



Sumário Técnico

Caracterização do clima atual e definição das Alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI



Jose A. Marengo
Carlos A. Nobre
Eneas Salati
Tercio Ambrizzi
2007



**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA
SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS - SBF
DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE –
DCBio**

Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade

Sub projeto:

**Caracterização do clima atual e definição das
alterações climáticas para o território
brasileiro ao longo do Século XXI**

Sumário Técnico

**José A. Marengo¹, Carlos A. Nobre¹, Enéas Salati²,
Tercio Ambrizzi³**

**¹CPTEC/INPE
São Paulo, Brasil**

**²IAG/USP
São Paulo, Brasil**

**³FBDS
Rio de Janeiro, Brasil**

2007

Equipe Científica:

Jose A. Marengo, Coordenador, CPTEC/INPE, SP

Carlos A. Nobre, CPTEC/INPE, SP

Igor Pishchenko, CPTEC/INPE, SP

Tatiana Tarasova, CPTEC/INPE, SP

María Valverde, CPTEC/INPE, SP

Renaud Laborbe, CPTEC/INPE, SP

Guillermo Obregón, CPTEC/INPE, SP

Julio P. Reyes Fernandez, CPTEC/INPE, SP

Wagner R. Soares, CPTEC/INPE, SP

Lincoln M. Alves, CPTEC/INPE, SP

Tercio Ambrizzi, IAG/USP, SP

Rosemeri P. Rocha, IAG/USP, SP

Simone T. Ferraz, IAG/USP, SP

Santiago. V. Quadra, IAG/USP

Eneas Salati, FBDS, RJ

Eneida Salati, FBDS, RJ

Tatiana Campanhol, FBDS, RJ

Nilson Villa Nova, ESALQ/USP, SP

Apoio Administrativo:

Diana Raigoza, CPTEC/INPE, SP

Evanize Fidalgo, CPTEC/INPE, SP

Josiane C. M. de Oliveira, CPTEC/INPE, SP

Letícia Maria Barbosa de Faria, CPTEC/INPE, SP

ÍNDICE

	<i>Pág.</i>
Lista de Siglas	2
Lista de Tabelas	3
Lista de Figuras	4
Agradecimentos	5
Apresentação	7
Capítulo 1 - O Clima do presente	11
Capítulo 2 - O Clima do futuro	23
Capítulos 3 - Possíveis Impactos das Mudanças Climáticas no Brasil	35
Conclusões Gerais	39
Recomendações	40
Glossário	42
Referências	49

Lista de Siglas

AR4	<i>Fourth Assessment Report-IPCC (Quarto Relatório de Avaliação)</i>
BIRD	<i>Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento (Banco Mundial)</i>
CCCMA	<i>Canadian Center for Climate Modelling and Analysis (Canada)</i>
CEPAGRI	<i>Centro de Pesquisas Aplicadas a Agricultura</i>
CNPq	<i>Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico</i>
CPTEC	<i>Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos</i>
CTA	<i>Centro Técnico Aeroespacial</i>
ENOS	<i>El Niño Oscilação Sul</i>
FAPESP	<i>Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo</i>
GEF	<i>Global Environment Facility</i>
GFDL	<i>Geophysical Fluid Dynamic Laboratory (EUA)</i>
GOF	<i>Global Opportunity Fund (UK)</i>
IAG	<i>Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas</i>
IAI	<i>Inter American Institute for Global Change</i>
INMET	<i>Instituto Nacional de Meteorologia</i>
INPE	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MMA	<i>Ministério do Meio Ambiente</i>
NAE	<i>Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República</i>
NIES	<i>National Institute for Environmental Studies (Japão)</i>
OMM	<i>Organização Meteorológica Mundial</i>
PROBIO	<i>Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira</i>
SALLJ	<i>South American Low Level Jet East of the Andes</i>
SRES	<i>Special Report Emission Scenarios-IPCC</i>
TAR	<i>Third Assessment Report-IPCC (Terceiro Relatório de Avaliação)</i>
TSM	<i>Temperatura da Superfície do Mar</i>
UNICAMP	<i>Universidade de Campinas</i>
USP	<i>Universidade de São Paulo</i>
ZCAS	<i>Zona de Convergência do Atlântico Sul</i>

Lista de Tabelas

	Pag.
Tabela 1 <i>Aumento de temperatura do ar (°C) em 2100 representado pela média de 6 modelos climáticos globais do IPCC TAR para dois cenários de emissões (A2-pessimista e B2-otimista) e para cada região do país considerada no estudo.</i>	27

Lista de Figuras

		Pag.
Figura 1	<i>Anomalias de temperatura (superior) e chuva (inferior) para o Brasil no período 1901-1998. O período de referência para calcular as anomalias é 1961-90. Linha contínua representa a média móvel de 11 anos. (Fonte: Hume e Sheard 1999).</i>	13
Figura 2	<i>Tendências das médias anuais de temperaturas máxima, mínima, média e da amplitude térmica de 1951-2002 para o Brasil, em C/década. Escala de cor aparece na parte direita de cada painel (Relatório 2-Obregón e Maringá 2007).</i>	13
Figura 3	<i>Tendências da chuva anual de 1951-2002 para o Brasil, em mm/década. Escala de cor aparece na parte direita de cada painel. (Relatório 2-Obregón e Marengo 2007).</i>	15
Figura 4	<i>Tendências da chuva sazonal de 1951-2002 para o Brasil, em mm/década. Escala de cor aparece na parte direita de cada painel (Relatório 2-Obregón e Marengo 2007).</i>	15
Figura 5	<i>Mudança relativa de vazões durante o Século XX na América do Sul. Valores são em percentagem (%) para o período 1971-98 em relação ao 1900-70. Escala de cor aparece na direita (Relatório 1-Marengo 2007).</i>	17
Figura 6	<i>Tendência de episódios de chuva intensa definidos pelo índice R10 (número de dias com mais de 10 mm) e pelo índice de extremos de chuva intensa definido pelo índice R95t (fração total de precipitação devido a eventos de chuva acima do percentil de 95th), para o período de 1961-2000. Escala de cores aparece na parte inferior do mapa.</i>	19
Figura 7	<i>Projeções de temperatura média anual para o Brasil para vários cenários de emissões e tomando a média de seis modelos climáticos globais. A linha preta representa observações, e as linhas coloridas representam médias móveis (11 anos) para os diferentes cenários, em relação à média de 1961-90. (Fonte: Hulme e Sheard 1999).</i>	24
Figura 8	<i>Médias dos nove modelos de IPCC AR4 usados por C. Tebaldi para definir tendências de extremos climáticos na América do Sul. O cenário usado é A1B para o futuro 2080-2099 em relação ao clima do presente 1980-1999 (direita) e para o presente 1980-99 em relação a 1900-1919 para as rodadas do 20C3m (clima do presente). Os valores apresentados em cada ponto de grade têm sido estandardizados e depois a média dos modelos foi calculada. Regiões com pontos pretos correspondem a áreas onde \geq menos cinco dos nove modelos apresentam o mesmo sinal da tendência estatisticamente significativa. As escalas de cor aparecem na parte inferior de cada mapa. Os índices usados são Tn90 (painel superior) e R10 (Painel inferior). Fonte: Relatório 5, Marengo et al. 2007.</i>	26
Figura 9	<i>Anomalias anuais de chuva (painel superior, em mm/dia) e temperatura (painel inferior, em °C) para América do Sul, período 2071-2100 em relação a 1961-90, para os cenários IPCC A2 (pessimista) e IPCC B2 (Otimista). As projeções representam a média aritmética dos cenários produzidos pelos modelos regionais Eta / CPTEC. RegCM3 e HadRM3P (50 km de resolução). Fonte: Relatório 4 - Ambrizzi et al. (2007).</i>	28
Figura 10	<i>Balanço Hídrico para o Nordeste (esquerda) e Amazônia (direita) para o presente 1961-90 (observado, painel superior), e para 2071-2100 simulados pelo modelo HadCM3 (Painel médio) e da média de 5 modelos de IPCC TAR (Painel inferior). Fonte: Relatório 4, Salati 2007.</i>	31
Figura 11	<i>Projeções climáticas para o futuro (2071-2100), do modelo HadCM2 do Hadley Centre do Reino Unido mostrando áreas com condições mais favoráveis para desenvolvimento de furacões no Atlântico Sul, em cenários de aquecimento globais mais pessimistas A2. Fonte: Hadley Centre, UK.</i>	32
Figura 12	<i>Projeções de mudanças de temperatura e chuva para o Brasil para o final do Século XXI, assim como impactos esperados. Os cenários considerados são A2 (altas emissões) e B2 (baixas emissões). O mapa foi elaborado pelo departamento de arte do jornal O Globo (28 de Novembro de 2006) com base nos resultados iniciais dos projetos PROBIO e GOF UK.</i>	36

Agradecimentos

Este documento é derivado principalmente dos resultados dos projetos “*Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XX*”, apoiado pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO, financiado pelo MMA/BIRD/GEF/CNPq, e pelo Global Opportunity Fund-GOF do Reino Unido, através do projeto “*Using Regional Climate Change Scenarios for Studies on Vulnerability and Adaptation in Brazil and South América*”, e do Programa Nacional de Mudanças Climáticas do MCT. Os pesquisadores do projeto agradecem ao CNPq pela outorga de bolsas de pesquisa para os colaboradores e de bolsas de produtividade na pesquisa para os líderes do projeto. Outras fontes de financiamento incluem o Programa Nacional de Mudanças Climáticas do Ministério da Ciência e Tecnologia, a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - Projeto de Pesquisa Temático 01/13816-1), o Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq através do Projeto Instituto do Milênio LBA II, o Projeto GEOMA (Tema Modelagem Climática) e o Instituto Inter-Americano de Pesquisas sobre Mudanças Globais - Projeto IAI-PROSUR CRN55. Grande parte do material incluído neste documento é resultado de estudos publicados pelos autores na literatura nacional e internacional, assim como da revisão de trabalhos realizada para a preparação do Quarto Relatório Científico AR4 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

Estendemos nosso agradecimento ao Centro Técnico Aeroespacial - CTA, Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, a Agência Nacional de Águas - ANA, o CPTEC - INPE, o Instituto Agrônômico de Paraná - IAPAR, e Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE pelo fornecimento de informações meteorológicas. Um agradecimento muito especial vai para o Hadley Centre for Climate Research and Prediction, do Reino Unido, por fornecer dados do modelo global HadAM3P que servem de condições de contorno para as simulações dos modelos regionais, e ao IPCC – Data Distribution Centre (DDC) por fornecer as saídas de modelos climáticos globais do IPCC-TAR e AR4 analisados neste relatório. As simulações dos

modelos climáticos regionais foram feitas CPTEC-INPE e no IAG / USP, e agradecemos a Dra. Maria Assunção F. Da Silva Dias, Coordenadora Geral do CPTEC por facilitar o uso do supercomputador NEC SX-6 para rodar o modelo Eta / CPTEC.

Estendemos nosso agradecimento a Júlio C. Roma do MMA pelo seu apoio durante o desenvolvimento do projeto, e a Hélio Camargo, Leticia Faria, Regina S. Alvalá entre outros pelo apoio na produção de figuras e mapas que fazem parte dos relatórios.

Apresentação

O presente documento elaborado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC / INPE), em colaboração com o Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (USP / IAG), e da Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS), apresenta um Sumário Executivo dos estudos observacionais de variabilidade climática e de modelagem global e regional de cenários futuros de mudança de clima para Brasil e para a América do Sul. As pesquisas reportadas nos seis Relatórios Científicos apresentam os mais importantes resultados do projeto “*Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI*”, apoiado pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – **PROBIO** do MMA / BIRD / GEF / CNPq, pela Coordenação Nacional do Programa Nacional de Mudanças Climáticas do MCT, e pelo Global Opportunity Fund- GOF do Reino Unido, através do projeto “*Using Regional Climate Change Scenarios for Studies on Vulnerability and Adaptation in Brazil and South América*”.

Os dois projetos objetivam o melhor entendimento da variabilidade climática do clima atual e dos cenários de mudanças climáticas devido ao aumento na concentração de gases de efeito estufa, assim como os seus possíveis impactos no Brasil. Faz-se uso de registros climáticos e hidrológicos desde inícios do Século XX, fornecidos por instituições como INMET, CTA, CPTEC / INPE, assim como cenários futuros de clima de modelos globais, fornecidos pelo IPCC e pelo Hadley Centre for Climate Research do Reino Unido, além de simulações com modelos climáticos regionais, desenvolvidos e rodados no CPTEC / INPE e no IAG / USP no Brasil.

O **Relatório I** (Marengo 2007) descreve resultados recentes sobre estudos observacionais e de modelagem da variabilidade climática no Brasil, assim como tendências climáticas observadas desde o início do Século XX, e projeções climáticas para o Século XXI, com ênfase na precipitação, temperatura, descarga fluvial e extremos climáticos, usando modelos globais do IPCC TAR e AR4.

O **Relatório 2** (Obregon e Marengo 2007) faz também uma caracterização climática do Século XX no Brasil, mas com maior detalhe e complexidade do que no Relatório 1. Foram analisadas séries climáticas com mais de 50 anos de registro e que foram submetidas ao controle de qualidade, e usadas para a elaboração e reavaliação de climatologias anual e sazonal de chuva e temperatura para o período de 1951-2002. Os estudos apresentados mostram também mapas de probabilidades de chuvas extremas acima de um valor limiar, e mapas anuais e sazonais de temperaturas médias e extremas, assim como de amplitude térmica diária, o que permite estabelecer tendências observadas de temperaturas em estações no Brasil. Tendências lineares foram analisadas para chuvas e temperaturas médias e extremas no Brasil, com avaliações de significância estatística. Os resultados mostrados nos Relatórios 1 e 2 ajudaram na avaliação e interpretação dos cenários climáticos gerados pelos modelos regionais apresentados no Relatório 3.

O **Relatório 3** (Ambrizzi et al. 2007), elaborado em conjunto pelo Grupo de Estudos Climáticos (GrEC) do Departamento de Ciências Atmosféricas do IAG / USP e o CPTEC / INPE, apresenta os cenários climáticos futuros gerados pelos três modelos climáticos regionais que foram integrados numericamente usando dados iniciais obtidos do modelo climático global do Hadley Centre. Através das análises de dois conjuntos de 30 anos de simulações de cenários climáticos para os períodos de 1961-90 (clima do presente) e 2070-2100 (clima do futuro, segunda metade do Século XXI), para os cenários de altas emissões de gases de efeito estufa A2 e de baixas emissões B2 do SRES / IPCC. Médias sazonais e mensais de temperatura e precipitação para a América do Sul gerado por cada modelo regional, e pelo “ensemble” dos mesmos são discutidas neste relatório para América do Sul e Brasil, assim como a nível sub-regional.

