



---

## Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas

---

### Sumário para os Formuladores de Políticas

---

**Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de  
Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima**

**Este Sumário para os Formuladores de Políticas foi aprovado formalmente na  
10<sup>a</sup> sessão do Grupo de Trabalho I do IPCC, Paris, fevereiro de 2007.**

**Observação:**

**O texto, as tabelas e as figuras são apresentados aqui em suas versões finais, mas  
podem sofrer ajustes editoriais.**

**Correções feitas até 5 de fevereiro de 2007**

**Autores redatores:**

Richard Alley, Terje Berntsen, Nathaniel L. Bindoff, Zhenlin Chen, Amnat Chidthaisong, Pierre Friedlingstein, Jonathan Gregory, Gabriele Hegerl, Martin Heimann, Bruce Hewitson, Brian Hoskins, Fortunat Joos, Jean Jouzel, Vladimir Kattsov, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Mario Molina, Neville Nicholls, Jonathan Overpeck, Dahe Qin, Graciela Raga, Venkatachalam Ramaswamy, Jiawen Ren, Matilde Rusticucci, Susan Solomon, Richard Somerville, Thomas F. Stocker, Peter Stott, Ronald J. Stouffer, Penny Whetton, Richard A. Wood, David Wratt

**Autores redatores colaboradores:**

Julie Arblaster, Guy Brasseur, Jens Hesselbjerg Christensen, Kenneth Denman, David W. Fahey, Piers Forster, Eystein Jansen, Philip D. Jones, Reto Knutti, Hervé Le Treut, Peter Lemke, Gerald Meehl, Philip Mote, David Randall, Dáithí A. Stone, Kevin E. Trenberth, Jürgen Willebrand, Francis Zwiers

**Tradução para o português:**

Anexandra de Ávila Ribeiro

**Revisores técnicos da tradução:**

Ilana Wainer, Jefferson Simões, Mauro Meirelles, Newton Paciornik, Paulo Artaxo, Pedro da Silva Dias

## INTRODUÇÃO

A contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC descreve os avanços feitos na compreensão dos fatores humanos e naturais que causam a mudança do clima<sup>1</sup>, as observações da mudança do clima, processos climáticos e atribuição, e estimativas da mudança do clima projetada para o futuro. Baseia-se em avaliações anteriores do IPCC e incorpora novas descobertas dos últimos seis anos de pesquisa. Os avanços científicos feitos desde a publicação do Terceiro Relatório de Avaliação baseiam-se em grandes quantidades de dados novos e mais abrangentes, análises mais sofisticadas dos dados, melhor compreensão dos processos e sua simulação em modelos, e uma análise mais ampla das faixas de incerteza.

Os parágrafos contidos neste Sumário para os Formuladores de Políticas baseiam-se nos capítulos e seções especificados entre chaves.

---

## FATORES HUMANOS E NATURAIS CAUSADORES DA MUDANÇA DO CLIMA

As mudanças na quantidade de gases de efeito estufa e aerossóis da atmosfera, na radiação solar e nas propriedades da superfície terrestre alteram o equilíbrio energético do sistema climático. Essas mudanças são expressas em termos do forçamento radiativo<sup>2</sup>, que é usado para comparar a forma como os fatores humanos e naturais provocam o aquecimento ou o esfriamento do clima global. Desde a publicação do Terceiro Relatório de Avaliação (TRA), novas observações e a respectiva modelagem dos gases de efeito estufa, atividade solar, propriedades da superfície terrestre e alguns aspectos dos aerossóis promoveram melhorias nas estimativas quantitativas do forçamento radiativo.

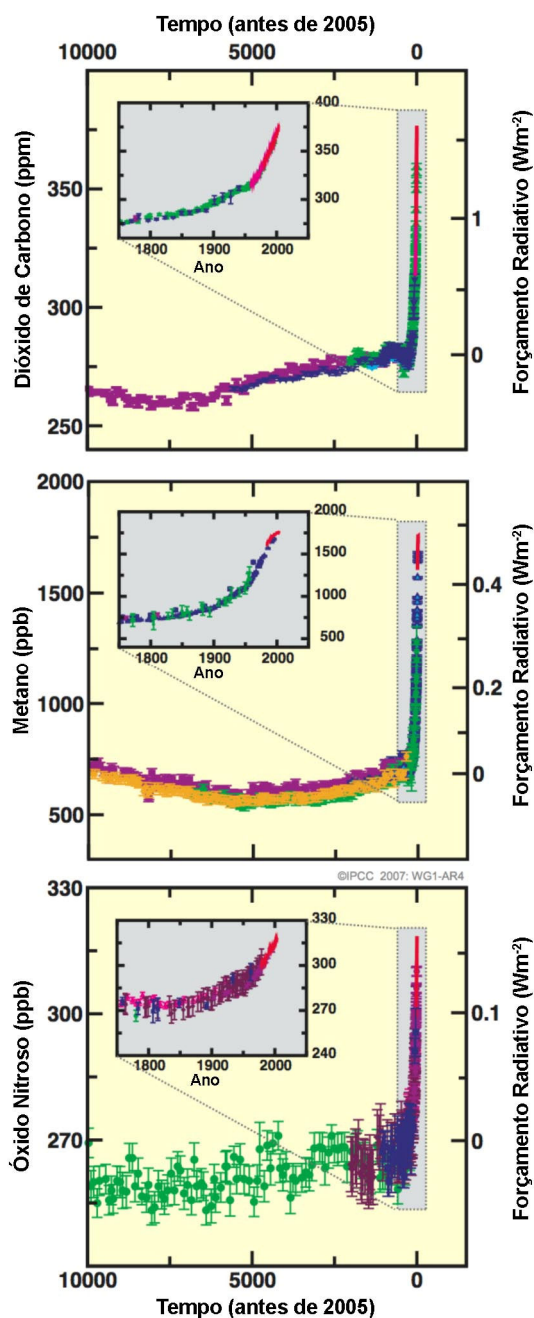
**As concentrações atmosféricas globais de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso aumentaram bastante em consequência das atividades humanas desde 1750 e agora ultrapassam em muito os valores pré-industriais determinados com base em testemunhos de gelo de milhares de anos (ver a Figura SFP-1). Os aumentos globais da concentração de dióxido de carbono se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra. Já os aumentos da concentração de metano e óxido nitroso são devidos principalmente à agricultura. {2.3, 6.4, 7.3}**

---

<sup>1</sup> O termo *mudança do clima* usado pelo IPCC refere-se a qualquer mudança no clima ocorrida ao longo do tempo, quer se deva à variabilidade natural ou seja decorrente da atividade humana. Esse uso difere do da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, em que o termo mudança do clima se refere a uma mudança no clima que seja atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, alterando a composição da atmosfera global, e seja adicional à variabilidade natural do clima observada ao longo de períodos comparáveis de tempo.

<sup>2</sup> O *forçamento radiativo* é uma medida da influência de um fator na alteração do equilíbrio da energia que entra e sai do sistema Terra-atmosfera e é um índice da importância do fator como possível mecanismo de mudança do clima. O forçamento positivo tende a aquecer a superfície, enquanto o forçamento negativo tende a esfriá-la. Neste relatório, os valores do forçamento radiativo são para 2005, relativos às condições pré-industriais definidas em 1750, e são expressos em watts por metro quadrado ( $\text{Wm}^{-2}$ ). Ver o glossário e a seção 2.2 para obter mais detalhes.

## Mudanças nos Gases de Efeito Estufa a partir de Dados de Testemunho de Gelo e Dados Modernos



**FIGURA SFP-1.** Concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nítrico ao longo dos últimos 10.000 anos (painéis grandes) e desde 1750 (painéis inseridos). As medições são obtidas a partir de testemunhos de gelo (símbolos com diferentes cores para os diferentes estudos) e amostras atmosféricas (linhas vermelhas). Os forçamentos radiativos correspondentes são mostrados nos eixos do lado direito dos painéis grandes. {Figura 6.4}

- O dióxido de carbono é o gás de efeito estufa antrópico mais importante (ver a Figura SFP-2). A concentração atmosférica global de dióxido de carbono aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm<sup>3</sup> em 2005. A concentração atmosférica de dióxido de carbono em 2005 ultrapassa em muito a faixa natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm), como determinado a partir de testemunhos de gelo. A taxa de aumento da concentração anual de dióxido de carbono foi mais elevada durante os últimos 10 anos (média de 1995 a 2005: 1,9 ppm por ano) do que desde o início das medições atmosféricas diretas contínuas (média de 1960 a 2005: 1,4 ppm por ano), embora haja variações de um ano a outro nas taxas de aumento. {2.3, 7.3}
- A principal fonte de aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono desde o período pré-industrial se deve ao uso de combustíveis fósseis, com a mudança no uso da terra contribuindo com uma parcela significativa, porém menor. As emissões fósseis anuais de dióxido de carbono<sup>4</sup> aumentaram de uma média de 6,4 [6,0 a 6,8]<sup>5</sup> Gt C (23,5 [22,0 a 25,0] Gt CO<sub>2</sub>) por ano na década de 90 para 7,2 [6,9 a 7,5] Gt C (26,4 [25,3 a 27,5] Gt CO<sub>2</sub>) por ano no período de 2000 a 2005 (os dados de 2004 e 2005 são estimativas provisórias). As emissões de dióxido de carbono relacionadas com a mudança no uso da terra são estimadas em 1,6 [0,5 a 2,7] Gt C (5,9 [1,8 a 9,9] Gt CO<sub>2</sub>) por ano na década de 90, embora essas estimativas tenham uma grande incerteza. {7.3}
- A concentração atmosférica global de metano aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 715 ppb para 1732 ppb no início da década de 90, sendo de 1774 ppb em 2005. A concentração atmosférica de metano em 2005 ultrapassa em muito a faixa natural dos últimos 650.000 anos (320 a 790 ppb), como determinado com base em testemunhos de gelo. As taxas de aumento diminuíram desde o início da década de 90, de forma condizente com o total de emissões (soma das fontes antrópicas e naturais), ficando aproximadamente constantes durante esse período. É *muito provável*<sup>6</sup> que o aumento observado da concentração de metano se deva às atividades antrópicas, predominantemente a agricultura e o uso de combustíveis fósseis, mas as contribuições relativas de diferentes tipos de fontes não estão bem determinadas. {2.3, 7.4}

<sup>3</sup> ppm (partes por milhão) ou ppb (partes por bilhão, 1 bilhão = 1.000 milhões) é a razão do número de moléculas de gases de efeito estufa em relação ao número total de moléculas de ar seco. Por exemplo, 300 ppm significam 300 moléculas de um gás de efeito estufa por milhão de moléculas de ar seco.

