

## MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E REGIONAIS: AVALIAÇÃO DO CLIMA ATUAL DO BRASIL E PROJEÇÕES DE CENÁRIOS CLIMÁTICOS DO FUTURO

JOSÉ ANTONIO MARENGO  
CPTEC-INPE

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

### RESUMO

Este estudo tem como objetivos fazer uma revisão do estado atual das pesquisas em mudanças climáticas no Brasil, discutindo as possíveis conseqüências das mudanças de clima devidas a efeitos antrópicos e da variabilidade natural de clima, e avaliações dos cenários climáticos futuros associados ao incremento de gases de efeito estufa com ênfase em temperatura e precipitação. Muitas das discussões são baseadas em trabalhos sobre variabilidade e mudanças climáticas realizados por diversos grupos de pesquisa do País, assim como nas avaliações de observações e modelos climáticos dos grupos de trabalho do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC).

**Palavras-chave:** modelagem, mudanças climáticas, variabilidade climática

### ABSTRACT: GLOBAL AND REGIONAL CLIMATIC CHANGE: ASSESSMENT OF THE ACTUAL CLIMATE OF BRAZIL AND FUTURE SCENARIOS

The main objective of this study is to review the current status on research in climate change in Brazil, as well as to discuss the possible consequences of climate change due to natural or anthropogenic causes, and to analyze the possible climatic scenarios associated with increased concentration of greenhouse gases, with emphasis on air temperature and precipitation. Most of these discussions are based on ongoing work by different research groups in Brazil, as well as on the assessments from observational and modeling evidence from the working groups of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

**Key-words:** modelling, climate change, climate variability

## 1. INTRODUÇÃO

Embora o clima tenha sempre variado de modo natural, resultados de pesquisa e simulações sofisticadas vêm evidenciando que as emissões excessivas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ) podem provocar mudança permanente e irreversível no clima, imprimindo novos padrões no regime de vento, temperatura, pluviosidade e circulação dos oceanos. Já existem indícios de ocorrência de temperaturas médias mais elevadas, assim como o aumento na sua oscilação (IPCC 2001). Os níveis de  $\text{CO}_2$  aumentaram em volume de 280 partes por milhão (ppm) no período que antecede a Revolução Industrial (1860) para quase 360 ppm nos dias de hoje. Por outro lado, a velocidade e a intensidade observadas no aumento da temperatura nesse período são incompatíveis com os tempos necessários à adaptação natural dos ecossistemas. Informação da ONG World

Resources Institute mostra as emissões anuais de  $\text{CO}_2$  (em Toneladas per capita): no Brasil, Índia, Indonésia, América Central e Caribe, as emissões variam entre 0,8-2,5 TM, enquanto nos Estados Unidos e Austrália, as emissões variam entre 16-36 TM. O Japão e Rússia produzem entre 7 a 16 TM, enquanto os países da União Européia, China, México, Chile, Argentina e Venezuela produzem entre 2,7 a 7 TM  $\text{CO}_2$  per capita.

Desde a década de 1980, evidências científicas sobre a possibilidade de mudança do clima mundial vêm despertando um interesse crescente no público e na comunidade científica em geral. Em 1988, duas agências das Nações Unidas [o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM)] estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, na sigla em inglês).

O IPCC é uma vasta rede de cientistas dedicados à avaliação do conhecimento científico sobre mudança

climática e suas ligações com a sociedade humana. Centenas de cientistas participam, e todos os esforços são feitos para garantir objetividade, imparcialidade e excelência científica ao julgar as evidências. A cada cinco anos, o IPCC prepara um relatório para a liderança política global. O Terceiro Relatório de Avaliação já foi finalizado. Partes dele têm sido divulgadas e amplamente discutidas, confirmando a evidência de grandes efeitos de ações humanas no clima. Segundo o IPCC, o aumento nas concentrações de gases de efeito estufa (dióxido de carbono, vapor d'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.

O aquecimento total depende da relação entre a magnitude do aumento da concentração de cada gás associado ao efeito estufa, de suas propriedades radiativas e de suas concentrações já presentes na atmosfera. Alguns dos principais efeitos adversos sinalizados e já percebidos nos dias atuais são: (a) aumento no nível do mar; (b) alteração no suprimento de água doce; (c) tempestades de chuva e neve fortes e mais frequentes; e (e) forte e rápido ressecamento do solo devido a períodos secos mais intensos. Dados obtidos em amostras de árvores, corais, geleiras e outros métodos indiretos sugerem que as atuais temperaturas da superfície da Terra estão mais altas do que em qualquer época dos últimos 600 anos. A partir de dados disponíveis até 1990 e da tendência de emissões nos níveis atuais, sem a implementação de políticas específicas para a redução de emissões, a projeção do IPCC é que o aumento da temperatura média na superfície terrestre seja entre 1 e 3,5°C no decorrer dos próximos 100 anos, enquanto o aumento observado no século XIX foi entre 0,3 e 0,6 °C (Jones *et al.*, 1999).

A seguir, é feita uma avaliação do estado atual de conhecimento das mudanças climáticas no Brasil, dos estudos científicos sobre as variações de clima e hidrologia nas diversas regiões do País. Também consideram-se as avaliações de projeções de futuros cenários climáticos no País, com ênfase em variações de temperatura e precipitação, fornecidos pelo IPCC e produtos de estudos dos diversos centros de pesquisa do Brasil e do mundo.

## **2. ESTADO ATUAL DO CLIMA E ESTUDOS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL**

Serra (1987) publicou uma revisão sobre

mudanças climáticas, analisando os estudos disponíveis na época, analisando as variações climáticas passadas, a evolução natural no futuro e as possíveis alterações provocadas pela ação antrópica. Atualmente, as mudanças observadas no clima, suas causas e as consequências potenciais dessas futuras mudanças são avaliadas pelo Grupo de Trabalho I (GT I) do IPCC no Terceiro Relatório (TAR) *Climate Change, The Scientific Basis* (IPCC, 2001). O GT I conclui que as atividades humanas, sem considerar as iniciativas da Convenção sobre Mudanças Climáticas, causariam um incremento na temperatura do ar entre 1,5 e 6,0°C para 2100 em relação a 1990. O aquecimento pode variar por região, sendo acompanhado por mudanças na precipitação que podem incluir incrementos ou reduções em diferentes regiões, e também mudanças na variabilidade do clima e na frequência e intensidade de eventos extremos de clima. Exemplos dos impactos dessas mudanças climáticas são: aumento na frequência de ondas de calor e diminuição da frequência de ondas de frio; incremento na frequência de eventos de chuva intensa que podem favorecer enchentes; secas de verão mais intensas; incremento de ciclones tropicais; e variações na frequência e intensidade de eventos tipo El Niño.

Uma das melhores estimativas de mudanças aponta para um incremento de 0,6°C desde o final do século XIX com uma significância estatística de 95% e um intervalo de confiança entre 0,4 e 0,8°C. Dados adicionais dos últimos 5 anos [considerados para o Terceiro relatório do IPCC (2001)] são grandemente responsáveis por esse incremento de 0,15°C comparado em relação às avaliações de IPCC em 1996. Evidências de informações paleoclimáticas dos últimos 1000 anos, no Hemisfério Norte, indicam que o aquecimento no século XX foi maior que em qualquer século nesse período. Além disso, a década de 1990 foi, sem dúvida, a mais quente do milênio. O aquecimento desde 1976 (0,19°C/década) é maior que a taxa de aquecimento durante o período 1910-45 (0,14°C/década). As altas temperaturas associadas ao El Niño, em 1997-98, são as mais intensas de todo o século. A frequência e intensidade de eventos El Niño são maiores desde meados dos anos 70 no contexto do período instrumental desde o século XIX (Figura 1). Eventos quentes associados ao El Niño foram mais frequentes, persistentes e intensos que os eventos frios de La Niña.

Segundo as pesquisas de climatologistas do Climate Research Unit (Jones *et al.*, 1999), os anos da década de 1990 foram os mais quentes do período de registro desde 1860. Os anos mais quentes do período

foram 1997 e 1998 (Figura 1), com um aquecimento de  $0,57^{\circ}\text{C}$ , maior que a média de 1961-90. Os 7 anos mais quentes da Terra ocorreram na década de 1990, e são (em ordem decrescente): 1998, 1997, 1995, 1990, 1999, 1991 e 1994. Análises de indicadores climáticos dos últimos 400 anos (anéis de árvores, mostras de gelo de geleiras, crônicas históricas) mostram que os anos da

década de 1990 foram os mais quentes do milênio e que o século XX foi o mais quente. O ano mais quente do milênio foi 1998 e o mais frio, provavelmente, foi 1601. O TAR do IPCC (2001) sugere que a influência humana no clima é mais importante do que foi considerado anteriormente no primeiro (FAR) e no segundo (SAR)

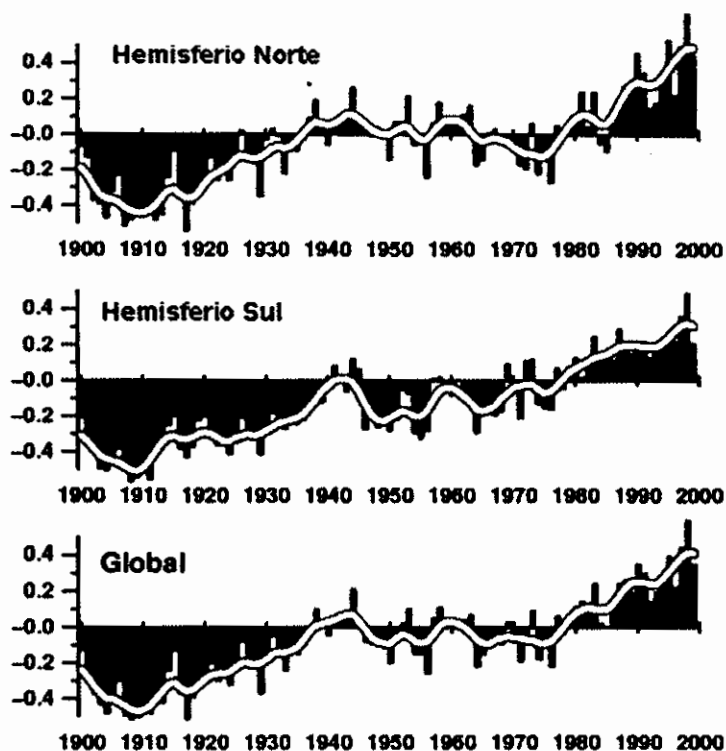


Figura 1. Padrões globais e hemisférios de anomalias de temperatura do ar desde 1900. Anomalias são em referência ao período 1961-90 (Fonte: Climate Research Unit-University of East Anglia, UK)

relatório do IPCC.