O **Relatório 4** (Salati et al. 2007), elaborado em conjunto pela FBDS e pelo CPTEC - INPE, apresenta avaliações de algumas tendências climáticas em algumas regiões brasileiras para servir de base para as comparações com cenários futuros do clima, que completam os resultados dos Relatórios 1 e 2. Um aspecto interessante desenvolvido neste relatório são os resultados sobre o balanço hídrico resultante das variações conjuntas da temperatura e das precipitações para diversas regiões do Brasil. O balanço hídrico é um fator

determinante no potencial da produção agropecuária e de energia hidrelétrica. Qualquer variação na disponibilidade hídrica terá efeitos sócio-econômicos e terá que ser levada em consideração em planejamentos futuros de desenvolvimento do país. Foi feita uma comparação entre os balanços hídricos obtidos com dados dos modelos de climas futuros e aqueles obtidos com os dados reais observados para o clima do presente, utilizando-se os dados observados no período de 1961-1990. Também foram feitas avaliações da sensibilidade das componentes do balanço hídrico para aumentos na temperatura e precipitação, típicas dos cenários do IPCC de climas futuros mais quentes. Isto foi feito com a finalidade de avaliar se o conteúdo de umidade do solo no Brasil e os períodos de armazenamento de água no solo, importantes para atividades de agricultura, poderiam ser comprometidos para aumentos de temperatura variando de 1 a 6 °C em todo o Brasil.

O **Relatório 5** (Marengo et al 2007) aprofunda as análises de eventos extremos de tempo e clima, fazendo uso dos índices de extremos climáticos definidos pela OMM. Os cálculos foram feitos para postos meteorológicos no Brasil para o clima do presente, e para os cenários climáticos gerados pelos modelos globais do IPCC AR4 e pelos três modelos climáticos regionais para os cenários A2 e B2 durante a segunda metade do Século XXI. Este Relatório 5 considera as análises de extremos definidas no Relatório 1 com bases observacionais e dos modelos globais do IPCC AR4, e dos cenários climáticos do futuro dos modelos climáticos regionais derivados do Relatório 3. Ênfase especial é dada a eventos recentes na escala sazonal, como o Furacão Catarina de 2004 e a seca da Amazônia de 2005, onde análises de observações e projeções climáticas do futuro são consideradas para definir se tais eventos extremos são realmente uma mostra do que poderia acontecer com o prosseguimento do aquecimento global no futuro.

O **Relatório 6** (Nobre et al., 2007) relata as projeções de potenciais alterações nos biomas da América do Sul em decorrência das mudanças climáticas futuras. Cenários de precipitação e temperatura mensais provenientes de dezesseis modelos climáticos globais do IPCC AR4 foram utilizados com dados de entrada para o modelo de vegetação potencial do CPTEC - INPE (PVM) para o período 2070-2099 para dois cenários de emissões A2 e B2. Os resultados denotam probabilidades altas de mudanças

importantes de biomas em distintas regiões da América do Sul, especialmente na faixa tropical.

As conclusões deste projeto e seus seis Relatórios que aparecem neste Sumário Executivo devem ser considerados como a primeira aproximação das características dos climas futuros no território nacional e servir de estímulo para o desenvolvimento de pesquisas mais detalhadas e ampliadas sobre o tema, considerando também os aspectos de avaliação de impactos e de vulnerabilidade dos diferentes setores das sociedades e sistemas do ambiente às mudanças climáticas globais e regionais.

Capítulo 1 - O Clima do Presente

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*International Panel on Climate Change - IPCC*) divulgou em Fevereiro 2004 o Quarto Relatório de Avaliação das Mudanças no Clima do Planeta, chamado de IPCC-AR4. O Relatório demonstra de forma conclusiva os perigos do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, resultantes da baixa capacidade dos países industrializados de reduzir suas emissões, bem como da resistência de alguns países em desenvolvimento em negociar a estabilização e até a diminuição de suas emissões. Segundo o IPCC AR4, se projeta um aumento de temperatura global entre 2 °C a 4,5 °C a mais do que os níveis registrados antes da Era Pré-Industrial. A estimativa mais certa fala em um aumento médio de 3 °C, assumindo que níveis de dióxido de carbono se estabilizem 45% acima da taxa atual. Essa estimativa é mais precisa do que a anterior, divulgada em 2001 (IPCC 2001). O terceiro relatório de avaliação do IPCC (IPCC TAR) publicado em 2001 projetava um crescimento de 1,4 °C a 5,8 °C para 2100. Em relação às causas da mudança de clima, o IPCC AR4 afirma que é "muito provável" (até 90% de chance) que as atividades humanas, lideradas pela queima de combustível fóssil, estejam fazendo a atmosfera esquentar desde meados do século 20. O relatório de 2001 dizia que essa ligação era "provável" (66% de chances ou mais).

O presente documento representa um sumário dos principais resultados das avaliações feitas usando vários níveis de observações climáticas e hidrológicas no Brasil e incorporam novos resultados gerados pelas componentes observacionais dos projetos PROBIO e GOF-UK que resume o estado-da-arte de estudos desenvolvidos durante os 2 últimos anos de pesquisa em variabilidade de clima observada, e que podem se resumir da seguinte maneira:

1. Uma análise das evidências observacionais integradas para o território brasileiro aponta para um aumento das temperaturas médias e extremas no Brasil, tanto para valores anuais como sazonais.

A temperatura média global da superfície, incluindo os oceanos, aumentou, no Século XX, em aproximadamente $0,6^{\circ}\text{C}$, e 1998 foi o ano mais quente de todo o período observacional desde 1861. A década de 1990 foi a mais quente desde que as primeiras medições começaram a serem feitas na década de 1860. Este aumento nas décadas recentes corresponde ao aumento no uso de combustível fóssil durante este período. Até finais do Século XX, o ano de 1998 foi o mais quente desde o início das observações meteorológicas, com $+0.54^{\circ}\text{C}$ acima da média histórica de 1961-90. Os dez anos mais quentes da história estão todos concentrados no período de 1994 até 2006, com recordes em 1998 (o mais quente) e 2005 (o segundo mais quente). O ano de 2003 foi o terceiro mais quente ($+0.44^{\circ}\text{C}$ acima do normal). De fato, os últimos 11 anos, 1995-2006 (com exceção de 1996) estão entre os mais quentes no período instrumental (Figura 1).

Segundo os dados, a Terra está se aquecendo mais no hemisfério Norte. Já no Século XXI, a temperatura do ar a nível global em 2005 foi de $+0.48^{\circ}\text{C}$ acima da média, sendo este o segundo ano mais quente do período observacional, como afirma a *Climate Research Unit da Universidade de East Anglia, UK*. Segundo eles, o ano de 2006 deve terminar como o sexto mais quente da história desde os primeiros registros da temperatura média global. Já o *UK Met Office-Hadley Centre* afirma que 2007 deverá ser o ano mais quente registrado em todo o mundo, devido ao aquecimento global e ao El Niño. A combinação destes fatores deverá provocar aumento nas temperaturas médias, em 2007, acima do recorde de 1998.

Para o Brasil, a temperatura média aumentou aproximadamente $0,75^{\circ}\text{C}$ até o final do Século XX (considerando a média anual 1961-90 de $24,9^{\circ}\text{C}$, Figura 1), e sendo o ano mais quente no Brasil o ano de 1998 (aumento de até $0,95^{\circ}\text{C}$ em relação à normal climatológica de $24,9^{\circ}\text{C}$).

Ao nível regional pode se observar (Figura 2) que para o período de 1951-2002, as temperaturas mínimas têm aumentado em todo o país, com uma estação mostrando um aumento expressivo de até $1,4^{\circ}\text{C}$ por década, enquanto as temperaturas máximas e médias têm aumentado em até $0,6^{\circ}\text{C}$ e $0,4-0,6^{\circ}\text{C}$ por década, respectivamente em quase todo o país. O fato de as tendências positivas nas temperaturas mínimas anuais serem mais acentuadas que as temperaturas máximas determinam as tendências negativas na amplitude

térmica do ciclo diurno de temperaturas (Tmax-Tmin). As tendências de aquecimento são detectadas ao nível anual e sazonal, com maiores aquecimentos no inverno e primavera (Veja Relatório 2, Obregon e Marengo 2007).

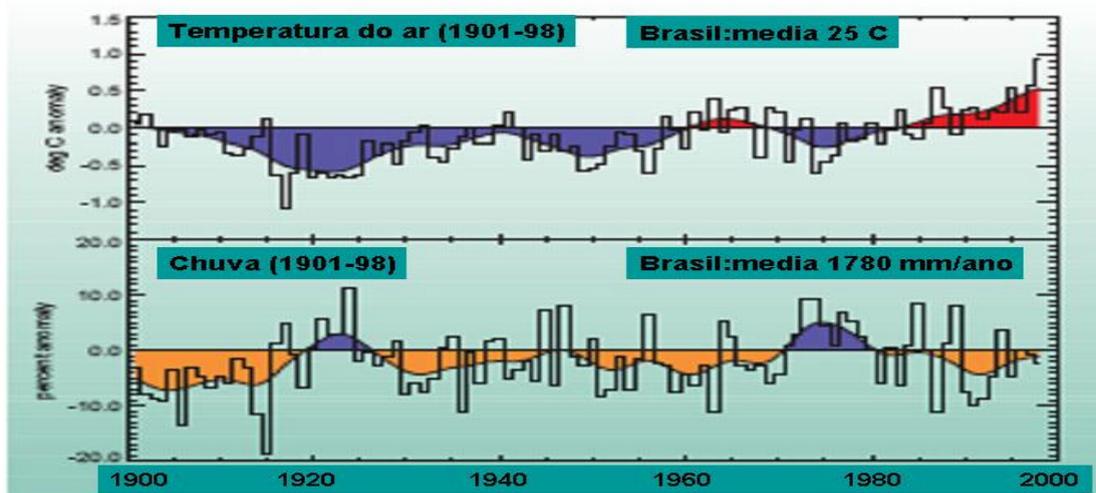


Figura 1. Anomalias de temperatura (superior) e chuva (inferior) para o Brasil no período 1901-1998. O período de referência para calcular as anomalias é 1961-90. Linha contínua representa a média móvel de 11 anos. (Fonte: Hume e Sheard 1999).

Tendências das temperaturas anuais de 1951 a 2002 (em °C/década)

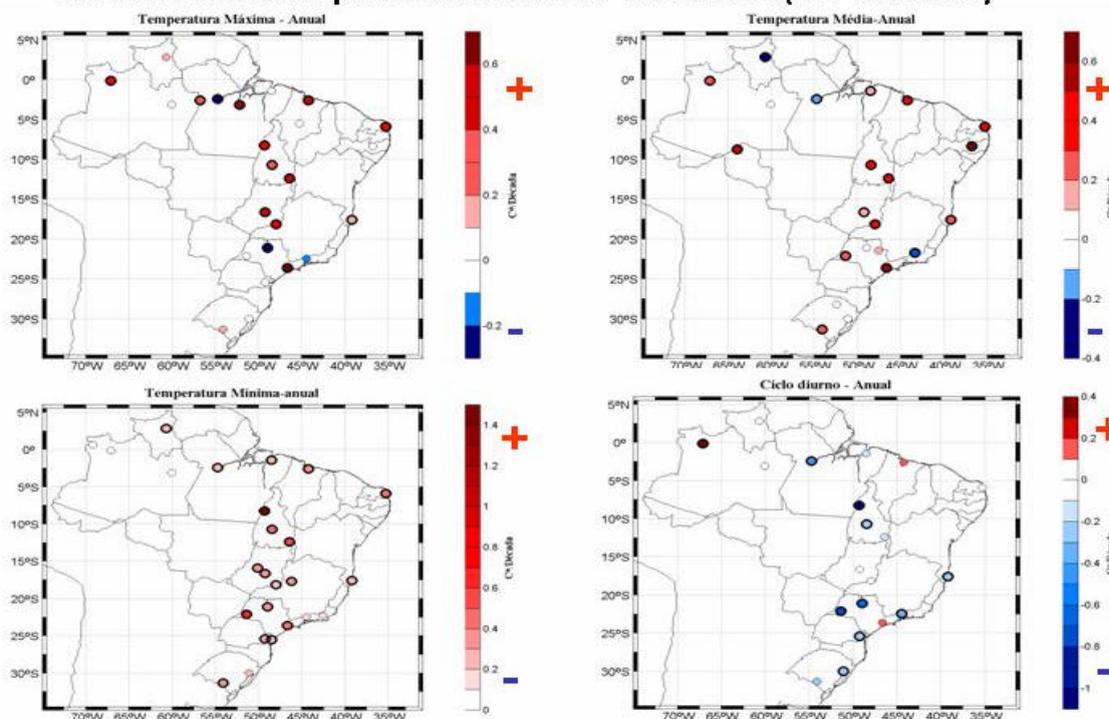


Figura 2. Tendências das médias anuais de temperaturas máxima, mínima, média e da amplitude térmica de 1951-2002 para o Brasil, em °C/década. Escala de cor aparece na parte direita de cada painel (Relatório 2-Obregon e Maringá 2007).

2. Em relação à precipitação, as análises observacionais no clima do presente não apontam para tendência de redução de chuvas na Amazônia (devido ao desmatamento). O que tem sido observado são variações interdecadais de períodos relativamente mais secos ou chuvosos no Brasil, na Amazônia e Nordeste. Regionalmente, tem sido observado um aumento das chuvas no Sul e partes do Sul do Brasil, na bacia do Paraná - Prata, desde 1950, consistente com tendências similares em outros países do Sudeste da América do Sul. No sudeste o total anual de precipitação parece não ter sofrido modificação perceptível nos últimos 50 anos.

A Figura 3 apresenta as tendências lineares de chuva anual no período de 1951-2002. Observam-se as tendências positivas de até +120 mm/década na maior parte do Sul e Sudeste do Brasil, assim como alguns postos pluviométricos com tendências negativas no Amazonas, Bahia, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Com respeito aos valores sazonais de precipitação, a tendência de aumento de chuva no sul do Brasil é consistente durante todo o ano, ainda que esta tendência seja mais acentuada nos meses de inverno, chegando até +40 mm/década e, em segundo lugar, durante o verão.

Para o Nordeste, as chuvas não apresentam tendências significativas de aumento ou redução, e, na Amazônia, as tendências também não são muito claras a nível regional. O que pode se afirmar é que estas regiões experimentam variações interdecadais, com períodos de aproximadamente 25-30 anos, alternando épocas mais ou menos chuvosas. Isto pode ser explicado pela variabilidade natural do clima na forma de variações decadais no Oceano Pacífico e do Atlântico tropical.

O Brasil é o 4º país no ranking dos que mais liberam gases causadores do efeito estufa devido às alterações dos usos da terra (desmatamento e queimadas), que respondem por 75% das emissões brasileiras. Além disso, mais de 600 mil km² de área de floresta tropical já foram desmatadas. Porém, estas alterações parecem ainda não ter afetado o regime de chuva na região, nem reduzido ou aumentado gradativamente os valores anuais e sazonais de chuva no longo prazo.

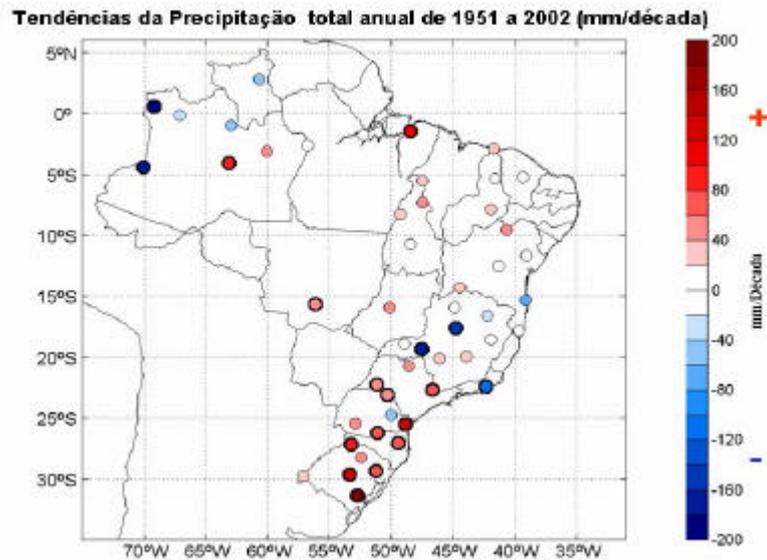


Figura 3. Tendências da chuva anual de 1951-2002 para o Brasil, em mm/década. Escala de cor aparece na parte direita de cada painel. (Relatório 2-Obregón e Marengo 2007).

