

# **Impacto das Mudanças Climáticas no Brasil e Possíveis Futuros Cenários Climáticos: Síntese do Terceiro Relatório do IPCC 2001\***

(\*) Marengo, J, Soares, W, 2003: Impacto das modificações da mudança climática- Síntese do Terceiro Relatório do IPCC. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. Chapter 6 in *Clima e Recursos Hídricos 9*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA. Porto Alegre, Brasil, pp 209-233.

JOSE ANTONIO MARENGO e WAGNER RODRIGUES SOARES

CPTEC-INPE  
Rodovia Dutra km. 40  
12630-000 Cachoeira Paulista  
São Paulo, Brasil

## **Introdução**

Desde a década de 1980, evidências científicas sobre a possibilidade de mudança de clima em nível mundial vêm despertando um interesse crescente no público e na comunidade científica em geral. Em 1988, A OMM (Organização Meteorológica Mundial) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), assim a Assembléia Geral das Nações Unidas trata da mudança do clima pela primeira vez. O IPCC ficou encarregado de apoiar com trabalhos científicos nas avaliações do clima e os cenários de mudanças climáticas para o futuro. Segundo o IPCC, o aumento nas concentrações de gases de efeito estufa (dióxido de carbono, vapor de água, nitrogênio, oxigênio, monóxido de carbono, metano, óxido nitroso, óxido nítrico e ozônio entre outros) tende a reduzir a eficiência com que a Terra se resfria.

A década de 90 foi a mais quente desde que se fizeram as primeiras medições, no fim do século XIX. Uma consequência notável foi o derretimento de geleiras nos pólos e o aumento de 10 centímetros no nível do mar em um século. A Terra sempre passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, da mesma forma que períodos de intensa atividade geológica lançaram à superfície quantidades colossais de gases que formaram de tempos em tempos uma espécie de bolha gasosa sobre o planeta, criando um efeito estufa natural. Ocorre que atualmente a atividade industrial está afetando o clima terrestre na sua variação natural, o que sugere que a atividade humana é um fator determinante no aquecimento. Desde 1750, nos primórdios da Revolução Industrial, a concentração atmosférica de carbono – o gás que impede que o calor do Sol se dissipe nas camadas

mais altas da atmosfera e se perca no espaço – aumentou 31%, e mais da metade desse crescimento ocorreu de cinquenta anos para cá. Durante os primeiros séculos da Revolução Industrial de 1760 até 1960, os níveis de concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico aumentou de uma estimativa de 277 partes por milhão (ppm) para 317 ppm, um aumento de 40 ppm. Durante as recentes quatro décadas, de 1960 até 2001, as concentrações de CO<sub>2</sub> aumentaram de 317 ppm para 371 ppm, um acréscimo de 54 ppm. Este aumento nas décadas recentes corresponde ao aumento no uso de combustível fóssil durante este período.

Amostras retiradas das geleiras da Antártica revelam que as concentrações atuais de carbono são as mais altas dos últimos 420.000 anos e, provavelmente, dos últimos 20 milhões de anos. O aumento de quase 0,6 °C durante o século passado é pequeno se comparado com as projeções de aquecimento para o próximo século. Segundo projeções feitas pelo IPCC o aquecimento poderá ficar entre os limites de 1,4-5,8 °C.

No presente Capítulo é feita uma revisão sobre o Terceiro Relatório Científico do IPCC (IPCC, 2000 a, b, 2001 a-e), com ênfase nos principais resultados científicos sobre mudanças detectadas no clima, são discutidas as possíveis causas físicas e as previsões para o século XXI baseados nos modelos climáticos e modelos acoplados oceano-atmosfera rodados pelo IPCC com ênfase em três regiões da América do Sul: Nordeste-Bacia do Rio São Francisco, Bacia do Prata e Bacia Amazônica.

## **2. Breve evolução do trabalho do IPCC: 1990 até 2001**

O IPCC é um painel científico ligado às Nações Unidas que avalia o conhecimento existente no mundo sobre a mudança climática global. A missão do IPCC é de *“to assess the scientific, technical and socio-economic information relevant for the understanding of the risk of human-induced climate change”*, que traduzido seria *“avaliar a informação científica, técnica e socioeconômica relevante para entender os riscos induzidos pela mudança climática na população humana”*. Esta tarefa é abordada com a participação de um grande número de pesquisadores nas áreas de clima, meteorologia, hidrometeorologia, biologia e ciências afins, que se reúnem e discutem as evidências científicas e resultados de modelos, com a meta de chegar a um consenso sobre tendências mais recentes em mudança de clima. Como resultado destas interações que tomam de 2 a 3 anos, os três Grupos de Trabalho (GT) que formam parte da estrutura científica do IPCC produziram relatórios intitulados: “As Bases Científicas” do GT1, “Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade” do GT2, e “Mitigação” do GT3, onde cada GT produz um relatório impresso contendo entre 700 a 900 páginas de informação condensada (IPCC 2001 a, b).

Os relatórios do IPCC, especialmente do GT1 sobre “As Bases Científicas” representam uma “Bíblia” em pesquisa de clima. Este relatório fornece uma revisão compreensiva e atualizada de todas as informações e estudos feitos na área de clima, oceanografia, ecologia, entre outras ciências relacionadas a mudanças climáticas. Esta informação é apresentada para a comunidade científica, público em geral, e em especial para políticos e tomadores de decisões, que precisam receber informação de forma entendível. Para isto, o IPCC tem a tarefa de sumarizar o conhecimento atual contido nos relatórios científicos sobre as possíveis mudanças do clima no futuro para os tomadores

de decisões. Este relatório é chamado de “Summary for Policy Makers” ou Relatório Sumário para Tomadores de Decisões (IPCC 2001 c, d, e).

O website do IPCC (<http://www.ipcc.ch/about/about.htm>) anuncia com maior orgulho que seu Segundo Relatório Científico (SAR) sobre Mudanças Climáticas, publicado em 1995 (IPCC, 1996 a, b) forneceu as bases para as negociações chaves que levaram a adoção do Protocolo de Kioto em 1997. Assim, a relevância política destes relatórios, especialmente o “Summary for Policy Makers” é indiscutível. O Terceiro Relatório Científico (TAR) mostra que “Existe novas e fortes evidências que a maior parte do aquecimento observado durante os últimos 50 anos é atribuído às atividades humanas” (IPCC, 2001 a), o que já é de conhecimento público, pois tem sido anunciado em jornais e revistas científicas e pela imprensa mundial.

O Primeiro relatório Científico (FAR) foi publicado pelo IPCC em 1990 e as pesquisas sobre mudanças de clima têm se beneficiado com a interação entre cientistas de todo o mundo desde a publicação do FAR. Uma possível falha do TAR é em relação à pesquisa em sobre possíveis mudanças na frequência de extremos eventos de clima. Espera-se que para 2007, o Quarto Relatório Científico do IPCC seja publicado, e que o conhecimento sobre mudanças em extremos de clima melhore notavelmente.

O IPCC representa um esforço global, envolvendo cientistas de vários países, os quais representam instituições científicas, universidades públicas e privadas, associações profissionais, ONGs, órgãos do governo, e do sector publico e privado, além de consultores. Muitas das pesquisas ainda vem de países industrializados, que possuem maiores orçamentos para desenvolver estudos de clima, e dessa forma tem maior volume de publicações científicas. Até hoje, cada um dos GT tem sido liderado ou co-liderados por reputados cientistas de alto nível de países em desenvolvimento, e entre os cientistas participantes (contribuintes ou coordenadores) podem se detectar especialistas dos cinco continentes. O IPCC encoraja pesquisadores de países em desenvolvimento e economias em transição a participar no processo de elaboração dos relatórios científicos, assim como de sediar as reuniões científicas de discussão entre os cientistas dos diferentes GTs do IPCC.

Diferente do SAR de 1995, capítulos regionais com grande maioria de autores da região avaliada (África, Ásia, Austrália e Nova Zelândia, Europa, América do Norte, América Latina, regiões polares e pequenas ilhas) foram uma característica particular do GT 2 sobre Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. Os relatórios dos GTs constituem uma avaliação do estado da arte em pesquisas de clima, detecção de mudanças climáticas, atribuição de causas físicas, assim como das incertezas das previsões para os diferentes cenários climáticos. Em meados da década de 1990 muitos cientistas pensaram que já tinham fornecido os fatos mais relevantes sobre mudanças de clima para os políticos e tomadores de decisões. Porém, com as dificuldades na ratificação do protocolo de Kioto, o problema de adaptação foi mais aparente, ta vez ainda mais que a mitigação. Também, o desenvolvimento de novos métodos estatísticos para separar sinais de influencia de variabilidade climática natural da antropogênica, as novas tecnologias em satélites e supercomputadores, o desenvolvimento de modelos acoplados que incluem mais realisticamente as interações da vegetação e carbono com a baixa atmosfera, e com uma resolução espacial maior, pode ajudar a reduzir as incertezas nas previsões climáticas para cenários do clima nos anos por vir.

### 3. O terceiro relatório TAR IPCC: Descrição geral

O FAR do GT1 do IPCC (IPCC, 1990) mostrou um aumento na concentração de gases de efeito estufa na atmosfera devido a atividades humanas, e que o aumento nas emissões destes gases poderia exceder a variação natural observada nos últimos milênios. O aquecimento observado no século passado foi de aproximadamente 0.5 C, consistente com as previsões dos modelos em relação ao aumento na concentração de gases de efeito estufa. O SAR do GT1 do IPCC (IPCC, 1996 a, b) indica aumentos na concentração de gases de efeito estufa e que era necessário cortes ou reduções nas emissões para estabilizar a concentração de gases de efeito estufa. Com os modelos e análises da época, já se falava que a habilidade de quantificar a influência humana na variabilidade do clima era limitada, porém, já se sugeria que a avaliação da informação analisada sugere um efeito importante da atividade humana no clima global.

Os resultados das avaliações globais do TAR do GT1 do IPCC (IPCC 2001 a-c) baseiam-se em prévias avaliações e incorpora novos resultados dos últimos 5 anos de pesquisa em mudança de clima. Que podem se resumir assim:

- a) *Uma análise das evidências observacionais integradas em nível mundial fornecem uma visão de aquecimento global e outras mudanças no sistema climático.*
  - A temperatura global da superfície em média aumentou no século XX em aproximadamente 0.6 °C. Globalmente, é muito provável que os anos 1990's foram à década mais quente, e que 1998 foi o ano mais quente de todo o período observacional (desde 1861).
  - A temperatura tem se elevado durante as últimas 4 décadas nos níveis desde a superfície até 8 km de altitude. Este nível pode ser afetado pela redução do Ozônio estratosférico, aerossóis atmosféricos e pelo fenômeno El Niño.
  - A cobertura de neve e gelo tem diminuído aproximadamente em 10% desde 1960.
  - O nível médio do mar aumentou globalmente, e o conteúdo calórico dos oceanos também experimentou um acréscimo.
  - Mudanças também têm sido detectadas em outros componentes do clima: Desde 1950, observou-se com certa precisão que se teve uma redução na frequência de temperaturas mínimas extremas, enquanto que aumentou a frequência de temperaturas máximas extremas.
  - Alguns aspectos significativos do clima pareceram não ter mudado: Extensão da área coberta de neve na Antártica parece não ter mudado desde 1978, não se observaram mudanças sistemáticas na frequência de tornados, dias com tempestades, nem tem se identificado tendências na frequência e intensidade de ciclones tropicais e extratropicais.
- b) *Emissões de gases de efeito estufa e aerossóis devido a atividades humanas continuam a alterar a atmosfera e conseqüentemente o clima.*
  - Concentrações de gases de efeito estufa e suas forçantes radiativas tem continuado a aumentar como resultado de atividades humanas.
  - Aerossóis antropogênicos têm vida curta e produzem geralmente uma forçante radiativa negativa.
  - Fatores naturais tem contribuído em pequena escala na forçante radiativa no século passado.
- c) *A Confiança na habilidade dos modelos para projetar climas futuros tem melhorado*

- d) *Existem novas e fortes evidências que a maior parte do aquecimento observado nos últimos 50 anos seja atribuído à atividade humana*
- e) *A Influência das atividades humanas vai continuar mudando a composição atmosférica durante o Século XXI.*
- f) *A Temperatura média no nível do mar em escala global podem experimentar aumentos significativos nos cenários SRES do IPCC.*
  - A temperatura média global pode aumentar entre 1.4-5.8 °C no período de 1990 até 2100, com uma taxa de aquecimento maior que aquela observada no século XX. Aumentos de temperatura maiores que aqueles reportados no SAR (que foram de 1.0-3.5 C).
  - Em latitudes baixas, se observará aumentos e diminuições na chuva regional continental, com uma forte variabilidade interanual.
  - Em relação ao El Niño, projeções mostram poucas mudanças na amplitude do fenômeno nos próximos 100 anos. Porém, há possibilidades de uma intensificação dos extremos de secas e enchentes que ocorrem durante o El Niño.
- g) *As Alterações antropogênicas no clima podem persistir por muitos séculos.*