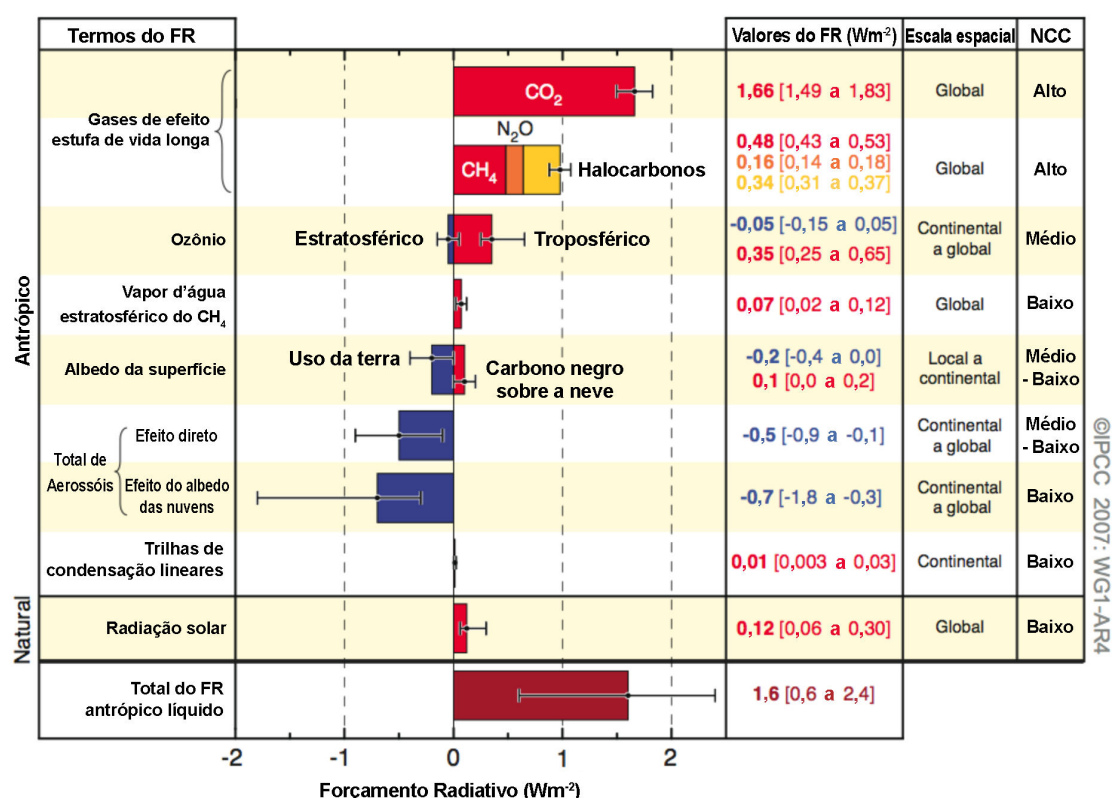
<sup>4</sup> As emissões fósseis de dióxido de carbono compreendem as emissões decorrentes da produção, distribuição e consumo de combustíveis fósseis e as que são subproduto da produção de cimento. A emissão de 1 GtC corresponde a 3,67 GtCO<sub>2</sub>.

<sup>5</sup> Em geral, as faixas de incerteza para os resultados apresentados neste Sumário para os Formuladores de Políticas são intervalos de 90% de incerteza, a menos que definido de outro modo, ou seja, há uma probabilidade estimada de 5% de que o valor possa estar acima da faixa apresentada entre colchetes e 5% de probabilidade de que o valor possa estar abaixo dessa faixa. Quando disponíveis, são apresentadas as melhores estimativas. Os intervalos de incerteza avaliados não são sempre simétricos em relação à melhor estimativa correspondente. Observe-se que uma série de faixas de incerteza do TRA do Grupo de Trabalho I corresponde a 2-sigma (95%), freqüentemente com base na opinião de especialistas.

<sup>6</sup> Neste Sumário para os Formuladores de Políticas, os seguintes termos foram usados para indicar a probabilidade avaliada, com base na opinião de especialistas, de uma consequência ou resultado: *praticamente certo* > 99% de probabilidade de ocorrer, *extremamente provável* > 95%, *muito provável* > 90%, *provável* > 66%, *mais provável do que não* > 50%, *improvável* < 33%, *muito improvável* < 10%, *extremamente improvável* < 5% (ver o Quadro TS.1.1 para obter mais detalhes).

- A concentração atmosférica global de óxido nitroso aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 270 ppb para 319 ppb em 2005. A taxa de aumento foi aproximadamente constante desde 1980. Mais de um terço de todas as emissões de óxido nitroso é antrópica, devendo-se principalmente à agricultura. {2.3, 7.4}

## Componentes do Forçamento Radiativo



**FIGURA SFP-2.** Estimativas da média global do forçamento radiativo (FR) e faixas em 2005 para o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) antrópicos e outros agentes e mecanismos importantes, juntamente com a extensão geográfica típica (escala espacial) do forçamento e o nível de compreensão científica (NCC) avaliado. O forçamento radiativo antrópico líquido e sua faixa também são mostrados. Isso requer a soma das estimativas assimétricas da incerteza dos termos componentes e não pode ser obtido por simples adição. Considera-se que outros fatores do forçamento não apresentados aqui tenham um NCC muito baixo. Os aerossóis vulcânicos contribuem com um forçamento natural adicional, mas não são incluídos nesta figura em razão da sua natureza episódica. A faixa para as trilhas de condensação lineares não incluem outros efeitos possíveis da aviação ou da nebulosidade. {2.9, Figura 2.20}

**A compreensão das influências antrópicas no aquecimento e esfriamento do clima melhorou desde a publicação do Terceiro Relatório de Avaliação (TRA), promovendo uma *confiança muito grande*<sup>7</sup> de que o efeito líquido global das atividades humanas, em média, desde 1750 foi de aquecimento, com um forçamento radiativo de +1,6 [+0,6 a +2,4] Wm<sup>-2</sup> (ver a Figura SFP-2). {2.3, 6.5, 2.9}**

- O total do forçamento radiativo devido aos aumentos de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso é de +2,30 [+2,07 a +2,53] Wm<sup>-2</sup>, e é *muito provável* que a sua taxa de aumento durante a era industrial tenha sido sem precedentes em mais de 10.000 anos (ver as Figuras SFP-1 e SFP-2). O forçamento radiativo do dióxido de carbono aumentou em 20% de 1995 a 2005, a maior mudança em uma década nos últimos 200 anos. {2.3, 6.4}
- As contribuições antrópicas para os aerossóis (principalmente sulfato, carbono orgânico, negro de fumo, nitrato e poeira) juntas produzem um efeito de esfriamento, com um forçamento radiativo direto total de -0,5 [-0,9 a -0,1] Wm<sup>-2</sup> e um forçamento indireto do albedo das nuvens de -0,7 [-1,8 a -0,3] Wm<sup>-2</sup>. Esses forçamentos são melhor compreendidos agora do que na época da publicação do TRA, em razão da existência de melhores medições *in situ*, medições feitas por satélites e na superfície e de uma modelagem mais abrangente, mas continuam sendo a principal incerteza no forçamento radiativo. Os aerossóis também influenciam o tempo de vida das nuvens e a precipitação. {2.4, 2.9, 7.5}
- Contribuições antrópicas significativas para o forçamento radiativo provêm de várias outras fontes. As mudanças no ozônio troposférico resultantes das emissões de substâncias químicas formadoras de ozônio (óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonos) contribuem com +0,35 [+0,25 a +0,65] Wm<sup>-2</sup>. O forçamento radiativo direto devido às mudanças nos halocarbonos<sup>8</sup> é de +0,34 [+0,31 a +0,37] Wm<sup>-2</sup>. As mudanças no albedo da superfície decorrentes das mudanças na cobertura da terra e da deposição de aerossóis de negro de fumo na neve exercem forçamentos, respectivamente, de -0,2 [-0,4 a 0,0] e +0,1 [0,0 a +0,2] Wm<sup>-2</sup>. Termos adicionais inferiores a ±0,1 Wm<sup>-2</sup> são apresentados na Figura SFP-2. {2.3, 2.5, 7.2}
- Estima-se que as mudanças na radiação solar desde 1750 causem um forçamento radiativo de +0,12 [+0,06 a +0,30] Wm<sup>-2</sup>, o que é menos da metade da estimativa apresentada no TRA. {2.7}

<sup>7</sup> Neste Sumário para os Formuladores de Políticas, os seguintes níveis de confiança foram usados para expressar a opinião dos especialistas sobre a correção do conhecimento científico usado como base: *confiança muito grande*, uma chance de 9 em 10 de estar correto; *confiança grande*, uma chance de 8 em 10 de estar correto (ver o Quadro TS.11).

<sup>8</sup> O forçamento radiativo dos halocarbonos foi recentemente avaliado em detalhes no Relatório Especial do IPCC sobre a Proteção da Camada de Ozônio e do Sistema Climático Global (2005).