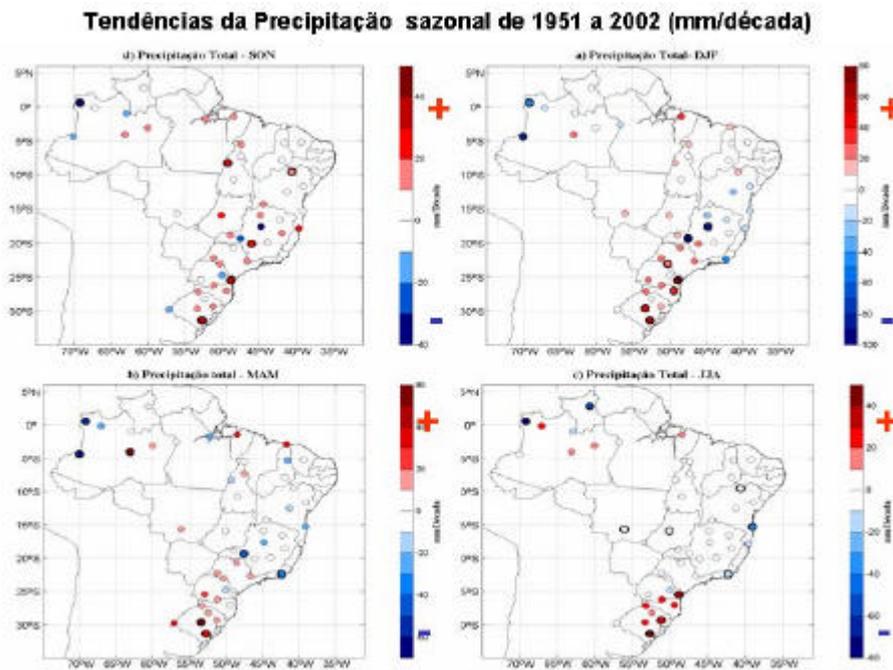


Figura 4. Tendências da chuva sazonal de 1951-2002 para o Brasil, em mm/década. Escala de cor aparece na parte direita de cada painel (Relatório 2-Obregón e Marengo 2007).

3. Em relação às vazões dos rios, as tendências observadas refletem bem as tendências na precipitação, com uma clara tendência de aumento nas vazões do Rio Paraná e outros rios no Sudeste da América do Sul. Na Amazônia, Pantanal e Nordeste não foram observadas tendências sistemáticas no longo prazo em direção a condições mais secas ou chuvosas, sendo mais importantes as variações interanuais e interdecadais, associadas à variabilidade natural de clima na mesma escala temporal de variabilidade de fenômenos interdecadais dos oceanos Pacífico e Atlântico tropical.

As análises de vazões de rios na América do Sul e no Brasil (Relatório 1-Marengo 2007) apontam para aumentos entre 2-30% na bacia do Rio Paraná e nas regiões vizinhas no Sudeste da América do Sul, consistente com as análises de tendência de chuva na região. Não foram observadas tendências importantes nas vazões dos rios da Amazônia e da bacia do rio São Francisco. Na costa oeste do Peru, as tendências positivas podem ser explicadas pelos valores extremamente altos de chuvas e vazões durante os anos de El Niño de 1972, 1983, 1986 e 1998 que afetam sensivelmente as tendências. Algumas das vazões no Brasil (Amazônia, Sul do Brasil, Norte do Nordeste) apresentam altas correlações com os campos de anomalias de temperatura de superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical, o que sugere uma possível associação entre vazões extremas e El Niño ou um aquecimento no Atlântico Norte Tropical, como foi o caso, por exemplo, de 1998 com reduções nas vazões em Manaus e Óbidos e nos níveis baixos do Rio Solimões durante a recente seca de 2005.

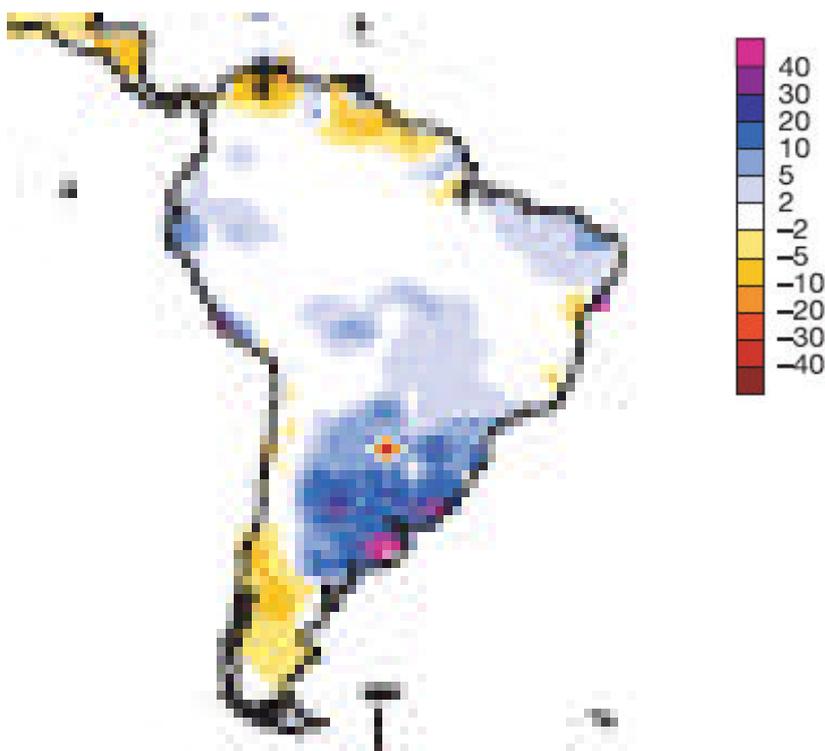


Figura 5. Mudança relativa de vazões durante o Século XX na América do Sul. Valores são em porcentagem (%) para o período 1971-98 em relação ao 1900-70. Escala de cor aparece na direita (Relatório 1-Marengo 2007).

4. Sobre eventos extremos, têm-se observado tendências positivas na freqüência de noites e dias quentes e tendências negativas na freqüência de noites e dias frios, consistentes com um cenário de aquecimento global. Para o Sudeste da América do Sul tem-se observado um aumento na intensidade de episódios e freqüência de dias com chuva intensa no período 1961-2000, ou seja, as chuvas estão se tornando cada vez mais violentas, isso apesar de o total anual precipitado não ter sofrido modificação perceptível, alguns estudos têm mostrado relação de extremos de chuva no Sudeste e Sul do Brasil à freqüência / intensidade com padrões de circulação como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ou o Jato de Baixos Níveis da América do Sul (SALLJ). A maior disponibilidade de dados permite análises para o Sudeste da América do Sul, enquanto que a ausência de dados diários de longo prazo na região tropical não permite uma análise mais abrangente dos extremos nesta parte do continente.

O Relatório 1 (Marengo 2007) mostra tendências positivas de noites quentes no Sudeste do Brasil, que vão de 5% na década de 1950 até quase 35% no início do Século XXI. Por outro lado, a tendência de dias frios tem

apresentado frequência de 25-30% na década de 1970, chegando até 5-10% em 2001-2002. Isto é consistente com tendências positivas de grande magnitude nas temperaturas mínimas e em menor grau das temperaturas máximas no Brasil, como já destacado no item anterior.

Os dados das estações mostram uma tendência de aumento dos episódios de chuva intensa definidos pelo índice R10 (número de dias com mais de 10 mm) e pelo índice de extremos de chuva intensa definido pelo índice R95t (fração total de precipitação devido a eventos de chuva acima do percentil de 95th) em grande parte do Sudeste da América do Sul, Centro de Argentina e até o Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. No Brasil, as tendências positivas de extremos de chuva aparecem mais intensamente nos estados de SP, PR, RS, enquanto que a falta de dados de chuva não permite estender a análise para MG e BA (Fig.6). Vários estudos já identificaram tendências positivas no número de dias com chuva intensa e chuva muito intensa concentrada em curto tempo, e na quantidade de chuva concentrada em eventos chuvosos que são indicadores de chuvas que produzem enchentes durante 1961-2000.

Estas tendências sugerem aumento e intensidade na frequência e intensidade de eventos de chuva no Sudeste da América do Sul, enquanto que a ausência de dados na região tropical não permite uma análise mais abrangente dos extremos nesta parte do continente. Tendências positivas na chuva máxima acumulada em 5 dias têm sido observadas nas latitudes mais austrais do que de 20 S na América do Sul durante a primavera, verão e outono, enquanto que algumas áreas do norte da Argentina apresentam tendências negativas durante o inverno.

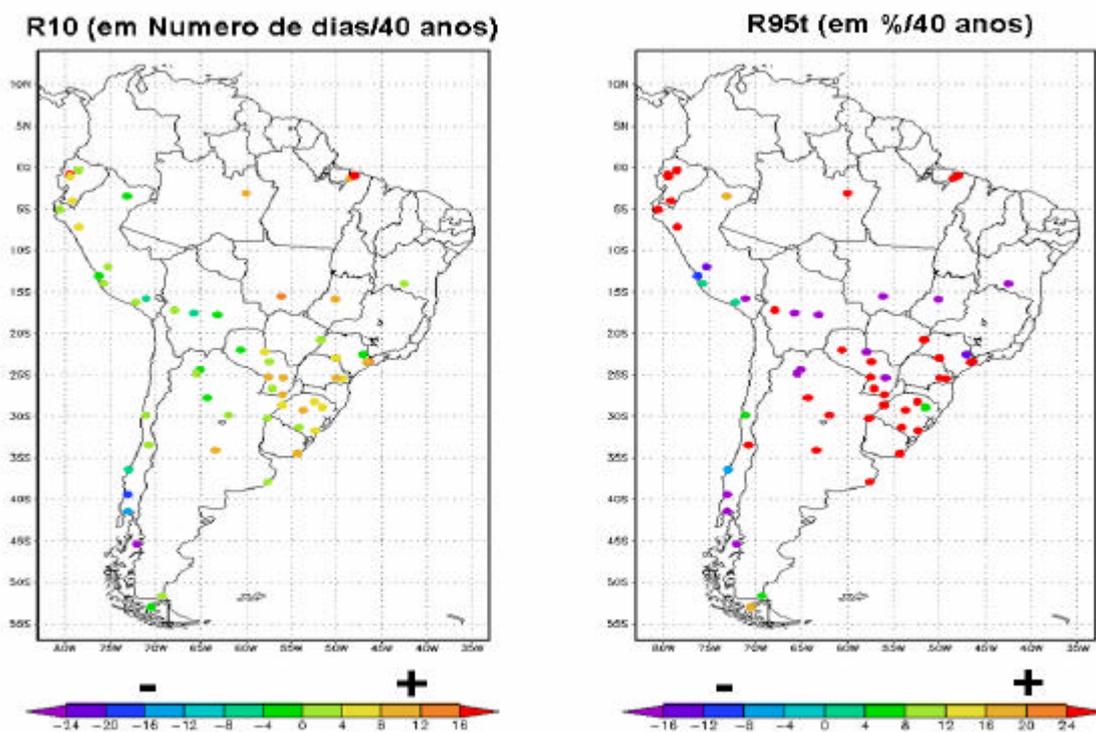


Figura 6. Tendência de episódios de chuva intensa definidos pelo índice R10 (número de dias com mais de 10 mm) e pelo índice de extremos de chuva intensa definido pelo índice R95t (fração total de precipitação devido a eventos de chuva acima do percentil de 95th), para o período de 1961-2000. Escala de cores aparece na parte inferior do mapa.

5. “Catarina”, o primeiro furacão do Atlântico Sul?

No que concerne a eventos extremos totalmente atípicos, o destaque dos últimos anos foi indiscutivelmente o furacão “Catarina”, possivelmente o primeiro furacão do Atlântico Sul, que pegou de surpresa moradores do sul do país em março de 2004. Para o Atlântico Sul não existem estatísticas confiáveis sobre esses fenômenos extremos que cubram um longo período de séculos, além do período de observações por satélites, que poderiam detectar outros fenômenos similares. Portanto, não se pode afirmar com absoluta certeza que o furacão Catarina foi o primeiro evento desse gênero no Atlântico Sul, mas certamente nada comparável aconteceu nos últimos 50 anos e não há registros na história brasileira de fenômeno tão intenso na costa sul do Brasil.

6. Tem-se observado algum impacto da variabilidade interanual associada ao El Niño nos recifes de corais na costa do Brasil, mas não se têm evidências de que o aquecimento global já tenha afetado os corais. Trata-se do ecossistema marinho de maior biodiversidade, de grande importância para a pesca, a proteção do litoral, o controle da erosão e o turismo.

O branqueamento dos corais acontece quando as algas são expelidas em resposta ao estresse causado principalmente por poluição, sedimentação ou ciclos de aquecimento natural. Considerando que os mares tropicais são pobres em nutrientes e que os ambientes coralinos são altamente produtivos, beneficiando muitas espécies residentes e visitantes, o branqueamento é uma ameaça à saúde deste ecossistema.

Estudos de correlação entre aquecimento global e branqueamento de corais têm sido pouco desenvolvidos no Brasil. Algumas experiências mostram certo impacto da variabilidade interanual nos corais, mas nada específico a mudanças de clima. Segundo o Centro de Biologia Marina da Universidade de São Paulo CEBIMAR - USP, antes de 1980, todos os casos de branqueamento conhecidos eram de extensão geograficamente limitada e causados por estresses claramente locais, geralmente em áreas de circulação restrita ou em recifes atingidos por furacões. Eventos climáticos de larga escala, como El Niño e o aquecimento do Oceano Atlântico têm se tornado mais freqüentes e intensos desde meados da década de 1970. Provavelmente o primeiro evento de ocorrência praticamente cosmopolita ocorreu em 1980, afetando todo o Caribe e regiões vizinhas, e grandes áreas do Pacífico. Os primeiros casos de branqueamento eram relacionados a causas não térmicas, como tempestades, exposições aéreas durante marés muito baixas e aumento populacional de *Acanthaster* (estrela do ar do pacífico predadora de corais, conhecida como coroa - de - cristo).

A partir da década de 1980, as causas mais comuns dos branqueamentos passaram a ser o aumento da temperatura da água, principalmente devido às altas incidências do efeito El Niño neste período. Eventos de grande amplitude ocorreram em 1982/83, 1987/88, e 1993/94;

outros um pouco menores, em 1981, 1986, 1989, 1990. No Brasil, o fenômeno só foi registrado no verão de 1994 (São Paulo, Rio de Janeiro, Bahia e Pernambuco) e observado novamente no início de 1996 (São Sebastião), afetando principalmente o coral *Mussismilia hispida* e o zoantídeo *Palythoa caribaeorum*.

