



MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EVENTOS EXTREMOS NO BRASIL



PREFÁCIO FBDS

A atenuação dos efeitos das mudanças climáticas globais e a adaptação a estas são os maiores desafios da humanidade neste início de século. O progresso econômico e científico, que contribuiu decisivamente para a solução de problemas históricos e aumentou o nível de bem-estar da população nas últimas décadas, trouxe um inimigo desconhecido até agora. Mais do que nunca, dependemos da geração de eletricidade, do transporte de passageiros e mercadorias, da produção de alimentos e de outras conquistas de nossa civilização, todas envolvendo a emissão de gases do efeito estufa (GEE).

Como consequência desse aumento da concentração de GEE na atmosfera, a elevação na temperatura média do planeta já é uma realidade e, de acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, uma elevação de 2°C na temperatura média da Terra parece inevitável, mesmo que todas as medidas para reduzir as emissões e capturar carbono se concretizem. No cenário mais pessimista, mantendo-se as atividades atuais, as previsões são de um aumento de mais de 6°C na temperatura média da Terra, com consequências catastróficas para os ecossistemas e a humanidade. Embora os modelos adotem uma margem de incerteza, para a maioria dos cientistas que estuda esse campo não restam dúvidas quanto ao risco das mudanças climáticas e do papel humano no agravamento delas.

Como o equilíbrio climático do planeta é frágil, o aumento das temperaturas já registradas criou situações novas, como a redução da calota glacial, antes permanentemente congelada no Círculo Ártico, e intensificou fenômenos antigos, como furacões no sul dos Estados Unidos. Todas essas alterações têm grande poder de destruição, afetando milhões de pessoas e causando prejuízos de bilhões.

Nessa categoria de mudanças climáticas, eventos climáticos extremos — como chuvas intensas, vendavais e furacões, marés meteorológicas e grandes secas — representam as forças com maior poder de destruição. À intensidade desses eventos soma-se a dificuldade de gerenciamento de planos para a adaptação e a atenuação de seus efeitos, devido à impossibilidade de prevêê-los com exatidão. O Furacão Catarina, que atingiu a costa brasileira em 2004, foi o primeiro registrado no Atlântico Sul, sendo um exemplo bastante representativo do caso em questão.

Os eventos climáticos extremos e sua relação com as mudanças climáticas globais não foram, até agora, totalmente estudados pela comunidade científica brasileira. Com o objetivo de motivar novos estudos sobre esse assunto e conscientizar a sociedade sobre os riscos dos eventos climáticos extremos no Brasil, o Lloyd's e a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) estabeleceram uma parceria que resultou nesta publicação e na realização de um seminário para apresentar seu conteúdo e debatê-lo com os maiores especialistas do país no assunto.

Esta publicação está dividida em quatro temas que ajudam a compreender a mudança climática no Brasil:

- **Mudança climática global e eventos extremos no Brasil**, que aborda o modo como a mudança climática afeta a ocorrência de eventos climáticos extremos — como grandes inundações — e os impactos desses eventos sobre a sociedade brasileira.
- **Risco e adaptação no setor energético brasileiro**, que analisa a dependência da geração de eletricidade em usinas hidroelétricas no Brasil e como as mudanças na intensidade e distribuição de chuvas durante o ano podem afetar o equilíbrio entre o fornecimento e a demanda por eletricidade.
- **Adaptação do setor agrícola brasileiro**, que estuda riscos na produção de alimentos e possíveis soluções.
- **Elevação do nível do mar e adaptação em grandes cidades costeiras do Brasil**, que considera como as elevações no nível do mar podem afetar a população brasileira e as infraestruturas próximas ao litoral do Oceano Atlântico, principalmente as metrópoles Rio de Janeiro e Recife.

Esperamos que essa publicação cumpra seu papel de alertar o governo, as empresas e a sociedade civil sobre os grandes desafios gerados pelas mudanças climáticas. Os planos de adaptação serão uma ferramenta fundamental para reduzir os danos à vida e à propriedade causados pelas mudanças na temperatura e nas chuvas, assim como pela intensificação dos eventos climáticos extremos associados a essas mudanças.

Israel Klabin

Presidente da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS

PREFÁCIO LLOYD'S

Os cientistas que trabalham com mudanças climáticas costumam dizer que devemos esperar o inesperado. O Brasil passou por essa experiência pela primeira vez em 2004, quando o Ciclone Catarina atingiu a costa com velocidade de furacão. Os meteorologistas nunca tinham visto isso antes. Parece que o mundo hoje está tendo cada vez mais eventos nunca vistos: inundações na Europa Central e ciclones no Atlântico Sul. Por isso, precisamos nos preparar para o inconcebível e o improvável.

A atenção internacional geralmente se volta para o papel da floresta tropical brasileira – um grande agente de neutralização de carbono – mas a finalidade deste relatório é outra. Nosso objetivo é alertar os responsáveis por políticas estratégicas, acadêmicos e empresas sobre como a mudança climática afetará o Brasil, não como o Brasil afetará a mudança climática. É inegável que esta é uma abordagem sombria, com previsões de ondas de calor em São Paulo, invernos e outonos mais quentes, além de tempestades intensas em várias partes do país.

Mas o Brasil já está passando por eventos incomuns. As fazendas de São Paulo perderam 50 milhões de dólares durante uma onda de calor em 2004, áreas geralmente úmidas da Amazônia estão secando, e partes do Gasoduto Bolívia-Brasil estão sendo danificadas por condições meteorológicas extremas.