Os resultados das avaliações globais do TAR do GT2 do IPCC (IPCC 2000, 2001) sobre impactos, adaptação e vulnerabilidade às mudanças climáticas em nível regional podem se resumir assim:

- a) *As Recentes mudanças climáticas, especialmente o aumento da temperatura já estão afetando sistemas físicos (Hidrologia, recursos hídricos) e biológicos (ecossistemas, saúde humana, cidades, indústrias).*
- b) *Existem indicadores preliminares de que alguns sistemas humanos já tem sido afetados pela seca ou enchentes.*
- c) *Os Sistemas naturais são vulneráveis a mudanças climáticas, e alguns serão prejudicados irreversivelmente.*
- d) *Aqueles com menos recursos e que tem menor capacidade de se adaptar são os mais vulneráveis.*

### **3.1 Análise de mudanças regionais de clima**

O Capítulo 14 do GT2 do IPCC (IPCC, 2001) dedicado a América Latina apresenta para o Brasil alguns resultados interessantes, que realmente mostram um avanço em estudos sobre variabilidade e mudanças no clima desde 1996, em que o SAR foi publicado. Observou-se que variações em chuvas e vazões de rios na Amazônia e no Nordeste apresentam ciclos interdecadais mais que tendências de aumento ou redução, com esta variabilidade associada a padrões de variação da mesma escala de tempo nos Oceanos Pacífico e Atlântico. No Sul do Brasil, tendências para aumento das chuvas foram observadas, enquanto que na Amazônia, ainda que o desmatamento tenha aumentado em comparação a 1996, não se detectaram tendências significativas nas chuvas ou vazões nesta região. Porém, estudos sobre mudanças nos extremos de clima (chuvas, temperaturas, tempestades) são poucos e os resultados tem sido comprometidos devido à qualidade e ausência de informação diária confiável. Também tem se observado impactos de El Niño mais intensos nas regiões Norte, Nordeste e Sul do Brasil. Se o El Niño ou La Niña aumentaram em frequência ou intensidade, o Brasil ficaria exposto à secas ou enchentes mais frequentemente.

### **3.2 Impactos da mudança climática no Brasil**

Possíveis impactos das mudanças de clima no Brasil devido ao aquecimento global já incluem possíveis impactos de dessecamento da Amazônia (devido ao desmatamento) na frequência de incêndios na floresta e na ameaça para a biodiversidade nos ecossistemas tropicais. O remanescente de florestas da Amazônia que sobreviverem ao desmatamento podem sofrer as consequências de redução de precipitação devido à redução da evapotranspiração e aos fenômenos El Niños mais intensos. Alguns resultados recentes de simulações climáticas com modelos do Hadley Centre da Grã-Bretanha, do Laboratório de Meteorologia Dinâmica da França, do NASA/GSFC dos USA e do CPTEC/INPE no Brasil, indicam que haveria uma resposta substancial do clima em relação ao desmatamento (Vide Capítulo 4). O clima Amazônico ficaria mais quente e menos úmido. A redução do volume anual de chuvas poderia chegar até 20%, caso toda a floresta Amazônica fosse substituída por pastagens. Estes estudos mostram que o resultado de uma simulação de um cenário mais real no qual apenas parte da Amazônia seria desmatada não poderia ser deduzido facilmente da experiência de desmatamento total indicando que as previsões dos modelos de clima são bastante sensíveis à representação das características de uma superfície vegetada. É importante ressaltar que as alterações de temperatura e umidade previstas para a Amazônia, por meio de simulações de desmatamento são amplas.

O Pantanal, localizado no sudoeste do Brasil, constitui uma das últimas grandes áreas inundadas de água doce no mundo, habitat de uma grande variedade de vida selvagem. Este ecossistema faz parte da bacia do Rio Paraná e durante a estação chuvosa (normalmente de novembro até abril), se comporta como um gigantesco mecanismo natural de controle das enchentes do rio Paraguai, resultantes das chuvas torrenciais sobre o Mato Grosso. Qualquer aumento significativo da vazão, resultante de alterações climáticas, ou do desmatamento, irá afetar negativamente a capacidade de retenção e controle desta grande área alagada (Hulme e Sheard, 1999). O comportamento do El Niño e as possíveis consequências do desmatamento da Amazônia e da Mata Atlântica ainda não são modelados realisticamente.

Possíveis reduções na disponibilidade de recursos hídricos no Brasil poderiam ser esperados devido a possíveis El Niños mais intensos, especialmente no Norte e Nordeste. Também possíveis aumentos no nível do mar podem afetar ecossistemas costeiros, que constituem um ecotono importante (mar-terra) o qual é muito sensível às mudanças climáticas. Uma grande parte dos problemas de degradação dos recursos costeiros está associada às grandes concentrações metropolitanas, industriais e portuários.

Para toda a região Norte, uma elevação do nível do mar aumentará significativamente a propagação das marés nos rios. Inundações ao longo dos vales dos rios serão lateralmente confinadas pelas áreas elevadas adjacentes. Dependendo da quantidade de sedimento, áreas baixas de aluvião como na Ilha de Marajó, na foz do Rio Amazonas, podem ser inundadas. No Nordeste, Manguezais, localizados nas áreas baixas das planícies costeiras, em estuários, ao redor de lagoas costeiras e em áreas agrícolas em vales ribeirinhos temporariamente alagados, serão afetados. Problemas mais sérios aparecerão em cidades costeiras como Recife, Aracaju e Maceió, onde a

urbanização se expandiu para áreas baixas e alagamentos já ocorrem, especialmente quando chuvas fortes coincidem com marés de primavera.

### **3.3 Principais resultados científicos do TAR IPCC**

A identificação da influencia humana na mudança do clima é um dos principais aspectos analisadas pelo GT1 do TAR IPCC (IPCC, 2001 a-c). O TAR demonstrou que as mudanças observadas de clima são pouco prováveis devido à variabilidade interna do clima, ou seja, a capacidade do clima de produzir variações de considerável magnitude no longo prazo sem forçantes externas. As mudanças observadas são consistentes com respostas estimadas devido a uma combinação de efeitos antropogênicos e forçantes naturais.

Três dos cinco anos mais recentes (1995, 1997 e 1998) tem sido os mais quentes desde o início do período observacional, as reconstruções de temperatura durante os últimos 1000 anos indicam que as mudanças da temperatura durante os últimos 100 anos não são provavelmente devido a causas naturais, considerando as grandes incertezas dos registros paleo-climáticos. Os modelos climáticos mostram que o aquecimento dos últimos 100 anos não é provavelmente devido à variabilidade interna do clima, e avaliações baseadas em princípios físicos indicam que a forçante natural não pode explicar sozinho as mudanças observadas do clima na estrutura vertical da temperatura na atmosfera. Modelos acoplados oceano-atmosfera usaram reconstruções de forçantes solar e vulcânica nos últimos 300 anos para estimar a forçante natural da variabilidade e mudança de clima. Ainda que a reconstrução de forçantes naturais seja duvidosa, incluir seus efeitos produzem um aumento na variância em grandes escalas de tempo (multi-decadal), o que chega a estimar a variabilidade de baixa frequência como próxima àquela deduzida das reconstruções paleo-climáticas. É provável que a forçante natural (antropogênica e vulcânica) foi negativa nas ultimas duas décadas, talvez durante as ultimas quatro décadas. Avaliações estatísticas confirmam que a variabilidade natural do clima simulada (interna e naturalmente forçada) não explica o aquecimento observado durante a segunda metade do século XX (Figura 1). Porém existem evidencias de uma influencia solar, especialmente no início do século XX. Ainda que os modelos subestimem a magnitude da resposta na atividade vulcânica ou solar, os padrões de variabilidade espacial e temporal são tais que esses efeitos sozinhos não podem explicar as mudanças observadas de temperatura no século XX.

## Simulação de temperaturas medias anuais globais

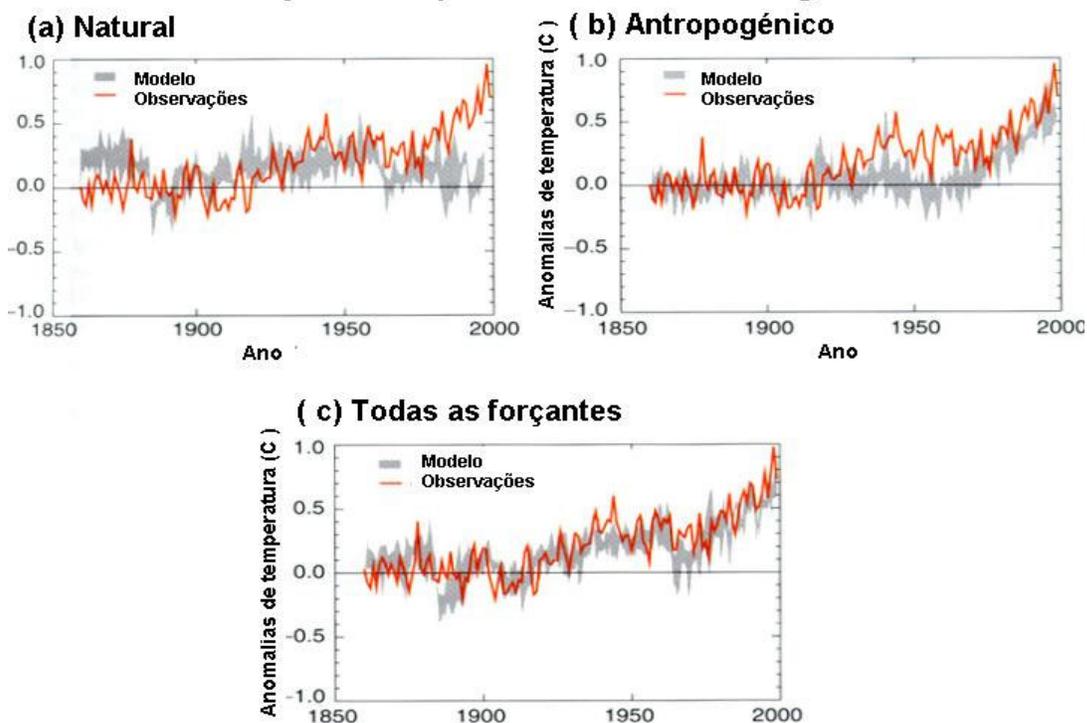


Figura 1. Anomalias globais de temperatura do ar relativo ao período 1850-1920 baseado em registros instrumentais comparadas com a média de um conjunto de 4 simulações de modelos acoplados oceano-atmosfera forçados com: (a) forçante solar e vulcânica somente, (b) forçante antropogénica que inclui gases de efeito estufa, mudanças no ozônio troposférico e estratosférico, e o efeito direto e indireto de aerossóis de sulfato, e (c) combinação de todas as forçantes (naturais e antropogénica). A linha vermelha representa as observações e a área em cinza representa os 4 modelos climáticos usados. As medias são anuais (IPCC 2001 a).

A evidência da influência humana no clima é obtida usando uma ampla variedade de técnicas de detecção, o que representa um grande avanço desde o SAR em 1996. O IPCC (2001) mostra que os últimos 50 anos a taxa de aquecimento global devido somente ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa é comparável ou maior que o aquecimento observado. As incertezas em outras forçantes que tem sido incluídas não atrapalham a identificação do efeito de gases de efeito estufa antropogénico durante os últimos 50 anos.

### 3.4 Ano de 2002 é o segundo mais quente da história

Medições de temperatura dos primeiros 11 meses de 2002 indicam que este será o segundo ano mais quente de toda a história dos registros climáticos, superado apenas por 1998. O alerta foi feito pela ONG Earth Policy Institute, a partir de dados da NASA (Agência espacial dos EUA). Os dados mostram que a temperatura média global de janeiro a novembro foi de 14,65°C, um pouco mais baixa que a média de 1998. Os registros globais de temperatura começaram a ser feitos em 1867. Desde essa época, as

15 médias anuais mais altas ocorreram todas depois de 1980 -as três maiores nos últimos cinco anos. Comparadas mês a mês, as médias globais também indicam uma elevação acelerada. A temperatura em janeiro deste ano -14,72C foi a mais alta no registro para tal mês. Em março (14,91C), idem. Embora ainda haja incertezas nos modelos, os cientistas atribuem a elevação ao aquecimento global provocado pela emissão de gases como o dióxido de carbono por atividades humanas. Esses gases retêm o calor da Terra na atmosfera. A previsão é que, em 2100, o planeta esteja de 1,4C a 5,8C mais quente.

#### **4. Os modelos do IPCC**

A modelagem climática em grande escala consome enormes recursos de informática e são tão caros que cada ano apenas alguns experimentos podem ser realizados em todo o mundo. Até mesmo os modelos mais sofisticados são representações aproximadas de um sistema muito complexo, de forma que ainda não são infalíveis na previsão do clima futuro.