**OBSERVAÇÕES DIRETAS DA RECENTE MUDANÇA DO CLIMA**

Desde a publicação do TRA, foram feitos avanços na compreensão de como o clima está mudando em termos espaciais e temporais, por meio da melhoria e da ampliação dos numerosos conjuntos de dados e das análises dos dados, uma cobertura geográfica mais ampla, uma melhor compreensão das incertezas e uma maior variedade de medições. Há observações cada vez mais abrangentes para as geleiras e a cobertura de neve desde a década de 60, e para o nível do mar e os mantos de gelo, desde aproximadamente a última década. Contudo, a cobertura dos dados ainda é limitada em algumas regiões.

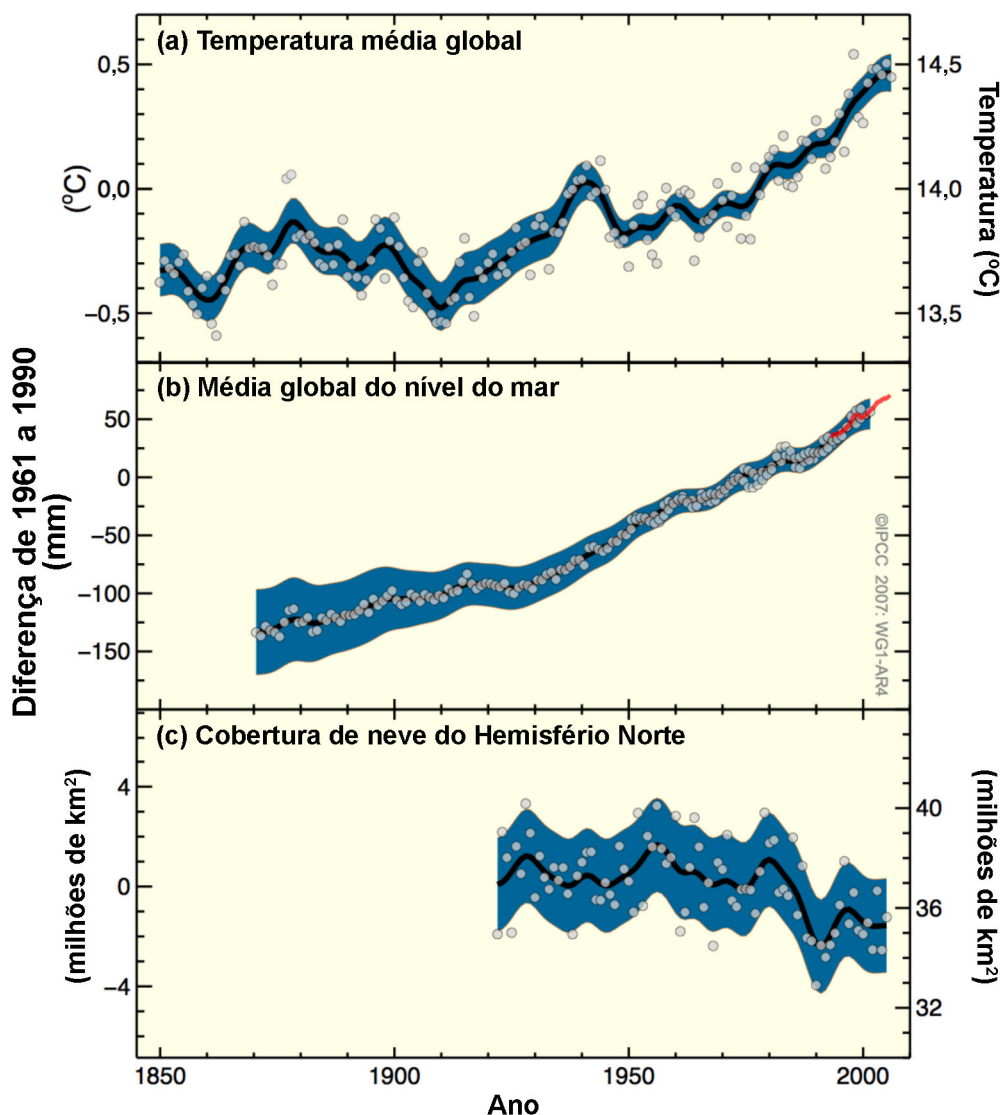
**O aquecimento do sistema climático é inequívoco, como está agora evidente nas observações dos aumentos das temperaturas médias globais do ar e do oceano, do derretimento generalizado da neve e do gelo e da elevação do nível global médio do mar (ver a Figura SFP-3). {3.2, 4.2, 5.5}**

- Onze dos últimos doze anos (1995 a 2006) estão entre os 12 anos mais quentes do registro instrumental da temperatura da superfície global<sup>9</sup> (desde 1850). A tendência linear atualizada de 100 anos (1906 a 2005) de 0,74 [0,56 a 0,92]°C é, portanto, mais elevada do que a tendência correspondente para o período de 1901 a 2000 apresentada no TRA, de 0,6 [0,4 a 0,8]°C. A tendência linear de aquecimento ao longo dos últimos 50 anos (0,13 [0,10 a 0,16]°C por década) é quase o dobro da dos últimos 100 anos. O aumento total de temperatura de 1850-1899 a 2001-2005 é de 0,76 [0,57 a 0,95]°C. Os efeitos das ilhas de calor urbano são reais mas locais, exercendo uma influência insignificante (menos de 0,006°C por década sobre a terra e zero sobre os oceanos) nesses valores. {3.2}
- Novas análises de medições feitas por balão e satélite da temperatura da baixa e média troposfera mostram taxas de aquecimento similares às do registro de temperatura da superfície, condizentes com as suas respectivas incertezas, harmonizando bastante uma discrepância observada no TRA. {3.2, 3.4}
- O teor médio de vapor d'água na atmosfera aumentou desde pelo menos a década de 80 sobre a terra e o oceano, bem como na alta troposfera. O aumento é bastante coerente com a quantidade extra de vapor d'água que o ar mais quente consegue carregar. {3.4}
- Observações desde 1961 mostram que a temperatura média do oceano global aumentou em profundidades de até pelo menos 3000 m e que o oceano tem absorvido mais de 80% do calor acrescentado ao sistema climático. Esse aquecimento faz com que a água do mar se expanda, o que contribui para a elevação do nível do mar (ver a Tabela SFP-1). {5.2, 5.5}
- As geleiras de montanha e a cobertura de neve diminuíram, em média, nos dois hemisférios. Reduções generalizadas das geleiras e calotas de gelo contribuíram para a elevação do nível do mar (as calotas de gelo não abrangem as contribuições dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártica) (ver a Tabela SFP-1). {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}

<sup>9</sup> A média da temperatura do ar próximo à superfície sobre a terra e a temperatura da superfície do mar.



## Mudanças na Temperatura, no Nível do Mar e na Cobertura de Neve do Hemisfério Norte



**FIGURA SFP-3.** Mudanças observadas na (a) temperatura média global da superfície; (b) média global da elevação do nível do mar a partir de dados de marégrafo (azul) e satélite (vermelho) e (c) cobertura de neve do Hemisfério Norte para março-abril. Todas as mudanças são relativas às médias correspondentes para o período de 1961 a 1990. As curvas suavizadas representam valores médios decenais, enquanto que os círculos indicam valores anuais. As áreas sombreadas são os intervalos estimados com base em uma análise abrangente das incertezas conhecidas (a e b) e nas séries temporais (c). {FAQ 3.1, Figura 1, Figura 4.2 e Figura 5.13}

- Novos dados obtidos após a publicação do TRA indicam ser  *muito provável*  que as perdas dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártica tenham contribuído para a elevação do nível do mar ao longo do período de 1993 a 2003 (ver a Tabela SFP-1). A velocidade do fluxo aumentou em algumas geleiras de descarga da Groenlândia e da Antártica, as quais drenam o gelo do interior dos mantos de gelo. O correspondente aumento da perda de massa dos mantos de gelo com frequência se seguiu ao afinamento, redução ou perda de plataformas de gelo ou a perda de línguas de geleiras flutuantes. Essa perda dinâmica de gelo é suficiente para explicar a maior parte da perda líquida de massa da Antártica e aproximadamente metade da perda líquida de massa da Groenlândia. O restante da perda de gelo da Groenlândia ocorreu porque as perdas resultantes do derretimento excederam o acúmulo de neve. {4.6, 4.8, 5.5}
- A média global do nível do mar subiu a uma taxa média de 1,8 [1,3 a 2,3] mm por ano, no período de 1961 a 2003. A taxa foi mais acelerada ao longo do período de 1993 a 2003, cerca de 3,1 [2,4 a 3,8] mm por ano. Não está claro se a taxa mais acelerada para 1993-2003 reflete a variabilidade decadal ou um aumento da tendência de longo prazo. Há uma  *grande confiança*  de que a taxa da elevação do nível do mar aumentou do século XIX para o século XX. Estima-se que a elevação total do século XX seja de 0,17 [0,12 a 0,22] m. {5.5}

**Tabela SFP-1.** Taxa observada de elevação do nível do mar e estimativa das contribuições de diferentes fontes. {5.5, Tabela 5.3}

Fonte de elevação do nível do mar	Taxa da elevação do nível do mar (mm por ano)	
	1961 a 2003	1993 a 2003
Expansão térmica	0,42 ± 0,12	1,6 ± 0,5
Geleiras e calotas de gelo	0,50 ± 0,18	0,77 ± 0,22
Mantos de gelo da Groenlândia	0,05 ± 0,12	0,21 ± 0,07
Mantos de gelo da Antártica	0,14 ± 0,41	0,21 ± 0,35
Soma das contribuições individuais do clima à elevação do nível do mar	1,1 ± 0,5	2,8 ± 0,7
Total da elevação do nível do mar observada	1,8 ± 0,5 <sup>a</sup>	3,1 ± 0,7 <sup>a</sup>
Diferença (Observada menos a soma das contribuições do clima estimadas)	0,7 ± 0,7	0,3 ± 1,0

Observação da tabela:

<sup>a</sup> Os dados anteriores a 1993 foram obtidos com o uso de marégrafos e os posteriores a 1993, por altimetria de satélite.