7. Nos últimos 50 anos foi observada uma tendência na costa brasileira de um aumento do nível relativo do mar, na ordem de 40cm/século, ou 4mm/ano.

Cidades litorâneas e 25% da população brasileira, cerca de 42 milhões de pessoas, que vivem na zona costeira. O IPCC-TAR (IPCC, 2001) sugere que em nível global, o nível médio do mar pode aumentar entre 30cm e 80cm nos próximos 50 a 80 anos.

Nos últimos 50 anos foi observada uma tendência na costa brasileira de um aumento do nível relativo do mar, na ordem de 40cm/século, ou 4mm/ano (Mesquita, 2005). Variações do nível relativo do mar podem ocorrer também por causa da expansão térmica, provocada pelo aquecimento global, e pelas marés meteorológicas, ocasionadas pelo aumento da intensidade dos ventos. Elas podem provocar um “empilhamento” de até 20 cm de água na costa do Rio de Janeiro e calçadões, casas e bares, construídos à beira mar, poderão ser destruídos pelas ondas ou pelo aumento de até quase meio metro do nível médio do mar. Nas cinco principais metrópoles à beira-mar – Fortaleza, Recife, Salvador, Rio de Janeiro e Belém – residem mais de 22 milhões de pessoas.

No Brasil, as áreas mais suscetíveis à erosão estão na região Nordeste, pela falta de rios capazes de abastecer o mar com sedimentos. Em Pernambuco, um dos estados mais afetados, cerca de seis em cada dez praias dos 187km de costa cedem terreno para o mar. Uma elevação de 50cm no nível do Atlântico poderia consumir 100m de praia no Norte e no Nordeste. Em Recife, por exemplo, a linha costeira retrocedeu 80m entre 1915 e 1950 e mais de 25m entre 1985 e 1995. A cidade do Rio de Janeiro é considerada uma das cidades brasileiras mais vulneráveis à elevação do nível do mar (NAE 2005 a).

Estudos recentes da Divisão de Sensoriamento Remoto do INPE, utilizando imagens do satélite Landsat, fizeram uma simulação da enchente

que ocorreria na Ilha de Marajó com um aumento de poucos metros no nível do mar. Com 2 metros de elevação, 28% de seu território desaparecerá no oceano. Caso o aumento chegue a 6 metros, 36% da ilha pode ser inundada. A Ilha de Marajó tem altitude muito baixa de modo geral, sobretudo na costa leste, que apresenta numerosos paleocanais com amplitude muito pequena, entre 2 e 4 metros.

Capítulo 2 - O Clima do Futuro

A presente seção documenta as projeções de cenários futuros de clima baseados no downscaling do modelo HadAM3P do Hadley Centre de UK e dos modelos regionais de clima desenvolvidos no CPTEC/INPE e IAG/USP. As projeções feitas para a segunda metade do Século XXI (período 2071-2100) consideram os cenários extremos de altas emissões (A2) e de baixas emissões (B2), que foram usadas para o IPCC TAR. Somente as análises de extremos de clima usam as projeções geradas que fazem parte do IPCC AR4.

1. As projeções de aumento da temperatura média no ar à superfície para o Brasil indicam que os valores podem chegar até 4°C acima da média climatológica (1961-90) para 2100, dependendo no cenário de emissão de gases de efeito estufa e dos modelos climáticos globais dos IPCC TAR. Os aumentos de temperatura projetados apresentam considerável variação regional. Por exemplo, na Amazônia o aquecimento pode chegar até 8 °C no cenário mais pessimista.

A temperatura média do ar para o Brasil, em 2100, pode aumentar até 28,9 °C para o cenário de altas emissões A2 e até 26,3 °C para o cenário de baixas emissões B2, considerando a média de 1961-90 de 25,0 °C. Isso corresponderia a um aquecimento de 3,8 °C para o cenário de altas emissões e de 1,3 °C para o cenário de baixas emissões (Fig. 7), com base em uma média de 6 modelos climáticos globais do IPCC TAR. Aspectos regionais são discutidos no Relatório 1 (Marengo 2007).

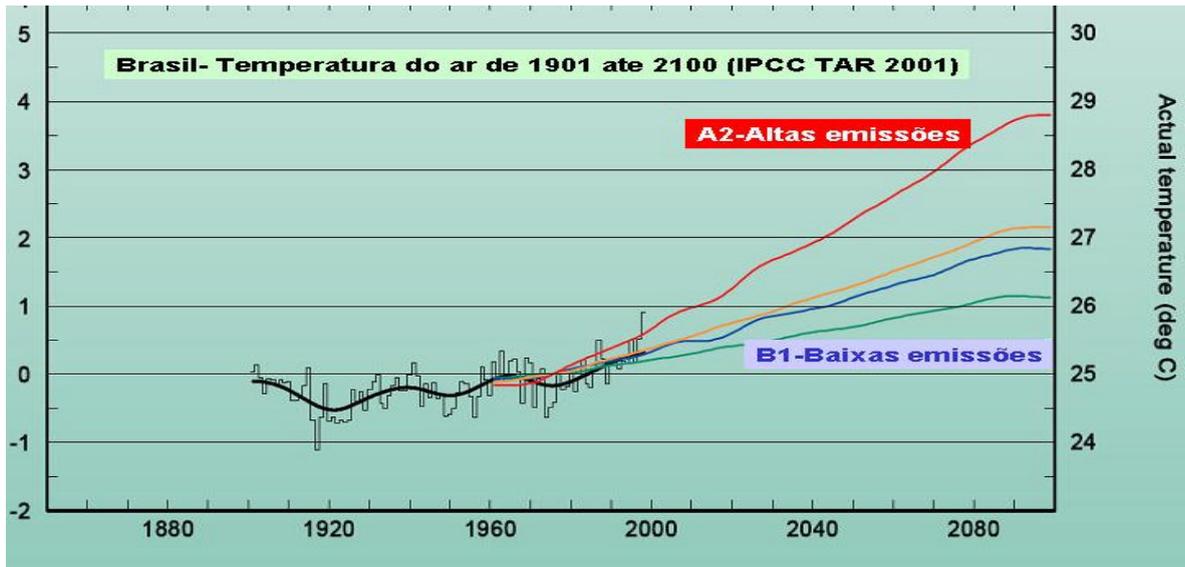


Figura 7. Projeções de temperatura média anual para o Brasil para vários cenários de emissões e tomando a média de seis modelos climáticos globais. A linha preta representa observações, e as linhas coloridas representam médias móveis (11 anos) para os diferentes cenários, em relação à média de 1961-90. (Fonte: Hulme e Sheard 1999).

2. As projeções de mudança nos regimes e distribuição de chuva, derivadas dos modelos globais de IPCC TAR e AR4, para climas mais quentes no futuro não são conclusivas, e as incertezas ainda são grandes, pois dependem dos modelos e das regiões consideradas. Na Amazônia e Nordeste, ainda que alguns modelos climáticos globais apresentem reduções drásticas de precipitações, outros modelos apresentam aumento. A média de todos os modelos, por outro lado, é indicativa de maior probabilidade de redução de chuva nestas regiões como consequência do aquecimento global. Sul, Sudeste e Centro-Oeste não mostram mudanças perceptíveis, ou certo aumento até finais do século XX, mas as chuvas poderiam ser mais intensas.

Em latitudes baixas, as projeções indicam aumentos e diminuições na chuva regional continental, e deve-se levar em conta a alta variabilidade natural do clima (interanual e interdecadal), como é no caso da Amazônia e Nordeste. A Figura 7 mostra reduções de chuva no Norte e Nordeste do Brasil, consistente com a maioria dos modelos globais do IPCC TAR, sendo a redução de chuva mais intensa no cenário pessimista A2.

Em latitudes mais altas, a região da bacia do Prata apresenta projeções de possíveis aumentos na chuva e vazões até a segunda metade do Século XXI. Isto sugere que para esta região o futuro apresentaria uma continuidade da variabilidade de chuvas e vazões observadas durante os últimos 50 anos, o que talvez indique maior confiança nestas projeções para esta região.

3. Existem incertezas nas tendências observadas da variabilidade de extremos de clima no Brasil, excetuando talvez a região Sul, devido fundamentalmente à falta de informação confiável de longo prazo ou ao acesso restrito a este tipo de informação para grandes regiões, como por exemplo, Amazônia e Pantanal. As projeções de extremos para a segunda metade do Século XXI mostram, em geral, aumentos nos extremos de temperatura, como noites mais quentes, ondas de calor, e nos indicadores de eventos extremos de chuva.

Considerando a análise dos modelos globais do IPCC AR4 apresentados na Figura 8, para o presente e para o futuro, e no contexto das análises observacionais já detalhadas no Relatório 5 (Marengo et al. 2007), os modelos de IPCC AR4 mostram, para o futuro, tendências positivas no índice de noites quentes em todo o continente, o que já tem sido observado nos últimos 40 ou 50 anos para algumas regiões de América do Sul e do Brasil, e constituindo uma continuidade das tendências observadas no presente, ainda que mais intensas. No caso da chuva intensa no presente, as tendências do índice R10 são positivas na Bacia do Prata e Nordeste, e negativas no sul do Nordeste e Norte da Amazônia. Para o futuro, a bacia do Prata ainda apresenta tendências positivas, enquanto que para as regiões tropicais se detecta tendências positivas na Amazônia e negativas no nordeste e Sudeste do Brasil, contrastando com as tendências detectadas no presente. As observações mostram que para o Sudeste da América do Sul os modelos para o clima do presente simulam bem as tendências observadas de aumento de chuvas intensas, representadas pelo índice R10, e então as tendências futuras têm um alto grau de certeza para esta região da América do Sul ao sul de 20 S. Porém para a região tropical, a falta de observações não permite validar as tendências simuladas pelos modelos no clima do presente para o índice R10, assim para a

região tropical as incertezas nas projeções de extremos de chuva ainda são altas.

As projeções futuras de extremos de temperatura e chuva no continente são consistentes, como poderia ser esperado num clima mais quente, devido ao aumento na concentração de gases de efeito estufa até 2100.

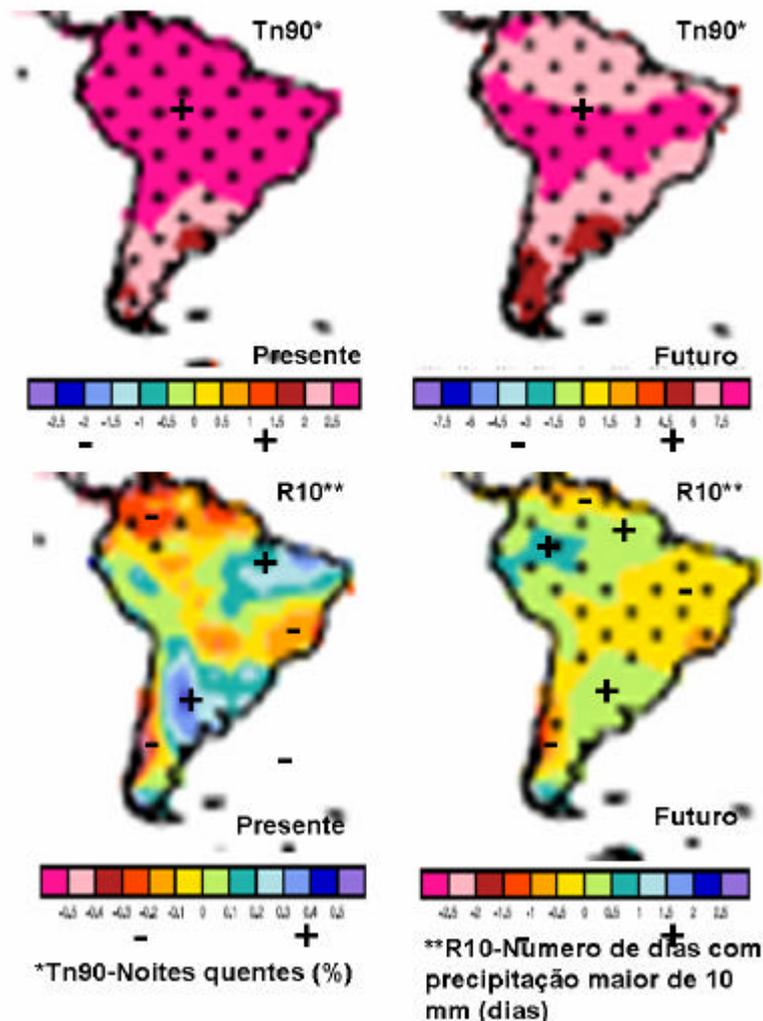


Figura 8. Médias dos nove modelos de IPCC AR4 usados por C. Tebaldi para definir tendências de extremos climáticos na América do Sul. O cenário usado é A1B para o futuro 2080-2099 em relação ao clima do presente 1980-1999 (direita) e para o presente 1980-99 em relação a 1900-1919 para as rodadas do 20C3m (clima do presente). Os valores apresentados em cada ponto de grade têm sido standardizados e depois a média dos modelos foi calculada. Regiões com pontos pretos correspondem a áreas onde ao menos cinco dos nove modelos apresentam o mesmo sinal da tendência estatisticamente significativa. As escalas de cor aparecem na parte inferior de cada mapa. Os índices usados são Tn90 (painel superior) e R10 (Painel inferior). Fonte: Relatório 5, Marengo et al. 2007.

4. Projeções climáticas para a segunda metade do Século XXI, para os cenários extremos de emissão de IPCC A2 e B2 fornecem mais detalhes sobre a distribuição e intensidade nas mudanças da temperatura e precipitação no Brasil e América do Sul. As incertezas ainda são grandes, pois, a diferença com as análises dos modelos globais de IPCC TAR e AR4, foi usado somente um modelo global e três modelos regionais para o downscaling dos cenários climáticos futuros.

Regionalmente, todos os modelos climáticos globais apresentam aquecimento, com as taxas de aquecimento que podem variar entre os modelos. Por exemplo, na Amazônia o modelo HAdCM3 (do Hadley Centre) projeta para o cenário A2 um aquecimento que chega a 8°C em 2100, ao passo que para o mesmo cenário o aquecimento chega a 3°C para o modelo GFDL (do Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, EUA). A Tabela 1 apresenta a média das taxas de aquecimento em 2100 dos 6 modelos do IPCC TAR para cada região do país considerada no estudo.

Tabela 1. Aumento de temperatura do ar (°C) em 2100 representado pela média de 6 modelos climáticos globais do IPCC TAR para dois cenários de emissões (A2-pessimista e B2-otimista) e para cada região do país considerada no estudo.

Região	A2	B2
Amazônia	+5,3	+3,0
Nordeste	+4,0	+2,2
Pantanal	+4,6	+3,4
Sul-Bacia do Prata	+3,5	+2,3

As projeções derivadas dos modelos regionais (Relatório 3) podem apresentar um viés associado ao fato de que simulações do modelo climático global do Hadley Centre foram utilizadas como condição de contorno para as integrações com os modelos regionais, sendo que este modelo climático global é aquele que projeta climas mais secos e quentes para a Amazônia e Nordeste em comparação com maioria dos demais modelos do IPCC.