Um recente relatório da Coordenação de Pesquisa em Mudanças Globais do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT, 1999) indica que, a partir de dados disponíveis até 1990, e da tendência de emissões nos níveis atuais, sem a implementação de políticas específicas para redução de emissões, a projeção do IPCC é que o aumento da temperatura média na superfície terrestre seja entre  $1$  e  $3,5^{\circ}\text{C}$  no decorrer dos próximos 100 anos, enquanto o aumento observado no século XIX foi entre  $0,3$  e  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Em alguns casos, os impactos poderão ser potencialmente irreversíveis. Os países insulares e cidades situadas em zonas costeiras são as mais vulneráveis no médio e longo prazos. Outras consequências significativas podem ocorrer em muitos sistemas ecológicos e na socioeconomia, afetando o

fornecimento de alimentos e os recursos hídricos, bem como a saúde humana. Então, pode afirmar-se que o clima da Terra não pode ser explicado sem levarmos em conta o peso da ação humana. Porém, isso está longe de ser um consenso entre a comunidade científica, pois também é possível que o aquecimento global seja um fenômeno natural, sobre o qual a humanidade não tem controle.

## 2.1 Estudos de variabilidade e mudança climática na região

Na maioria da América Latina, não há estudos detalhados regionais que apontem conclusivamente para mudanças ou tendências de clima médio e de extremos, conclusivos, indicadores de mudanças do clima e que

identifiquem aquecimento regional. Porém, algumas mudanças regionais na circulação da atmosfera são detectadas. Tendências observadas na precipitação variam, dependendo do período de registro. Na América Latina, as geleiras dos Andes sofreram uma redução de quase 20% desde 1968, o que pode estar afetando as vazões de alguns rios Andinos (Morales Arnao, 1999).

Na Amazônia, observam-se algumas mudanças sistemáticas de chuva e dos componentes do balanço hidrológico desde 1975-76, mas isto pode associar-se a mudanças decenais com períodos de 20-30 anos de clima, mais que a uma tendência sistemática unidirecional de queda ou aumento de longo prazo (Dias de Paiva e Clarke, 1995, Marengo *et al.*, 2001, Costa e Foley, 1999, Curtis e Hastenrath, 1999). Nesta região, as observações da precipitação pluvial estão mais sujeitas a esses erros que outras localidades, dadas suas condições peculiares. Molion e Dallarosa (1993), por exemplo, mostraram que, dentro dos grandes rios (ilhas) e em suas margens, os totais pluviométricos são menores que a 25-30 km dos mesmos, voltando a decrescer para distâncias maiores. Como, por questões de acesso, os pluviômetros estão colocados próximos às margens dos grandes rios, concluíram que os totais pluviométricos na Amazônia podem estar sendo subestimados em até 30%, em média, e que a causa seria a circulação da brisa fluvial. Isto é verdade, mas se a estação não mudou de lugar, não

haveria como explicar uma tendência de queda ou de aumento (Fisch, comunicação pessoal).

No Nordeste, Wagner (1996) e Hastenrath e Greischar (1993) observaram ligeiros incrementos sistemáticos de chuva desde 1950. O Rio La Plata-Paraná apresentou uma tendência de queda desde 1901 a 1970, e um aumento sistemático nas vazões desde os inícios dos anos 70 até o presente (Barros *et al.*, 1999). No Brasil, os estudos de Sansigolo *et al.* (1992) e Victoria *et al.* (1998) e Marengo e Rogers (2001) detectaram aumentos sistemáticos de temperatura do ar em diversas regiões do Brasil. Este aquecimento foi associado aos efeitos da urbanização, mas também a causas naturais, como o aquecimento sistemático das águas superficiais do Oceano Atlântico Sul desde 1950 (Venegas *et al.*, 1997). O aquecimento na região Amazônica alcançou  $+0,63\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ anos}$ . Algo importante a considerar e de variações importantes na temperatura do ar, que poderiam estar associadas à mudança climática, também podem depender da origem e qualidade da informação, assim como o período de tempo analisado, e os efeitos locais de urbanização que podem aumentar o aquecimento, mas não como consequência direta do aquecimento global, como aconteceria com cidades de grande porte como São Paulo, Salvador ou Rio de Janeiro (Figura 2). Em casos como esses, é possível que o efeito urbano tenha contribuído significativamente para a mudança da

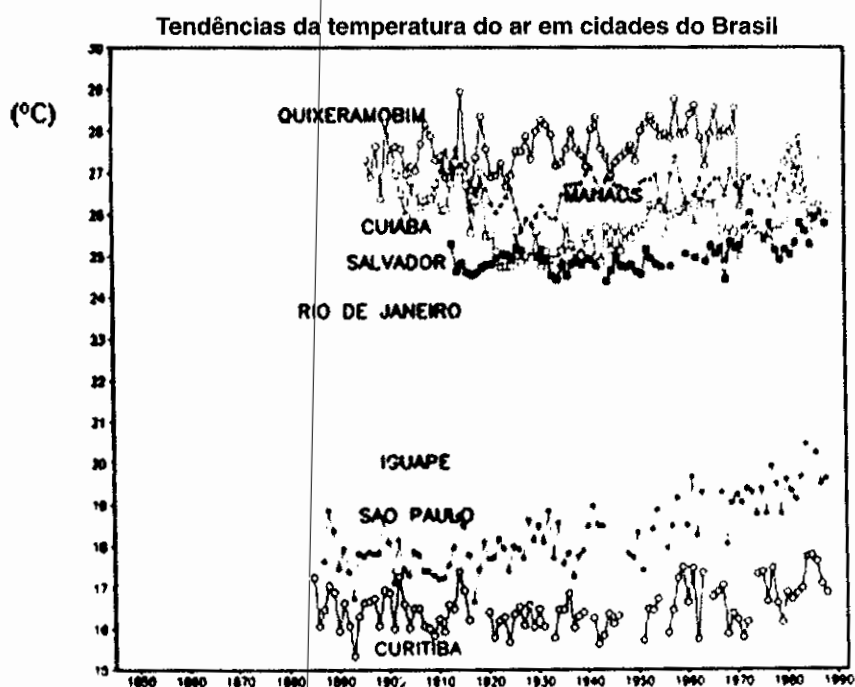


Figura 2. Tendências da temperatura média anual do ar em algumas cidades do Brasil.

temperatura do ar.

Segundo Hulme e Sheard (1999), durante os últimos cem anos, a temperatura média anual do Brasil subiu aproximadamente 0,5°C (Figura 3). Os três anos mais quentes: 1995, 1997 e 1998, ocorreram todos na década de 90, a mais quente deste século. Este aquecimento ocorreu em todas as estações do ano, sendo mais pronunciado no período de junho a agosto. Apesar

do rápido desmatamento observado atualmente no Brasil, em particular no extremo Sul da floresta Amazônica, ainda são poucas as evidências que apontem para uma diminuição generalizada da precipitação. Na verdade, os registros de precipitação existentes desde o início do século indicam um aumento da precipitação anual em cerca de 4%, ao longo do século XX. Grande parte deste crescimento tem ocorrido nos períodos chuvosos dos

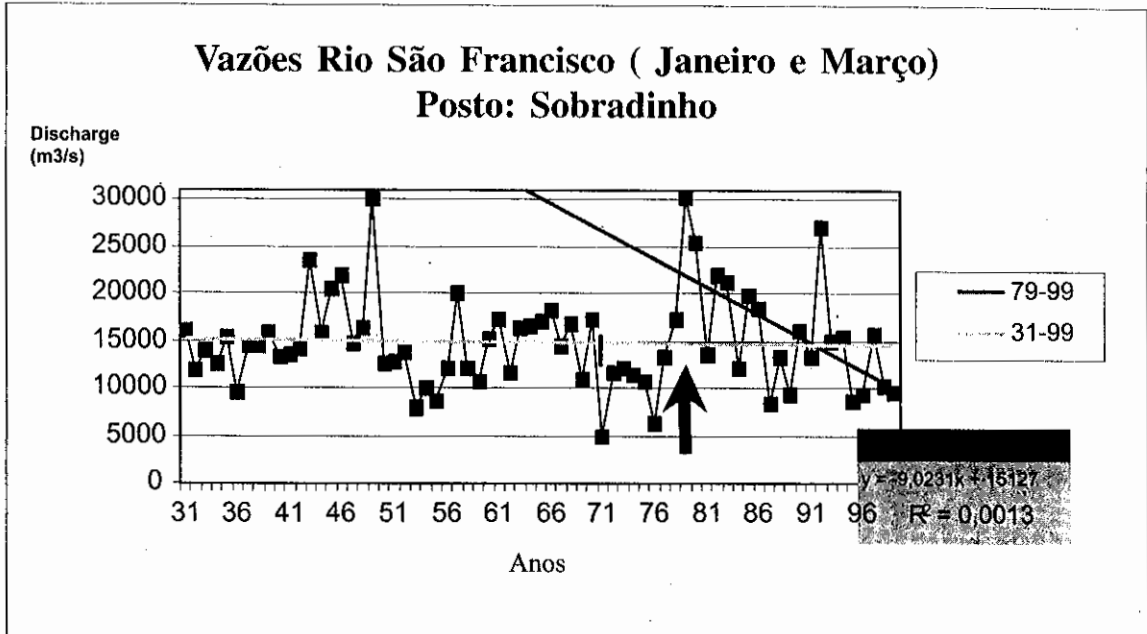


Figura 3: Vazões do Rio São Francisco ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) nos 3 meses de maior fluxo (JFM). Linhas indicam tendências no período 1931-1999 (verde) e 1979-1999 (vermelho). (Fonte: Sampaio 2001)

meses entre março e maio.