- Para 1993-2003, a soma das contribuições do clima é condizente, dentro das incertezas, com a elevação total do nível do mar observada diretamente (ver a Tabela SFP-1). Essas estimativas baseiam-se em dados de satélite e dados *in situ* aperfeiçoados que existem hoje. Para o período de 1961 a 2003, estima-se que a soma das contribuições do clima seja inferior à elevação observada do nível do mar. O TRA relatou uma discrepância similar para o período de 1910 a 1990. {5.5}

**Em escalas continental, regional e da bacia oceânica, foram observadas numerosas mudanças de longo prazo no clima, as quais abrangem mudanças nas temperaturas e no gelo do Ártico, mudanças generalizadas na quantidade de precipitação, salinidade do oceano, padrões de vento e aspectos de eventos climáticos extremos, como secas, precipitação forte, ondas de calor e intensidade dos ciclones tropicais<sup>10</sup>. {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}**

- As temperaturas árticas médias aumentaram a quase o dobro da taxa global média dos últimos 100 anos. As temperaturas árticas têm uma alta variabilidade decenal, e um período quente também foi observado de 1925 a 1945. {3.2}
- Dados de satélite obtidos desde 1978 mostram que a média anual da extensão do gelo marinho ártico se reduziu em 2,7 [2,1 a 3,3]% por década, com reduções maiores no verão de 7,4 [5,0 a 9,8]% por década. Esses valores são condizentes com os relatados no TRA. {4.4}
- Em geral, as temperaturas no topo do *permafrost* (solo e subsolo permanentemente congelados) aumentaram desde a década de 80 no Ártico (em até 3°C). A área máxima coberta por solo congelado sazonalmente diminuiu em cerca de 7% no Hemisfério Norte desde 1900, com uma redução na primavera de até 15%. {4.7}
- Tendências de longo prazo de 1900 a 2005 foram observadas na quantidade de precipitação em muitas das grandes regiões.<sup>11</sup> Um aumento significativo de precipitação foi observado na parte leste da América do Norte e da América do Sul, no norte da Europa e no norte e centro da Ásia. Observou-se que o clima ficou mais seco no Sahel, no Mediterrâneo, no sul da África e em partes do sul da Ásia. A precipitação apresenta grande variabilidade em termos espaciais e temporais, e os dados são limitados em algumas regiões. Tendências de longo prazo não foram observadas para as outras vastas regiões avaliadas.<sup>11</sup> {3.3, 3.9}
- Mudanças na precipitação e evaporação sobre os oceanos podem ter ocorrido pelo fato de se tornarem doces as águas das latitudes médias e altas e pelo aumento da salinidade das águas das latitudes baixas. {5.2}
- Os ventos do oeste em latitude média se tornaram mais fortes em ambos os hemisférios desde a década de 60. {3.5}

<sup>10</sup> Os ciclones tropicais compreendem os furacões e tufões.

<sup>11</sup> As regiões avaliadas são aquelas consideradas no capítulo de projeções regionais do TRA e no capítulo 11 deste relatório.

**Tabela SFP-2.** Tendências recentes, avaliação da influência humana na tendência e projeções de eventos climáticos extremos para os quais haja uma tendência observada no final do século XX {Tabelas 3.7, 3.8, 9.4, seções 3.8, 5.5, 9.7, 11.2-11.9}

Fenômeno <sup>a</sup> e direção da tendência	Probabilidade de ocorrência da tendência no final do século XX (normalmente após 1960)	Probabilidade de uma contribuição humana à tendência observada <sup>b</sup>	Probabilidade de tendências futuras com base em projeções para o século XXI com o uso dos cenários do RECE
Dias e noites frios em menor quantidade e mais quentes na maior parte das áreas terrestres	Muito provável <sup>c</sup>	Provável <sup>d</sup>	Praticamente certo <sup>d</sup>
Dias e noites quentes mais frequentes e mais quentes na maior parte das áreas terrestres	Muito provável <sup>e</sup>	Provável (noites) <sup>d</sup>	Praticamente certo <sup>d</sup>
Surto de calor/ondas de calor. A frequência aumenta na maior parte das áreas terrestres	Provável	Mais provável do que não <sup>f</sup>	Muito provável
Eventos de precipitação forte. A frequência (ou a proporção do total de chuva das precipitações fortes) aumenta na maior parte das áreas	Provável	Mais provável do que não <sup>f</sup>	Muito provável
A área afetada pelas secas aumenta	Provável em muitas regiões desde 1970	Mais provável do que não	Provável
A atividade intensa dos ciclones tropicais aumenta	Provável em algumas regiões desde 1970	Mais provável do que não <sup>f</sup>	Provável
Aumento da incidência de nível extremamente alto do mar (exclui tsunamis)	Provável	Mais provável do que não <sup>f,h</sup>	Provável <sup>i</sup>

Observações:

<sup>a</sup> Ver a Tabela 3.7 para obter mais detalhes sobre as definições.

<sup>b</sup> Ver a Tabela TS-4, o Quadro TS.3.4 e a Tabela 9.4.

<sup>c</sup> Redução da frequência de dias e noites frios (os 10% mais frios).

<sup>d</sup> Aquecimento dos dias e noites mais extremos a cada ano.

<sup>e</sup> Aumento da frequência de dias e noites quentes (os 10% mais quentes).

<sup>f</sup> A magnitude das contribuições antrópicas não foi avaliada. A atribuição para esses fenômenos foi feita com base na opinião de especialistas em vez de estudos formais de atribuição.

<sup>g</sup> O nível extremamente alto do mar depende do nível médio do mar e dos sistemas climáticos regionais. É definido aqui como o 1% mais elevado dos valores horários do nível do mar observados em uma estação para um dado período de referência.

<sup>h</sup> As mudanças observadas no nível extremamente alto do mar acompanham de perto as mudanças médias no nível do mar {5.5.2.6}. É *muito provável* que a atividade antrópica tenha contribuído para uma elevação do nível médio do mar. {9.5.2}

<sup>i</sup> Em todos os cenários, a projeção da média global do nível do mar em 2100 é mais alta do que no período de referência {10.6}. O efeito das mudanças nos sistemas climáticos regionais sobre os extremos do nível do mar não foi avaliado.

- Secas mais intensas e mais longas foram observadas sobre áreas mais amplas desde 1970, especialmente nos trópicos e subtropicais. O aumento do clima seco, juntamente com temperaturas mais elevadas e uma redução da precipitação, contribuíram para as mudanças na seca. As mudanças nas temperaturas da superfície do mar, nos padrões de vento e a redução da neve acumulada e da cobertura de neve também foram relacionadas com as secas. {3.3}
- A frequência dos eventos de forte precipitação aumentou sobre a maior parte das áreas terrestres, de forma condizente com o aquecimento e os aumentos observados do vapor d'água atmosférico. {3.8, 3.9}
- Mudanças generalizadas nas temperaturas extremas foram observadas ao longo dos últimos 50 anos. Dias frios, noites frias e geadas se tornaram menos frequentes, enquanto que dias quentes, noites quentes e ondas de calor se tornaram mais frequentes (ver a Tabela SFP-2). {3.8}
- Há evidências, obtidas com base em observações, de um aumento da atividade intensa dos ciclones tropicais no Atlântico Norte desde cerca de 1970, correlacionado com os aumentos das temperaturas da superfície do mar nos trópicos. Também se sugere um aumento da atividade intensa dos ciclones tropicais em algumas outras regiões, embora com maior preocupação sobre a qualidade dos dados. A variabilidade multidecadal e a qualidade dos registros dos ciclones tropicais antes das observações de satélite rotineiras iniciadas em torno de 1970 complicam a detecção das tendências de longo prazo na atividade dos ciclones tropicais. Não há uma tendência clara nos números anuais dos ciclones tropicais. {3.8}

**Não foram observadas mudanças em alguns aspectos do clima. {3.2, 3.8, 4.4, 5.3}**

- Uma redução da amplitude diurna da temperatura foi relatada no TRA, mas os dados disponíveis na época cobriam apenas o período de 1950 a 1993. Observações atualizadas revelam que a amplitude diurna da temperatura não mudou de 1979 a 2004, uma vez que tanto a temperatura durante o dia quanto a temperatura durante a noite aumentaram praticamente na mesma taxa. As tendências variam muito de uma região para outra. {3.2}
- A extensão do gelo marinho antártico continua a apresentar variabilidade interanual e mudanças localizadas, mas sem nenhuma tendência média estatisticamente significativa, de forma condizente com a falta de aquecimento refletida na média das temperaturas atmosféricas da região. {3.2, 4.4}
- Não há evidência suficiente para determinar se existem tendências na célula de revolvimento meridional da circulação oceânica global ou em fenômenos de pequena escala, tais como tornados, granizo, relâmpagos e tempestades de poeira. {3.8, 5.3}

## UMA PERSPECTIVA PALEOCLIMÁTICA

Os estudos paleoclimáticos usam as mudanças em indicadores sensíveis ao clima para inferir mudanças passadas no clima global em escalas de tempo que vão de décadas a milhares de anos. Esses indicadores (por exemplo, largura dos anéis das árvores) podem ser influenciados tanto pela temperatura local quanto por outros fatores, como a precipitação, e com frequência são representativos de estações específicas em vez de anos completos. Os estudos feitos desde a publicação do TRA promoveram um aumento da certeza, em razão dos dados adicionais que mostram um comportamento coerente entre múltiplos indicadores em diferentes partes do mundo. Contudo, as incertezas geralmente aumentam com o tempo no passado, por causa da cobertura espacial que vai ficando cada vez mais limitada.