Os modelos climáticos são usados como ferramentas para projeções de futuras mudanças do clima, como consequência de futuros cenários de forçantes climáticas (gases de efeito estufa e aerossóis). Sabe-se que existe um grau de incerteza do futuro cenário climático do planeta e em particular no Brasil. Isto se deve principalmente as diferenças observadas nas saídas dos diferentes modelos climáticos usados nas projeções climáticas para o século XXI pelo TAR do IPCC (2001 a, b). Na próxima seção serão analisadas as saídas dos modelos climáticos do IPCC, rodados com diferentes concentrações de gases de efeito estufa, (ou cenários SRES -Special Report on Emissions Scenários), os quais serão avaliados para o Brasil. Assim vai se ter uma primeira aproximação dos cenários futuros de clima para o País em geral, porém sem muito detalhe regional. Usam-se vários modelos para poder avaliar a variabilidade entre modelos climáticos e assim, conhecer e interpretar todos os possíveis cenários, levando em conta a dispersão entre as saídas dos modelos. Assim, poder-se-ia tentar de reduzir as incertezas das previsões considerando não só um, mas vários cenários de vários modelos diferente do apresentado na Figura 3.

As saídas dos modelos globais de clima (atmosférico ou acoplados atmosfera-oceano) contém informações sobre os cenários SRES, os quais foram implementadas pelo IPCC para o terceiro relatório de avaliação de mudanças do clima, que foi recentemente liberado (IPCC, 2001 a, b). Os novos cenários SRES substituem os cenários IS92 que foram utilizados no segundo relatório de avaliação do IPCC publicado em 1996 (IPCC, 1996 a, b).

Os modelos utilizados nas simulações do IPCC (entre parênteses) juntamente com as instituições onde os modelos foram rodados são mostradas a seguir:

- 1- Max Planck Institute für Meteorologie da Alemanha (ECHAM4/OPYC3)
- 2 - Hadley Centre for Climate Prediction and Research, da Inglaterra (HadCM3)
- 3 - Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, da Australia (CSIRO-Mk2)
- 4 - National Centre for Atmospheric Research, dos EUA (NCAR-PDM e NCAR-DOE)
- 5 - Canadian Center for Climate Modelling and Analysis, do Canada (CCCMA)

O modelo de circulação geral atmosfera-oceano HadCM3 foi desenvolvido no Hadley Centre e sua componente atmosférica tem 19 níveis com uma resolução horizontal de 2.5° de latitude e 3.75° de longitude que produz uma grade global de 96 x 73 células. Isto é equivalente a uma resolução de superfície de cerca de 417 km x 278 km no Equador, reduzindo até 295 km x 278 km em 45° de latitude (comparável a uma resolução espectral de T42). A componente oceânica do HadCM3 tem 20 níveis com uma resolução horizontal de 1.25° x 1.25°.

O modelo climático CSIRO MK2 foi recentemente utilizado para várias simulações de mudanças de climáticas as quais estão disponíveis no IPCC/DDC (Data Distribution Center). O CSIRO MK2 tem 9 níveis na vertical e sua resolução horizontal espectral é R21 (aproximadamente 5.6 até 3.2 graus). Sobre o oceano o modelo tem a mesma resolução horizontal, porém apresenta 21 níveis verticais.

O modelo CCCMA possui resolução de grade em superfície de 3.7° x 3.7° e 10 níveis verticais. A componente oceânica tem uma resolução de 1.8°x1.8° e 29 níveis verticais. A componente atmosférica do modelo NCAR-PCM é a versão paralela do NCAR versão 3.2 do modelo (CCM3). Este modelo inclui as mais recentes versões de radiação, físicas de camada limite, e física de precipitação. O CCM3 também inclui o modelo de superfície de terra (LSM) que leva em consideração a física do solo além da representação da vegetação. A componente oceânica possui uma grade de 384 x 288 x 32, com uma resolução comum de 2/3 graus de latitude/longitude com resolução latitudinal maior (1/2 graus) perto do equador.

Os cenários climáticos do IPCC (2001), são baseados nas quatro projeções diferentes de emissões de gases de efeito estufa para o futuro. Estes cenários foram definidos no Special Report on Emissions Scenários (SRES) do IPCC e são utilizados neste capítulo para analisar o clima futuro em 4 “time-slices” fatias de tempo em 2020, 2050 e 2080.

## **5. Os cenários climáticos do IPCC**

Os “Emissions scenários” ou cenários de emissão representam uma visão possível do desenvolvimento futuro de emissões de substâncias que tem um efeito radiativo potencial (gases de efeito estufa, aerossóis), baseados numa combinação coerente e internamente consistente de assunções sobre forçantes controladoras, como são demografia, desenvolvimento sócio econômico, e mudança na tecnologia, assim como suas interações (IPCC 2001 a,b). Em IPCC (1990) um conjunto de cenários de emissão foi apresentado e foram usados como as bases para as projeções climáticas do SAR, publicado em 1996. No SAR, as projeções da mudança climática devido a causas antropogênica depende, entre outras coisas, das considerações feitas sobre as futuras emissões de gases de efeito estufa e aerossóis e da proporção de emissões remanescentes na atmosfera. Estes cenários são identificados como IS92.

No IPCC, os novos cenários (SRES) foram publicadas em 2000, e alguns deles foram usados como base para as previsões climáticas do TAR. Os cenários SRES mostram diferentes cenários futuros de mudanças climáticas, denominados de A1, A2, B1 e B2 os quais estão disponibilizados no IPCC/DDC da CRU-University of East Anglia. Estes cenários apresentam as seguintes características:

A1 é o cenário que descreve um mundo futuro onde a globalização é dominante. Neste cenário o crescimento econômico é rápido e o crescimento populacional é pequeno com um desenvolvimento rápido de tecnologias mais eficientes. Os temas subjacentes principais são a convergência econômica e cultural, com uma redução significativa em diferenças regionais e renda per capita. Neste mundo, os indivíduos procuram riqueza pessoal em lugar de qualidade ambiental. Há três cenários: A1, A1F (máximo uso de combustível fóssil) e A1T (mínimo uso de combustível fóssil);

A2 é o cenário que descreve um mundo futuro muito heterogêneo onde a regionalização é dominante. Existiria um fortalecimento de identidades culturais regionais, com ênfase em valores da família e tradições locais. Outras características são um crescimento populacional alto, e menos preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido;

B1 é o cenário que descreve uma rápida mudança na estrutura econômica mundial, onde ocorre uma introdução de tecnologias limpas. A ênfase está em soluções globais a sustentabilidade ambiental e social e inclui esforços combinados para o desenvolvimento de tecnologia rápida;

B2 é o cenário que descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais a sustentabilidade econômica, social e ambiental. A mudança tecnológica é mais diversa com forte ênfase nas iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais.

As características de cada cenário, em relação às concentrações de gases de efeito estufa (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>) aparecem na Figura 2, mostrando as diferentes concentrações dos cenários SRES e suas variações no período de 1980 até 2100. A figura 2 também mostra as diferenças entre os cenários IS92 do IPCC (1996 a, b). A Figura 3 mostra as combinações de forçantes térmicas devido às concentrações de diferentes gases de efeito estufa dos cenários SRES A e B, assim como a comparação com os cenários IS92, que em geral tem menor forçante térmica.

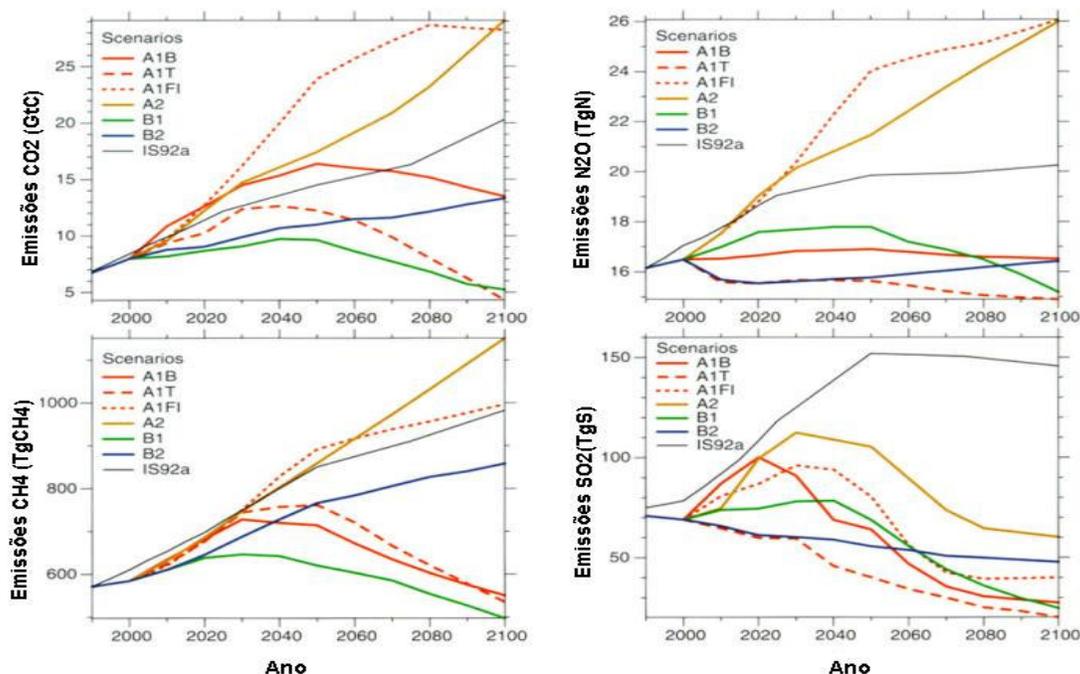


Figura 2. Emissões antropogênicas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e S<sub>2</sub>O) para os 6 cenários ilustrativos SRES: A1B, A2, B1, B2, A1F1 e A1T, e o cenário IS92a (IPCC, 2001 b).

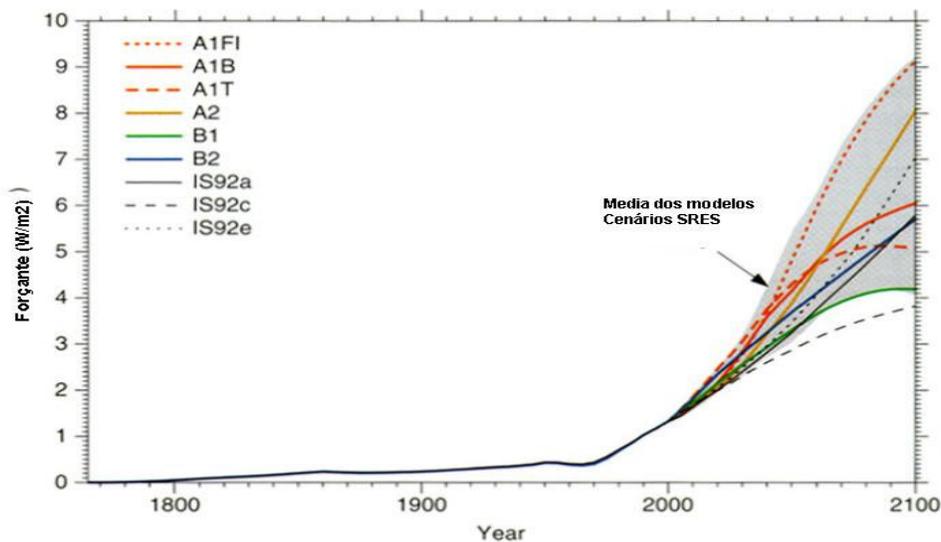


Figura 3. Estimativa da forçante radiativa antropogênica até 2002 derivado dos cenários ilustrativos SRES da Figura 2. A mancha cinza na figura mostra a região coberta pela média dos 35 cenários SRES. A figura também mostra os cenários IS92a, b, c (IPCC, 2001 b).

A rigidez dos seis modelos utilizados na elaboração dos cenários SRES e a dificuldade desses modelos em representar as diversas regiões podem ser constatadas em uma análise dos cenários SRES para a economia mundial e para a América Latina.

## 6. Os cenários climáticos do futuro para o Brasil

Alguns resultados recentes de simulações climáticas de modelos do Hadley Centre da Grã-Bretanha, do Laboratório de Meteorologia Dinâmica de França, e do NASA/GSFC de USA (Gash et al. 1996), indicam que haveria uma resposta substancial ao desmatamento. O clima Amazônico ficaria mais quente e menos úmido. A redução do volume anual de chuvas poderia chegar até 20%, caso toda a floresta Amazônica fosse substituída por pastagens. Eles verificaram que o resultado de uma simulação na qual apenas parte da Amazônia seria desmatada -cenário mais realista- não poderia ser deduzido facilmente da experiência de desmatamento total. Isso indica que as previsões dos modelos de clima são bastante sensíveis à representação das características da superfície vegetada. É importante ressaltar que as alterações de temperatura e umidade previstas para Amazônia nas simulações de desmatamento são tão amplas quanto às esperadas para a região caso seja duplicada a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub>. Isso mostra que o impacto sobre a região de modificações em sua cobertura vegetal é pelo menos tão importante quanto os potenciais efeitos regionais de aquecimento global.