Junto com a variabilidade climática associada ao oceano Atlântico tropical, o fenômeno do El Niño/Oscilação Sul (ENOS) é talvez o mais importante aspecto da variabilidade do clima que pode afetar regiões como a Amazônia, o Nordeste e a região Sul do País. Os impactos do El Niño são mais sentidos no Norte da Amazônia e só durante eventos muito intensos, como foram 1925-26, 1982-83 e o mais recente em 1997-98. Secas e incêndios foram relatados em 1925-26 (Meggers, 1994), causando queimadas na floresta e a morte de muitos dos coletores de borracha. Em 1997-98, os trabalhos de Nepstad *et al.* (1999) documentaram os focos de incêndio na floresta Amazônica devidos à grande seca associada ao El Niño. Porém, outros eventos de El Niño como em 1972-73 até foram mais úmidos que o normal. As vazões dos rios da Amazônia apresentam variabilidade mais do tipo multidecenal, com períodos mais ou menos úmidos alternando-se a cada 20-30 anos, o

que está de acordo com uma variabilidade similar de chuvas na área e sem tendência sistemática de aumento ou diminuição desde 1920 até o presente (Marengo 2001).

## 2.2 Desmatamento na Amazônia

Ainda que as experiências com modelos climáticos de desmatamento da Amazônia apontem para condições mais quentes e de seca no futuro, os estudos observacionais para os últimos 60 anos não apontam para mudanças radicais de condições mais secas na região. As taxas atuais de desmatamento na região parecem ainda não ter produzido efeitos irreversíveis no clima. Uma revisão detalhada de estudos de variabilidade climática de longo prazo para o País pode ser encontrada em estudos de Fisch *et al.* (1998), Silva Dias e Marengo (1999), Marengo *et al.* (1998).

Alguns resultados recentes de simulações climáticas de modelos do Hadley Centre da Grã-Bretanha,

do Laboratório de Meteorologia Dinâmica da França, do NASA/GSFC dos EUA, e do CPTEC no Brasil (Nobre e Gash, 1997) 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 a 20%, caso toda a floresta Amazônica fosse substituída por pastagens. Eles verificaram que o resultado de uma simulação na qual apenas parte da Amazônia fosse 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 a Amazônia nas simulações de desmatamento são tão amplas quanto as 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 do aquecimento global.

### 2.3 - Chuvas e secas no Nordeste brasileiro

O Nordeste brasileiro, diferentemente da Amazônia, é uma região onde predomina o clima semi-árido, caracterizado por uma grande variabilidade anual na precipitação (Kousky, 1980). Historicamente, esta região sempre foi afetada por grandes secas ou enchentes. Relatos de secas na região podem ser encontrados desde o século XVII, quando os portugueses chegaram à região. Estatisticamente, ocorrem de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos. Kane (1989) indicou que, para o Nordeste, de 29 eventos El Niño durante 137 anos, no período de 1849-1985, somente 12 foram associados com secas na região. No Atlântico Tropical e no Nordeste brasileiro, Wagner (1996) estudou tendências decenais nos mecanismos que controlam o gradiente meridional de temperatura de superfície do mar (TSM) na região, e detectou um aquecimento sistemático do Atlântico Tropical Sul, principalmente observado nos meses de verão (fevereiro-março), enquanto a TSM no Atlântico Norte aumenta no inverno (agosto-setembro) e diminui no verão. Como consequência do incremento do gradiente meridional de TSM no verão, a ZCIT desloca-se mais para o sul e a chuva no norte do Nordeste tende a incrementar no período de estudo de 1951-90.

### 2.4 - El Niño e Variabilidade no Pacífico tropical e extra tropical

Existem registros de ocorrência do El Niño desde a época do descobrimento das Américas. Francisco Pizarro, por volta de 1527, já relatava a ocorrência da inversão das correntes oceânicas e da temperatura da água na costa do Peru. Em 1877, Sir Gilbert Walker tentou associar aquele fenômeno oceânico local com outros parâmetros atmosféricos de escala global. Entretanto, uma explicação mais clara e correta do mecanismo só surgiu em 1969, graças a J. Bjerknes. Hoje, sabe-se que o El Niño caracteriza-se por um aquecimento anormal das águas do Pacífico tropical centro-leste, em meados do ano e que se alastra para leste em direção à costa da América do Sul, atingindo principalmente o Peru, próximo do Natal.

A literatura científica mostra extensos estudos sobre El Niño, mas o que queremos ressaltar aqui é o fato de que desde meados da década de 1970, acontecem fenômenos de El Niño mais intensos, e até mais frequentes, como são os eventos de 1982/83, 1986/87, o evento extenso de 1990/94 e o muito intenso de 1997-98 (Trenberth, 1999). Esta mudança de escalas decadais é explicada por Trenberth (1990) como uma mudança no regime de pressão e temperatura do superfície do mar, que alterou o clima regional desde 1975-76, cujos impactos podem ser observados até nos regimes de chuva na Amazônia (Marengo *et al.*, 2001).

Nos últimos 15 anos, foram apenas três ocasiões em que o El Niño foi sucedido pela La Niña. O episódio intenso do El Niño de 1982/83 foi seguido de um evento fraco de La Niña em 1984/85, e um El Niño menos intenso, ocorrido em 1986/87, foi seguido de uma forte La Niña em 1988/89. O El Niño longo, mas pouco intenso, de 1991/94, foi seguido de um episódio fraco de La Niña em 1995/96. Já recentemente, o El Niño intenso de 1997/98 foi seguido quase imediatamente por La Niña de 1998/99.

A mudança da frequência do El Niño desde meados de 1970 e a ocorrência dos anos mais quentes do século foram devidas ao aquecimento do evento de 1997/98, motivo por que alguns cientistas apontaram o aquecimento global como responsável por essas mudanças (Trenberth, 1999). Porém, trabalhos realizados

por cientistas da Universidade de Washington-Seattle (Mantua *et al.*, 1997) apontam para a variabilidade decenal do clima do Pacífico subtropical (expressa como a Oscilação Decenal do Pacífico ou PDO). Existe alguma relação entre a PDO e El Niño e La Niña?

Parece que o padrão interanual de El Niño e La Niña sobrepõe-se à variabilidade de longa escala associada à PDO. PDO representa um modo de

variabilidade de longo prazo (escala interdecenal) do Oceano Pacífico de latitudes médias. O ciclo é de 20-30 anos. A fase quente da PDO estendeu-se desde 1977 até 1999, com o Oceano Pacífico oeste mais frio e o leste mais quente (maior número de eventos El Niño intensos e menos La Niña nesse período). Atualmente, as evidências (valores do índice de PDO) apontaram para o início de uma fase fria da PDO em 1999-2000.

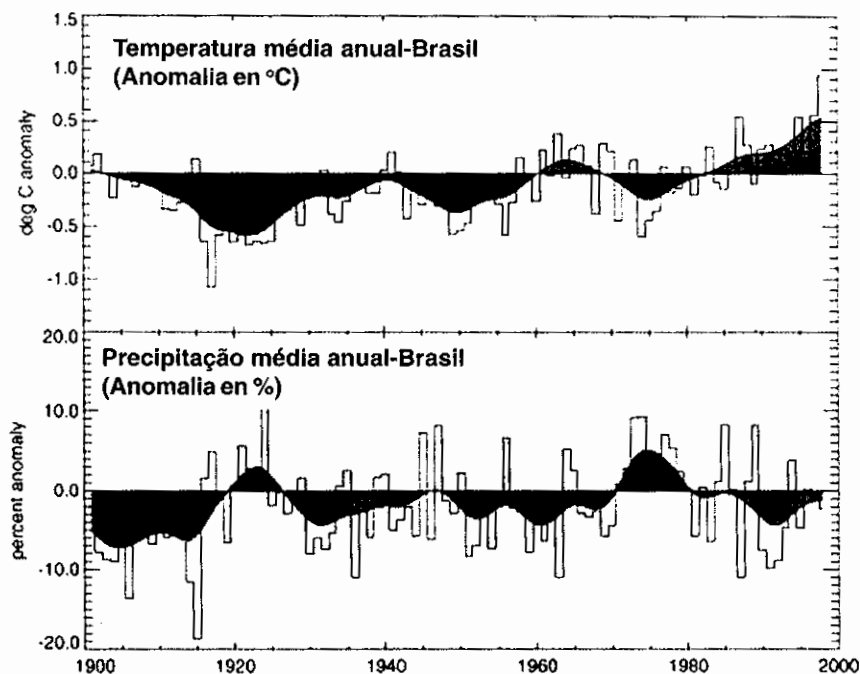


Figura 4. Variação da temperatura média anual 1901-98 (em cima) e da precipitação anual 1901-98 (embaixo) no Brasil. A variação é relativa às médias do período 1961-90, com valores de 25,0 °C e 1780 mm, respectivamente (Hulme e Sheard 1999).