As projeções médias para o período 2071-2100 para Amazônia variam de 4-8 °C para o cenário de altas emissões (pessimista) A2 e 3-5 °C para o cenário de baixas emissões (otimista) B2, com grande variação espacial (Figura 9). Para o Nordeste, o aquecimento pode chegar a 4 °C no cenário

pessimista A2 e a 2-3 °C no cenário otimista B2. No cenário A2 o aquecimento no centro oeste e sudeste podem chegar a 4-6 °C enquanto que o cenário B2 apresenta valores até 2-3 °C. No sul, o cenário A2 sugere aquecimento da ordem de 3-4 °C no cenário A2 e até 2-3 °C no cenário B2. Ainda que o aquecimento seja maior na região tropical da América do Sul para os vários modelos regionais utilizados, as projeções destes modelos diferem sobre onde se dá o maior aquecimento (acima de 8°C): na Amazônia oriental ou na Amazônia ocidental, depende do modelo regional utilizado. As projeções de aquecimento no Brasil são consistentes entre os diferentes modelos do IPCC TAR e AR4. Porém, as incertezas são maiores em relação à chuva, especialmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste.

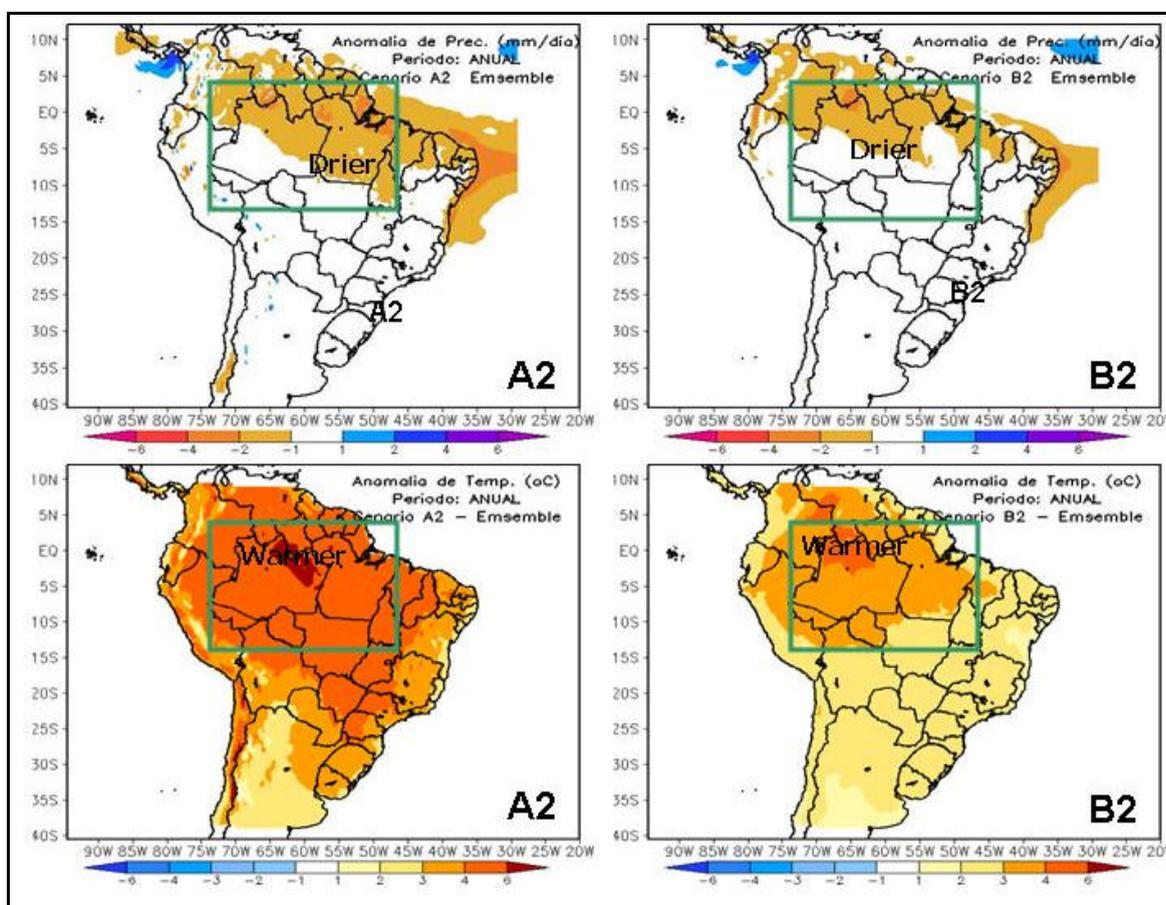


Figura 9. Anomalias anuais de chuva (painel superior, em mm/dia) e temperatura (painel inferior, em °C) para América do Sul, período 2071-2100 em relação a 1961-90, para os cenários IPCC A2 (pessimista) e IPCC B2 (Otimista). As projeções representam a média aritmética dos cenários produzidos pelos modelos regionais Eta / CPTEC, RegCM3 e HadRM3P (50 km de resolução). Fonte: Relatório 4 - Ambrizzi et al. (2007).

Na escala continental, em relação à precipitação, a região que apresenta maior confiança nas projeções de clima futuro para 2071-2100 é a Nordeste, especialmente durante MAM, que é o pico da estação chuvosa no Norte e Nordeste. Pode-se projetar assim que, com média a alta confiança, estes cenários sugerem que, no futuro, a estação chuvosa nesta região poderá apresentar chuvas mais fracas. Já para a região Norte, a confiança é média e mostra reduções de chuva a nível anual e sazonal, especialmente para DJF e MAM. Nas outras regiões o sinal de mudanças é mais fraco e com tendências opostas entre os modelos, e com baixo nível de confiança. As mudanças de sinal tendem a serem mais intensas no cenário A2. A outra área de anomalias positivas de chuva no clima do futuro, especialmente durante DJF, é a costa norte do Peru - Equador, onde todos os modelos regionais apresentam aumento da chuva.

5. Em relação ao fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS), as projeções climáticas mostram poucas evidências de mudanças na amplitude do fenômeno nos próximos 100 anos. Porém, há possibilidades de uma intensificação dos extremos de secas e enchentes que ocorrem durante eventos quentes de El Niño.

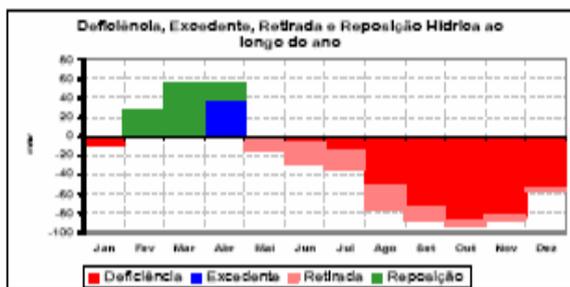
Aumento na concentração de GEE resulta num aumento nas TSM globalmente, e no Pacífico Tropical alguns modelos climáticos globais sugerem um padrão de aquecimento que pode ser similar ao de um típico El Niño, ou seja, aquecimento no Pacífico Oriental maior que no Pacífico Ocidental. Porém, a pergunta relevante é: quais seriam as projeções de mudanças na amplitude, frequência, intensidade e padrão espacial dos El Niños e La Niñas no futuro? As projeções dos diferentes modelos indicam que a atividade de El Niño é intensa para alguns, enquanto outros modelos projetam atividade mais fraca. As incertezas são derivadas do fato de que os modelos climáticos globais (que são modelos acoplados oceano-atmosfera) ainda não conseguem simular corretamente o fenômeno ENOS para o clima do presente, tornando de pouca confiabilidade suas projeções do fenômeno para o clima do futuro.

6. Estudos utilizando simulações do balanço hídrico para as regiões do Brasil, considerando as projeções de temperatura e chuva dos cenários futuros de clima gerados pelo projeto, sugerem no cenário de maiores emissões, uma tendência de extensão da deficiência hídrica por praticamente todo o ano para o Nordeste, a qual, no presente, acontece durante os meses de estiagem, isto é, tendência a “aridização” da região semi-árida até final do Século XXI. Para a Amazônia, o período de excesso de água observado no clima atual, durante a estação chuvosa, pode reduzir significativamente em climas futuros mais quentes, associados a um aumento de temperatura e de evaporação e uma redução das chuvas.

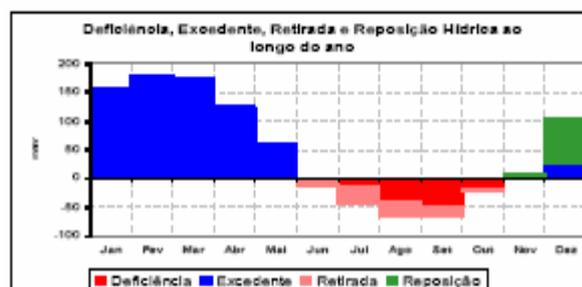
Os balanços hídricos realizados para o presente (Figura 10) mostram para o Nordeste que o período chuvoso e de recarga de umidade é entre Fevereiro a Abril e depois o período de retirada de água e deficiência durante a estação seca que vai de julho até antes da pré-estação chuvosa em Janeiro. Para o futuro (2071-2100) o modelo HadCM3 mostra que para o cenário A2 que até 2100 o excesso seria nulo, sugerindo que o Nordeste viraria de semi-árido no presente para árido até finais do Século XXI. O balanço hídrico realizado com as médias dos vabres dos modelos HadCM3, GFDL, CCCMa, CSIRO e NIES não é assim de extremo como o HadCm3, sugerindo que a estação chuvosa seria mais fraca e os déficits de umidade no solo seriam maiores no futuro.

Para a Amazônia, o clima do presente mostra um grande período de excedente que vai de dezembro até maio, e deficiência na estação seca de julho a outubro. Para o futuro, o cenário A2 de 2071-2100 do HAdCM3 mostra uma redução do período de excedente de 6 para 3 meses no presente, com um alongamento da estação de consumo e deficiência de água. A média dos 5 modelos mostra que o consumo e deficiência de água na estação seca é um pouco maior que no clima do presente devido a uma redução das chuvas durante a estação chuvosa, sendo o período de excesso de 5 meses. Assim, a Figura 10 mostra que as mudanças no balanço hídrico no futuro podem depender da escolha do modelo, sendo o HAdCM3 extremo demais, e talvez seria estatisticamente mais consistente usar a média ou ensemble de vários modelos. Observam-se reduções de excesso e aumento no consumo nas duas

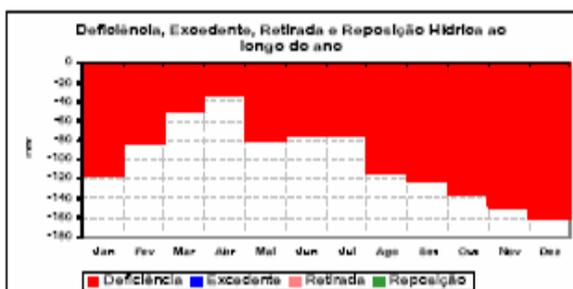
regiões, devido a reduções na chuva e aumentos na temperatura do ar, que determinam aumentos na taxa de evapotranspiração.



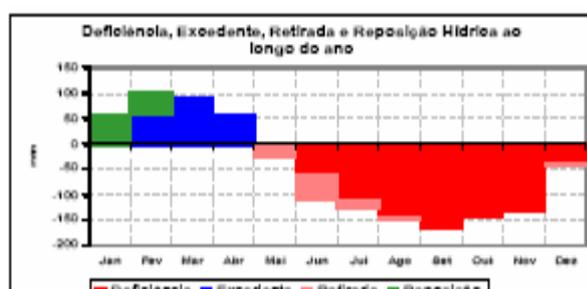
Balanço Hídrico-Nordeste-1961-90 (Observado)



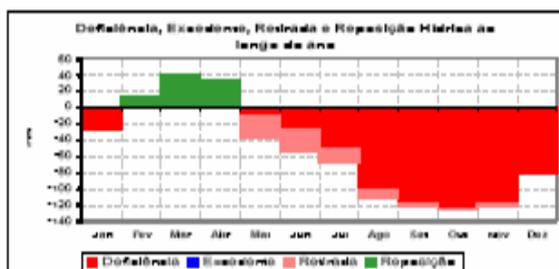
Balanço Hídrico-Amazônia-1961-90(Observado)



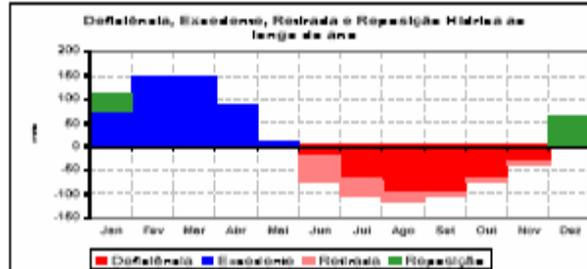
Balanço Hídrico-Nordeste-2071-2100 (HadCM3)



Balanço Hídrico-Amazônia-2071-2100 (HadCM3)



Balanço Hídrico-Nordeste-2071-2100 (Ensemble)



Balanço Hídrico-Amazônia-2071-2100(Ensemble)

Figura 10. Balanço Hídrico para o Nordeste (esquerda) e Amazônia (direita) para o presente 1961-90 (observado, painel superior), e para 2071-2100 simulados pelo modelo HadCM3 (Painel médio) e da média de 5 modelos de IPCC TAR (Painel inferior). Fonte: Relatório 4, Salati 2007.

7. Existem incertezas na possibilidade de ter mais furacões como Catarina no Atlântico Sul devido ao aquecimento global

Este fenômeno gerou muitas indagações sobre suas causas, e não está excluída a possibilidade de estar relacionado ao aquecimento global, não diretamente associado ao aquecimento das águas do Oceano Atlântico Sul, pois estas não estavam particularmente muito quentes durante a ocorrência do Catarina, mas a possíveis sutis modificações na circulação atmosférica sobre a América do Sul e o Oceano Atlântico adjacente, ensejando um longo período

de ventos com pouquíssimo cisalhamento vertical, condição necessária para formação de furacões. Na verdade, ainda existe incerteza nos meios científicos sobre as possíveis conseqüências das mudanças climáticas associadas ao aquecimento global no aumento na freqüência e na intensidade de furacões. Projeções climáticas dos modelos Hadley Centre do Reino Unido (Figura 11) e do Earth Simulator do Japão têm indicado condições mais favoráveis para desenvolvimento de furacões no Atlântico Sul em cenários de aquecimento global mais pessimistas, porém as incertezas são ainda muito grandes, pois estes modelos também apresentam condições favoráveis para desenvolvimento de furacões, no Atlântico Sul, no clima do presente.

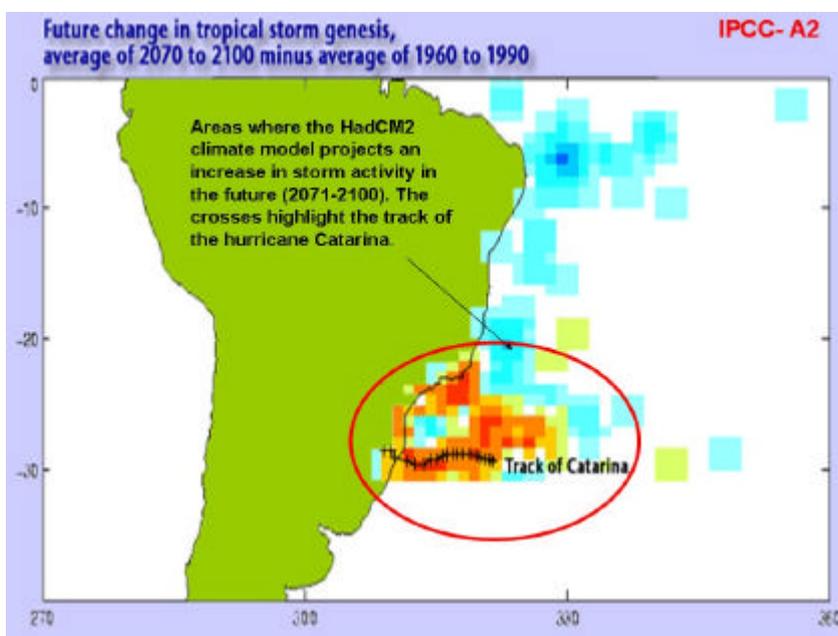


Figura 11. Projeções climáticas para o futuro (2071-2100) do modelo HadCM2 do Hadley Centre do Reino Unido mostrando áreas com condições mais favoráveis para desenvolvimento de furacões no Atlântico Sul, em cenários de aquecimento globais mais pessimistas A2. Fonte: Hadley Centre, UK.