A Figura 4 mostra um resumo de diferentes experiências de modelagem de desmatamento na Amazônia utilizando vários modelos globais de clima onde todos mostram aquecimento além de redução nas chuvas da Amazônia. O que ainda é difícil de estabelecer são os efeitos regionais destas mudanças e também, o possível impacto do desmatamento na intensidade do ciclo hidrológico e a taxa de reciclagem de umidade na região. É importante indicar que novos modelos vêm sendo desenvolvidos para representar mais realisticamente as interações da vegetação com o clima e melhorar a representação da chuva e das interações vegetação-atmosfera, fundamentais para uma boa representação da precipitação em cenários de clima do presente. Só assim pode se garantir que o futuro cenário tenha realmente algum grau de certeza.

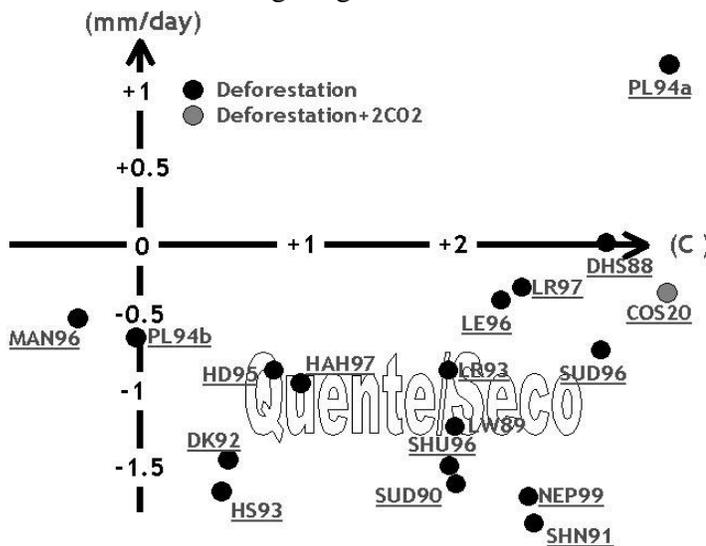


Figura 4. Resumo de diferentes experiências de modelagem de clima na Amazônia com desmatamento regional (Marengo e Nobre 2001). Cada ponto mostra o resultado de um trabalho indicando as iniciais dos pesquisadores envolvidos no trabalho e o ano de publicação. Os eixos são temperatura do ar (horizontal) e chuva (vertical).

A seguir, se apresenta uma revisão de alguns dos cenários climáticos SRES dos modelos de IPCC para Amazônia. A Figura 5 mostra uma diminuição na chuva de verão na Amazônia e no Nordeste, que aparece mais forte no cenário A2 em relação ao cenário

B2. Observa-se também (não foi observado nas saídas de outros modelos do IPCC) que a Região Sul do Brasil mostra incrementos na chuva sazonal e anual.

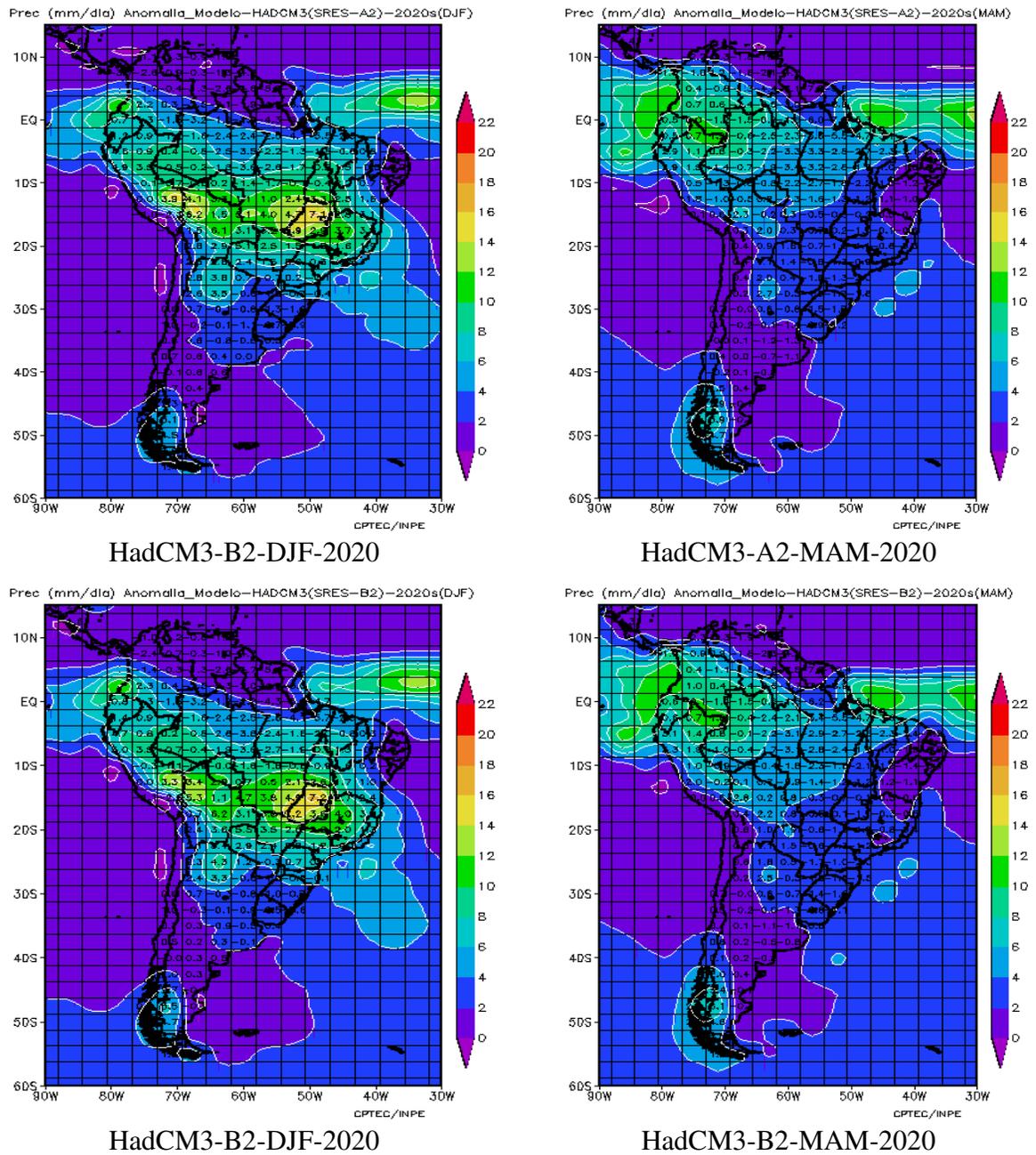


Figura 5. Previsões de chuva (cores) e anomalias de chuva (números) para DJF e MAM com referencia ao período base 1961-90 (números) para América do Sul. Nos cenários A2 e B2 pelo modelo HadCM3. O *time-slice* é em 2020.

O período DJF representa a estação chuvosa em boa parte das regiões Sudeste e Centro Oeste, assim como no Sul da Amazônia, enquanto que o período MAM representa a estação chuvosa do Norte da Amazônia e do Nordeste.

A Figura 6 mostra a mesma informação que a Figura 5 mais para a primavera (SON) e inverno (JJA), mostrando uma tendência a diminuição na chuva de verão no

Norte de América do Sul (JJA) e um possível adiantamento da estação chuvosa no SE do Brasil como mostrado pelas anomalias positivas de chuva (SON).

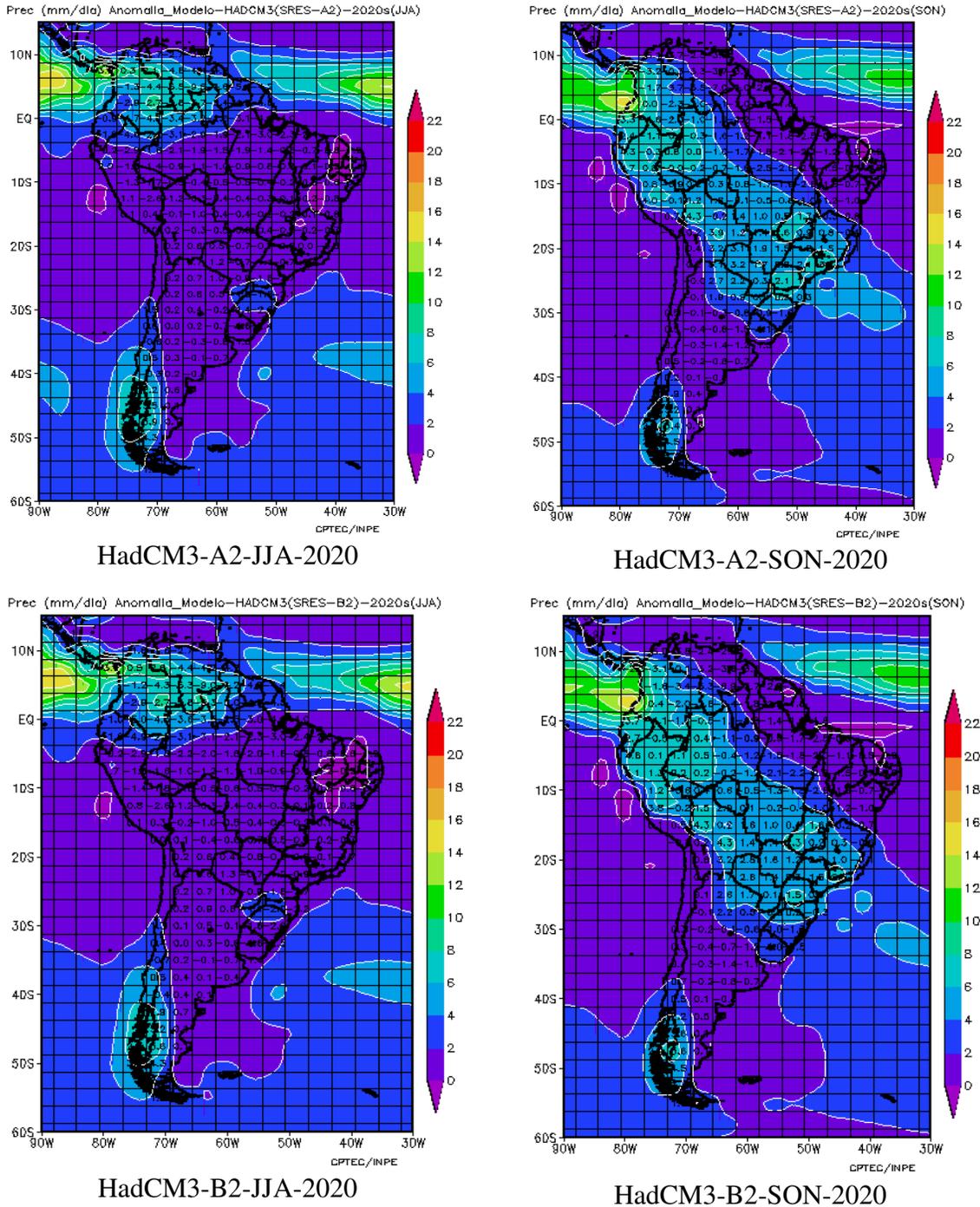


Figura 6. Previsões de chuva (cores) e anomalias de chuva (números) para JJA e SON com referencia ao período base 1961-90 (números) para América do Sul, nos cenários A2 e B2 pelo modelo HadCM3. O *time-slice* é em 2020.

A Figura 7 mostra uma comparação de cenários de chuva para o verão (DJF), no *time-slice* em 2020 e os mesmos cenários A2 e B2 dos modelos do IPCC do Canadá

(CCCMA), Austrália (CSIRO), Alemanha (ECHAM4) e Estados Unidos (NCAR-DOE), e deve ser analisada juntamente com Figura 5 (cenário HadCM3 A2, B2, 2020). Como mostrado na Figura 5, o modelo HadCM3 é o único modelo a apresentar aumentos de chuva na Região Sul do Brasil, enquanto que todos os modelos apresentam diminuição de chuva na Amazônia em geral. Os modelos ECHAM e NCAR/DOE apresentam também aumentos na chuva no Sul da Amazônia e oeste do Brasil, o que não é mostrado pelos modelos CCCMA e CSIRO.