## 2.5 - Atividade vulcânica

Cutrim *et al.* (2000) explicam que a presença de aerossóis vulcânicos provoca reduções expressivas na precipitação regional. Os aerossóis aumentam o albedo planetário e esfriam toda a coluna troposférica, aumentando a pressão atmosférica à superfície e reduzindo a convecção sobre a região. Uma análise rápida de alguns postos pluviométricos na Amazônia mostrou que os totais de 1992, em média, foram menores que os de 1998. O nível do Rio Negro, no porto de Manaus, foi o sétimo mais baixo do século em 1992 (25,42m) enquanto o de 1998 foi considerado normal (27,58m). Por outro lado, o El Niño de 1997/98 foi considerado o mais intenso do século e o de 1992/93 apenas um evento moderado. Neste último, contudo, tinha-se a presença dos aerossóis da erupção do vulcão Monte Pinatubo, ocorrida em junho de 1991, e o aumento

do albedo planetário, que possivelmente causou a redução pluvial severa segundo eles.

Porém, existe uma outra explicação que tem sentido físico, proposta por Molion (1994), envolvendo a variação temporal do albedo planetário. No final do século XIX e início do século XX, a atividade vulcânica era intensa, causando um “forçamento negativo”, ou seja, perda de energia devida ao aumento do albedo planetário. De 1912 a 1955, a atividade vulcânica foi drasticamente reduzida, não tendo sido registrada nenhuma erupção com índice de explosividade vulcânica superior a 4. Isso reduziu a espessura óptica da atmosfera durante esse período, fazendo com que entrasse mais energia solar no sistema atmosfera-oceano-terra, isto é, provocou um “forçamento positivo” por mais de 40 anos. Após 1956, as grandes erupções voltaram a acontecer, o albedo planetário voltou a aumentar e a nova distribuição global de energia solar estabeleceu o posicionamento médio das

configurações de circulação geral observado nos dias de hoje.

O que se pode afirmar atualmente, em relação aos efeitos da atividade vulcânica no clima, é que os aerossóis liberados pelos vulcões produzem uma redução significativa na energia solar que chega até a superfície, pois uma maior parte dela é refletida ao espaço exterior.

A temperatura média global no período 1980-1999 experimentou reduções após a erupção do Monte Pinatubo em 1991 (Figura 5). O mesmo foi observado, segundo a WMO (1999), após as erupções dos vulcões Krakatoa em 1883, Pelée em 1902, Katmai em 1912, Bezymynanny em 1956, Agung em 1963 e El Chichón em 1982.

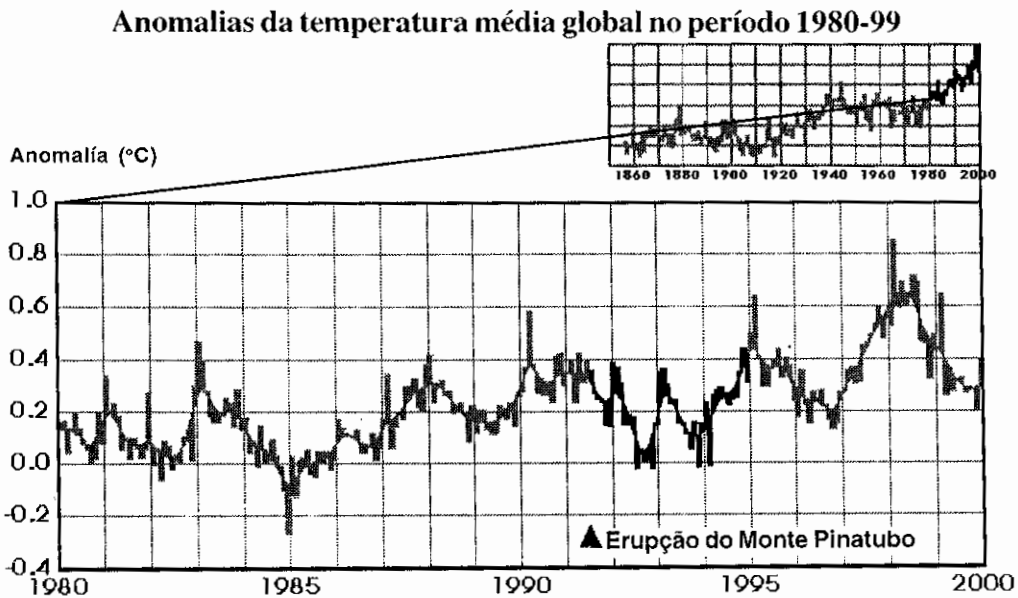


Figura 5. Anomalias da temperatura média global no período 1980-99, mostrando os efeitos da explosão do Monte Pinatubo em 1991. A figura do extremo superior direito mostra a série completa de anomalias de temperatura de 1860-1999 como contexto (Fonte: Climate Research Unit-University of East Anglia, UK).

## 2.6- Eventos extremos de chuva

Uma das conseqüências das mudanças do clima associadas ao aquecimento global seriam mudanças nos eventos extremos de chuva, como a intensidade da chuva e períodos secos mais longos/curtos. O IPCC (2001) documenta mudanças no Hemisfério Norte, onde foram feitos estudos e existe informação de alta resolução em tempo para realizar esse tipo de estudos. Na América do Sul, poucos estudos foram feitos. Entre os poucos trabalhos, a variabilidade da precipitação diária na cidade de São Paulo durante o período 1933-1986 (Xavier *et al.*, 1994) indica que: (a) há fraca tendência a aumento de precipitação mensal nos meses de fevereiro e maio; (b) acumulações superiores a 30 mm/dia aumentaram nos meses de fevereiro e maio; (c) acumulações inferiores a 2 e 5 mm/dia diminuíram de forma significativa em fevereiro, mas ocorreram também em outros meses do ano; e (d) acumulações inferiores a 2 mm/dia diminuíram de forma significativa em todos os

meses do ano. No caso da cidade de São Paulo, é possível que o efeito urbano tenha contribuído significativamente para a mudança na distribuição da intensidade da precipitação (Xavier *et al.*, 1992).

## 2.7 - Vazão dos Rios

É de se esperar que alterações no regime de precipitação tenham implicações nos rios brasileiros. Embora não tenha sido observada nenhuma tendência a nível nacional de aumento/diminuição sistemática de vazões neste século, vários rios da Amazônia seguem uma forte relação com o fenômeno do ENOS - vazões baixas coincidem com eventos quentes do El Niño (Molion e Moraes, 1987; Marengo, 1992; Hulme and Sheard, 1999).

A bacia do Rio Paraná, que drena os estados do Sul e parte do Paraguai, tem apresentado um importante aumento da vazão nas últimas décadas. A região do Pantanal também faz parte desta bacia, de modo que



qualquer alteração na vazão dos rios mencionados tem implicações diretas na capacidade de armazenamento desse enorme reservatório natural. As vazões aumentaram aproximadamente 15% desde a década de 60, um aumento consistente com os crescentes valores da precipitação observados nessa bacia. Isto é consistente com mudanças de chuva e vazões de rios em regiões do Norte da Argentina (Marengo *et al.*, 1998; Garcia e Vargas, 1998; Barros *et al.*, 1999).

Em outros rios do Brasil, a queda sistemática nas vazões dos Rios Paraíba do Sul (Marengo *et al.*, 1998) e Piracicaba (Moraes *et al.*, 1999) em vários pontos de observação aponta para incrementos na área agrícola e no uso da água como causas dessa diminuição, e não a uma queda ou distribuição no regime de chuvas nas bacias dessas áreas. Para o Rio São Francisco, as séries no posto de Sobradinho (Sampaio, 2001) apontam para quedas sistemáticas nas vazões desde 1979, mas, como no caso do Paraíba do Sul e Piracicaba, não estão associadas a reduções da chuva na bacia coletora, e sim ao uso da água na agricultura ou aproveitamento da energia, entre outros. Então, é possível que conseqüências de projetos como o de transposição de águas do Rio São Francisco, planejado para começar em agosto 2001, possam traduzir em quedas ainda maiores nas vazões do rio. Este projeto, que consiste na construção de um conjunto de canais e adutoras para a transferência de 2% do volume médio das águas do Rio São Francisco aos principais vales do interior do Nordeste brasileiro, poderia beneficiar os Estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e parte do Rio Grande do Norte, e “levar benefícios a oito milhões de pessoas” (*Jornal Tribuna da Bahia*, 16-01-2000), e a longo prazo poderia afetar os outros estados que possuem parte das bacias coletoras, como Minas Gerais e Bahia.

Em relação à Hidrovia do Pantanal, informação publicada pela Revista *Veja* de 27 de agosto de 1997 mostra que cientistas e ecologistas dizem que o aprofundamento da calha do Rio Paraguai, nos 600 km da obra que atravessam o Pantanal, poderá secar grandes proporções do ecossistema. Isto pode gerar um

grave impacto hidrológico e ecológico, com possíveis conseqüências regionais no clima e no balanço hidrológico na região.