Acadêmicos, empresas, autoridades governamentais e seguradoras vão considerar este relatório uma ferramenta de valor inestimável para aprofundar a compreensão de como a mudança climática impactará o Brasil.

Produzida pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) em parceria com o Lloyd's, esta publicação contém relatórios sobre quatro grandes desafios que o país enfrentará:

- Condições climáticas extremas;
- O sistema de energia elétrica;
- A adaptação da agricultura;
- Elevação do nível do mar.

Cada um desses relatórios analisa em que medida o Brasil já está sofrendo a mudança climática, faz prognósticos (as dificuldades previstas para o futuro com a mudança climática) e, o mais importante, sugere formas de atenuar os efeitos das mudanças nos sistemas climáticos do Brasil.

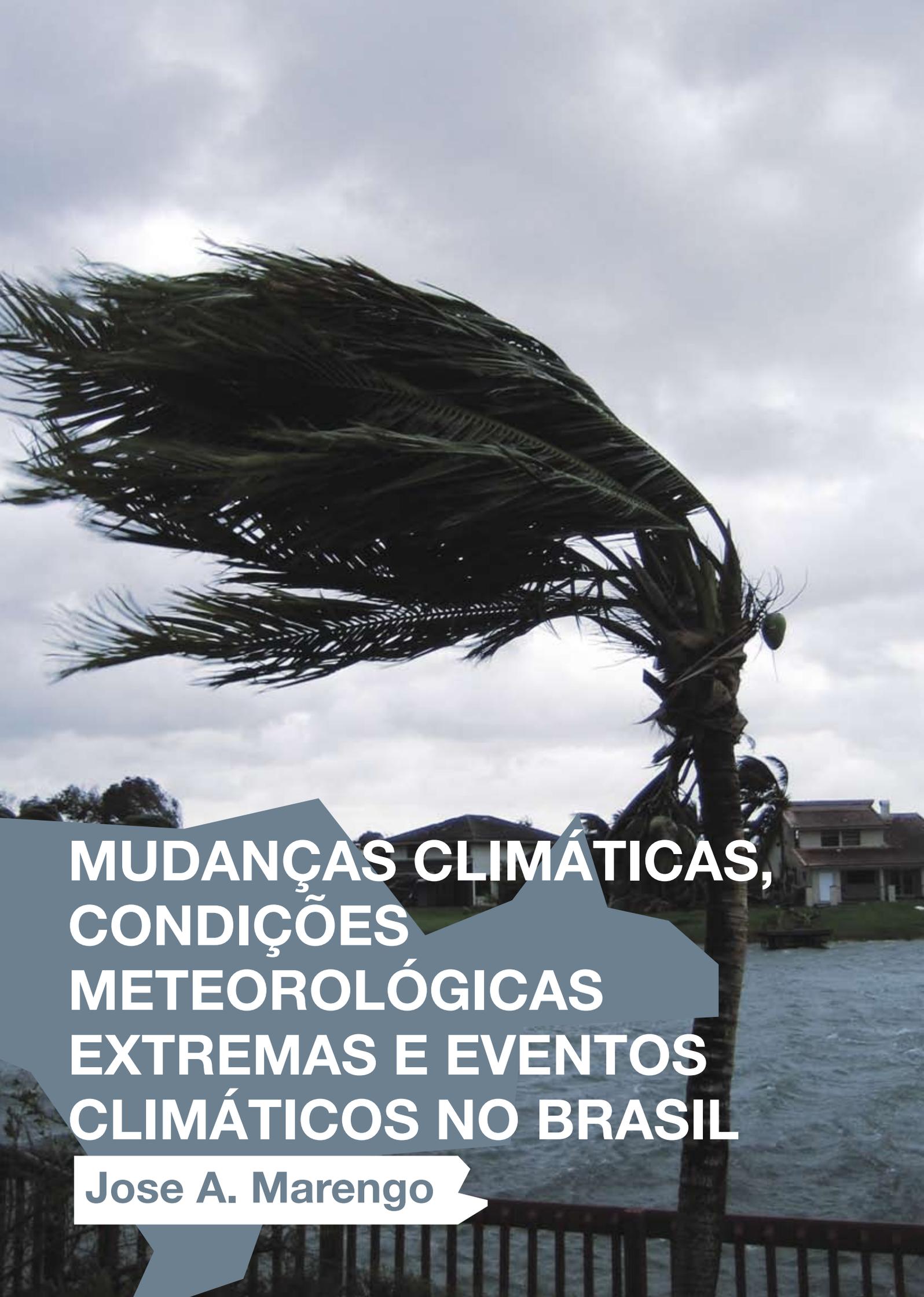
As conclusões alcançadas pela FBDS refletem as descobertas do projeto 360 Risk Insight do Lloyd's no Reino Unido sobre segurança climática¹, abordando especificamente a necessidade de empresas, fazendas e indivíduos começarem a definir agora como poderão adaptar suas propriedades a eventos climáticos ainda mais extremos. No nível estratégico, é essencial que empresas e governos procurem formas de desacelerar o aquecimento global e reduzir as emissões de CO₂. Mas também queremos ver políticas pragmáticas, que ajudem as pessoas a enfrentar as mudanças que já estão acontecendo. Um dos méritos do relatório da FBDS é identificar medidas específicas que podem ser adotadas por seguradoras no Brasil para gerenciar o risco advindo da insegurança climática.

O Lloyd's está atento a essas ideias. Temos um histórico de 321 anos de adaptação aos riscos mundiais. Relatórios como este excelente estudo da FBDS contribuem para nossa compreensão de onde estão os desafios de hoje. Eu o recomendo ao leitor.