**As informações paleoclimáticas apóiam a interpretação de que o aquecimento do último meio século não é usual nos últimos 1.300 anos pelo menos. A última vez em que as regiões polares ficaram significativamente mais quentes do que no presente durante um período longo (cerca de 125.000 anos atrás), as reduções no volume do gelo polar acarretaram uma elevação do nível do mar de 4 a 6 metros. {6.4, 6.6}**

- É *muito provável* que as temperaturas médias do Hemisfério Norte durante a segunda metade do século XX tenham sido mais elevadas do que durante qualquer outro período de 50 anos nos últimos 500 anos e é *provável* que tenham sido as mais altas pelo menos nos últimos 1.300 anos. Alguns estudos recentes indicam uma maior variabilidade das temperaturas do Hemisfério Norte do que o TRA sugere, especialmente revelando que períodos mais frios ocorreram nos séculos XII a XIV, XVII e XIX. Períodos mais quentes antes do século XX ficam na faixa de incerteza apresentada no TRA. {6.6}
- É *provável* que a média global do nível do mar no último período interglacial (cerca de 125.000 anos atrás) tenha sido 4 a 6 m mais elevada do que durante o século XX, principalmente em razão da retração do gelo polar. Dados de testemunho de gelo indicam que a média das temperaturas polares na época era 3 a 5°C mais elevada que no presente, por causa das diferenças na órbita da Terra. É *provável* que o manto de gelo da Groenlândia e outros campos de gelo do Ártico tenham contribuído com no máximo 4 metros da elevação do nível do mar observada. Pode também ter havido uma contribuição da Antártica. {6.4}

## COMPREENSÃO E ATRIBUIÇÃO DA MUDANÇA DO CLIMA

Esta Avaliação faz uso de registros mais longos e aperfeiçoados, uma base expandida de observações e uma melhor simulação de muitos aspectos do clima e sua variabilidade, com base em estudos conduzidos desde a publicação do TRA. Também considera os resultados de novos estudos de atribuição que avaliaram se as mudanças observadas são quantitativamente coerentes com a resposta esperada aos forçamentos externos e incoerentes com as explicações alternativas fisicamente plausíveis.

**É muito provável** que a maior parte do aumento observado nas temperaturas médias globais desde meados do século XX se deva ao aumento observado nas concentrações antrópicas de gases de efeito estufa<sup>12</sup>. Essa afirmação representa um avanço em relação ao TRA, que concluiu que “*é provável* que a maior parte do aquecimento observado ao longo dos últimos 50 anos se deva ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa”. Influências humanas discerníveis se estendem, agora, a outros aspectos do clima, inclusive o aquecimento do oceano, temperaturas médias continentais, extremos de temperatura e padrões do vento (ver a Figura SFP-4 e a Tabela SFP-2). {9.4, 9.5}

- É *provável* que os aumentos das concentrações de gases de efeito estufa sozinhos tenham causado mais aquecimento do que o observado, uma vez que os aerossóis vulcânicos e antrópicos compensaram um pouco do aquecimento que teria ocorrido. {2.9, 7.5, 9.4}
- O aquecimento generalizado da atmosfera e do oceano observado, juntamente com a perda de massa de gelo, apóiam a conclusão de que é *extremamente improvável* que a mudança global do clima dos últimos 50 anos possa ser explicada sem o forçamento externo e de que é *muito provável* que ela não se deva apenas a causas naturais conhecidas. {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}
- O aquecimento do sistema climático foi detectado nas mudanças das temperaturas da superfície e atmosférica, das temperaturas das várias centenas de metros superiores do oceano e nas contribuições à elevação do nível do mar. Os estudos de atribuição estabeleceram contribuições antrópicas para todas essas mudanças. É *muito provável* que o padrão observado de aquecimento troposférico e esfriamento estratosférico se deva às influências combinadas dos aumentos de gases de efeito estufa e da destruição do ozônio estratosférico. {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}
- É *provável* que tenha havido um aquecimento antrópico significativo ao longo dos últimos 50 anos, considerando-se a média de todos os continentes exceto a Antártica (ver a Figura SFP-4). Os padrões observados de aquecimento, inclusive um aquecimento maior sobre a terra do que sobre o oceano e suas mudanças no tempo são simulados apenas em modelos que incluem o forçamento antrópico. A capacidade dos modelos climáticos acoplados de simular a evolução da temperatura observada em cada um dos seis continentes fornece uma evidência mais contundente da influência humana no clima do que havia quando da publicação do TRA. {3.2, 9.4}
- Ainda existem dificuldades na simulação e atribuição confiável, em escalas menores, das mudanças de temperatura observadas. Nessas escalas, a variabilidade climática natural é relativamente maior, fazendo com que seja mais difícil distinguir as mudanças esperadas em consequência dos forçamentos externos. As incertezas nos forçamentos e processos locais de realimentação também dificultam a estimativa da contribuição dos aumentos dos gases de efeito estufa para as mudanças observadas de temperatura em pequena escala. {8.3, 9.4}
- É *provável* que o forçamento antrópico tenha contribuído para as mudanças nos padrões do vento<sup>13</sup>, afetando as trajetórias das tempestades extratropicais e os

<sup>12</sup> A consideração das incertezas remanescentes baseia-se nas metodologias atuais.

<sup>13</sup> Em especial, os Modos Anulares do Sul e do Norte e mudanças relacionadas na Oscilação do Atlântico Norte {3.6, 9.5, Quadro TS.3.1}

padrões de temperatura em ambos os hemisférios. Contudo, as mudanças observadas na circulação do Hemisfério Norte são maiores do que as simuladas em resposta à mudança no forçamento do século XX. {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}

- É *provável* que as temperaturas das noites quentes, noites frias e dias frios mais extremos tenham aumentado em razão do forçamento antrópico. É *mais provável do que não* que o forçamento antrópico tenha aumentado o risco de ondas de calor (ver a Tabela SFP-2). {9.4}

**A análise dos modelos climáticos, juntamente com as restrições das observações, permitem que se atribua à sensibilidade climática, pela primeira vez, uma faixa *provável* avaliada e que se tenha mais confiança na compreensão da resposta do sistema climático ao forçamento radiativo. {6.6, 8.6, 9.6, Quadro 10.2}**

- A sensibilidade climática de equilíbrio é uma medida da resposta do sistema climático ao forçamento radiativo sustentado. Não é uma projeção, mas é definida como o aquecimento médio global da superfície que se segue a uma duplicação das concentrações de dióxido de carbono. É *provável* que esteja na faixa de 2 a 4,5°C, com uma melhor estimativa de cerca de 3 °C, e é  *muito improvável* que seja inferior a 1,5 °C. Valores substancialmente mais altos que 4,5°C não podem ser desconsiderados, mas a concordância dos modelos com as observações não é tão boa para esses valores. As mudanças no vapor d'água representam o maior processo de realimentação que afeta a sensibilidade climática e agora são mais bem compreendidas do que no TRA. Os processo de realimentação em função das nuvens continuam sendo a maior fonte de incerteza. {8.6, 9.6, Quadro 10.2}
- É  *muito improvável* que as mudanças do clima nos sete séculos anteriores a 1950, pelo menos, tenham sido decorrentes da variabilidade gerada apenas dentro do sistema climático. É  *muito provável* que uma fração significativa da variabilidade da temperatura interdecadal, reconstruída para o Hemisfério Norte ao longo desses séculos, seja atribuível às erupções vulcânicas e às mudanças na radiação solar, e é  *provável* que o forçamento antrópico tenha contribuído para o aquecimento do início do século XX que é evidente nesses registros. {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

## PROJEÇÕES DE MUDANÇAS FUTURAS NO CLIMA

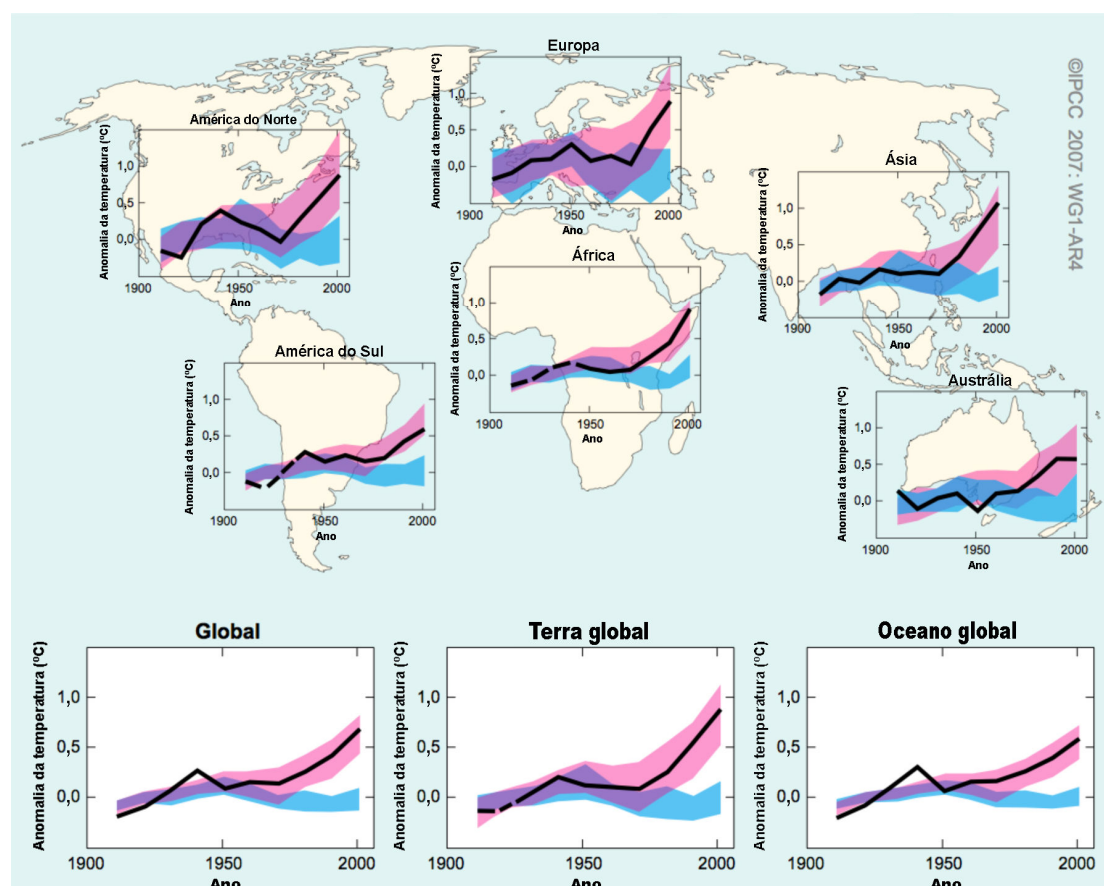
Um grande avanço desta avaliação das projeções da mudança do clima em relação ao TRA é o grande número de simulações disponíveis feitas com uma gama maior de modelos. Juntamente com as informações adicionais obtidas de observações, elas fornecem uma base quantitativa para estimar as probabilidades de muitos aspectos da mudança do clima no futuro. As simulações dos modelos cobrem uma faixa de futuros possíveis, inclusive suposições idealizadas de emissão ou concentração. Entre elas estão os cenários marcadores ilustrativos do RECE<sup>14</sup> para o período de 2000 a 2100 e experimentos dos modelos com concentrações de gases de efeito estufa e aerossóis mantidas constantes após 2000 ou 2100.