8. No Brasil, poucos estudos foram feitos sobre o reflexo das mudanças climáticas e seus impactos na agricultura. Uma primeira tentativa de identificar o impacto das mudanças do clima na produção regional foi feita por Pinto et al (1989 e 2001 do CEPAGRI-Universidade da Camoinas, SP, onde foram simulados os efeitos das elevações das temperaturas e das chuvas no zoneamento do café para os Estados de São Paulo e Goiás. Observou-se uma drástica redução nas áreas com aptidão agroclimática, condenando a produção de café nestas regiões).

Procurando avaliar o efeito da variação das temperaturas sobre a agricultura nos próximos 100 anos, de acordo com as conclusões do IPCC (2001 a), Pinto e colaboradores tomaram como exemplo a cultura do café no estado de São Paulo. A Figura X mostra a variação nas áreas de cultivo consideradas como potencialmente aptas ao café arábica nas condições climáticas atuais, e com temperaturas médias 1°C , 3°C e $5,8^{\circ}\text{C}$ acima da média de 1990 e chuvas 15% maiores.

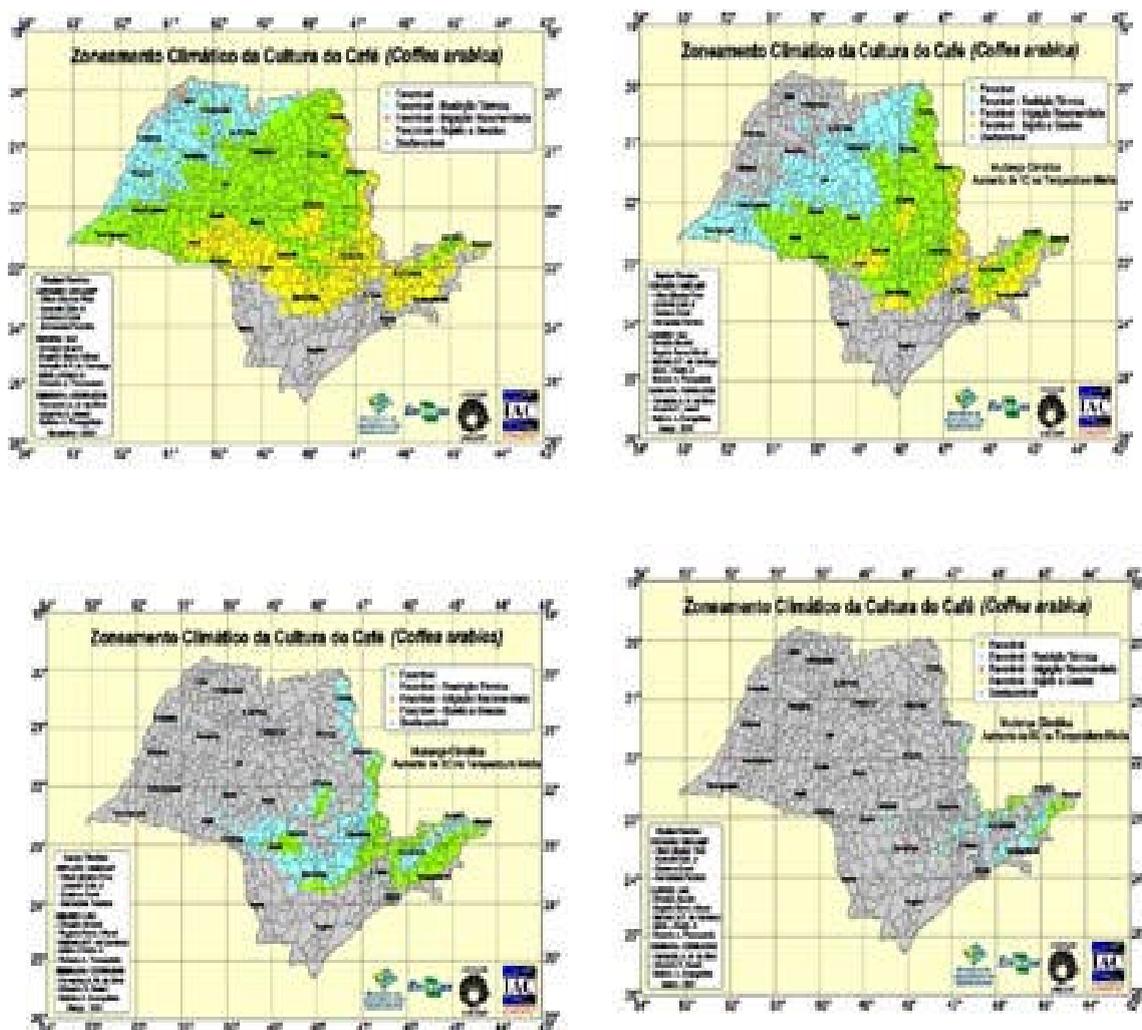


Figura 5. Mapas do potencial de cultivo do café arábica nas condições climáticas atuais e simuladas para alterações de chuvas com aumento de 15% e de temperaturas com 1°C , 3°C e $5,8^{\circ}\text{C}$ acima da média de 1990 (Fonte: H. S. Pinto, CPEGRAI-UNICAMP).

Pode-se observar nos mapas que as áreas de inaptidão para a cultura cafeeira em função das temperaturas máximas suportadas pelas plantas (23°C de média anual) aumentam significativamente até o final do século, deslocando

a cultura progressivamente para o Sul e para áreas mais elevadas, em busca de clima mais ameno. A incidência de geadas, por outro lado, diminui drasticamente.

A Tabela 2 abaixo, confeccionada a partir da Figura 5, mostra que o potencial atual de cultivo econômico de café arábica no estado de São Paulo corresponde a uma área de 97.848Km², ou seja, 39,4% da área do estado. São consideradas como restritas, por geadas, áreas correspondentes a 57.428 Km² e por temperaturas elevadas, 39.604 Km². Supondo 1° C de aumento médio da temperatura e 15% nas chuvas, a área apta para o café passa a ser de 74.426 Km², ou cerca de 10% menor do que a atual. A área restrita por geadas passa a ser de 17.394 Km² e por temperaturas elevadas aumenta para 54.387 Km². No caso de aumento de 3° C, as áreas com restrição diminuem para 38.240 Km², mas a faixa inapta cresce para 173.211 Km². No caso extremo considerado pelo IPCC, de 5,8° C de aumento da temperatura e 15% de chuvas, a área apta fica sendo de apenas 2.738 Km², ou 1,1% do estado. As áreas restritas temperaturas elevadas são caracterizadas por temperaturas médias anuais acima de 23° C.

Tabela 2. Áreas, em Km² e porcentagem, disponíveis ao plantio de café no estado de São Paulo com condições climáticas distintas, atuais e simuladas para 15% de aumento das chuvas e de 1° C, 3° C e 5,8° C na temperatura (Fonte: H. S. Pinto, CPEGRAI-UNICAMP).

CONDIÇÃO	APTO	APTO C/ IRRIGAÇÃO	RESTR.GEADAS	RESTR.TEMP. ELEVADA	INAPTA
ATUAL	97.84839,4	7060,3	57.42823,1	39.60415,9	53.01321,3
+1C	74.42630,0	4,00,01	17.3947,0	54.38721,9	102.38941,1
+3C	37.15314,9	00,0	00,0	38,24015,4	173.21169,7
+5,8C	2.7381,1	450,02	00,0	5.5162,2	240.30196,7

Capítulo 3 - Possíveis Impactos das Mudanças Climáticas no Brasil

As recentes mudanças climáticas, especialmente o aumento da temperatura, já estão afetando globalmente sistemas físicos (clima, recursos hídricos, nível do mar), biológicos (ecossistemas naturais, distribuição de espécies), assim com a sociedade (saúde humana, disponibilidade hídrica, transporte fluvial, desastres naturais). Existem indicadores preliminares de que alguns sistemas humanos já têm sido afetados por secas e enchentes. Os sistemas biológicos são vulneráveis a mudanças climáticas, e alguns serão prejudicados irreversivelmente.

Segundo um recente relatório da Agência Nacional de Águas (ANA, 2006), mais de 70% das cidades com população acima de 5.000 habitantes do semi-árido nordestino enfrentarão crise no abastecimento de água para consumo humano até 2025. Problemas de abastecimento deverão atingir cerca de 41 milhões de habitantes da região do semi-árido e entorno, prevêem pesquisadores da agência, que estimaram o crescimento da população e a demanda por água em cerca de 1.300 municípios, dos nove Estados do Nordeste e do norte de Minas Gerais.

De modo geral, os impactos das mudanças climáticas vão depender da área afetada e do cenário de emissões considerado, mas os impactos maiores seriam aqueles dos cenários mais pessimistas (ex. o cenário A2) em relação a cenários de mais baixas emissões (ex. cenário B2). Um sumário das projeções de mudanças de temperaturas e chuvas e os possíveis impactos esperados destas mudanças nas regiões de Brasil são mostrados na Figura 12. Por exemplo, na Amazônia poderá haver uma elevação de temperatura em até 8° C e redução no volume de chuva em 20% caso se confirme o cenário mais pessimista. No cenário mais otimista, a temperatura pode subir cerca de 5° C até 2100.

Os pesquisadores trabalham com dois cenários para as mudanças climáticas no Brasil, na segunda metade deste século. O primeiro foi chamado de A2 e é o mais pessimista. Ele prevê emissões maiores e uma elevação global de temperatura de 5,8 graus Celsius (esse valor varia de acordo com a região do mundo). O outro cenário chama-se B2 e é mais otimista, com emissões menores e uma elevação de 1,4 grau.

Norte

A2 Aumento de 4 a 8 graus Celsius, com redução de 15% a 20% do volume de chuvas e atrasos na estação chuvosa. Uma mudança assim afetaria a biodiversidade e deixaria o nível dos rios mais baixo. Mudanças na Amazônia influenciam o transporte de umidade para as regiões Sul e Sudeste, com consequências para a saúde e a geração de energia hidroelétrica.

B2 Elevação de 3 a 5 graus Celsius e redução de 5% a 15% nas chuvas. O impacto não é muito diferente daquele previsto pelo cenário A2.

Centro Oeste

A2 De 3 a 6 graus Celsius mais quente. Redução de biodiversidade do Pantanal e do Cerrado, e impacto na agricultura.

B2 De 2 a 4 graus mais quente. Redução de biodiversidade do Pantanal e do Cerrado, e impacto na agricultura.

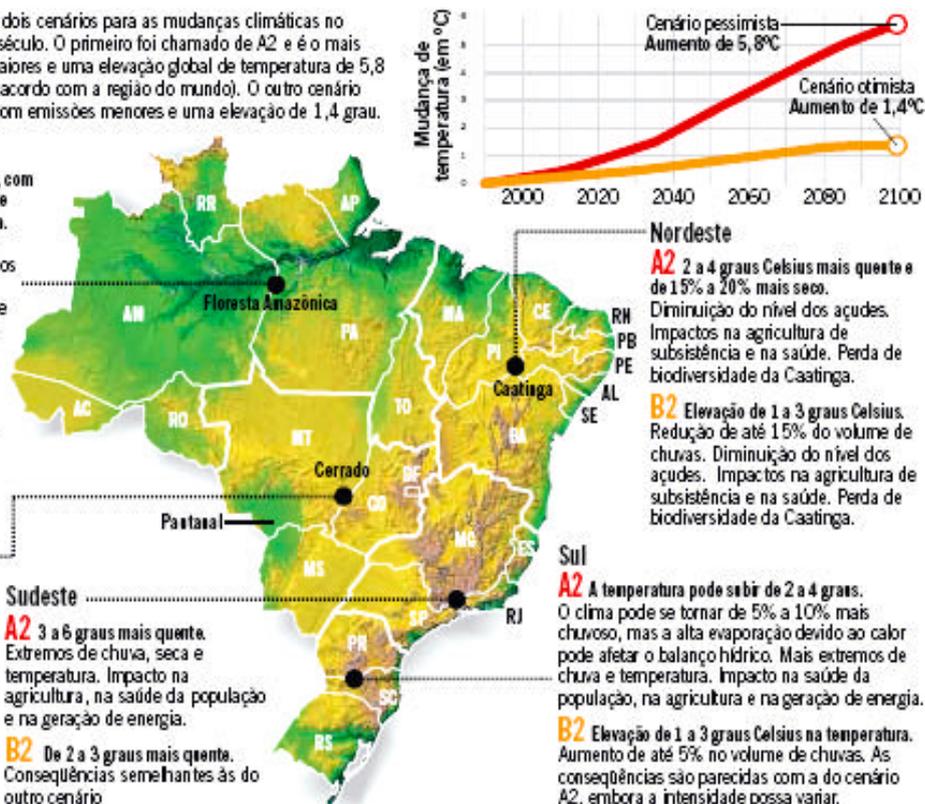


Figura 12. Projeções de mudanças de temperatura e chuva para o Brasil para o final do Século XXI, assim como impactos esperados. Os cenários considerados são A2 (altas emissões) e B2 (baixas emissões). O mapa foi elaborado pelo departamento de arte do jornal O Globo (28 de Novembro de 2006) com base nos resultados iniciais dos projetos PROBIO e GOF UK.

1. Com o aquecimento global, algumas regiões do Brasil e a América do Sul terão seus índices de temperatura e chuva aumentados, e em outras, diminuídos. Junto com a mudança ou não dos padrões anuais de chuva, mesmo onde não houver aumento ou diminuição do total anual de chuvas, as chuvas isoladas serão mais violentas e os temporais mais freqüentes. O consenso é maior em relação a extremos de temperatura, onde a tendência de aumento nas temperaturas diurnas e noturnas, mais intensamente no inverno.

2. No que concerne à população, aqueles com menos recursos e que têm menor capacidade de se adaptar são os mais vulneráveis. O estudo desenvolvido pelo Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República em 2005 (NAE 2005 a, b) sugere que o Nordeste é a região mais vulnerável a mudanças climáticas. O semi-árido Nordestino que apresenta

curta, porém, crucialmente importante estação chuvosa no clima do presente, poderia, num clima mais quente no futuro, transformar-se em região árida. Isto pode afetar a agricultura de subsistência regional, a disponibilidade de água e a saúde da população, obrigando as populações a migrarem, e gerando ondas de "refugiados do clima" para as grandes cidades da região ou para outras regiões, aumentando os problemas sociais já presentes nas grandes cidades.