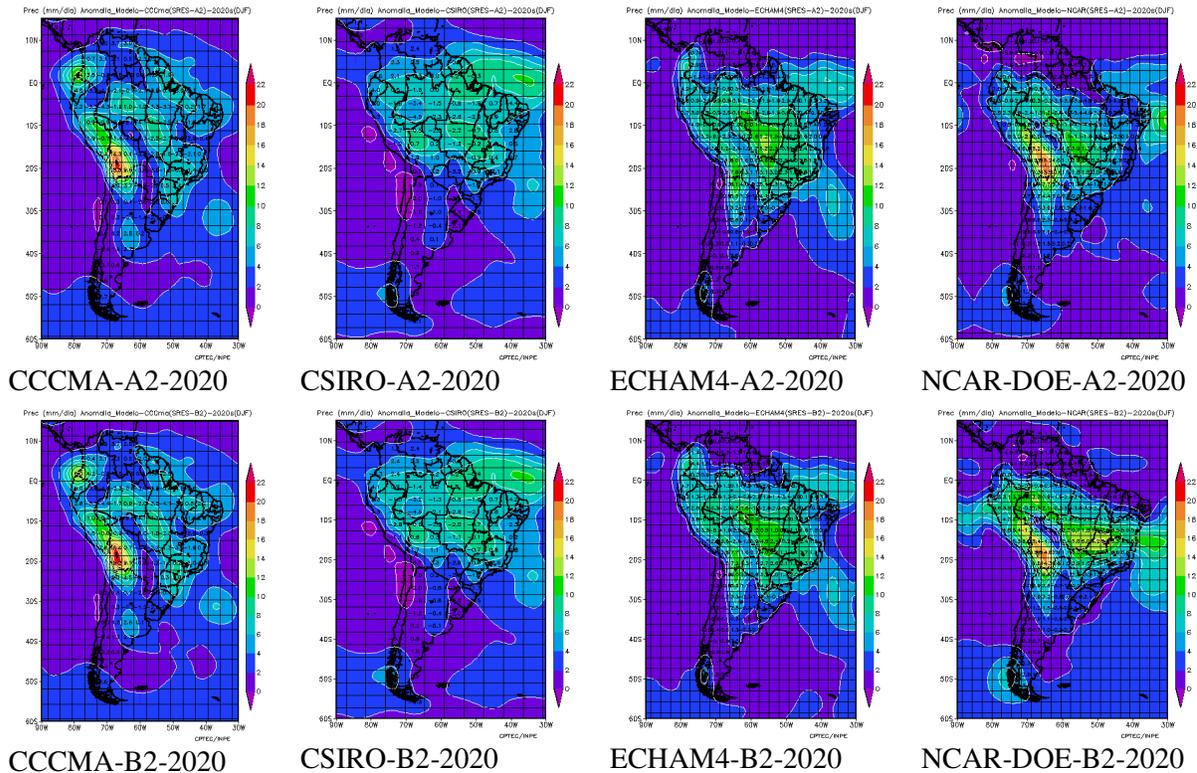


Figura 7. Previsões de chuva (cores) e anomalias de chuva (números) para DJF com referência ao período base 1961-90 (números) para América do Sul. Os modelos são os CCCMA, CSIRO, ECHAM4 e NCAR/DOE. Os cenários são A2 e B2 para *time-slice* em 2020.

As diferenças nos campos de precipitação nos *time-slices* em 2020, 2050, e 2080 do modelo HadCM3 são apresentados na Figura 8. Observa-se que para o cenário A2, existe diminuição de chuva na Amazônia e aumento de chuva no Sul do Brasil sucessivamente em 2050 e 2080. Para o cenário B2, a tendência ainda se mantém porém as taxas de redução são menores que nos cenários A2, especialmente em 2080. O modelo HadCM3 tem apresentado o chamado “Amazon die back” a partir do ano 2060, em que a diminuição de chuva na Amazônia é tanta que a vegetação reage e vira pastagem, enquanto que na região Sul do Brasil o aumento de chuva já mantém uma região de floresta para este período. O que se observa na Figura 8 é que este cenário de die back da floresta Amazônica é mais intenso no cenário A2, enquanto que o cenário B2 não apresenta este problema após 2050, em que a taxa de redução de chuva na Amazônia é menor no *time-slice* de 2080 neste cenário comparado com o cenário A2.

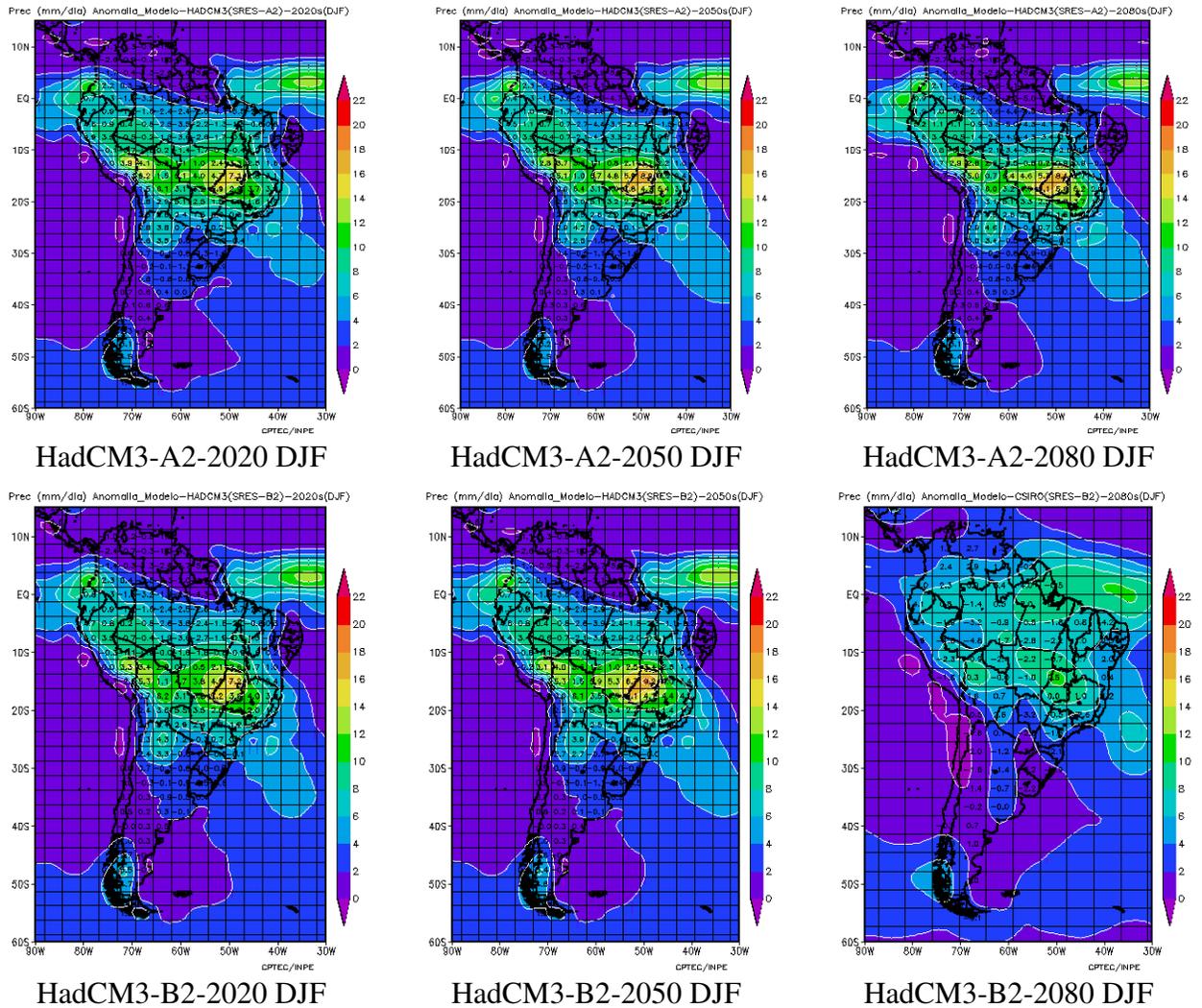
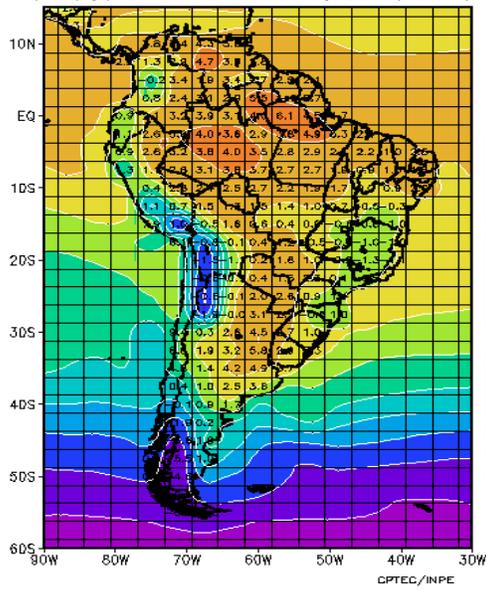


Figura 8. Previsões de chuva (cores) e anomalias de chuva (números) para DJF com referência ao período base 1961-90 (números) para América do Sul. As previsões são do modelo HasdCM3. Os *time-slices* são em 2020, 2050 e 2080 e os cenários são A2 e B2.

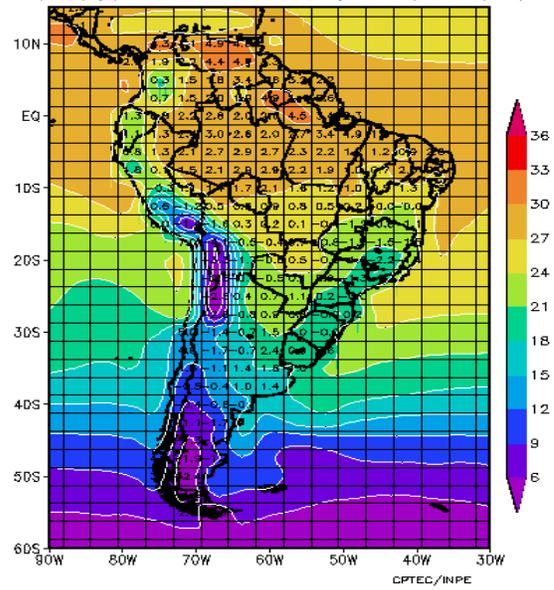
As Figuras 9 e 10 mostram as projeções de temperatura do modelo HadCM3 para DJF, MAM, JJA e SON dos cenários A2 e B2, para o *time-slice* em 2020. Observa-se que todos os cenários mostram aquecimento na Amazônia, ainda que em diferentes magnitudes. O aquecimento é maior no cenário A2, e durante o período SON o aquecimento é mais intenso e pode chegar até 4-6 °C. Nas outras estações do ano, o aumento sistemático da temperatura do ar pode ultrapassar 4 °C na Amazônia central, especialmente durante a primavera (início da estação chuvosa) e no verão.

Temp. Sup.(C) Anomalia+Modelo-HADCM3(SRES-A2)-2020s(DJF)



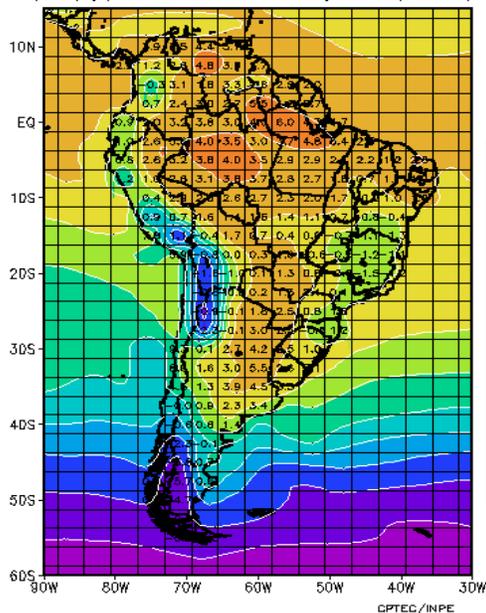
HadCM3-A2-DJF-2020

Temp. Sup.(C) Anomalia+Modelo-HADCM3(SRES-A2)-2020s(MAM)



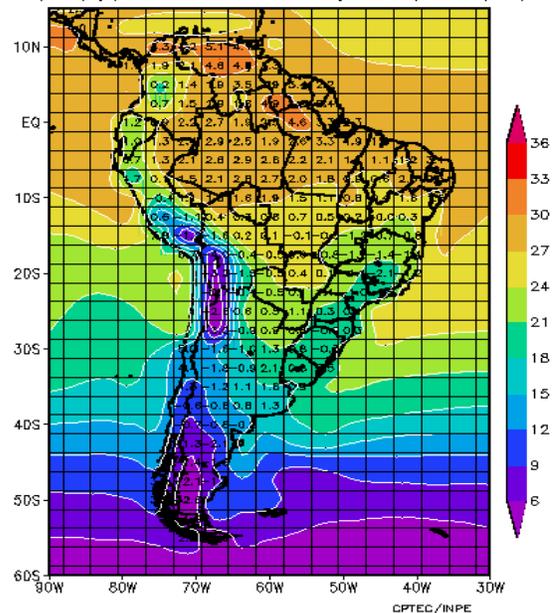
HadCM3-A2-MAM-2020

Temp. Sup.(C) Anomalia+Modelo-HADCM3(SRES-B2)-2020s(DJF)