Marco Antonio de Simas Castro

General Representative & Managing Director Lloyd's Brazil

¹ Mais detalhes no site: http://www.lloyds.com/News_Centre/360_risk_insight/The_debate_on_climate_change/.



**MUDANÇAS CLIMÁTICAS,
CONDIÇÕES
METEOROLÓGICAS
EXTREMAS E EVENTOS
CLIMÁTICOS NO BRASIL**

Jose A. Marengo

RESUMO

Os eventos climáticos extremos ocorrem de muitas formas, como enchentes, secas prolongadas, ondas de calor, tufões e tornados.

Esses fenômenos meteorológicos não são novidade. Através dos séculos, a humanidade desenvolveu uma boa percepção da frequência dos eventos climáticos extremos e das localizações geográficas onde eles têm mais probabilidade de ocorrer.

Mas isso está mudando. Como resultado das mudanças climáticas provocada pelo homem, a frequência dos eventos climáticos extremos aumentou, tanto em termos de quantidade quanto de intensidade. Isso passou a ser observado de modo mais nítido a partir da segunda metade do século 20.

No Brasil, ocorreram diversos eventos extremos nos últimos anos. O furacão Catarina provocou enchentes e deslizamentos e causou diversas mortes, assim como perdas econômicas significativas para a região Sul do país. Recentemente, a mesma região sofreu com chuvas torrenciais e ventos fortes que levaram a grandes danos.

Condições meteorológicas extremas também danificaram os dutos de gás que ligam o sul do Brasil à Bolívia, o que gerou consequências significativas para a população dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

No sudeste da Amazônia, historicamente uma região tropical e úmida, condições climáticas fora do comum têm causado a diminuição dos níveis fluviais, deixando isoladas algumas comunidades mais afastadas devido à redução da capacidade de navegação. Alguns rios chegaram a secar totalmente. Em alguns casos, incêndios nas florestas levam ao fechamento de aeroportos, afetando o modo de vida e trabalho dos moradores locais. Aparentemente, esse fenômeno foi causado por um Atlântico Norte tropical anormalmente quente, fazendo com que o ar seco se deslocasse do sul em direção a essa parte da região amazônica.

As projeções para o clima no futuro indicam mais umidade e mais processos dinâmicos ocorrendo na atmosfera, de modo que ventos extremos, assim como outros fenômenos, podem ocorrer com maior frequência e intensidade.

Estudos sobre o clima no futuro indicam que, por volta de 2010, haverá aumento da precipitação no sul do Brasil, assim como no oeste da Amazônia e na região

litorânea entre o Amapá e o Ceará. Podem-se esperar menos chuvas no sul e no centro da Amazônia, no centro-oeste do Brasil e na maior parte da região Nordeste. Cenários piores mostram um aumento dos períodos secos (ou secas) no leste da Amazônia e em parte do Nordeste, enquanto que o número de dias consecutivos com grande umidade cairá na maior parte das regiões Nordeste e do Centro-Oeste do Brasil, e também no oeste e sul da Amazônia.

Altos índices pluviométricos mostram aumento na frequência e na intensidade das chuvas no Sul e no Sudeste do Brasil e, em menor grau, no oeste da Amazônia e na área litorânea do leste da Amazônia e no norte da região Nordeste. As chuvas diminuem ao longo da costa leste do Nordeste do Brasil, na faixa do Rio Grande do Norte até o Espírito Santo.

Por volta de 2020, enquanto as chuvas tenderão a aumentar no oeste da Amazônia e no Sul e Sudeste do Brasil, as demais regiões provavelmente registrarão chuvas menos intensas.

Por volta de 2030, o padrão dominante será uma redução na quantidade total de chuva e no número de dias úmidos na América do Sul tropical, com uma tendência para mais chuvas fortes em regiões como o oeste da Amazônia, e o Sul e o Sudeste do Brasil. Esse cenário é compatível com a previsão de aumento do número de dias secos consecutivos.

Todos os negócios e empresas sofrerão direta ou indiretamente com as consequências do aquecimento global. De modo direto, porque, sem qualquer adaptação, as empresas terão dificuldades em manter os atuais níveis de produção e eficiência operacional. E, de modo indireto, já os consumidores serão mais exigentes, examinando minuciosamente suas práticas sustentáveis.

O mercado de seguros pode contribuir para os esforços contra o aquecimento global por meio da criação dos incentivos corretos para seus clientes. Isso pode significar a oferta de produtos inovadores e menos dispendiosos para as empresas e para pessoas físicas que buscam melhores práticas com relação à mudança climática. Além disso, as companhias de seguro podem dedicar parte de suas carteiras de investimento à adoção de iniciativas verdes, como projetos de energia alternativa, de redução de emissões industriais e de retromodificação de prédios comerciais e residenciais.

1. INTRODUÇÃO

Em termos meteorológicos ou climatológicos, grandes desvios de um estado climático moderado (referidos aqui em diante como “eventos extremos”) ocorrem em escalas que podem variar desde dias até milênios. Mais importantes para as atividades humanas, entretanto, talvez sejam os eventos extremos a curto prazo (relacionados à meteorologia) e a médio prazo (relacionados ao clima), devido a seu potencial de impactos significativos. Os eventos climáticos e meteorológicos extremos também são um aspecto integrante da variabilidade climática, e sua frequência e intensidade podem variar de acordo com a mudança climática. Um desastre natural pode ser decorrente de atividades humanas, como o desmatamento de encostas próximas a áreas urbanas ou construções em áreas de risco, que pode intensificar as consequências de chuvas fortes. As chuvas dificilmente causam a morte de pessoas por si só, mas os deslizamentos produzidos por elas em áreas próximas a leitos de rios ou abaixo de inclinações desmatadas podem causar danos às populações.