## 2.8 - Ondas de frio e produção agrícola no Sul-Sudeste do País

No inverno, massas de ar polar atingem as latitudes subtropical e tropical da América do Sul e, em algumas ocasiões, essas ondas de frio foram relacionadas a condições de congelamento nas zonas cafeeicultoras dos estados das regiões Sul e Sudeste do Brasil (Seluchi e Marengo, 2000; Marengo e Rogers, 2001). Como o País é o maior produtor e exportador mundial de café, tais eventos climáticos tiveram no passado, e ainda têm, grande impacto sobre os volumes de produção total das regiões citadas, bem como sobre os preços internacionais do café nas principais bolsas de valores do mundo. Os casos mais bem documentados são as geadas de julho de 1975 e de junho e julho de 1994 que, juntamente com a seca, como a de junho de 1981, reduziram os volumes de produção em mais de 50% e aumentaram o preço internacional do café em mais de 40%.

Impactos desses resfriamentos vêm sendo identificados desde o fim do século XIX, pelas estatísticas de produção de café nas plantações do sul do Brasil. Em estudo da variabilidade climática de longo prazo na região, observou-se que: (a) a quantidade de ondas de frio diminuiu com o tempo, mas isso não garante que a qualquer momento uma onda forte de frio possa afetar a região, independentemente de terem passado poucas frentes frias; e (b) as temperaturas do inverno na região mostram tendência de elevação (Figura 6). Em 106 anos, de 1890 a 1996, foram registrados 18 eventos graves de congelamento que danificaram a produção do café. Destes, 5 foram considerados catastróficos. Das 27 geadas que atingiram as regiões cafeeicultoras nos últimos 100 anos, 7 ocorreram em junho e 12 em julho. Agosto teve 5 geadas no último século, portanto não se pode desprezar o perigo durante esse mês.

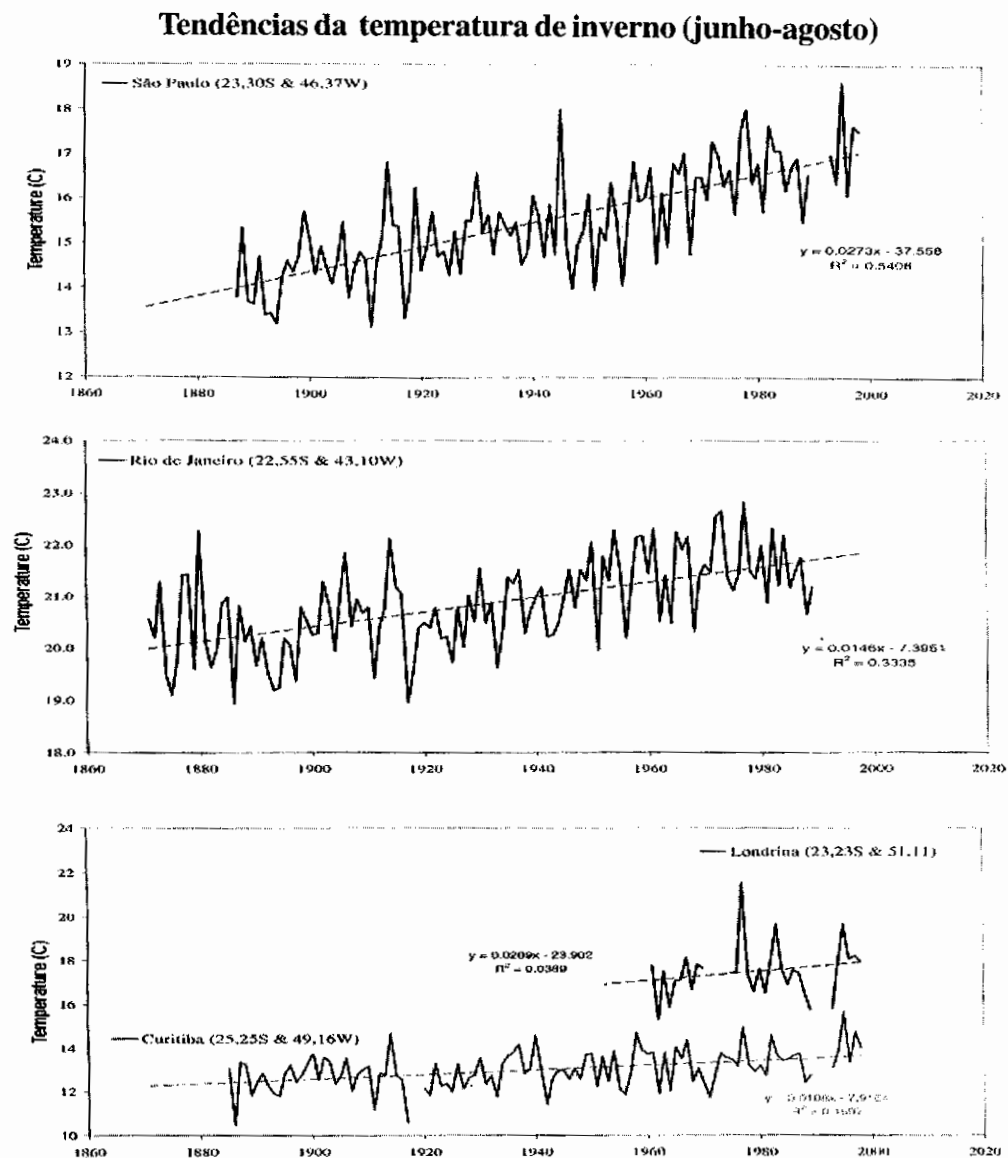


Figura 6. Tendências da temperatura do ar do inverno (junho-agosto) em cidades do Sul e Sudeste do Brasil: São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Londrina. (Fonte: Marengo 2001)

### 3. AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE PROJEÇÕES DE CLIMA PARA O BRASIL

A avaliação a seguir é baseada em uma série de estudos produzida para a World Wildlife Foundation (WWF) em que se descrevem os resultados mais recentes sobre possíveis cenários de mudanças climáticas, elaborados para um conjunto de países e regiões do mundo. Os cenários baseiam-se em dados climáticos observados, fornecidos pela Climatic Research Unit, num conjunto de cenários preliminares de gases de efeito estufa preparados para o IPCC, e numa série de

simulações climáticas realizadas com sete modelos de circulação global, cujos resultados foram postos à disposição pelo Centro de Distribuição de Dados do IPCC (IPCC-DDC). Para maior informação, o leitor pode revisar o trabalho de Hulme e Sheard (1999) ou acessar diretamente o endereço do IPCC-DDC: [www.ipcc-ddc.cru.ac.uk](http://www.ipcc-ddc.cru.ac.uk). Os quatro cenários climáticos aqui expostos estão relacionados com quatro projeções diferentes de emissões de gases de efeito estufa para o futuro, definidas no Special Report on Emissions Scenarios (SRES) do IPCC. Estas serão designadas por B1, B2, A1 e A2. As mudanças na emissão de carbono por fontes

industriais/produção de energia em 2100 variam de um decréscimo de 4% (cenário B1) a um aumento de cerca de 320% (cenário A2), relativamente às estimativas para o ano 2000. Essas estimativas das taxas de emissão futuras ignoram a existência de medidas de foro político para a proteção do clima. A concentração de dióxido de carbono na atmosfera aumenta de aproximadamente 370 ppm em 1999 para cerca de 550 ppm em 2100 no cenário B1, e para mais de 830 ppm no cenário A2. As concentrações de outros gases de efeito estufa também aumentam.

Que efeito terá o aumento das concentrações dos gases de efeito estufa no clima global? Isto dependerá, em larga medida, da sensibilidade do clima terrestre a essas concentrações crescentes. Escolhemos três valores diferentes para essa sensibilidade climática: baixa (1,5°C), média (2,5°C) e alta (4,5°C). Estimamos que essas projeções incluem cerca de 90% da gama de possíveis climas globais no futuro, variando entre B1-baixa (o cenário com emissões mais baixas combinado com a sensibilidade mais baixa) e A2-alta (o cenário com emissões mais elevadas combinado com a sensibilidade mais alta).

### 3.1 Alterações no clima, possíveis consequências

Estima-se que, pelo ano 2100, a temperatura média global aumente entre 1,3°C e 4,6°C, representando taxas de aquecimento de 0,1°C a 0,4°C por década. Esses valores são comparáveis à taxa de 0,15°C por década observada desde os anos 70. É provável que a futura taxa de aquecimento do Brasil seja mais lenta do que a média global (Figura 4). O aquecimento varia entre estações do ano, com valores entre 0,1°C e 0,4°C por década para os meses de dezembro a 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 da costa da Mata Atlântica.

Em relação à precipitação, os estados do Sul tornam-se mais úmidos, enquanto grande parte da Amazônia fica mais seca. Esta projeção é particularmente evidente no período março-maio, em que ocorre cerca de 35% da precipitação anual do Brasil. A zona seca do Nordeste sofre variações opostas numa primeira metade do ano, entre dezembro e maio (tornando-se mais úmida)

e numa segunda, de junho a novembro (tornando-se mais seca). Para o cenário A2-alta, na década de 2080, o delta do Rio Amazonas é a região com maior diminuição anual da precipitação (cerca de 20% mais seca), enquanto o Estado do Rio Grande do Sul será a região com maior aumento da precipitação (cerca de 20% mais úmido).