3. A mudança climática poderá alterar a estrutura e funcionamento dos ecossistemas, com a conseqüente perda de biodiversidade e de recursos naturais, ainda mais quando se soma sinergicamente às mudanças climáticas os efeitos das alterações da cobertura de vegetação, especialmente os desmatamentos. Alterações das rotas migratórias e mudanças nos padrões reprodutivos são alguns desses efeitos. Teme-se que a capacidade de absorção de carbono das florestas tropicais, muito sensíveis à mudança climática, diminua com o tempo, e que estas deixem de funcionar como eliminadores de carbono e passem a ser fonte de emissão deste gás. No pior cenário, a Amazônia pode virar cerrado ate final do Século XXI devido ao aumento na concentração de gases de efeito estufa.

4. Os recifes de corais são especialmente vulneráveis às mudanças na temperatura da água - calcula-se que um aumento entre 3 e 4 graus causaria sua morte.

5. A mudança climática pode causar um aumento do risco de incidência de doenças como malária, dengue, febre amarela e encefalite, que teriam condições mais favoráveis para se expandir num planeta mais quente, em parte porque os insetos que as carregam (caso da malária e da dengue) teriam mais facilidade para se reproduzir. Esta também aumentará o risco de contrair salmonelose, cólera e outras doenças de transmissão por meio da água. Doenças respiratórias também poderiam ser mais comuns como conseqüência de um possível aumento na incidência de incêndios

na floresta e vegetação da Amazônia e cerrado, devido a redução de chuva numa atmosfera mais quente e mais seca.

6. Além disso, teme-se que milhares de pessoas morram anualmente como consequência das ondas de calor, especialmente os mais vulneráveis como crianças e idosos. A queda da produtividade agrária também agravará a desnutrição, que hoje em dia já afeta 800 milhões de pessoas globalmente.

7. Em todas as grandes cidades, o aquecimento também deve exacerbar o problema das ilhas de calor, no qual prédios e asfalto retêm muito mais radiação térmica que áreas não-urbanas.

8. Mudanças climáticas no Brasil ameaçam intensificar as dificuldades de acesso à água. A combinação das alterações do clima, na forma de falta de chuva ou pouca chuva acompanhada de altas temperaturas e altas taxas de evaporação, e com competição por recursos hídricos, pode levar a uma crise potencialmente catastrófica, sendo os mais vulneráveis os agricultores pobres, como os agricultores de subsistência na área do semi-árido do Nordeste (“polígono da seca”), região semi-árida de 940 mil km², que abrange nove Estados do Nordeste, e enfrenta um problema crônico de falta de água.

Conclusões gerais

As alterações climáticas afetarão os elementos básicos da vida das pessoas globalmente – acesso à água, produção de alimentos, saúde e ambiente. Centenas de milhões de pessoas poderão sofrer de fome, de falta de água e de inundações costeiras à medida que o planeta torna-se mais quente. Mesmo para um aquecimento mais moderado, todas as provas - desde os estudos detalhados dos modelos globais e regionais - demonstram que as alterações climáticas terão um impacto grave sobre a produção mundial de alimentos, a vida humana e o ambiente.

As provas científicas são presentemente esmagadoras: as alterações climáticas são uma grave ameaça global e regional, que exige respostas global, regional e nacional urgente. Já não é mais possível impedir as alterações climáticas que terão lugar nas próximas duas a três décadas, mas é possível proteger de certo modo nossa sociedade e economia dos seus impactos – por exemplo, prestando melhor informação, um planejamento aperfeiçoado e culturas agrícolas e infra-estruturas resistentes ao clima.

O Brasil é vulnerável a mudança climática. Em muitas regiões brasileiras o ano de 2007, por exemplo, iniciou com chuvas intensas e suas drásticas conseqüências: enchentes, deslizamentos, desmoronamentos, perdas agrícolas, etc. É essencial que as alterações climáticas sejam totalmente integradas nas políticas ambientais e de desenvolvimento de modo que ações do governo possam ajudar a enfrentar este problema, avaliando a vulnerabilidade regional e nacional e propondo medidas de adaptação. Os esforços de adaptação, particularmente nas regiões Norte e Nordeste deverão ser acelerados, e deverão envolver órgãos especializados dos governos federal, como INPE, INPA, EMBRAPA, ONS, ANA, ANEEL, PETROBRAS, FIOCRUZ entre outras, assim como universidades e organizações não governamentais. Ainda há tempo de evitar os piores impactos das alterações climáticas, se tomarmos desde já medidas rigorosas de mitigação e adaptação. A adaptação às alterações climáticas – ou seja, a tomada de medidas para desenvolver a resistência e minimizar os custos – é essencial.

Recomendações

O efeito estufa é um fenômeno natural: parte do calor da energia solar que atinge o planeta é aqui retida por gases que se acumulam na atmosfera, e parte desse calor é liberado para o espaço. Mas a concentração na atmosfera de alguns desses gases, especialmente o gás carbônico, aumentou muito no século 20, em virtude do intenso e crescente uso de combustíveis derivados do petróleo, gás e carvão; do desmatamento; do aumento de resíduos orgânicos nas cidades ou nas atividades agropecuárias; no uso de substâncias e gases em processos industriais e equipamentos. Tudo isto conduz a uma intensificação do efeito estufa, sendo isto a causa principal do aquecimento global, observados durante os últimos 100 anos. Esses gases (gás carbônico, metano, dióxido de enxofre, etc.) permanecem na atmosfera por várias décadas, o que significa que se as emissões fossem zeradas, o planeta continuaria se aquecendo e o clima continuaria tendo transformações por muito tempo ainda que numa taxa menor.

Para enfrentar o problema de aquecimento global e lidar com esses problemas, mais de 150 países assinaram a Convenção das Nações sobre Mudanças Climáticas em 1992, e o protocolo de Quioto em dezembro de 1997. O Protocolo de Quioto só entrou em vigor em fevereiro de 2005, ainda que não tenha sido ratificado pelos Estados Unidos da América e pela Austrália. No Brasil, dois grandes fatores contribuem com as causas: o desmatamento da Amazônia e Mata Atlântica e o aumento das queimadas como consequência, e o aumento no uso de combustíveis, especialmente derivados do petróleo ou carvão mineral.

Os acordos internacionais deixam claros que os países devem assumir alguns compromissos, que tentam promover o desenvolvimento sustentável, reduzindo e evitando o desmatamento; recuperando áreas degradadas; o uso de forma mais eficiente da energia disponível e ampliando o uso de energia renovável, como solar e eólica. Assim, é preciso que governos federal e local, as empresas, sociedades profissionais e os institutos de pesquisa estejam mais bem informados sobre o problema e especialmente sobre as soluções.

Baseados nos cenários climáticos do futuro gerados pelo nosso projeto, o governo poderia procurar formas de quantificar e mapear a vulnerabilidade do Brasil as mudanças de clima, tanto por região como por setor produtivo e optando por atividades e políticas ambientais e de desenvolvimento econômico que sejam compatíveis com as características geoambientais de cada região. Só assim será possível ter uma idéia dos impactos da mudança de clima e das possíveis ações para programar medidas de adaptação a médio e longo prazo.

Também, para entender melhor o que acontece no clima atual e com o intuito de entender o clima do futuro, é indispensável o livre acesso à informação climática de qualidade e com séries históricas longas. Por exemplo, o Quarto Relatório do IPCC (IPCC AR4) apresenta pela primeira vez em todos os seus relatórios desde 1990, mapas de variações nos extremos de temperatura e chuva durante os últimos 50 anos, e poderão ser observadas grandes áreas sem informação na maior parte do Brasil e na América do Sul tropical, pois os dados básicos para escala diária necessários para calcular estes índices extremos, não estão disponíveis ou não existem.

Precisamos fazer estudos em cima de nossa própria vulnerabilidade. Os países desenvolvidos são os que têm mais possibilidade de se proteger, mas são também os maiores responsáveis pelo o que está ocorrendo. Por isso, eles deveriam traçar planos de ações no sentido de auxiliar os mais vulneráveis, que são os países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento.

Glossário¹

Adaptação – Ajustes nos sistemas natural ou humano em resposta ao atual ou esperado *stimuli* climático ou seus efeitos, que modera danos ou explora oportunidades benéficas. Vários tipos de adaptação podem ser distinguidos, incluindo adaptação antecipatória ou reativa, e adaptação autônoma e planejada:

- **Adaptação Antecipatória** – Adaptação que acontece antes de os impactos de mudança de clima serem observados. Também se refere à adaptação proativa.
- **Adaptação Autônoma** – Adaptação que não constitui uma resposta justa ao estímulo climático, mas está formada por mudanças ecológicas em sistemas naturais e através de mudanças de comércio ou bem-estar nos sistemas humanos. Também se refere à adaptação espontânea.
- **Adaptação Planejada** – Adaptação que é o resultado de uma política de decisão deliberada, baseada no medo de que as condições têm mudado ou mudarão e que a ação necessária para retorno, manter, ou alcançar um estado desejável.
- **Adaptação Privada** – Adaptação que é iniciada e implementada por indivíduos, famílias ou companhias privadas. Adaptação privada é usualmente no próprio interesse racional do ator.
- **Adaptação Pública** – Adaptação que é iniciada e implementada por governantes de todos os níveis. A adaptação pública é usualmente direcionada às necessidades coletivas.
- **Adaptação Reativa** – Adaptação que acontece após a observação dos impactos de mudança de clima.

Avaliação de Adaptação – A prática de identificar opções para a adaptação às mudanças de clima e avaliá-las em termos dos critérios tais como disponibilidade, benefícios, custos, efetividade, eficiência e praticabilidade.

Aerossóis – Partículas em suspensão no ar. O termo também veio a ser associado, erroneamente, ao propulsor usado em aerossóis do tipo "spray".

Antropogênico – Resultante ou produzido por seres humanos.

Atribuição – Veja: Detecção e atribuição.

Cenário Climático – Uma representação plausível e freqüentemente simplificada do clima futuro, baseada numa gama de relacionamentos climatológicos internamente consistentes, que foram construídos pelo uso explícito na investigação de conseqüências potenciais de mudança de clima antropogênica, geralmente servindo de introdução aos modelos de impacto. Projeções climáticas muitas vezes servem como um material inicial para

¹ Fontes:

Apêndice I do Climate Change 2001: Working Group I: The Scientific Basis. IPCC 2001 (http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/)

Apêndice II do Climate Change 2001: Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC 2001. (http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/)

Programa Nacional de Mudanças Climáticas. Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasil. (<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/>)

construção de cenários climáticos, o que geralmente exigem informações adicionais, tais como o clima atual observado. Um cenário de mudança de clima é a diferença entre um cenário climático e o clima atual.

Cenário de Emissão – Uma representação plausível do desenvolvimento futuro de emissões de substâncias que são potencialmente radiativamente ativas (ex. Gases de efeito estufa, aerossóis), baseados numa gama de suposições coerentes e internamente consistentes sobre forças de direção (tais como desenvolvimento demográfico e sócio-econômico, e mudança tecnológica) e seus relacionamentos mais importantes. Os cenários de concentração, derivados de emissão de cenários, são usados como uma introdução ao modelo climático para computar projeções climáticas.

Cenários SRES – Os cenários SRES (*Special Report Emission Scenario*) são cenários de emissões de gases de efeito estufa desenvolvidos pelo IPCC. Os termos que seguem são relevantes para um melhor entendimento da estrutura e uso destes cenários SRES:

(Cenário) Familiar – São cenários com históricos demográficos, sociais, econômicos e de mudanças-técnicas similares. Estes quatro cenários compreendem a gama de cenários SRES: A1, A2, B1 e B2.

(Cenário) Grupo – São cenários dentro de uma família que refletem uma variação consistente do histórico. O cenário de família A1 inclui quatro grupos designados como A1T, A1C, A1G e A1B que exploram estruturas alternativas de futuros sistemas de energia. No Sumário para Formuladores de Decisão de Nakicenovic' et al. (2000), os grupos A1C e A1G foram combinados como grupo de cenário 'Fóssil Intensivo' A1FI. Os outros três cenários de família consistem de um grupo cada um. A gama de cenários SRES mostrados no Sumário para Formuladores de Decisão de Nakicenovic' et al. (2000) embora consista de seis grupos distintos de cenários, todos são igualmente combinados e juntos captam a extensão de incertezas associadas com as forças de direção e emissões.

(Cenário) Histórico – Uma descrição narrativa de um cenário (ou família de cenários) enfatizando as características principais do cenário, relacionamentos entre as forças principais de direção e as dinâmicas de sua evolução.

(Cenário) Ilustrativo – Um cenário que é ilustrativo para cada um dos seis grupos de cenários mostrados no Sumário para Formuladores de Decisão de Nakicenovic' et al. (2000). Incluem quatro formuladores de cenários revisados para os grupos de cenários A1B, A2, B1, B2, e dois cenários adicionais para os grupos A1FI e A1T. Todos os grupos de cenários são igualmente combinados.

Clima – Clima num senso estreito é geralmente definido como a “média do tempo”, ou mais rigorosamente, como a descrição estatística em termos média e variabilidade de quantidades relevantes sobre o período de tempo numa distância de meses a milhares de anos. O período clássico é de 30 anos, como definido pela Organização Mundial Meteorológica (WMO). Estas quantidades são em sua maioria variáveis de superfícies tais como temperatura, precipitação e vento. Clima num senso mais amplo é um estado, incluindo uma descrição estatística, do sistema climático.

(Clima) Avaliação de Impacto – A prática de identificar e avaliar as conseqüências benéficas e danosas à mudança de clima nos sistemas naturais e humanos.

(Clima) Impactos – Conseqüências da mudança de clima nos sistemas naturais e humanos. Dependendo da consideração de adaptação, pode ser distinguido entre os impactos potenciais e residuais.

Impactos Potenciais – Todos os impactos que ocorram dado uma mudança projetada no clima, sem considerar adaptação.

Impactos Residuais – Os impactos de mudança de clima ocorreriam após a adaptação.

Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) de 1992 faz parte de uma série de acordos recentes por meio dos quais países do mundo inteiro estão se unindo para enfrentar esse desafio. Outros acordos tratam de questões como a poluição dos oceanos, a degradação da terra, danos na camada de ozônio e a rápida extinção de espécies animais e vegetais. A Convenção sobre Mudança do Clima enfoca um problema especialmente inquietante: nós estamos mudando a forma com que a energia solar interage com a atmosfera e escapa dela. Fazendo isso, nós corremos o risco de alterar o clima global. Entre as conseqüências possíveis estão: um aumento na temperatura média da superfície da Terra e mudanças nos padrões climáticos mundiais. Outros efeitos, ainda imprevisíveis, não podem ser descartados.

Desmatamento – Conversão da floresta em não-floresta. Para uma discussão do termo floresta e termos relacionados tais como *florestamento*, *reflorestamento*, e *desmatamento*, veja o *Relatório Especial do IPCC sobre o Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra, e Área Florestal (IPCC, 2000)*.

Desertificação – Degradação da Terra em árido, semi-árido, e áreas secas sub-úmidas resultantes de vários fatores, incluindo variações de clima de atividades humanas. Além disso, a UNCCD (A Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação) define a degradação da terra como a redução ou perda de áreas em áridas, semi-áridas, e áreas sub-úmidas, da produtividade e complexidade econômica de abastecimento de chuva das colheitas, safras irrigadas, ou extensão, pastagem, floresta, e matas resultantes do uso da terra ou de um processo ou combinação de processos, incluindo processos surgidos de atividades humanas e padrões de habitação, tais como: (i) erosão do solo causada pelo vento e/ou pela água; (ii) deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas ou econômicas do solo; e (iii) grandes perdas da vegetação natural.