Uma das mais importantes questões relacionadas a eventos extremos a curto prazo é se sua ocorrência está aumentando ou diminuindo como tempo; isto é, se há uma tendência a cenários propícios à ocorrência desses eventos. A variabilidade e as mudanças na intensidade e frequência de eventos extremos dependem não apenas da taxa de mudança do meio de uma determinada variável, mas também da ocorrência de mudanças nos parâmetros estatísticas que determinam a distribuição daquela variável. A análise de tendências mais complexa é a da precipitação extrema, devido ao baixo grau de correlação entre os eventos de precipitação. Assim, estimativas confiáveis de tendências em eventos de precipitação extrema são possíveis somente para regiões com redes densas, que permaneçam estáveis ao longo do tempo. A falta de observações climáticas a longo prazo de alta qualidade e homogêneas, ou a dificuldade de acesso a bases de dados, muitas das quais nas mãos de instituições governamentais em várias partes da América do Sul, é o maior obstáculo para a quantificação das mudanças extremas durante o século passado (Haylock et al. 2005, Vincent et al. 2006).

Historicamente, a variabilidade e os extremos causam impactos negativos sobre a população, aumentando a mortalidade e a morbidade nas áreas afetadas. Eventos climáticos extremos se tornaram mais intensos e/ou mais frequentes durante os últimos cinquenta anos no Sudeste da América do Sul. Eventos de chuva excepcionais ocorreram em meados de dezembro de 1999, causando inundações e deslizamentos ao longo da costa central da Venezuela, havendo informações de mais de 10.000 mortes, além de perdas econômicas estimadas em mais de 1,8 bilhão de dólares (Lyon, 2003). Eventos similares também ocorreram em fevereiro de 1951 e fevereiro de 2005. A alta vulnerabilidade do Brasil foi demonstrada

durante um único evento catastrófico. No Sul do Brasil, o período de 22 a 24 de novembro de 2008 testemunhou chuvas intensas no estado de Santa Catarina, que causaram graves inundações e deslizamentos fatais. Em março de 2004, no mesmo estado, foi detectado o furacão Catarina, possivelmente o primeiro furacão a afetar o continente, deixando 9 mortes e perdas da ordem de 1 milhão de dólares.

Com as perspectivas de mudanças climáticas, cientistas, políticos e governantes do mundo inteiro estão procurando compreender a natureza das mudanças que provavelmente ocorrerão durante o século 21 e depois dele, assim como os efeitos que essas mudanças podem acarretar para as populações humanas e seus sistemas socioeconômicos. As mudanças na precipitação possuem implicações no ciclo hidrológico e nos recursos aquíferos em um clima mais quente no futuro. Espera-se que as mudanças climáticas alterem os valores de precipitação e aumentem a variabilidade dos eventos de precipitação, o que pode levar a enchentes e secas ainda mais intensas e frequentes. Claro que eventos de enchentes e secas extremas podem causar danos econômicos e ecológicos e, no pior dos casos, colocar vidas em risco. Em geral, muitas atividades econômicas e processos ambientais são altamente dependentes da precipitação. Ocorrências de déficit de precipitação em larga escala, muitas vezes, causam graves efeitos sobre atividades como agricultura, silvicultura, produção hidrelétrica, ecossistemas alagados e vida selvagem. Seus excessos são muitas vezes benéficos para as atividades anteriormente mencionadas. Entretanto, uma persistência de condições anormalmente úmidas também pode causar graves efeitos, como inundações e atrasos nas colheitas, entre outros. Por isso, os custos econômicos e sociais do aumento dos eventos extremos também podem ser mais altos, e os impactos serão substanciais nas áreas e setores mais diretamente afetados, como agricultura, geração de hidreletricidade, centros urbanos e biodiversidade.

Neste capítulo, relembremos os eventos extremos observados no Brasil durante os últimos cinquenta anos, quantificando as tendências em cada região do Brasil, sempre que os dados permitirem. Além disso, analisamos as projeções das mudanças climáticas futuras até o ano de 2030 para o Brasil, com base nas projeções de mudanças climáticas regionais desenvolvidas pelo INPE. O enfoque é nos extremos pluviais. Uma seção especial é dedicada à Amazônia, na qual os extremos são discutidos em termos de possíveis consequências para a região. Por fim, refletimos sobre algumas recomendações de medidas de adaptação e mitigação, além de práticas que podem ser suscitadas em debates e discussões com responsáveis pelo desenvolvimento de políticas e formadores de opinião.



2. HISTÓRICOS DO CLIMA E DOS EXTREMOS CLIMÁTICOS NO BRASIL

A variabilidade do clima e dos eventos extremos tem afetado seriamente o Brasil durante os últimos anos. No Brasil subtropical, Groisman et al (2005) e Marango et al. (2009) identificaram um grande aumento sistemático da precipitação desde os anos de 1950 e, no Sudeste do Brasil, detectaram um aumento na frequência dos eventos pluviais extremos. Sobre o estado de São Paulo, Carvalho et al. (2004) descobriram que os eventos pluviais extremos exibem uma variabilidade interanual ligada ao El Niño e à La Niña, assim como variações intrassazonais associadas à atividade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (SACZ) e do Jato de Baixos Níveis da América do Sul (SALLJ).