### 3.2 Impactos dos cenários climáticos produzidos por modelos: quanto acreditar neles?

Os mapas dos cenários para o Brasil (Figuras 7, 8) mostram a média das respostas de um conjunto de dez modelos climáticos, cujas simulações levam em conta o aumento da concentração de gases de efeito estufa. Essas simulações foram efetuadas em sete institutos climáticos, localizados em seis países diferentes. Modelos diferentes, mas com iguais concentrações dos gases de efeito estufa, prevêm, por vezes, diferentes climas regionais. Essas diferenças aumentam o grau incerteza dos nossos cenários. Assim, para a região oeste da Amazônia, alguns modelos apontam para climas mais úmidos e outros para climas mais secos. Já para o Nordeste, a maioria dos modelos concorda com um aumento da precipitação (Figura 9). Quando são utilizados cenários climáticos para a avaliação de seus impactos, é importante analisar os efeitos da variabilidade natural do clima e compará-los com os da variação climática induzida pelo homem. As barras centradas nas origens da Figura 9 mostram que o clima anual na Amazônia e do Nordeste pode variar sem qualquer intervenção humana. Na Amazônia, alguns modelos apontam para climas mais secos e outros para climas mais úmidos. Já para Nordeste, a maioria dos modelos concorda com aumento da precipitação. O Nordeste é uma região que possui uma "previsibilidade de clima alta", ou seja, o grau de acerto onde diversos modelos de clima podem reproduzir as tendências de variações de clima bastante bem, tanto em magnitude como em sentido. Outra região com alta previsibilidade de clima é o Sul do Brasil. Na Amazônia, entretanto, não existe um alto grau de previsibilidade; por isso, os diferentes modelos de clima podem apresentar diferenças nas previsões ainda que tenham a mesma forçante. Regiões de previsibilidade baixa também incluem o sudeste e centro-oeste do País. Para entender melhor o que é "previsibilidade de clima", sugere-se ao leitor revisar o relatório técnico de Marengo *et al.* (2001).

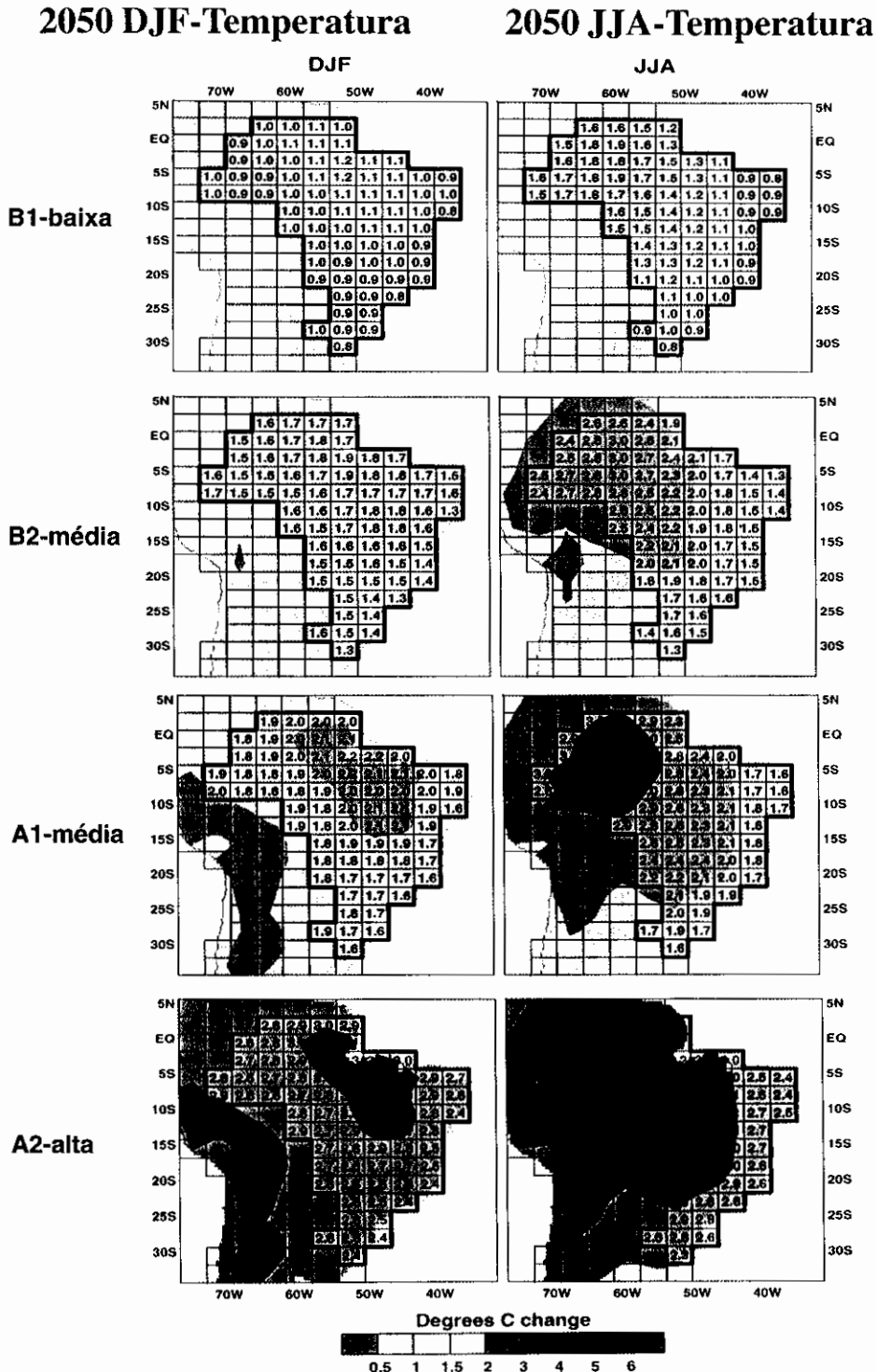


Figura 7. Variações da temperatura média sazonal (°C relativa à média climatológica 1961-90), para um período de 30 anos, centrado na década de 2050, para os quatro cenários. Os números correspondem às alterações simuladas para cada retângulo de grade da média dos modelos sobre o Brasil. Apenas se apresentam valores que sejam elevados, comparados com a variabilidade natural da temperatura em escalas temporais de 30 anos (Hulme e Sheard, 1999)

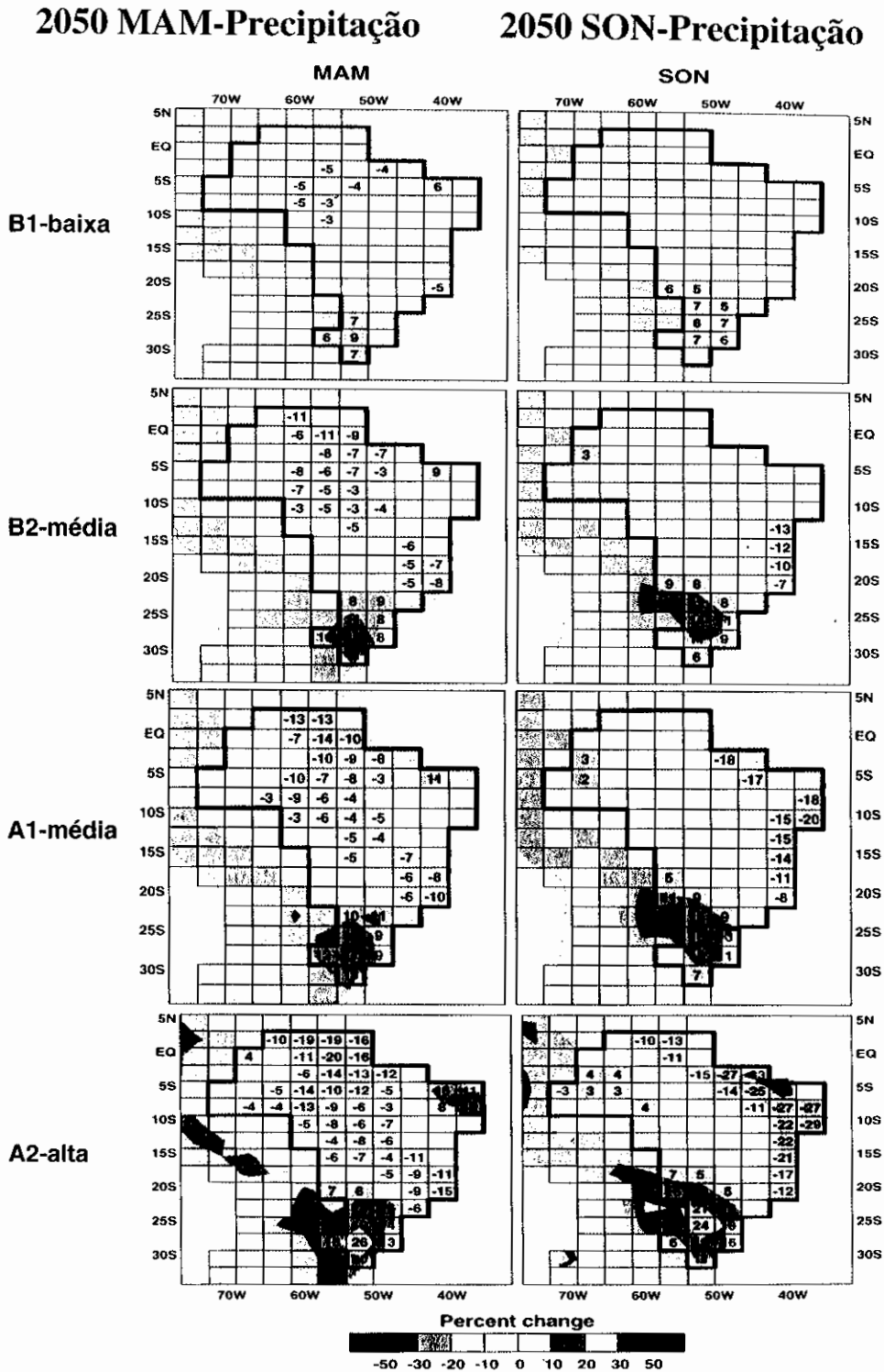


Figura 8. Variações da precipitação média sazonal (percentagem relativa à média climatológica 1961-90), para um período de 30 anos, centrado na década de 2050, para os quatro cenários. Os números correspondem às alterações simuladas para cada retângulo de grade da média dos modelos sobre o Brasil. Apenas se apresentam valores que sejam elevados, comparados com a variabilidade natural da precipitação em escalas temporais de 30 anos (Hulme e Sheard, 1999)