HadCM3-B2-DJF-2020

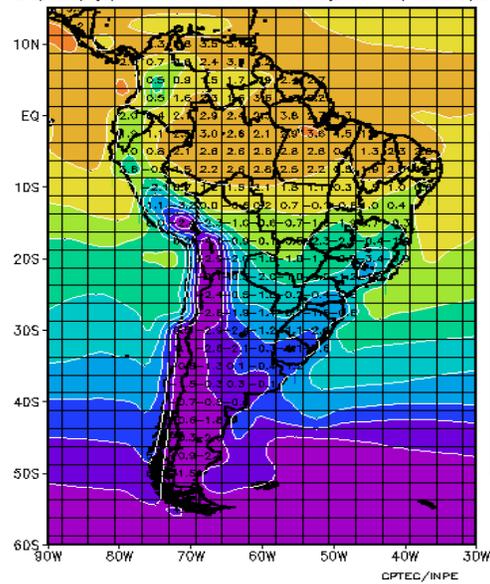
Temp. Sup.(C) Anomalia+Modelo-HADCM3(SRES-B2)-2020s(MAM)



HadCM3-B2-MAM-2020

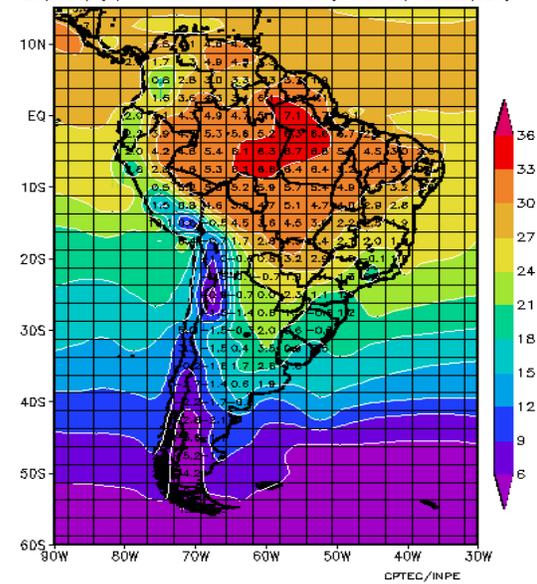
Figura 9. Previsões de temperatura do ar (cores) e anomalias de temperatura (números) para DJF e MAM em relação ao período base 1961-90 (números) para América do Sul, nos cenários A2 e B2 pelo modelo HadCM3. O *time-slice* é em 2002.

Temp. Sup.(C) Anomalia+Modelo-HADCM3(SRES-A2)-2020s(JJA)



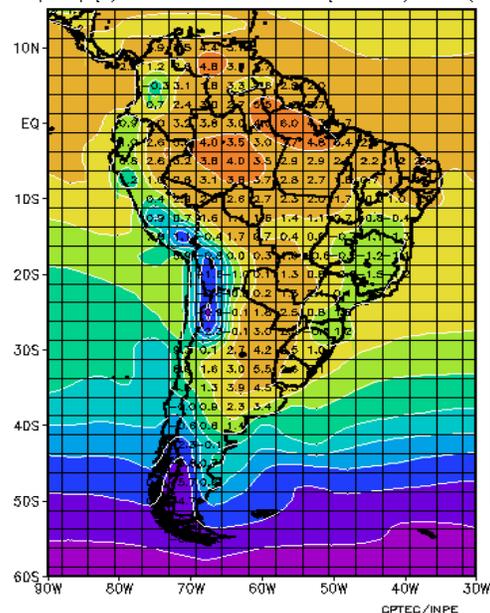
HadCM3-A2-JJA-2020

Temp. Sup.(C) Anomalia+Modelo-HADCM3(SRES-A2)-2020s(SON)



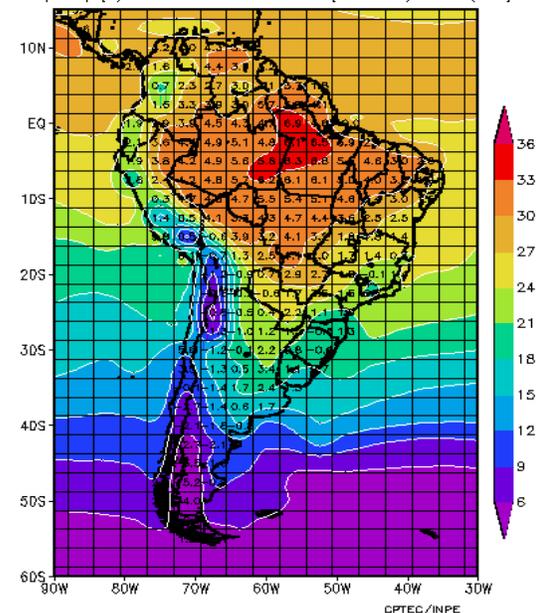
HadCM3-A2-SON-2020

Temp. Sup.(C) Anomalia+Modelo-HADCM3(SRES-B2)-2020s(DJF)



HadCM3-B2-DJF-2020

Temp. Sup.(C) Anomalia+Modelo-HADCM3(SRES-B2)-2020s(MAM)



HadCM3-B2-MAM-2020

Figura 10. Previsões de temperatura do ar (cores) e anomalias de temperatura (números) para JJA e SON em relação ao período base 1961-90 (números) para América do Sul, nos cenários A2 e B2 pelo modelo HadCM3. O *time-slice* é em 2020.

Baseando-se na análise da Figura 11 é bom salientar que embora todos os modelos mostrem sinais consistentes na temperatura do ar, os sinais de chuva não são muito consistentes, como mostrado na Figura 7. Para o período SON. Observa-se na Figura 11 mostra que o modelo ECHAM4 mostra uma taxa de aquecimento, sendo maior na Amazônia, chegando até mais 9 °C (A2) e até 7 °C (B2), seguido pelo modelo NCAR-DOE. Os modelos CSIRO e CCCma mostram tendências de esfriamento na região oeste

da Amazônia, em tanto que o aquecimento observado no restante do Brasil é menor que aquele observado no HadCM3.

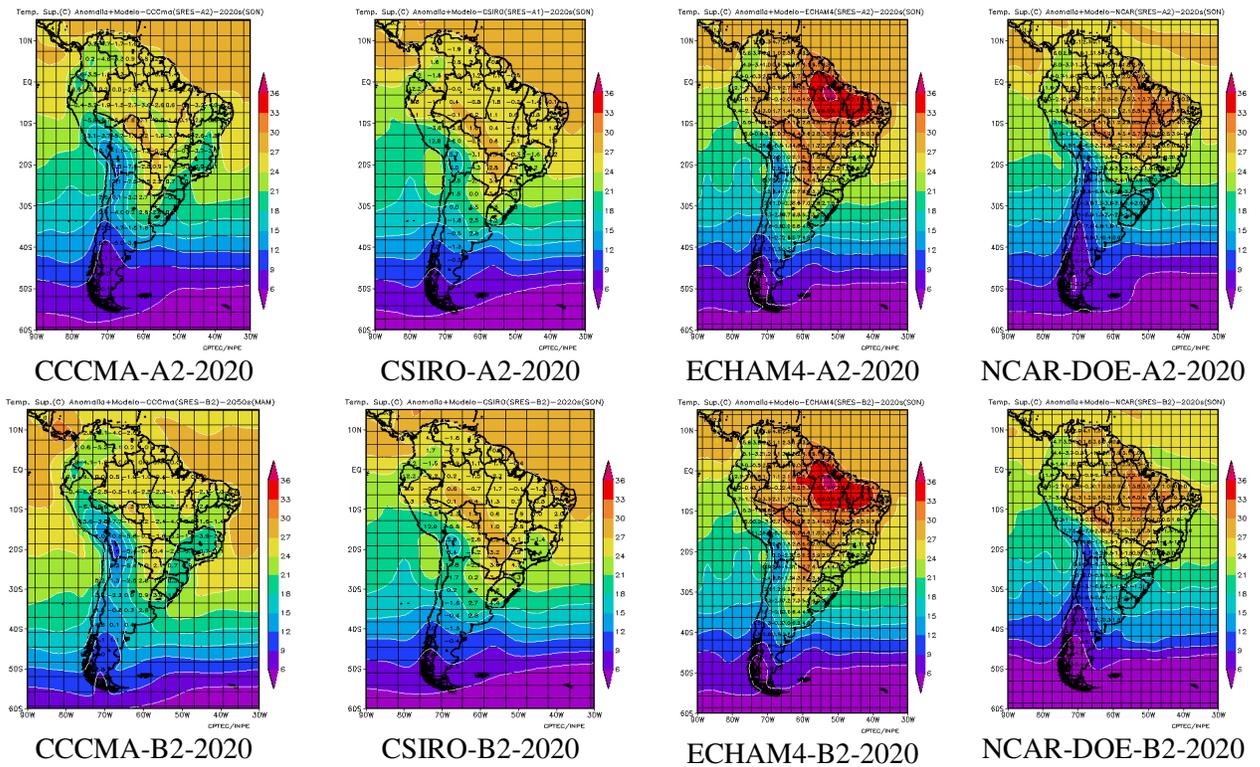


Figura 11. Previsões de chuva (cores) e anomalias de temperatura do ar (números) para SON com referência ao período base 1961-90 (números) para América do Sul. Os modelos são os CCMA, CSIRO, ECHAM4 e NCAR/DOE. Os cenários são A2 e B2 para *time-slice* em 2020.

A Figura 12 mostra as projeções de temperatura média anual do ar produzidas pelo modelo HadCM3 para os *time-slices* em 2020, 2050 e 2080. Observa-se o aquecimento sistemático na Amazônia, especialmente intenso em 2080, comparado com os resultados dos *time-slices* em 2020 e 2050, principalmente durante a primavera (SON). Este aquecimento pode chegar até 11 °C em 2080 para a Amazônia no cenário A2, enquanto que para o cenário B2 pode chegar até 8 °C. No Nordeste o aquecimento chega a 3-4 °C em 2080, enquanto que no Sul e Sudeste do Brasil este aquecimento é menor (1-2 °C). O aquecimento tende a ser sempre maior no cenário A2 comparando-se com o cenário B2.

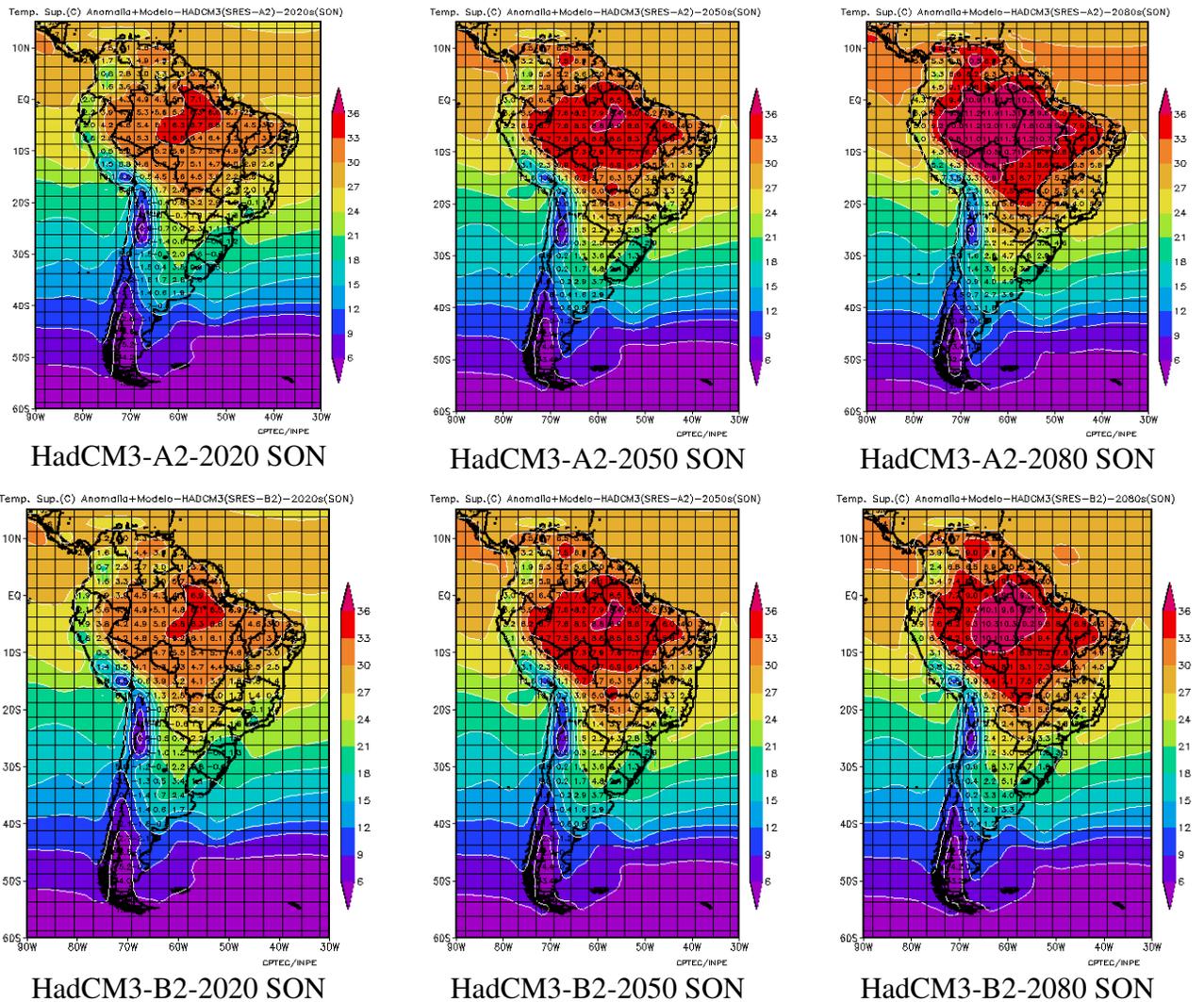


Figura 12. Previsões de temperatura do ar (cores) e anomalias de temperatura (números) para SON em relação ao período base 1961-90 (números) para América do Sul. As previsões são do modelo HadCM3. Os *time-slices* são em 2020, 2050 e 2080 dos cenários são A2 e B2.