As enchentes causam enormes desastres econômicos, tanto para pessoas e companhias não seguradas, quanto para pessoas e companhias seguradas e empresas seguradoras. Além disso, as enchentes tiram um grande número de vidas humanas. Por sua vez, a seca pode comprometer cidades inteiras quanto ao fornecimento de eletricidade, gerada por fontes alimentadas por água da chuva, o que pode causar grandes prejuízos econô-

micos. Episódios de falta de água podem causar graves problemas para a sociedade, além de grande êxodo de populações de regiões inteiras. No Sul do Brasil, chuvas fortes afetaram o estado de Santa Catarina de 22 a 24 de novembro de 2008 e causaram grandes inundações e deslizamentos fatais, que afetaram 1,5 milhão de pessoas, resultando em 120 mortes e deixando 69.000 pessoas desabrigadas. Os deslizamentos de terra e as inundações causadas pelas tempestades bloquearam quase todas as estradas da região, interrompendo o fornecimento de água e eletricidade de milhares de residências. Relatou-se que a maior parte das fatalidades foi causada por deslizamentos que destruíram totalmente residências e empresas. As tempestades romperam um trecho do gasoduto entre a Bolívia e o Sul do Brasil, forçando a suspensão de fornecimento de combustível para parte de Santa Catarina e as redondezas do estado do Rio Grande do Sul. Em algumas cidades, houve relato de saques a supermercados e farmácias por parte de vítimas famintas e desesperadas da enchente. Esse evento foi considerado a pior tragédia climática da história da região.

Uma combinação incomum de condições meteorológicas favoreceu a intensificação da chuva ao longo da região litorânea de Santa Catarina. Estimativas extraoficiais dos prejuízos causados por esse evento pluvial extremo, enchentes e deslizamentos subsequentes são da ordem de 350 milhões de dólares, devido ao fechamento do Porto de Paranaguá, um dos mais importantes portos do sul do Brasil (INPE 2008). Eventos extremos anteriores durante o El Niño de 1983 causaram chuvas e enchentes intensas, gerando um prejuízo econômico de cerca de 1,1 bilhão de dólares em todo o estado de Santa Catarina. Além disso, Munich-Re (2009) relatou prejuízos totais da ordem de 750 milhões de dólares, com perdas seguradas de 470 milhões de dólares.

Em março de 2004, um furacão afetou a região litorânea do mesmo estado, com perdas da ordem de 1 bilhão de dólares (Pezza e Simmonds 2005, Pezza et al. 2009). A chegada do Catarina à costa brasileira em março de 2004 ficou conhecida como a primeira vez em que um furacão foi documentado no oceano Atlântico Sul, inaugurando a visão de como um evento em grande escala pode contribuir para a mudança tropical em uma região antes considerada livre de furacões.

O déficit de chuvas durante o verão e o outono de 2001 resultou em uma redução significativa do fluxo dos rios de toda a região Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, o que reduziu a capacidade de produção de energia hidrelétrica nessas áreas (90% da energia do Brasil provém de fontes hidrelétricas). Em um verão anormalmente seco e quente, houve um excesso de demanda por energia para sistemas de ar-condicionado e refrigeração, causando reduções nos níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas, que atingiram níveis mínimos críticos (5%

ou menos do volume total). A natureza de larga escala dos déficits, que afetou quase o país inteiro, causou uma crise energética que forçou o governo a impor medidas de conservação de energia para evitar a interrupção total do fornecimento de energia (blackout) durante parte de 2001 e 2002 (Cavalcanti e Kousky 2004).

A seca que vem afetando o Sul do Brasil e o Nordeste da Argentina desde 2008 afetou a produção de soja e grãos na Argentina e, junto com a queda nos preços internacionais, gerou uma previsão de redução de cerca de 30% das exportações, de cerca de 8 a 9 bilhões de dólares, em 2009. Essa previsão pode se modificar caso o volume de chuvas volte ao normal e os preços da soja em grão aumentem. O ano de 2009 é considerado o mais seco dos últimos 80 anos. No sul do estado do Rio Grande do Sul, fronteira com a Argentina e o Uruguai, muitos fazendeiros informaram que a seca levou à perda de milho e outros grãos. Não foi possível plantar feno para o gado, e a produção de leite foi reduzida. Em 96 municípios, foi decretado estado de emergência devido aos danos à safra de soja, milho e feijão, aos pastos e ao fornecimento de água para consumo humano e animal.

No sul do Brasil, a produção nacional de trigo da última colheita foi de seis milhões de toneladas, o melhor resultado desde 2004. A seca atrasou o plantio de trigo em algumas regiões de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e em partes do Paraná, o que pode prejudicar a colheita de inverno do hemisfério Sul, de acordo com o Ministério da Agricultura. A previsão oficial para a produção de grãos para 2008-2009 é de 5,5 milhões de toneladas, o que significa uma queda de 9% com relação ao previsto no início do ano.





3. HISTÓRICO DOS EXTREMOS CLIMÁTICOS NA AMAZÔNIA: IMPACTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS

Historicamente, há provas de secas extensas, e talvez muitos incêndios, relacionados a eventos como o El Niño - Oscilação Sul (ENSO), tenham ocorrido na bacia Amazônica em 1.500, 1000, 700 e 400 BP, e tais eventos podem ter sido substancialmente mais graves do que os ocorridos em 1982-83 e 1997-98 (Meggers 1994). O caso mais bem documentado de um evento de seca primitiva na Amazônia ligado ao El Niño ocorreu no período de 1925-26 (Sterberg 1968; 1987, e Williams et al. 2005). As chuvas no centro-norte da Amazônia brasileira e no sul da Venezuela em 1926 foram cerca de 50% inferiores ao normal. Durante essa seca específica, extensos incêndios ocorreram na Venezuela e na área acima da bacia do Rio Negro. Temperaturas do ar anormalmente altas foram registradas nas cidades da Amazônia venezuelana e no norte do Brasil em 1925 e 1926, sendo plausível que a seca na parte norte da bacia do Rio Negro em 1925 também tenha contribuído

para a grande seca de 1926 devido ao esgotamento da umidade do solo.