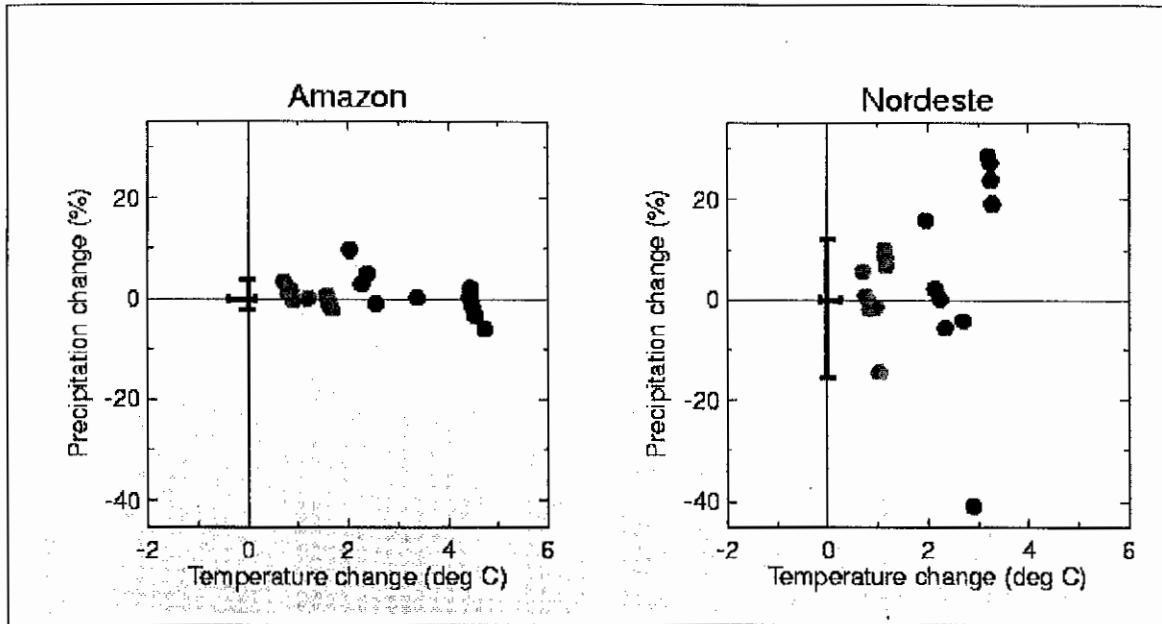


Figura 9. Alterações, relativas à média 1961-90, do clima médio anual no oeste da Amazônia (A), e no Nordeste (B), para a década de 2050, cenários B1-Baixa e A2-Alta. Cada ponto representa um modelo climático diferente, enquanto as barras centradas nas origens definem a variabilidade natural de clima nestas regiões, para escalas de 30 anos (Hulme e Sheard, 1999)

Se consideramos os cenários climáticos discutidos nas Figuras 7 e 8 como possíveis, as elevadas taxas de aquecimento e a diminuição da precipitação em vastas áreas da Amazônia implicam um aumento da respiração das plantas e o fechamento dos estômatos, conduzindo por fim ao declínio da floresta. Os cenários climáticos propostos por Hulme e Sheard (1999) e discutidos nos parágrafos prévios sugerem igualmente um aumento da suscetibilidade aos incêndios florestais em vastas 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 há certeza se um clima na Amazônia, devido ao aquecimento global, seria como o verão do El Niño 1997-98.

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 a abril), comporta-se 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 dessa grande área alagada.

Os cenários de alterações climáticas aqui apresentados sugerem que a frequência de anos muito úmidos na bacia do Pantanal será até duas a três vezes superior à observada atualmente, implicando o aumento da vazão dos rios e enchentes mais frequentes. Porém, há dúvida sobre o possível impacto de alguma obra de engenharia no regime hidrológico da bacia, como consequência da construção da hidrovia que uniria Paraguai-Argentina-Brasil, e que poderia ter efeitos negativos nos ecossistemas alagados do Pantanal.

É também certo que muitos dos cenários climáticos são produzidos pelos modelos, os quais ainda podem ter problemas em representar realmente os processos físicos que acontecem na natureza. Precisa-se de um processo de “downscaling” para checar as previsões de modelos de baixa resolução ao nível mais refinado de detalhe para vales, bacias ou municípios. Além disso, algumas regiões, como o Nordeste, Norte da Amazônia ou Sul do Brasil, têm previsibilidade melhor

que regiões como o Sudeste do País, onde se concentram as maiores cidades e indústrias. O comportamento do El Niño e as possíveis conseqüências do desmatamento da Amazônia e da Mata Atlântica ainda não são modelados realisticamente. Os cenários discutidos aqui baseiam-se em modelos de clima de alta qualidade, em que os processos atmosféricos, oceânicos e terrestres são representados da melhor forma possível, dado o conhecimento científico atual e os meios computacionais existentes.

#### 4. COMENTÁRIOS FINAIS

Existem alguns aspectos das futuras alterações climáticas nos quais temos maior confiança. Por exemplo, estamos mais confiantes em que a concentração de dióxido de carbono vai aumentar, em que o nível do mar vai subir e em que as chuvas intensas não serão mais comuns, os períodos secos mais fortes e freqüentes. O comportamento do fenômeno do El Niño não é sempre bem representado nos modelos climáticos, o que torna difícil prever quais as implicações nele induzidas pelo aquecimento global. Qualquer alteração no comportamento do El Niño poderá ter um forte impacto no clima do Brasil. Porém, se o El Niño 1997-98 produziu seca e favoreceu incêndios na Amazônia, e sendo 1998 o ano mais quente no século XX, isto não indica que, num clima mais quente devido ao aquecimento global, os eventos do tipo El Niño intensos sejam mais freqüentes e as secas e incêndios na floresta Amazônica sejam mais comuns no futuro.

A 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 não distinguem ou separam os efeitos da variabilidade natural do clima e dos induzidos pelo homem. Efeitos como as erupções 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 for considerado o impacto do incremento das concentrações de 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 freqüência e intensidade de eventos extremos de clima (El Niño, períodos secos, chuvas intensas).

Além disso, as definições das normais climatológicas a cada 30 anos (1931-60 ou 1961-90) poderiam ser causas de sinais aparentes de mudanças

climáticas, e, também, todos os índices de anomalias globais de temperatura do ar desde finais do século XIX, e usados pelo IPCC, são referentes ao período base de 1961-90. Uma rápida comparação entre as normais climatológicas de 1931-60 e 1961-90, publicadas pelo INMET, feita por Cutrim *et al.* (2000), sugeriu que os totais pluviométricos de alguns postos aumentaram, tendo Barcelos (AM) apresentado +32%, Belém (PA) +5%, Barra do Corda (MA) +14%, Carolina (MA) +10%, Caxias (MA) +21%, Manaus (AM) +9% e S. Luís (MA) +19% em relação ao primeiro período. A variabilidade notada, tanto na precipitação como na vazão dos rios, pode ser resultante de mudança climática natural e não necessariamente antrópicas, além, é claro, de um problema de amostragem, troca de equipamentos, métodos de observação, etc.

Em um ambiente resultante de aquecimento global, não ficam claros os impactos desse aquecimento sobre a produção agrícola ou outras atividades humanas. Uma redução na freqüência ou na intensidade das geadas, por exemplo na região Sudeste do Brasil e no Paraguai, permitiria um aumento das áreas de cultivo dedicadas ao café, ou um rodízio dos tipos de café cultivados em diferentes áreas. Entretanto, os impactos de um clima relativamente mais quente não foram bem estudados para o café. Os extremos causam perda de produção, com inevitáveis dificuldades sociais e econômicas (ou seja, disponibilidade diminuída e custo mais alto do alimento). As conseqüências do aquecimento global e de eventos climáticos extremos de vários tipos para o cultivo devem ser preocupação importante, de forma a assegurar a continuidade do fornecimento de alimento. Mas ao lado dos efeitos relativos ao clima, a tecnologia agrícola, a economia e a política continuarão a ter profundos efeitos sobre a agricultura em quase todas as sociedades, e as respostas às mudanças do ambiente serão incluídas na adaptação geral dos cultivos.

As mudanças climáticas acarretadas pelo homem não só são de enorme importância, mas também de tremenda complexidade. A teoria básica sobre como a sociedade está aquecendo o ambiente por meio da queima de combustíveis fósseis, foi delineada há mais de cem anos. Mas os modelos teóricos do ambiente terrestre existem há apenas algumas décadas e permanecem imperfeitos. Ao mesmo tempo, o próprio clima está sujeito a grandes variações em temperatura, chuvas e em outros fatores que não estão relacionados à atividade humana. Países tropicais podem ser prejudicados pelo aquecimento global, enquanto países frios podem se beneficiar dele. Países costeiros podem sofrer danos pelo aumento do nível dos oceanos.