Deteção e atribuição – O clima varia continuamente em todas as escalas de tempo. A deteção da mudança de clima é o processo de demonstrar que o clima tem mudado em alguns sensores estatísticos definidos, sem fornecer uma razão para tal mudança. A atribuição de causas de mudança de clima é o processo de estabelecer as causas mais prováveis para a mudança detectada com algum nível definido de confiança.

Dióxido de Carbono (CO₂) – Gás de ocorrência natural, também um produto usado para queima de combustíveis fósseis e biomassa, tão bem como mudanças no uso da terra e outros processos industriais. É o principal gás

antropogênico de efeito estufa que afeta o balanço da radiatividade da Terra. É o gás de referências contra outros gases que são medidos e por esta razão tem Aquecimento Global de 1.

Ecossistema – Sistema distinto de interação de organismos vivos, juntamente com seu meio ambiente físico. Os limites que denominam ecossistema são um pouco arbitrários, dependendo do foco de interesse do estudo. Desta forma a extensão de um ecossistema pode variar de pequenas escalas espaciais até o tamanho da Terra toda.

Efeito Estufa – Em longo prazo, a Terra deve irradiar energia para o espaço na mesma proporção em que a absorve do sol. A energia solar chega na forma de radiação de ondas curtas. Parte dessa radiação é refletida e repelida pela superfície terrestre e pela atmosfera. A maior parte dela, contudo, passa diretamente pela atmosfera para aquecer a superfície terrestre. A Terra se livra dessa energia, mandando-a de volta para o espaço, na forma de irradiação infravermelha de ondas longas. A maior parte da irradiação infravermelha que a Terra emite é absorvida pelo vapor d'água, pelo dióxido de carbono e outros "gases de efeito estufa" que existem naturalmente na atmosfera. Esses gases impedem que a energia passe diretamente da superfície terrestre para o espaço. Ao invés disso, processos interativos (como a radiação, as correntes de ar, a evaporação, a formação de nuvens e as chuvas) transportam essa energia para altas esferas da atmosfera. De lá, ela pode ser irradiada para o espaço. É bom que esse processo (chamado de efeito estufa) seja mais lento e indireto, porque se a superfície terrestre pudesse irradiar energia para o espaço livremente, nosso planeta seria um lugar frio e sem vida, tão desolado e estéril quanto Marte. Aumentando a capacidade da atmosfera de absorver irradiação infravermelha, nossas emissões de gases de efeito estufa estão perturbando a forma com que o clima mantém esse equilíbrio entre a energia que entra e a energia que sai. Uma duplicação, na atmosfera, da quantidade de gases de efeito estufa de vida longa (projetada para acontecer logo no começo do século 21) reduziria em 2%, se nada fosse mudado, a proporção em que o planeta é capaz de irradiar energia para o espaço. A energia não pode simplesmente acumular. O clima vai ter de se ajustar de alguma forma para conseguir se desfazer dessa energia excedente, e enquanto 2% parece não ser muito, tomando a Terra inteira, isso equivale a reter o conteúdo energético de 3 milhões de toneladas de petróleo por minuto.

CO₂ equivalente – A concentração de CO₂ que causaria a mesma quantidade de forçamento radiativo que uma dada mistura de CO₂ e outros gases de efeito estufa.

El Niño - Oscilação Sul (ENSO) – El Niño, em seu significado original, é o fluxo de aquecimento da água que periodicamente flui ao longo da costa do Equador e do Peru, rompendo a indústria de pesca local. Este evento oceânico está associado com a flutuação de um padrão e circulação da pressão da superfície intertropical nos oceanos Índico e Pacífico, chamado de Oscilação Sul. Este fenômeno da junção oceano-atmosfera é coletivamente conhecido como El Niño – Oscilação Sul, ou ENSO. Durante um evento El Niño, o transporte predominante dos ventos enfraquece e a contra-corrente equatorial se fortalece, causando o aquecimento das águas na área da Indonésia e flui em direção ao leste e cobre as águas frias da corrente do Peru. Este evento tem grande impacto no vento, na temperatura da superfície do mar e nos

padrões de precipitação no Pacífico tropical. Tem efeitos climáticos através da região do Pacífico e em muitas outras partes do mundo. O oposto de um evento El Niño é chamado de La Niña.

Evapotranspiração – O processo combinado de evaporação da superfície da Terra e de transpiração da vegetação.

Evento Extremo de Clima – Um Evento Extremo de Clima é um evento que é raro dentro de sua distribuição de referência estatística num lugar em particular. Estas definições variam, mas um evento extremo de clima normalmente seria raro ou mais raro do que 10^o ou 90^o percentil. Por definição, as características do que é chamado evento extremo de clima podem variar de lugar para lugar. Um evento extremo de clima é uma média de um número de eventos do tempo sobre um certo período, uma média que é extrema por si só (ex. chuva sobre a estação).

Extensão de Temperatura Diurna – A diferença entre a temperatura mínima e máxima durante um dia.

Forçamento radiativo – Medida simples da importância de um mecanismo potencial de mudança do clima. O forçamento radiativo é a perturbação do balanço de energia do sistema Terra-atmosfera (em Wm^{-2}) em seguida, por exemplo, a uma mudança da concentração de dióxido de carbono ou uma mudança da radiação do Sol; o sistema climático responde a um forçamento radiativo de modo a restabelecer o balanço de energia. Um forçamento radiativo positivo tende a aquecer a superfície e um forçamento radiativo negativo tende a esfriar a superfície. O forçamento radiativo é normalmente citado como um valor médio global e anual. Uma definição mais precisa do forçamento radiativo, como utilizada nos relatórios do IPCC, é a perturbação do balanço de energia do sistema superfície-troposfera, após permitir que a estratosfera reajuste-se a um estado de equilíbrio radiativo médio global (ver Capítulo 4 do IPCC (1994)). Chamado às vezes de "forçamento climático".

Gás de efeito estufa Um gás que absorve radiação em comprimentos de ondas específicos dentro do espectro de radiação (radiação infravermelha) emitido pela superfície da Terra e pelas nuvens. O gás, por sua vez, emite radiação infravermelha de um nível onde a temperatura é mais baixa que a da superfície. O efeito líquido é um aprisionamento local de parte da energia absorvida e uma tendência a aquecer a superfície planetária. Vapor d'água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) e ozônio (O₃) são os principais gases de efeito estufa na atmosfera da Terra.

Incerteza – Uma expressão do grau ao qual um valor (ex. o futuro estado do sistema climático) é desconhecido. Incerteza pode resultar de uma falha na informação ou de um desentendimento sobre o que se sabe ou mesmo do que se pode saber. Pode ter muitos tipos de fontes, de erros determináveis em detalhes de conceitos ou terminologia ambiguamente definidos, ou projeções incertas do comportamento humano. Incerteza pode conseqüentemente ser representada por medidas quantitativas (ex. Um limite de valores calculados por vários modelos) ou por declarações qualitativas.

Modelo Climático – Uma representação numérica do sistema de clima baseada nas propriedades físicas, químicas e biológicas de suas componentes, e seus processos de interação e regeneração, e conta para todos ou algumas

de suas propriedades conhecidas. O sistema de clima pode ser representado pelos modelos de complexidade variada, por exemplo, para qualquer componente ou combinação de componentes, uma hierarquia de modelos pode ser identificada, diferenciando em tais aspectos como número de dimensões espaciais, a extensão aos quais os processos físicos, químicos ou biológicos são explicitamente representados, ou o nível ao qual as parametrizações empíricas estão envolvidas. Os modelos de Circulação Geral acoplados atmosfera/oceano/polar (AOGCMs) fornecem uma representação compreensiva do sistema de clima. Há uma evolução em direção aos modelos mais complexos com biologia e química ativas. Os modelos de clima são aplicados, como uma ferramenta de pesquisa, para estudar e simular o clima, mas também com propostas operacionais, incluindo previsões mensais, sazonais e interanuais.

Mudança do Clima – Uma mudança do clima atribuída direta ou indiretamente à atividade humana que altere a composição da atmosfera global e que seja adicional à variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis de tempo. A mudança do clima, como mencionada no registro observacional do clima, ocorre por causa de mudanças internas dentro do sistema climático, ou na interação de seus componentes, ou por causa de mudanças no forçamento externo por razões naturais ou devido às atividades humanas. Geralmente não é possível fazer uma atribuição clara entre essas causas. As projeções da mudança do clima no futuro relatadas pelo IPCC geralmente consideram apenas a influência sobre o clima dos aumentos antrópicos de gases de efeito estufa e outros fatores relacionados ao homem.

Previsão climática – Uma previsão de clima é o resultado de uma tentativa de se produzir uma descrição mais similar ou estimada da evolução atual do clima no futuro. Por exemplo: escalas de tempo sazonais, interanuais ou de longo tempo. Veja também: Projeção Climática e Cenária de Clima (mudança).

Projeção de Clima – Uma projeção da resposta da emissão do sistema climático aos cenários de emissão ou concentração dos gases de efeito estufa e aerossóis, ou cenários de forçamentos radiativos, freqüentemente baseados nas simulações pelos modelos climáticos. Projeções de clima são diferentes de previsões climáticas, de maneira a enfatizar que as projeções de clima dependem do cenário utilizado de forçamento radiativo de emissão/concentração, que são baseados em suposições, à respeito, por exemplo, de descobertas tecnológicas e socioeconômicas, que podem ou não serem realizadas, e conseqüentemente são assunto de uma incerteza substancial.

Protocolo de Quioto – O Protocolo de Quioto para a Convenção de Estrutura das Nações Unidas em Mudanças de Clima (UNFCCC) foi adotado na Terceira Sessão da Conferência das Partes (COP), em 1997 em Quioto, Japão. Contém compromissos legalmente ligados, em acréscimo àqueles inclusos no UNFCCC. Os países incluídos no Anexo B do Protocolo (maioria países OECD e também aqueles com a economia em transição) concordaram em reduzir as emissões antropogênicas de gases do efeito estufa (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, e SF₆) pelo menos em 5% abaixo dos níveis de 1990 no período de compromisso de 2008 à 2012. O Protocolo de Quioto não atingiu ainda seu objetivo (Abril 2001).

Regiões Áridas – Ecossistemas com <250 mm precipitação por ano.

Regiões Semi-Áridas – Os ecossistemas que têm >250 mm de precipitação por ano, mas não são altamente produtivos; geralmente classificados como terras distantes.

Resiliência - Um número de mudança de um sistema não pode seguir sem um estado de mudança.

Revolução Industrial – Um período de rápido crescimento industrial com conseqüências econômicas e sociais de longo alcance, iniciada na Inglaterra durante a segunda metade do século dezoito e se espalhou pela Europa e mais tarde para outros países incluindo Estados Unidos. A invenção da máquina a vapor foi um importante passo para este desenvolvimento. A revolução industrial marca o início de um forte aumento do uso de combustíveis fósseis e emissão, em particular, do dióxido de carbono fóssil. Neste Relatório os termos pré-industrial e industrial se referem, de certa forma arbitrariamente, aos períodos antes e depois de 1750, respectivamente.

Seca – O fenômeno que ocorra quando a precipitação fica abaixo dos níveis normais registrados, causando sérios desequilíbrios que afetam adversamente os sistemas de produção de recursos da terra.

Sistema Climático – O sistema climático é altamente complexo e consiste de cinco componentes principais: atmosfera, hidrosfera, criosfera, a superfície da terra e a biosfera, e suas interações. O sistema climático evolui em tempo sob influência de suas próprias dinâmicas internas e por causa dos forçamentos externos, tais como erupções vulcânicas, variações solares e forçamentos humanos induzidos, tais como: composição de mudança da atmosfera e mudança no uso da terra.

Variabilidade Climática – Variabilidade climática se refere às variações no estado médio e outras estatísticas (tais como desvios padrão, a ocorrência de extremos, etc.) de um clima nas escalas temporais e espaciais além de eventos individuais de tempo. A variabilidade pode ser devido a processos internos naturais dentro do sistema climático (variabilidade interna), ou a variações nos forçamentos antropogênicos externos (variabilidade externa). Veja também: Mudança de Clima.

Vulnerabilidade – O grau ao qual o sistema está suscetível, ou inapto para competir, efeitos adversos de mudança de clima, incluindo variabilidade climática e extremos. A vulnerabilidade é a função da magnitude, qualidade, e índice da variação climática a qual um sistema está exposto, como também sua sensibilidade e capacidade de adaptação.

Referências

Ambrizzi, T., Rocha, R., Marengo J, A. I. Pisnitchenko, L. Alves, Fernandez, J. P. 2007: *Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3*, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS –SBF, DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.

ANA 2006: Atlas do Nordeste. Abastecimento Urbano de Água. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Brasília, DF, 83 pp. http://parnaiba.ana.gov.br/atlas_nordeste/nw_downloads.htm

HULME, M., SHEARD N., 1999: Cenários e alterações climáticas para o Brasil. Climate Research Unit, Norwich, UK. 6 pp.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC: 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis - Contribution of Working Group 1 to the IPCC Third Assessment Report. Cambridge Univ. Press. 2001.

Marengo J, A. 2007: *Caracterização do clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos Globais de Clima do IPCC, Relatório 1*, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA, SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS – SBF, DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.

Marengo, J. A., Alves, L., Valverde, M., Rocha, R., Laborbe, R, 2007: Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. **Relatório 5**, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS – SBF, DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007

Mesquita, A.R. *et al.* 2005: On sea level along the Brazilian coast - part 2. http://www.mares.io.usp.br/aagn/aagn8/ca/sea_level3_partii.html

NAE 2005a: Mudança de Clima, Vol. I: Negociações internacionais sobre a mudança de clima; vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança de clima. *Cadernos NAE*, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, NAE-SECOM 2005. Brasília, 250 pp.

NAE 2005b: Mudança de Clima, Vol. II: Mercado de Carbono. *Cadernos NAE*, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, NAE-SECOM 2005. Brasília, 500 pp.

Nobre, C. A, Salazar, L. F. Oyama, M., E., 2007: Mudanças Climáticas e Alterações nos Biomas da América do Sul até 2100, **Relatório 6**, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS – SBF, DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.

Obregon, G., Marengo J, A. 2007: *Caracterização do clima do Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas. Relatório 2*, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS – SBF, DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.

Pinto, H.S.; Zullo JR., J. e Zullo, S.A. 1989. Oscilações Pluviométricas Temporais no E.S.Paulo. Anais do VI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Maceió, Al. pp:29-33. Soc. Bras. Agrometeorologia.

Pinto, H.S., Assad, E.D., Zullo JR., J., Brunini, O., Evangelista, B.A. 2001: Impacto do Aumento da Temperatura no Zoneamento Climático do Café nos Estados de São Paulo e Goiás. Avaliação dos cenários do IPCC. XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia; pp: 605-606. Fortaleza, 2001.

Salati, E., Salati, E, Campanhol, T., Villa Nova, N., 2007: *Tendências das Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços Hídricos para Cenários Climáticos para o Século XXI. Relatório 4*, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS – SBF, DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.



Ministério da
Ciência e Tecnologia