Ao contrário dessas secas, as de 2005, assim como as de 1963-64 e de 1979-1981 não ocorreram em associação a eventos do El Niño. Em 2005, grandes partes do sudoeste da Amazônia sofreram uma das secas mais intensas dos últimos cem anos. A seca afetou gravemente a população humana ao longo do canal principal do rio Amazonas e seus tributários orientais e ocidentais, o Solimões, também conhecido como Rio Amazonas nos outros países da Amazônia, e o Rio Madeira. Os níveis fluviais chegaram aos mais baixos da história, e a navegação ao longo desses rios teve que ser suspensa, isolando vilarejos e afetando o turismo e as moradias ao longo dos rios Solimões e Madeira. Isso levou vários países da região amazônica (Brasil, Bolívia, Peru e Colômbia) a declarar estado de calamidade pública em setembro

de 2005. A seca não afetou a Amazônia central nem a oriental, criando um padrão diferente das secas relacionadas ao El Niño em 1926, 1983 e 1998.

Os dois últimos anos também tiveram aquecimento intenso no Atlântico Norte tropical, além do aquecimento no Pacífico equatorial. A seca de 1963 foi relacionada ao aquecimento no Atlântico Norte tropical, de modo semelhante ao que ocorreu com a de 2005.

Zeng et al (2008) fazem uma análise interessante dos níveis fluviais relativos ao fluxo hídrico do Amazonas medido em Obidos (que captura a chuva de cerca de 90% da bacia de drenagem total da Amazônia). Foi constatado um longo e lento decréscimo anormal que vem ocorrendo desde 2000, com seu ápice no final de 2005, uma tendência consistente com a anomalia da precipitação. O déficit de chuvas de 2005 ocorreu principalmente no sudoeste da Amazônia, conforme observado em Tabatinga (uma estação no Rio Solimões), o principal entroncamento, que captura a chuva da bacia do alto Amazonas com água originada principalmente dos Andes orientais. A etapa do Rio Tabatinga mostra uma queda rápida em 2005, mas não apresenta os vários anos de lenta queda vista no fluxo do Obidos. A etapa do rio Tabatinga foi um dos mais baixos do período de 24 anos analisado. O ciclo sazonal na Amazônia é longo, de modo que o impacto da seca sobre o solo é sentido principalmente como uma seca especialmente grave quando a água atinge seu nível mais baixo. Para capturar os aspectos sazonais, os nove anos com o fluxo mais baixo dos rios Obidos e Tabatinga são mostrados na Figura 1.

Quando as florestas tropicais secaram, grandes incêndios irromperam na região, destruindo centenas de milhares de hectares de floresta. Tais incêndios produziram grande quantidade de fumaça, que afetou a saúde humana e fechou aeroportos, escolas e empresas. Os impactos ecológicos afetaram a exequibilidade do manejo sustentável da floresta na região, que está atualmente avançado como base promissora para a economia regional (Brown et al, 2006). Em 1997-98, incêndios associados a uma seca excepcional causados pelo El Niño devastaram grandes áreas das florestas tropicais no norte e no leste da Amazônia (Nepstad et al. 1999). O número de incêndios florestais em 2005 foi cerca de 300% maior do que em 2004, como consequên-

cia da ausência de umidade (Marengo et al. 2008a, b). As causas dessa seca não estavam relacionadas ao El Niño, mas a um Atlântico Norte tropical anormalmente quente. As más condições foram intensificadas durante a estação seca em setembro de 2005, quando a umidade estava mais baixa do que o normal e as temperaturas de 3 a 5° mais altas do que o normal. Devido à estação seca estendida na região, os incêndios florestais afetaram partes do sudoeste da Amazônia quase 300% maiores. Como consequência dos incêndios, o tráfego aéreo foi afetado, devido ao fechamento do aeroporto internacional de Rio Branco no estado do Acre, na Amazônia ocidental. Escolas e empresas foram fechadas devido à fumaça e muitas pessoas tiveram que ser atendidas nos hospitais devido à inalação de fumaça (Marengo et al. 2008 a, b; Zeng et al. 2008, Cox et al. 2008). Não há estimativas completas do custo dessa seca. Para o estado do Acre, a Defesa Civil calculou um prejuízo comprovado de 87 milhões de dólares apenas com os incêndios, o que representa cerca de 10% do PIB do estado.