Recentemente, apesar da oposição dos EUA à ratificação e implantação do Protocolo de Kyoto sobre mudança climática, o mundo alcançou um acordo histórico em Bonn, Alemanha, em Julho/2001. Apesar de os principais países industrializados ainda terem de ratificar o tratado, parece provável que a maioria das nações o fará, de forma que o processo de controle de mudanças climáticas acarretadas pelo homem possa começar. O acordo alcançado é um triunfo do processo científico. Países produtores de carvão e petróleo podem ser prejudicados se o mundo reduzir seu consumo de combustíveis fósseis; produtores de outros tipos de energia, como a hidrelétrica, podem beneficiar-se. Há inúmeros interesses e muita incerteza subjacentes ao processo de mudança climática. Como, então, o mundo chegou a um acordo, mesmo sobre apenas o primeiro passo de um mecanismo de ação que durará décadas? Diplomatas merecem crédito por terem feito concessões e barganhas. Mas elogios são devidos à comunidade científica, que operou com habilidade e objetividade, apesar de lobbies agressivos de indústrias, organizações ambientais e países com pontos de vista e interesses diversos.

## REFERÊNCIAS

- BARROS, V., CASTAÑEDA, M., DOYLE, M., Recent precipitation trends in South America to the east of the Andes: An indication of climatic variability. In: Volheimer, W., Smolka, P. (ed). **Southern hemisphere paleo and neo climates**. Springer Verlag, 1999.
- COSTA, M., FOLEY, J., Trends in the hydrologic cycle of the Amazon basin. **J. Geophys. Res.**, v. 104, p. 14189-98, 1999.
- CURTIS, S., HASTENRATH, S., Trend of upper-air circulation and water vapor over equatorial South America and adjacent oceans. **Int. J. Climatol.** v.19, p. 863-76, 1999.
- CUTRIM, E. M., MOLION, L. C. B., NECHET, D., Chuvas na Amazônia durante o século XX. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, **Anais...** CD ROM, Rio de Janeiro.
- DIAS DE PAIVA, E.M.C., CLARKE, R., Time trends in rainfall records in Amazonia. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, v. 75, p. 579-83, 1995.
- FISCH, G., MARENGO, J., NOBRE, C., Uma revisão geral sobre o Clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, p. 101-26, 1998.
- GARCIA, N., VARGAS, W., The temporal climatic variability in the Rio de La Plata basin displayed by the river discharges. **Clim. Change**, v. 38, p.359-79, 1998.
- HASTENRATH, S., GREISCHAR, L., Further work of Northeast Brazil rainfall anomalies, **J. Clim.**, v. 6, p.743-58, 1993.
- HULME, M., SHEARD, N., **Cenários de alterações climáticas para o Brasil**, Norwich: Climatic Research Unit, 1999. 6p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC. **Climate Change 2001: the scientific basis IPCC WG I, TAR**. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2001, 881 p.
- JONES, P., NEW, M., PARKER, D., MARTIN, S., RIGOR, I., Surface air temperature and its changes over the past 150 years. **Rev. Geophys.**, v. 37, p. 173-99, 1999.
- KANE, R. P. Relationship between the southern oscillation/El Niño and rainfall in some tropical and midlatitude regions. **Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet Sci.)**, v. 3, p.223-35, 1989.
- KOUSKY, V., Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil, **Mon. Wea. Rev.**, v.108, p.488-98, 1980.
- MANTUA, N., HARE, S., ZHANG, Y., WALLACE, J., FRANCIS, R., A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, v. 78, p. 1069-80, 1997.
- MARENGO, J. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin, **Int. J. Climatol.**, v. 12, p. 853-63, 1992.
- MARENGO, J., Long-term trends and cycles in the hydrometeorology of the Amazon basin since the late 1920's. **Hydrological**, 2001.



- MARENGO, J., ROGERS, J. Cold front and polar air outbreaks in the Americas during: modern climate assessments and impacts, and some past climate evidences. In: Markgraf, V. (Ed.). **Present and past inter-hemispheric climate linkages in the Americas and their societal effects**. New York Academic 2001, Press, pp. 31-49.
- MARENGO, J., TOMASELLA, J., UVO, C. R., Long-term streamflow and rainfall fluctuations in tropical South America: Amazonia, Eastern Brazil and Northwest Peru. **J. Geophys. Res.**, v. 103, p.1775-83, 1998.
- MARENGO, J., CAVALCANTI, I. F. A., SATYAMURTY, P., NOBRE, C. A., BONATTI, J. P., TROSNIKOV, I., MANZI, A. O., SAMPAIO, G., CAMARGO, H., SANCHES, M. B., CUNNINGHAMN, C. A. C., PEZZI, L., CALBETE, N. O., **Ensemble simulation of interannual climate variability using the CPTEC/COLA atmospheric model: INPE-8135-RPQ/717**. São José dos Campos, 2001. 77 p.
- MEGGERS, B. J. Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millenia. **Clim. Change**, v. 28, p. 321-38, 1994.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA-COORDENAÇÃO DE PESQUISA EM MUDANÇAS GLOBAIS. **Efeito estufa e a convenção sobre mudança do clima**. Brasília: Departamento de Relações Institucionais (MCT-BNDES), 1999. 38 p.
- MOLION, L. C. B., Efeito dos vulcões no clima. **Caderno de Geociência**, v.12, p.13-23, 1994.
- MOLION, L.C.B., DALLAROSA, R., São os dados pluviométricos da Amazônia confiáveis? **Climanálise**, v.5, p. 40-3, 1993.
- MOLION, L. C. B., MORAES, J., Oscilação Sul e descarga de rios na América do Sul tropical. **Rev. Bras. Eng., Cad. Hidrol.**, v. 5.1, p. 53-63, 1987.
- MORAES, J., PELLEGRINO, G., BALLESTER, M.V., MARTINELLI, L., VICTORIA, R., KRUSHCHE, Trends in hydrological parameters of a southern Brazilian watershed and its relation to human induced changes, **Water Res. Manage.**, v. 12, p. 295-311, 1998.
- MORALES ARNAO, B. Estudios de Vulnerabilidad de recursos hidricos de alta montaña en el Peru. In: Marticorena, B. (Ed). Peru: vulnerabilidad frente el cambio climático. Aproximaciones a la experiencia con el fenómeno El Niño. Lima, Perú: IEA/USP, 1999. p.17-63.
- NEPSTAD, D., MOREIRA, A., ALENCAR, A. A floresta em chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia. In: Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria para a Coordenação da Amazônia. **Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil**. Brasília, 1999. 202p.
- NOBRE, C., GASH, J. Desmatamento muda clima da Amazônia. **Ciênc. Hoje**, v.22, p.32-41, 1997.
- SAMPAIO, G. O. **Seasonal, interannual and long-term variability of the Hydrometeorology of the São Francisco River basin (Northeast Brazil), and their physical links to tropical-extratropical SSTs**. Final Report, II Workshop on regional climate prediction and applications-Tropical Atlantic Basin. University of Oklahoma-CIMSS-NOAA OGP. In Press. 2001.
- SANSIGOLO, C., RODRIGUEZ, R., ETCHICHURY, P., Tendências nas temperaturas médias do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7, 1992, **Anais...**, v. 1, p.367-71.
- SELUCHI, M., MARENGO, J., Tropical-Mid Latitude Exchange of Air Masses during Summer and Winter in South America: Climatic aspects and extreme events, **Int. J. Climatol**, v. 20, p. 1167-90, 2000.
- SERRA, A. Mudanças climáticas, **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 2, p.101-5, 1987.
- SILVA DIAS, P., MARENGO, J. Águas atmosféricas. In: Rebouças, A.C., Braga Jr., B., Tundizi, J. G. (Ed). **Águas Doces no Brasil-capital ecológico, usos múltiplos, exploração racional e conservação**. IEA/USP, 1999. p. 65-116.
- TRENBERTH, K. Recent observed interdecadal climatic

- changes in the Northern Hemisphere. **Bull. Am. Meteorol Soc.**, v. 71, p. 988-93, 1990.
- TRENBERTH, K. Future ENSO Diagnostics. In: HAYES SYMPOSIUM ON SEASONAL TO INTERANNUAL CLIMATE VARIABILITY-THE 1997-1998 ENSO CYCLE, 2, 1999. Abstracts... p. 110-3.
- VICTORIA, R., MARTINELLI, L., MORAES, J., BALLESTER, M.V., KRUSHCHE, A., PELLEGRINO, G., ALMEIDA, R., RICHEY, J., Surface air temperature variations in the Amazon region and its border during this century. **J. Clim.**, v.1, p.1105-10, 1998.
- WAGNER, R. Decadal-scale trends in mechanisms controlling meridional sea surface temperature gradients in the tropical Atlantic. **J. Geophys. Res.** v. 101, p.16683-694, 1996.
- WMO. **WMO statement on the status of the global climate in 1998**. WMO-No. 896. Geneva, Switzerland, 1999. 11p.
- XAVIER, T. M.B.S., SILVA DIAS, M.A.F, XAVIER, A.F.S. Tendências da pluviometria na Grande São Paulo e a influência dos processos de urbanização e industrialização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7, **Anais...** v.1, p. 220-4, 1992.
- XAVIER, T.M.B.S , XAVIER, A.F.S, SILVA DIAS, M.A.F. Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo. **Rev. Brasileira de Meteorol.** v. 9, p. 44-53, 1994.