais de GEE em Portugal (Mton CO₂eq.)



Conclusões

1. Apesar de múltiplas incertezas nos resultados das observações, nas teorias e modelos que os permitem interpretar e nos modelos que projectam o clima futuro há um consenso generalizado de que há sinais de alterações climáticas antropogénicas e que estas se irão agravar durante o século XXI.
2. Impedir uma “interferência antropogénica perigosa no sistema climático da Terra” é um desafio gigantesco para o século XXI que se centra no sector energético.

- 3 – As desigualdades profundas de desenvolvimento sócio-económico entre países são o principal obstáculo ao estabelecimento de um acordo sobre um plano global de redução efectiva das emissões globais de GEE de 60 a 80 % até 2050 relativamente a 1990.
- 4 – É necessário desenvolver estratégias de adaptação às alterações climáticas a nível nacional, regional e global.

- 5 – É necessário intensificar a investigação e o desenvolvimento de novas tecnologias de redução das emissões de GEE, especialmente no sector energético.
- 6 - É necessário encarar como altamente provável a ocorrência, durante o século XXI, de situações de crise provocadas pelos impactos adversos das alterações climáticas, especialmente nas regiões mais vulneráveis.