<sup>14</sup> RECE se refere ao Relatório Especial sobre Cenários de Emissões do IPCC (2000). As famílias de cenários e casos ilustrativos do RECE, os quais não abrangiam iniciativas climáticas adicionais, são sintetizados em um quadro no final deste Sumário para os Formuladores de Políticas. As concentrações aproximadas de equivalentes de CO<sub>2</sub> correspondentes ao forçamento radiativo computado devido aos gases de efeito estufa e aerossóis antrópicos em 2100 (ver p. 823 do TRA) para os cenários marcadores ilustrativos do RECE B1, A1T, B2, A1B, A2 e A1F1 são referentes a 600, 700, 800, 850, 1250 e 1550 ppm, respectivamente. Os cenários B1, A1B e A2 foram objeto de estudos intercomparativos de modelos, e muitos dos resultados obtidos são avaliados neste relatório.



Para as próximas duas décadas, projeta-se um aquecimento de cerca de 0,2°C por década para uma faixa de cenários de emissões do RECE. Mesmo que as concentrações de todos os gases de efeito estufa e aerossóis se mantivessem constantes nos níveis do ano 2000, seria esperado um aquecimento adicional de cerca de 0,1°C por década. {10.3, 10.7}

## Mudança na Temperatura Global e Continental



**FIGURA SFP-4.** Comparação das mudanças observadas de escalas continental – e global – na temperatura da superfície com resultados simulados por modelos climáticos, usando-se forçamentos naturais e antrópicos. As médias decenais das observações são apresentadas para o período de 1906 a 2005 (linha preta) plotadas sobre o centro da década e relativas à média correspondente para 1901-1950. As linhas são tracejadas quando a cobertura espacial é inferior a 50%. As zonas azuis indicam a faixa de 5 a 95% para as 19 simulações dos 5 modelos climáticos com o uso apenas dos forçamentos naturais devidos à atividade solar e aos vulcões. As zonas vermelhas mostram a faixa de 5 a 95% para as 58 simulações dos 14 modelos climáticos com o uso dos forçamentos natural e antrópico. {FAQ 9.2, Figura 1}

- Desde o primeiro relatório do IPCC em 1990, as projeções avaliadas sugeriram aumentos da temperatura média global entre cerca de 0,15 e 0,3°C por década para 1990 a 2005. Essas projeções agora podem ser comparadas com os valores observados de cerca de 0,2°C por década, fortalecendo a certeza nas projeções de curto prazo. {1.2, 3.2}
- Os experimentos dos modelos mostram que mesmo se todos os agentes do forçamento radiativo se mantivessem constantes nos níveis do ano 2000, uma tendência de aquecimento adicional ocorreria nas próximas duas décadas a uma taxa de cerca de 0,1°C por década, em razão principalmente da lenta resposta dos oceanos. Por volta do dobro do aquecimento (0,2°C por década) seria esperado se as emissões ficassem na faixa dos cenários do RECE. As melhores projeções dos modelos indicam que o aquecimento decadal médio sobre cada continente habitado até 2030 não é sensível à escolha de diferentes cenários do RECE e é  *muito provável*  que tenha pelo menos o dobro da variabilidade natural estimada pelo modelo correspondente durante o século XX. {9.4, 10.3, 10.5, 11.2-11.7, Figura TS-29}

**A continuação das emissões de gases de efeito estufa nas taxas atuais ou acima delas acarretaria um aquecimento adicional e induziria muitas mudanças no sistema climático global durante o século XXI, as quais  *muito provavelmente*  seriam maiores do que as observadas durante o século XX. {10.3}**

- Os avanços na modelagem da mudança do clima agora permitem melhores estimativas e  *prováveis*  faixas de incerteza avaliadas para o aquecimento projetado para diferentes cenários de emissões. Resultados para diferentes cenários de emissões são fornecidos explicitamente neste relatório para evitar a perda dessas informações pertinentes à formulação de políticas. Projeções dos aquecimentos médios globais da superfície para o final do século XXI (2090-2099) relativos a 1980-1999 são apresentadas na Tabela SFP-3. Elas ilustram as diferenças entre os cenários de emissões do RECE com emissões mais baixas e com emissões mais altas e a projeção da incerteza do aquecimento associada a esses cenários. {10.5}
- Melhores estimativas e faixas  *prováveis*  para o aquecimento médio global do ar da superfície para seis cenários marcadores de emissões do RECE são fornecidas nesta avaliação e apresentadas na Tabela SFP-3. Por exemplo, a melhor estimativa para o cenário baixo (B1) é de 1,8°C (a faixa  *provável*  é de 1,1°C a 2,9°C), e a melhor estimativa para o cenário alto (A1F1) é de 4,0°C (a faixa  *provável*  é de 2,4°C a 6,4°C). Embora essas projeções sejam amplamente condizentes com a faixa mencionada no TRA (1,4 a 5,8°C), elas não são diretamente comparáveis (ver a Figura SFP-5). O RA4 é mais avançado, uma vez que fornece melhores estimativas e uma faixa de probabilidade avaliada para cada um dos cenários marcadores. A nova avaliação das faixas  *prováveis*  agora se baseia em um número maior de modelos do clima, de crescente complexidade e realismo, bem como em novas informações acerca da natureza dos processos de realimentação do ciclo do carbono e das restrições sobre a resposta do clima a partir de observações. {10.5}

- O aquecimento tende a reduzir a remoção do dióxido de carbono atmosférico na terra e no oceano, aumentando a fração de emissões antrópicas que permanece na atmosfera. Para o cenário A2, por exemplo, a realimentação entre o clima e o ciclo do carbono aumenta o aquecimento médio global correspondente em mais de 1°C em 2100. As faixas superiores avaliadas para as projeções da temperatura são maiores do que no TRA (ver a Tabela SFP-3), principalmente porque a faixa mais ampla de modelos agora disponível sugere realimentação mais forte entre o clima e o ciclo do carbono. {7.3, 10.5}
- Projeções com base em modelos da média global da elevação do nível do mar no final do século XXI (2090-2099) são apresentadas na Tabela SFP-3. Para cada cenário, o ponto médio da faixa na Tabela SFP-3 está dentro de 10% da média do modelo do TRA para 2090-2099. As faixas são mais estreitas do que no TRA, principalmente por causa da existência de informações melhores sobre algumas incertezas nas contribuições projetadas<sup>15</sup>. {10.6}

**Tabela SFP-3.** Projeção do aquecimento médio global da superfície e da elevação do nível do mar no final do século XXI {10.5, 10.6, Tabela 10.7}

Caso	Mudança de Temperatura (°C em 2090-2099 relativa a 1980-1999) <sup>a</sup>		Elevação do Nível do Mar (m em 2090-2099 relativa a 1980-1999)
	Melhor estimativa	Faixa <i>provável</i>	Faixa com base em modelo, excluindo-se as futuras mudanças dinâmicas rápidas no fluxo de gelo
Concentrações constantes do ano 2000 <sup>b</sup>	0,6	0,3 – 0,9	NA
Cenário B1	1,8	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
Cenário A1T	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
Cenário B2	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43
Cenário A1B	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
Cenário A2	3,4	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
Cenário A1F1	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59