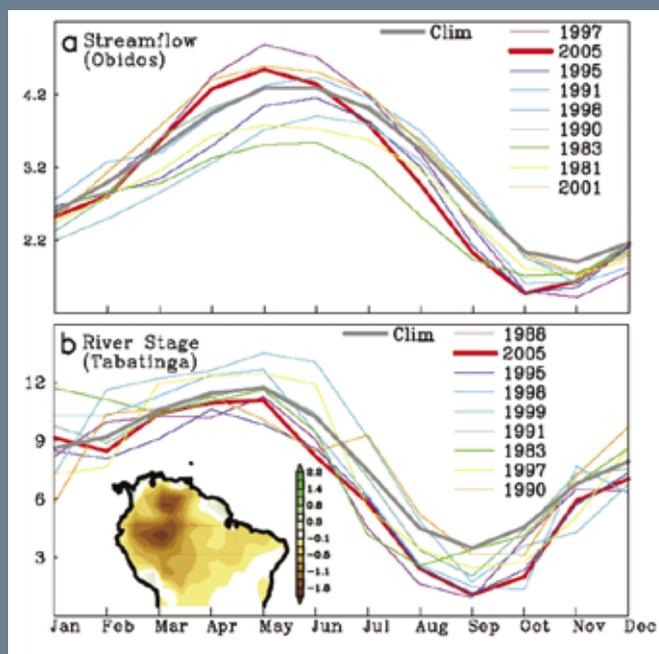


Figura 1. Os anos “mais secos” de (a) toda a bacia Amazônica, como indicado pelo fluxo medido no Obidos (1.9° S, 55.5° W); (b) a bacia do Alto Amazonas (Rio Solimões) na etapa do Rio Tabatinga (4.25° S, 69.9° W em metros). O ano de 2005 está representado pela linha vermelha grossa, a climatologia de longo prazo [1979–2005 para o Obidos, 1982–2005 para o Tabatinga] é indicada pela linha cinza grossa. Outros anos de pouca umidade são indicados pelas linhas finas nas outras cores. Esses anos “mais secos” foram selecionados e classificados na legenda de acordo com o nível mais baixo da água naquele ano. Zeng et al. 2008

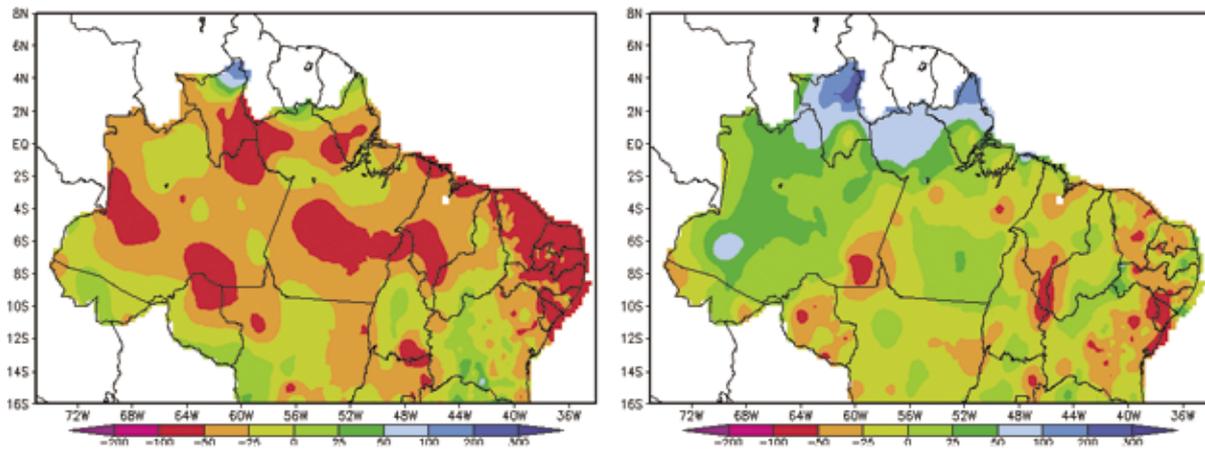


Figura 2. Os desvios da chuva de novembro de 2004 a fevereiro de 2005 (a) e de novembro de 2008 a fevereiro de 2009 (b) em mm/mês. Os desvios são da média de longo prazo 1961-2009.

A Figura 2a mostra anomalias no desvio das chuvas durante o período que se estende de novembro de 2004 a fevereiro de 2005, indicando um grande desvio negativo na maior parte da Amazônia ocidental. Marengo et al. (2008a) mostram que, em dezembro de 2004 e janeiro de 2005, a chuva naquela região foi quase 30-40% abaixo do normal, o suficiente para reduzir os níveis da água nos meses subsequentes.

Em contraste, 2009 (Figura 2b) apresentou chuvas muito intensas e enchentes nas regiões da Amazônia e do Nordeste do Brasil. De acordo com a BBC, as autoridades brasileiras declararam que quase 408.000 pessoas ainda não podem retornar a suas casas devido às enchentes que começaram em março de 2009. O governo liberou mais de 435 milhões de dólares para auxiliar as vítimas das enchentes no Norte e Nordeste do Brasil. Os níveis de água em uma estação de medição no Rio Negro, em Manaus, a maior cidade da Amazônia, ficaram apenas 74 centímetros (29 polegadas) abaixo do recorde de 1953. Tais níveis foram ultrapassados apenas pelo recorde estabelecido em 1953, desde 1903, quando as medições começaram na cidade. Por toda a bacia amazônica, os habitantes ribeirinhos estão acrescentando novos andares a suas casas sobre estacas para tentar ficar acima do nível das águas das enchentes, que causaram a morte de 44 pessoas e deixaram 376.000 desabrigadas em junho de 2009. As enchentes são comuns nas maiores áreas ermas tropicais do restante do mundo, mas este ano as águas subiram mais e permaneceram acima do nível normal durante mais tempo em décadas, deixando árvores frutíferas inteiramente submersas.