Para a região Amazônica, a Figura 13 mostra uma serie de tempo com as previsões de precipitação e temperatura dos modelos do IPCC para os cenários A2 e B2. Embora a tendência nas series de chuva não sejam claras, as series mostram aumentos na temperatura do ar, que variam segundo cada modelo. O modelo HadCM3 mostra uma tendência de aumento até 2060 e depois tende a se estabilizar, enquanto que nos demais modelos o aumento continua. A alta variabilidade em alguns modelos comparados com outros e função, entre outras coisas, da resolução horizontal do mesmo (Nobre 2001).

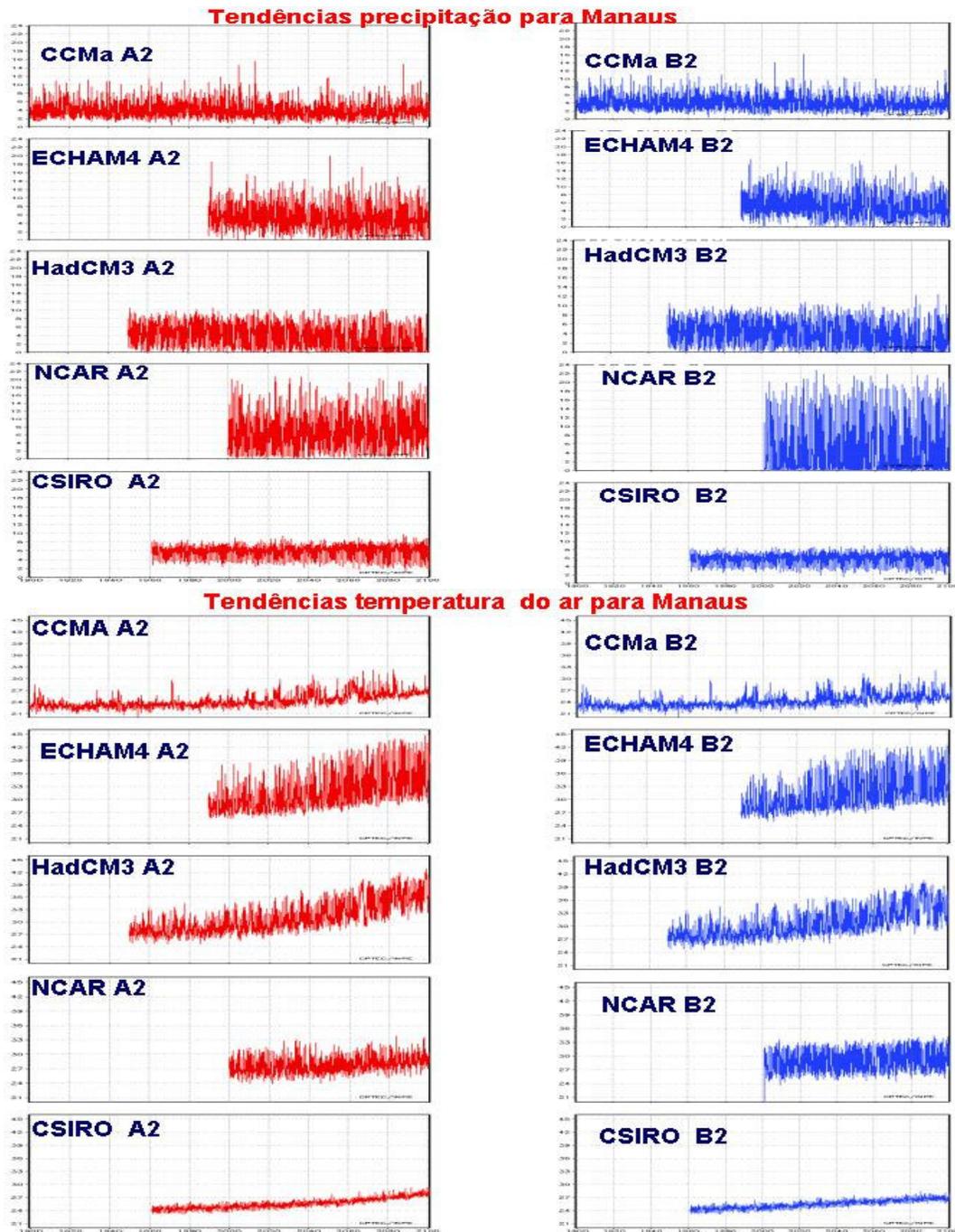
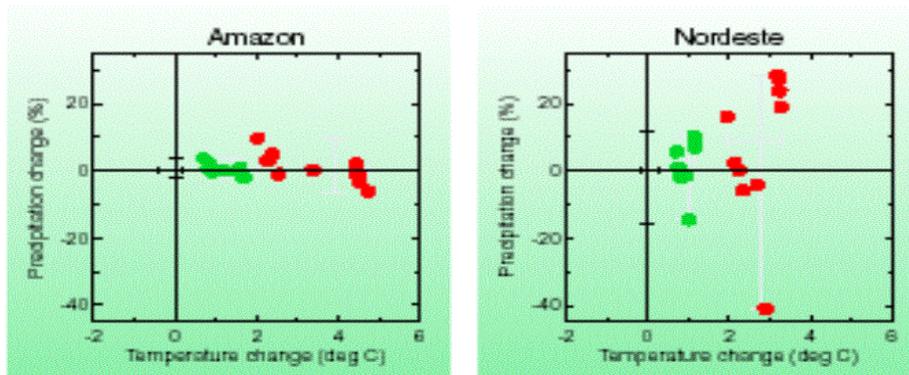


Figura 13. Series de tempo de precipitação e temperatura do ar desde o início da rodada de cada um dos modelos até 2100 em Manaus. Os cenários são os SRES A2 e B2.

Os mapas dos cenários SRES bem como as series de tempo das Figuras 5-13 mostram que para a o Brasil, especialmente regiões como a Amazônia, Nordeste e Sul (com melhor previsibilidade climática), modelos diferentes, mas com iguais concentrações dos gases de efeito estufa, prevêm por vezes diferentes climas regionais especialmente em relação à chuva. Para a Amazônia, enquanto que um modelo mostra anomalias positivas de chuva, o restante dos modelos mostram diminuição de chuvas

ainda que em diferentes magnitudes. No Nordeste, os modelos apresentam sistematicamente menos chuvas e mais altas temperaturas, enquanto que nesta região o aquecimento é menor que aquele previsto para Amazônia. Estas diferenças providenciam uma medida da incerteza dos cenários SRES. Para a região oeste da Amazônia, alguns modelos apontam para climas mais úmidos e outros para climas mais secos. No entanto, para a temperatura do ar, todos os modelos mostram um aquecimento sistemático, também com diferentes taxas de aquecimento para os diferentes modelos.

A Figura 14 mostra para Amazônia, que existe o sinal de temperatura que é consistente entre os modelos, ainda que as mudanças de chuva possam mudar de modelo para modelo (Hulme e Sheard 1999). O Nordeste mostra também certo grau de aumento de chuvas em alguns modelos e diminuição em outros, mais novamente existe sinal de aquecimento em todos os cenários e modelos.



**Mudanças da temperatura e precipitação ( período base 1961-90) para 2050, cenários B2 (medio-baixo) e A2 (medio Alto). Cada circulo representa diferentes modelos. “Erro bar” representa variabilidade climatica natural (Carter and Hulme 2000)**

Figura 14. Mudanças na temperatura do ar e precipitação na Amazônia e Nordeste (Carter e Hulme 2000).

Se considerarmos os cenários climáticos discutidos nas Figuras 6-14 como possíveis, as elevadas taxas de aquecimento e a diminuição da precipitação em vastas áreas da Amazônia implicam em aumento da respiração das plantas e o fechamento dos estômatos, conduzindo por fim ao declínio da floresta. Os cenários climáticos propostos pelos modelos sugerem igualmente um aumento da suscetibilidade aos fogos florestais em largas áreas da Amazônia. Estiagens mais frequentes em especial durante o auge do período chuvoso, entre Março e Maio reduzirão a confiabilidade do alagamento sazonal da floresta como a região de floresta inundada (igapó) de Mamirauá. Isto seria uma condição característica típica de um El Niño intenso, assim como aquele de 1997-98, porém não se tem certeza de que o clima na Amazônia, devido ao aquecimento global, seria como o verão do El Niño de 1997-98.

As diferenças entre sinais de mudanças de temperatura e chuva na Amazônia, e em qualquer outra região do planeta sugerem de que ainda temos um grau de incerteza nos cenários de previsão de clima, que precisam ser melhorados sejam pela melhor representação dos processos naturais como nuvens e interação vegetação clima. É certo que muitos dos cenários climáticos são produzidos pelos modelos, os quais ainda podem ter problemas em representar realmente os processos físicos que acontece na natureza.

Precisa-se de um processo de “downscaling” para checar as previsões de modelos de baixa resolução em nível mais refinado de detalhe para vales, bacias ou municípios. Além disso, algumas regiões como o Nordeste, Norte da Amazônia ou Sul do Brasil tem previsibilidade melhor que regiões como Sudeste do Brasil, onde se concentram as maiores cidades e indústrias do País. O comportamento do El Niño e as possíveis conseqüências do desmatamento da Amazônia e da Mata Atlântica ainda não são modelados realisticamente. Porém é importante mencionar que os cenários discutidos aqui se baseiam em modelos de clima de alta qualidade, e os processos atmosféricos, oceânicos, e terrestres são representados na melhor forma possível, dado o conhecimento científico atual e os meios computacionais existentes.

## **7. Discussões e conclusões**

O IPCC (2001 a-c) estima que, próximo ao ano de 2100, a temperatura média global aumentara entre 1,3°C e 4,6°C, representando taxas de aquecimento de 0,1°C a 0,4°C por década. Estes valores são comparáveis à taxa de 0,15°C por década observada desde os anos 1970. É provável que a futura taxa de aquecimento do Brasil seja mais lenta do que a média global. O aquecimento varia entre estações do ano, com valores entre 0,1°C e 0,4°C por década para os meses de Dezembro até Fevereiro, e 0,2°C a 0,6°C por década para a estação entre Junho e Agosto. Os valores mais elevados da taxa de aquecimento serão observados na floresta Amazônica e os menores nos estados do Sudeste, junto a costa da Mata Atlântica.

As discussões baseadas nas análises das observações climáticas, hidrológicas e oceânicas, além dos indicadores de clima (corais, mostra de gelo e árvores, crônicas históricas, etc.), e das saídas de modelos ainda não distinguem ou separam os efeitos da variabilidade natural de clima e da induzida pelo Homem. Efeitos como as explosões dos vulcões podem produzir um esfriamento da atmosfera que pode durar até 2 anos, mas o aquecimento continua depois. Níveis de confiança das previsões podem ser maiores se considerar o impacto de incremento nas concentrações dos gases de efeito estufa nas mudanças dos componentes dos balanços de energia e hidrológicos globais, enquanto que pouca confiança poderia se ter em previsões de mudanças na frequência e intensidade de eventos extremos de tempo e clima (El Niño, períodos secos, chuvas intensas, frequência e intensidade de ciclones tropicais e furações, tornados, etc).