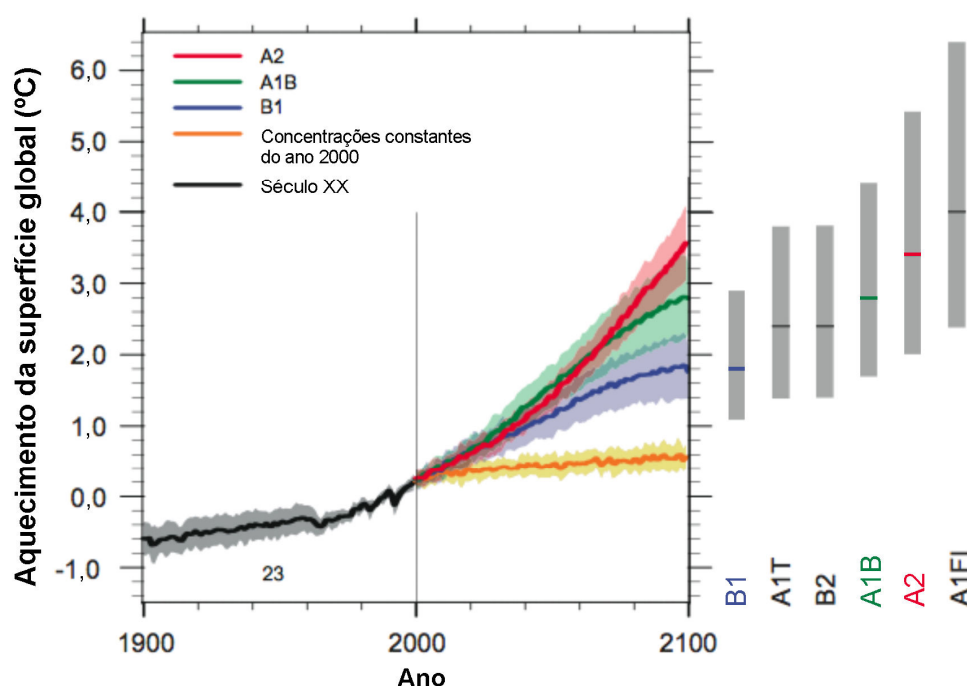
Observações da tabela:

<sup>a</sup> Essas estimativas são avaliadas a partir de uma hierarquia de modelos que abrangem um modelo climático simples, vários EMICs (*Earth Models of Intermediate Complexity* - Modelos do Sistema Terrestre de Complexidade Intermediária) e um grande número de AOGCMs (*Atmosphere-Ocean Global Circulation Models* - Modelos de Circulação Geral da Atmosfera-Oceano).

<sup>b</sup> A composição constante do ano 2000 é derivada apenas a partir dos AOGCMs.

<sup>15</sup> As projeções do TRA foram feitas para 2100, enquanto que as projeções contidas neste relatório são para 2090-2099. O TRA teria tido faixas similares às da Tabela SFP-3 se tivesse tratado as incertezas da mesma forma.

## Médias Multimodelos e Intervalos Avaliados para o Aquecimento Superficial



**Figura SFP-5** As linhas sólidas são médias globais do aquecimento da superfície produzidas por vários modelos (relativas a 1980-99) para os cenários A2, A1B e B1, mostradas como continuações das simulações do século XX. O sombreamento denota a faixa de mais/menos um desvio-padrão para as médias anuais individuais dos modelos. A linha alaranjada representa o experimento em que as concentrações foram mantidas constantes nos valores do ano 2000. As colunas cinzas à direita indicam a melhor estimativa (linha sólida dentro de cada coluna) e a faixa *provável* avaliada para os seis cenários marcadores do RECE. A avaliação da melhor estimativa e das faixas *prováveis* nas colunas cinzas compreende os AOGCMs na parte esquerda da figura, bem como os resultados de uma hierarquia de modelos independentes e restrições das observações {Figuras 10.4 e 10.29}

- Os modelos usados até agora não abrangem as incertezas no processo de realimentação entre o clima e o ciclo do carbono nem compreendem todos os efeitos das mudanças no fluxo do manto de gelo, porque falta uma base nas publicações científicas. As projeções incluem uma contribuição devida ao aumento do fluxo de gelo da Groenlândia e da Antártica nas taxas observadas para 1993-2003, mas essas taxas de fluxo poderiam aumentar ou diminuir no futuro. Por exemplo, se essa contribuição crescesse linearmente com a mudança da temperatura média global, as faixas superiores da elevação do nível do mar para os cenários do RECE mostrados na Tabela SFP-3 aumentariam de 0,1 m a 0,2 m. Valores mais altos não podem ser desconsiderados, mas a compreensão desses efeitos é limitada

demais para avaliar sua probabilidade ou fornecer uma melhor estimativa ou um limite superior para a elevação do nível do mar. {10.6}

- O aumento das concentrações atmosféricas de dióxido de carbono acarreta o aumento da acidificação do oceano. As projeções baseadas nos cenários do RECE indicam reduções no pH<sup>16</sup> global médio da superfície oceânica entre 0,14 e 0,35 ao longo do século XXI, somando-se à redução atual de 0,1 desde a época pré-industrial. {5.4, Quadro 7.3, 10.4}

**Há agora mais certeza nas projeções dos padrões de aquecimento e de outras características de escala regional, inclusive das mudanças nos padrões do vento, precipitação e alguns aspectos dos eventos extremos e do gelo. {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}**

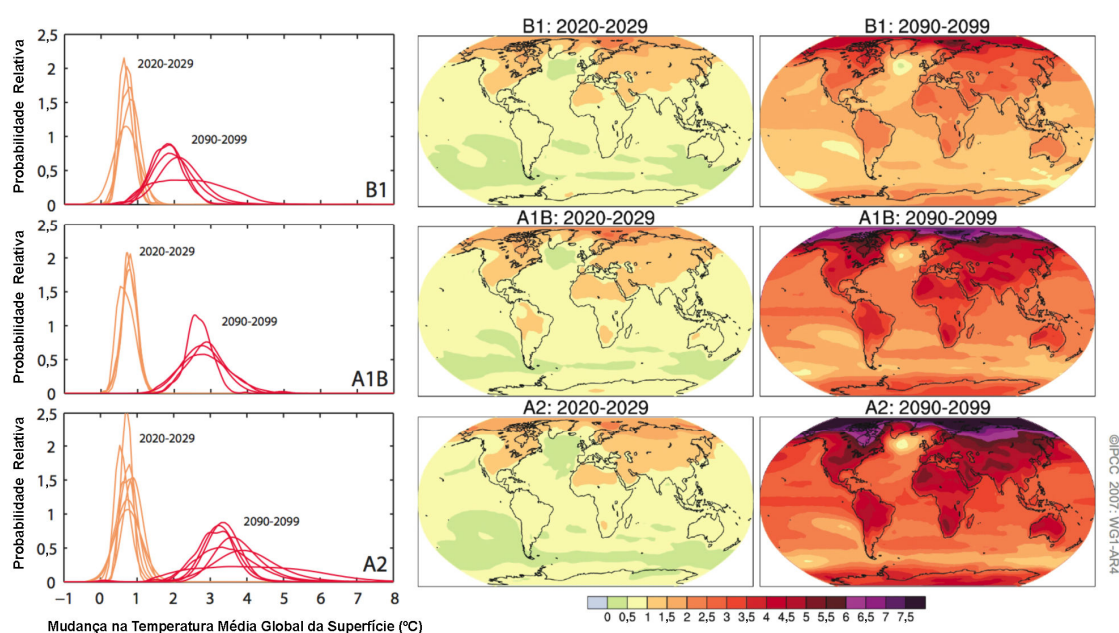
- A projeção do aquecimento no século XXI mostra padrões geográficos independentes dos cenários, similares aos observados nas últimas décadas. O aquecimento deve ser maior sobre a terra e na maior parte das altas latitudes ao norte e menor sobre o Oceano Meridional e partes do Oceano Atlântico Norte (ver a Figura SFP-6). {10.3}
- Projeta-se uma redução da cobertura de neve. Projetam-se aumentos generalizados na profundidade do derretimento na maior parte das regiões de *permafrost* (solo e subsolo permanentemente congelados) {10.3, 10.6}
- Projeta-se que o gelo marinho diminua tanto no Ártico quanto na Antártica em todos os cenários do RECE. Em algumas projeções, o gelo marinho ártico do final do verão desaparece quase completamente até a última parte do século XXI. {10.3}
- É  *muito provável* que extremos de calor, ondas de calor e eventos de forte precipitação continuem sendo mais frequentes. {10.3}
- Com base em uma gama de modelos, é *provável* que os futuros ciclones tropicais (tufões e furacões) fiquem mais intensos, com maiores picos de velocidade de ventos e mais precipitação forte associados aos aumentos atuais das temperaturas de superfície do mar tropicais. Há menor confiança em projeções de uma redução global dos números de ciclones tropicais. O aumento aparente na proporção de tempestades muito intensas desde 1970 em algumas regiões é muito maior do que o simulado pelos modelos atuais para esse período. {9.5, 10.3, 3.8}
- Projeta-se que as trajetórias das tempestades extratropicais se movam em direção aos pólos, com as conseqüentes mudanças nos padrões do vento, da precipitação e da temperatura, continuando o amplo padrão de tendências observadas ao longo do último meio século. {3.6, 10.3}
- Desde a publicação do TRA, há uma compreensão cada vez melhor dos padrões projetados de precipitação. São  *muito prováveis* os aumentos da quantidade de precipitação nas altas latitudes, enquanto que reduções são *prováveis* na maior parte das regiões terrestres subtropicais (em até cerca de 20% no cenário A1B em 2100, ver a Figura SFP-7), continuando os padrões observados nas tendências recentes. {3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2 a 11.9}

---

<sup>16</sup> Reduções no pH correspondem a aumentos na acidez de uma solução. Ver mais detalhes no Glossário.

- Com base nas simulações atuais dos modelos, é  *muito provável*  que a célula de revolvimento meridional (CRM) da circulação do Oceano Atlântico fique mais lenta durante o século XXI. A redução média dos vários modelos até 2100 é de 25% (variando de zero a cerca de 50%) para o cenário de emissões A1B do RECE. Projeta-se que as temperaturas na região do Atlântico aumentem apesar dessas mudanças em função do aquecimento muito maior associado aos aumentos projetados dos gases de efeito estufa. É  *muito improvável*  que a CRM passe por uma grande transição abrupta durante o século XXI. Mudanças de prazo mais longo na CRM não podem ser avaliadas com certeza. {10.3, 10.7}

### Projeções das Temperaturas da Superfície pelos AOGCMs

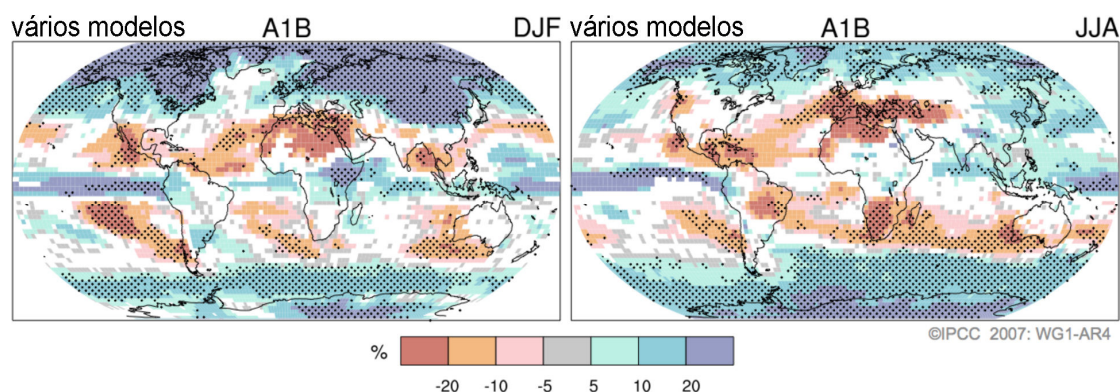


**FIGURA SFP-6.** Projeções das mudanças na temperatura da superfície para o início e o final do século XXI, em relação ao período de 1980 a 1999. Os painéis centrais e do lado direito mostram as projeções médias do Multimodelo de Circulação Geral da Atmosfera-Oceano para a média dos cenários B1 (em cima), A1B (no meio) e A2 (embaixo) do RECE ao longo das décadas de 2020 a 2029 (no centro) e 2090 a 2099 (à direita). O painel à esquerda mostra as incertezas correspondentes como as probabilidades relativas do aquecimento médio global estimado a partir de diferentes estudos com AOGCMs e EMICs para os mesmos períodos. Alguns estudos apresentam resultados apenas para um subconjunto dos cenários do RECE ou para várias versões dos modelos. Portanto, a diferença no número de curvas, mostradas nos painéis do lado esquerdo, deve-se apenas às diferenças na disponibilidade dos resultados. {Figuras 10.8 e 10.28}

**O aquecimento antrópico e a elevação do nível do mar continuariam durante séculos em razão das escalas de tempo associadas aos processos climáticos e realimentações, mesmo que as concentrações de gases de efeito estufa se estabilizassem. {10.4, 10.5, 10.7}**

- Espera-se que o acoplamento clima-ciclo do carbono acrescente dióxido de carbono à atmosfera, à medida que o sistema climático se aqueça, mas a magnitude desse processo de realimentação é incerta. Isso aumenta a incerteza na trajetória das emissões de dióxido de carbono necessárias para alcançar um determinado nível de estabilização da concentração atmosférica de dióxido de carbono. Com base na compreensão atual da realimentação entre o clima e o ciclo do carbono, os estudos com modelos sugerem que, para se estabilizar em 450 ppm de dióxido de carbono, seria necessário que as emissões cumulativas de dióxido de carbono ao longo do século XXI fossem reduzidas de uma média de aproximadamente 670 [630 a 710] Gt C (2460 [2310 a 2600] Gt CO<sub>2</sub>) para aproximadamente 490 [375 a 600] Gt C (1800 [1370 a 2200] Gt CO<sub>2</sub>). De forma similar, para se estabilizar em 1000 ppm, esse processo de realimentação poderia necessitar que as emissões cumulativas fossem reduzidas de uma média do modelo de aproximadamente 1415 [1340 a 1490] Gt C (5190 [4910 a 5460] Gt CO<sub>2</sub>) para cerca de 1100 [980 a 1250] Gt C (4030 [3590 a 4580] Gt CO<sub>2</sub>). {7.3, 10.4}
- Se o forçamento radiativo se estabilizasse em 2100 nos níveis dos cenários B1 ou A1B<sup>11</sup>, um aumento adicional na temperatura média global de cerca de 0,5°C ainda seria esperado, principalmente até 2200. {10.7}

### Padrões Projetados de Mudanças na Precipitação



**FIGURA SFP-7.** Mudanças relativas na precipitação (em porcentagem) para o período de 2090 a 2099, em relação ao período de 1980 a 1999. Os valores são médias de vários modelos, com base no cenário A1B do RECE de dezembro a fevereiro (à esquerda) e de junho a agosto (à direita). As áreas brancas são onde menos de 66% dos modelos concordam com o sinal da mudança e as áreas pontilhadas são onde mais de 90% dos modelos concordam com o sinal da mudança. {Figura 10.9}



- Se o forçamento radiativo se estabilizasse em 2100 nos níveis do cenário A1B<sup>11</sup>, a expansão térmica sozinha acarretaria uma elevação do nível do mar de 0,3 a 0,8 m até 2300 (relativa a 1980-1999). A expansão térmica continuaria por muitos séculos, em razão do tempo necessário para transportar o calor às profundezas do oceano. {10.7}
- Projeta-se que a contração do manto de gelo da Groenlândia continue a contribuir para a elevação do nível do mar após 2100. Os modelos atuais sugerem que as perdas de massa de gelo aumentarão com o aumento da temperatura mais rapidamente do que os ganhos devidos ao aumento de precipitação e que o balanço de massa da superfície se tornará negativo com um aquecimento médio global (relativo aos valores pré-industriais) acima de 1,9 a 4,6°C. Se um balanço de massa negativo da superfície se mantivesse por milênios, a consequência seria a eliminação praticamente completa do manto de gelo da Groenlândia e uma resultante contribuição para a elevação do nível do mar de cerca de 7 m. As correspondentes temperaturas futuras na Groenlândia são comparáveis às inferidas para o último período interglacial 125.000 anos atrás, quando as informações paleoclimáticas sugerem reduções da extensão do gelo terrestre polar e 4 a 6 m de elevação do nível do mar. {6.4, 10.7}
- Processos dinâmicos relacionados com o fluxo de gelo que não constam dos modelos atuais mas foram mencionados em observações recentes poderiam aumentar a vulnerabilidade dos mantos de gelo ao aquecimento, aumentando a futura elevação do nível do mar. A compreensão desses processos é limitada e não há consenso sobre a sua magnitude. {4.6, 10.7}
- Estudos globais atuais de modelagem projetam que o manto de gelo da Antártica continuará muito frio para que ocorra um derretimento generalizado da superfície e deve ganhar massa em razão do aumento da precipitação de neve. Contudo, poderia ocorrer uma perda líquida de massa de gelo se a descarga dinâmica de gelo dominar o equilíbrio de massa do manto de gelo. {10.7}
- Tanto as emissões antrópicas de dióxido de carbono passadas quanto as futuras continuarão contribuindo para o aquecimento e a elevação do nível do mar por mais de um milênio, em razão das escalas de tempo necessárias para a remoção desse gás da atmosfera. {7.3, 10.3}



**Os Cenários de Emissões do Relatório Especial sobre Cenários de Emissões (RECE) do IPCC<sup>17</sup>**

A1. O contexto e a família de cenários A1 descrevem um mundo futuro de crescimento econômico muito rápido, com a população global atingindo um pico em meados do século e declinando em seguida e a rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. As principais questões subjacentes são a convergência entre as regiões, a capacitação e o aumento das interações culturais e sociais, com uma redução substancial das diferenças regionais na renda *per capita*. A família de cenários A1 se desdobra em três grupos que descrevem direções alternativas da mudança tecnológica no sistema energético. Os três grupos A1 distinguem-se por sua ênfase tecnológica: intensiva no uso de combustíveis fósseis (A1F1), fontes energéticas não-fósseis (A1T) ou um equilíbrio entre todas as fontes (A1B) (em que o equilíbrio é definido como não se depender muito de uma determinada fonte de energia, supondo-se que taxas similares de aperfeiçoamento apliquem-se a todas as tecnologias de oferta de energia e uso final).

A2. O contexto e a família de cenários A2 descrevem um mundo muito heterogêneo. O tema subjacente é a auto-suficiência e a preservação das identidades locais. Os padrões de fertilidade entre as regiões convergem muito lentamente, o que acarreta um aumento crescente da população. O desenvolvimento econômico é orientado primeiramente para a região e o crescimento econômico *per capita* e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos do que nos outros contextos.

B1. O contexto e a família de cenários B1 descrevem um mundo convergente com a mesma população global, que atinge o pico em meados do século e declina em seguida, como no enredo A1, mas com uma mudança rápida nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informação, com reduções da intensidade material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes em relação ao uso dos recursos. A ênfase está nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, inclusive a melhoria da equidade, mas sem iniciativas adicionais relacionadas com o clima.

B2. O contexto e família de cenários B2 descrevem um mundo em que a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo em que a população global aumenta continuamente, a uma taxa inferior à do A2, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais diversa do que nos contextos B1 e A1. O cenário também está orientado para a proteção ambiental e a equidade social, mas seu foco são os níveis local e regional.

Um cenário ilustrativo foi escolhido para cada um dos seis grupos de cenários A1B, A1F1, A1T, A2, B1 e B2. Todos devem ser considerados igualmente consistentes.

Os cenários do RECE não envolvem iniciativas adicionais em relação ao clima, o que significa que nenhum cenário adota explicitamente a implementação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima ou as metas de redução de emissões do Protocolo de Quioto.

<sup>17</sup> Os cenários de emissões não são avaliados neste relatório do Grupo de Trabalho I do IPCC. Este quadro com uma síntese dos cenários do RECE foi tirado do TRA e submetido à aprovação linha por linha do Painel.