As incertezas sobre os cenários de mudanças climáticas para os próximos 100 anos têm duas origens principais e bem distintas. Em primeiro lugar, há incerteza sobre os cenários futuros de emissões dos gases de efeito estufa para este século. Dependendo do cenário de emissões de gases de efeito estufa até 2100, a temperatura global média à superfície pode subir de 1,5 C até 5,5 °C, onde subjetivamente estima-se que o aumento da temperatura global média acima de 3 °C já seria suficiente para causar impactos adversos em inúmeros setores econômicos. A outra fonte de incerteza diz respeito à efetividade de se usar modelos climáticos globais como a melhor ferramenta para estimar alterações climáticas resultantes do aquecimento global (Nobre 2001). Uma medida desta incerteza pode ser obtida ao calcular o aumento da temperatura média global simulada por diversos modelos climáticos globais para um mesmo cenário de emissões.

Uma fonte relacionada de incerteza é a dificuldade que estes modelos têm para representar adequadamente características do clima regional, que é onde há interesse de

se avaliar impactos em setores econômicos, na sociedade e no meio ambiente. Por exemplo, como foi discutido na Seção 6, para um mesmo cenário de emissões SRES, diferentes modelos indicam alterações até mesmo contraditórias com relação às chuvas em grande parte do Brasil. Há modelos indicando cenários de aumento das chuvas na Amazônia, enquanto outros simulam substanciais reduções das chuvas e drásticos efeitos sobre a floresta tropical. Diferenças desta magnitude também aparecem em outras partes do País, tornando difícil à plena utilização destes cenários em estudos de impactos para os quais a chuva é um parâmetro determinante, como, por exemplo, na agricultura e na hidroeletricidade.

No momento, estudos de impactos devem concentrar-se nas atividades mais sensíveis aos aumentos da temperatura e do nível do mar, pois há menor incerteza com relação a estes. Nestes estudos, também deverão ser abordadas as possíveis mudanças na frequência de ocorrência de extremos climáticos, como secas, tempestades severas, inundações, etc.

O estudo das mudanças climáticas globais deve ser pela própria natureza dos sistemas analisados interdisciplinar. A integração destes estudos se faz necessária a fim de que se possa desenhar estratégias, tanto de mitigação quanto de adaptação, eficazes para enfrentar mudanças adversas do clima.

## **8. O Programa Nacional de Mudanças Climáticas no MCT**

A Coordenação Geral de Mudanças Globais do Ministério da Ciência e Tecnologia foi criada para coordenar a implementação dos compromissos do Brasil na Convenção Quadro da Mudança do Clima (CQMC). O Brasil assumiu compromissos conforme o Artigo 4.1 desta Convenção, que são compromissos gerais para todos os países. Estes compromissos vão desde elaboração de um relatório sobre o inventário das emissões de gases de efeitos estufa no país, até a descrição das providências tomadas pelo Brasil para implementar a convenção no país. Neste sentido, o MCT acompanha as negociações na Convenção do ponto de vista técnico, em especial nos aspectos relativos a discussão de regulamentação. Ao Itamarati cabe a condução da negociação política. A partir da primeira Conferência das Partes da Convenção (reunião dos países que ratificaram a Convenção) em 1995, foi considerado que os compromissos dos países desenvolvidos eram inadequados e foi estabelecido um processo de negociação que levou a elaboração de um Protocolo à Convenção em 1997 e o MCT participou também ativamente da negociação do Protocolo. Paralelamente a isso, acompanhamos o trabalho científico do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas). Na convenção, o Brasil participa ainda do grupo de especialistas dos Países não Anexo-I (países em desenvolvimento), que discute as diretrizes das comunicações nacionais destes países, documentos nos quais os países relatam a implementação da Convenção em seus territórios.

O Governo Federal também criou a Comissão Interministerial para Mudança Global do Clima. A criação da Comissão Interministerial visa aumentar a articulação dos diferentes órgãos do governo com um papel mais direto em relação ao tema, ter um caminho ágil para a tomada de decisões de governo para a negociação e, ainda, facilitar a implementação da Convenção e do Protocolo. Com a celebração do Protocolo de Kyoto,

é criado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que é um dos artigos do Protocolo (artigo 12). Com isso, há um maior envolvimento setorial e empresarial. Com a futura entrada em vigor do Protocolo, novas atividades relacionadas com a redução de emissões de gases de efeito estufa e absorções de gás carbônico serão implementadas, com visão mais empresarial e com foco nos resultados. Todos projetos de redução de emissão que venham a ser submetido à Convenção precisam de uma aprovação formal do governo, pois estes projetos devem contribuir ao desenvolvimento sustentável do país e não apenas reduzir emissões na ótica o efeito estufa. Há que se considerar outros aspectos de legislação setorial e em especial, os aspectos energéticos, de comércio exterior e meio ambiente.

Erroneamente, os gases de efeito estufa são chamados de gases poluentes ou tóxicos. Quando aumenta a concentração dos gases de efeitos estufa na atmosfera terrestre, o que acontece é uma maior absorção de radiação no infravermelho por esses gases e o aprisionamento dessa radiação na superfície da terra e aumentando a temperatura média terrestre. Se olharmos no dicionário, a poluição provoca efeitos prejudiciais à saúde, ao passo que o aquecimento global é um problema físico, de acumulação de radiação ao longo do tempo. O efeito estufa natural, ocasionado principalmente pelo vapor de água e pelo gás ozônio presente na atmosfera é que permite que a temperatura da terra seja de cerca de 15°C. O que acontece atualmente é que a atividade humana, em especial a queima de combustíveis fósseis, está aumentando a concentração desses gases de efeito estufa na atmosfera, como o CO<sub>2</sub> e o metano, em taxas sem precedente na história. Então o que está acontecendo é um aumento muito rápido da temperatura média da Terra.

A proposta brasileira para o Protocolo de Kyoto, apresentada em maio de 1997, foi importante porque estabeleceu uma mudança de paradigma. A Convenção baseia toda ação nas informações das emissões de gases de efeito estufa reportadas no inventário de cada país, onde a ação do governo é possível no controle das emissões. Só que o efeito de aquecimento global não é proporcional às emissões de um ano. O aquecimento global é resultado da acumulação desses gases na atmosfera, durante o tempo de vida útil de cada gás na atmosfera, aumentando a concentração desses gases na atmosfera e para cada nível de concentração crescente mais radiação no infravermelho é aprisionada na superfície terrestre. Por exemplo, o CF<sub>4</sub>, que é um gás estufa gerado na indústria, tem um tempo de permanência na atmosfera de 50 mil anos. Então estamos falando em uma escala de tempo de séculos, logo não podemos medir o aquecimento pela emissão atual dos países somente, pois há que se considerar a história das emissões de cada país ao longo dos anos, que origina o aumento da concentração dos gases de efeito estufa. Temos que lembrar que Estados Unidos, Reino Unido e alguns outros países desenvolvidos vêm emitindo gases de efeito estufa desde a revolução industrial. O que a posição brasileira propõe é uma métrica que mude este modelo baseado nas emissões atuais e avalie a responsabilidade dos países pelo seu comportamento histórico também, e não somente o presente. O resultado desse exercício mostra que não se pode olhar somente as emissões anuais, o efeito estufa é decorrente de todo o passado, olhando o histórico de cada país desde a era industrial. Neste ponto os Estados Unidos argumentam que eles não podem ser responsabilizados por essas emissões históricas, porque não sabiam quais eram seus

efeitos. Na verdade esta é uma discussão jurídica, por isso a proposta brasileira aborda todos esses diferentes aspectos.

A pesquisa científica é muito importante porque serve de balizamento para a atuação dos países, mas deve-se ter em mente que as negociações são políticas. Em Kyoto (cidade sede da reunião em 1997), durante a terceira Conferência das Partes, ocorreu um leilão de metas de redução de emissão pelos países desenvolvidos. Cada país propôs reduzir um percentual (variando de reduções de 8% a aumentos de 10%) em relação à emissão dos gases de efeito estufa do ano base (em geral, 1990). Não houve critério científico e não foi estabelecida uma relação com o aumento de temperatura esperado para o período de compromisso (2008-2012). Porque se controla a causa, que são as emissões, a ênfase é a redução das emissões anuais de gases de efeito estufa e não há proporcionalidade entre as emissões anuais e a responsabilidade em causar o aquecimento global e, portanto o esforço de cada país, no Protocolo. As pessoas tendem a confundir isso, tendem a achar que a emissão é uma medida da responsabilidade do país em causar o efeito estufa, quando na verdade o que estamos sentindo hoje de mudança do clima é o resultado de emissões desde a revolução industrial, em sua maior parte de responsabilidade dos países desenvolvidos.

O Brasil tem tido um papel protagônico nestas discussões com uma participação ativa da delegação brasileira em todas as reuniões, muitas vezes chefiando grupos de trabalho no âmbito dos países em desenvolvimento (Grupo dos 77 e China) e mesmo na Convenção. No plano interno quando se fala de população, o que normalmente percebemos é manifestação de diversos grupos de interesses. No Protocolo de Kyoto, por exemplo, nós fomos criticados diversas vezes em relação às discussões sobre conservação de florestas, em especial da floresta amazônica, no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, em parte pelo desconhecimento científico e em parte pela posição que refletia claro interesse setorial. As decisões na Convenção são políticas e refletem a posição da maioria de países em cada assunto. Quando se toma uma decisão política, um grupo de interesses é beneficiado em detrimento de outro. Por outro lado, pela participação ativa da delegação brasileira, existe uma falsa percepção que o Brasil pode influenciar as decisões tomadas na Convenção. O Brasil é apenas uma das Partes, um dos países participantes, que no caso da mudança do clima é composta por 185 países de todo o mundo, mais a União Europeia como organização regional. As decisões políticas são baseadas nos interesses, não apenas do país, mas também do grupo em que o país está inserido, que é, no nosso caso, o grupo dos países em desenvolvimento. As decisões são tomadas por consenso e a construção do consenso implica levar em conta os interesses dos outros países que compõem o grupo, o que às vezes abrange interesses de um grupo numeroso de países.

O programa Mudanças Climáticas busca levantar dados brasileiros, propondo procedimentos adequados, e participando das decisões mundiais sobre o tema.

Principais ações

- Desenvolvimento de estudos sobre a vulnerabilidade e adaptação aos impactos das mudanças climáticas
- Fomento a tecnologias, práticas e processos para reduzir as emissões de gases de efeito-estufa no Brasil.
- Desenvolvimento de modelo de prospecção para acompanhamento das mudanças climáticas
- Implantação de sistema de monitoração de emissões de gases de efeito estufa.

#### Principais resultados

- Conclusão da elaboração do Inventário Brasileiro das Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal.
- Implantação da metodologia do IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima para emissões de gases de efeito estufa em diversas instituições.

A Coordenação Geral de Mudanças Globais tem as atribuições:

- Assessorar o Ministro da Ciência e Tecnologia nas questões relativas às mudanças globais, em especial, à mudança do clima;
- Acompanhar as negociações da Convenção sobre Mudança do Clima;
- Acompanhar os trabalhos científicos do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC, e gerenciar a divulgação dos relatórios e documentos do IPCC para especialistas brasileiros;
- Coordenar os trabalhos para implementação da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima no Brasil.

Para saber mais:

Coordenação geral de Mudança do Clima do MCT: <http://www.mct.gov.br/clima/>

## Referências

- Carter, T., Hulme, M. (2000) Interim characterizations of Regional Climate Related Changes up to 2100 Associated with the Provisional SRES Marker Emissions Scenarios. IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.
- Hulme, M., Shearm N., (1999) Cenários e alterações climáticas para o Brasil. Climate Research Unit, Norwich, UK. 6 pp
- Gash, J. H; Nobre C. A.; Roberts J.; Victoria, R. L. (1996) An overview of ABRACOS. In *Amazon deforestation and climate*. J. Gash, C. Nobre, J. Roberts and R. L. Eds. John Wiley and Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto and Singapore, 1-14 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (1990) Climate Change: The IPCC Scientific Assessment-Report of IPCC Working Group. Cambridge Univ. Press. 1990.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (1996a) Climate Change 1995: The Science of Climate Change-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Second Assessment Report. J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattemberg and K. Maskell (Eds.) Cambridge Univ. Press. 1996.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (1996b) Climate Change 1995: The Science of Climate Change-Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report. Cambridge Univ. Press. 1996. 56 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2001a) Climate Change 2001: The Scientific Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Third Assessment Report. Cambridge Univ. Press. 2001.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2001b) Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability- Contribution of Working Group 2 to the IPCC Third Assessment Report. Cambridge Univ. Press. 2001.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2001c) Climate Change 2001: The Scientific Basis-Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report.. Cambridge Univ. Press. 2001. 98 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2001d) Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability.-Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group II Report.. Cambridge Univ. Press. 2001. 86 pp.
- Marengo, J.; Nobre, C.A. (2001) The Hydroclimatological framework in Amazonia. In *Biogeochemistry of Amazonia*, Richey, J., McClaine, M., Victoria, R., Eds., pp. 17-42.
- Nobre, C. A. (2001) Mudanças climáticas globais: Possíveis impactos nos ecossistemas do país. *Parcerias estratégicas*, 12, 239-258.