Apenas quatro anos atrás, as mesmas comunidades haviam sofrido uma seca sem precedentes, que arruinou

safras e deixou enormes quantidades de peixes mortos e deteriorados nos leitos secos. As chuvas anormalmente intensas foram causadas por dois fenômenos climáticos simultâneos: La Niña, caracterizado por um resfriamento atípico das águas da superfície do Oceano Pacífico, e as águas superficiais anormalmente quentes do Oceano Atlântico tropical ao sul do Equador, que favoreceram a formação de um cinturão de baixa pressão sobre a terra na região equatorial, conhecido como Zona de Convergência Intertropical (ITCA). É para essa área que os ventos quentes e úmidos levam massas de nuvens, causando chuvas mais fortes do que o normal, geralmente em março e abril, no Nordeste do Brasil. Geralmente, a Zona de Convergência Intertropical se movimenta em março, mas em 2009 ela permaneceu imóvel até maio. Enquanto em 2005, durante a estação de pico, que vai de fevereiro a maio (FMAM), a chuva ficou quase 50-100 mm abaixo do normal, em 2009, os estados amazônicos experimentaram níveis pluviais da ordem de 100 a 200 mm acima do normal.

Quase 400 mil crianças estão faltando às aulas, seja porque as estradas estão bloqueadas, as salas de aula estão debaixo d'água, ou as escolas estão sendo usadas para acomodar os desabrigados. A situação é descrita como mais grave no estado do Amazonas, onde um quarto de todos os alunos foi afetado. No Nordeste do Brasil, a pior enchente em pelo menos duas décadas varreu pontes e estradas, destruiu centenas de casas e causou enormes perdas para a agricultura. Os estados mais afetados pelas chuvas intensas e enchentes são Amazonas e norte do Maranhão, Ceará, Piauí e Paraíba, no Nordeste, mas partes do Rio Grande do Norte, Bahia, Pernambuco e Alagoas, também no Nordeste, foram afetadas.

4. EXPERIÊNCIAS DE PROJEÇÕES DE EXTREMOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Alguns modelos de circulação global sugerem que a Amazônia pode estar vulnerável a seca extrema em resposta aos deslocamentos de circulação causados pelo aquecimento global (Li et al. 2006), o que pode causar perdas das florestas tropicais, com aceleração potencial do aquecimento global (Cox et al. 2004). Flutuações no gradiente da temperatura da superfície do mar meridional (SST) são uma forma dominante de variabilidade no Atlântico tropical sobre escalas temporais de intervalos interanuais a multidécadas, tendo sido relacionadas a secas e enchentes na Amazônia e no Nordeste do Brasil. Portanto, futuras mudanças do gradiente SST meridional do Atlântico tropical são um possível fator de mudança climática para a região amazônica, com impactos em escala desde regionais até globais, através de feedbacks do ciclo de carbono (Cox et al. 2000, 2004, 2008; Li et al. 2008).

Durante a última década, a Amazônia passou por duas secas: em 1997/98 e em 2005. As duas causaram significativas anomalias no nível pluvial e estresse hidrológico, aumentando significativamente o número de incêndios detectados nessa região (Aragão et al. 2008). As áreas afetadas por incêndios geralmente se tornam mais vulneráveis a incêndios recorrentes. A interação entre o uso da terra e as mudanças climáticas provavelmente irá gerar um feedback positivo (como em Cochrane et al. 1999), aumentando a vulnerabilidade da Amazônia a mudanças climáticas e tendo efeitos significativos sobre o ciclo global de carbono.

A seca do ano de 2005 foi o assunto de um estudo numérico de autoria de Cox et al. (2008). Eles usaram o modelo global HadCM3LC do Hadley Centre, no Reino Unido, realizado com aerossóis, e prevê um aumento de 2°C no Índice AMO de Oscilação Década Atlântica (que é altamente correlacionado com o gradiente SST meridio-

nal no Atlântico tropical] até o fim deste século. Como consequência, essa projeção de modelos gerais de circulação atmosférica (GCM, General Circulation Models) sugere que as condições de 2005 serão observadas com frequência cada vez maior sob CO₂ atmosférico em crescimento. Embora as projeções do modelo climático difiram em detalhes, uma avaliação preliminar dos resultados de GCM é usada no Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (sob o cenário A1B do SRES, que inclui aerossóis antropogênicos), também indica um risco crescente de ultrapassar o índice AMO de 2005. A Figura 3 estima a probabilidade de um ano “parecido com 2005” ocorrendo no modelo HadCM3LC executado com aerossóis, com base na fração de anos de uma janela de 20 anos centrada que ultrapasse o valor do Índice AMO de 2005. O modelo sugere que 2005 teve um evento a cada intervalo de aproximadamente 20 anos, mas a relação passará a ser de uma ocorrência para cada dois anos por volta de 2025, e nove ocorrências a cada intervalo de 10 anos em torno de 2060. Esses limites obviamente dependem na taxa de crescimento do CO₂, que por si só depende do cenário das emissões escolhido. Esses resultados sugerem que secas parecidas com a de 2005 na Amazônia se tornarão muito mais frequentes sob condições de redução da carga de aerossol e aumento do CO₂ não atenuado.

Para a América do Sul, as projeções para o final do século 21, do AR4 do IPCC (www.ipcc.ch) e do relatório do Clima do INPE (www.cptec.inpe.br/Mudancas_climaticas), são unânimes no que se refere a previsões de mudanças na maioria dos índices de temperatura com clima mais quente, com diferenças na distribuição espacial das mudanças e nas taxas das tendências detectadas nos cenários. Entretanto, o consenso e a importância são menores no que se refere aos padrões regionais e, enquanto todos os modelos mostram consistência no

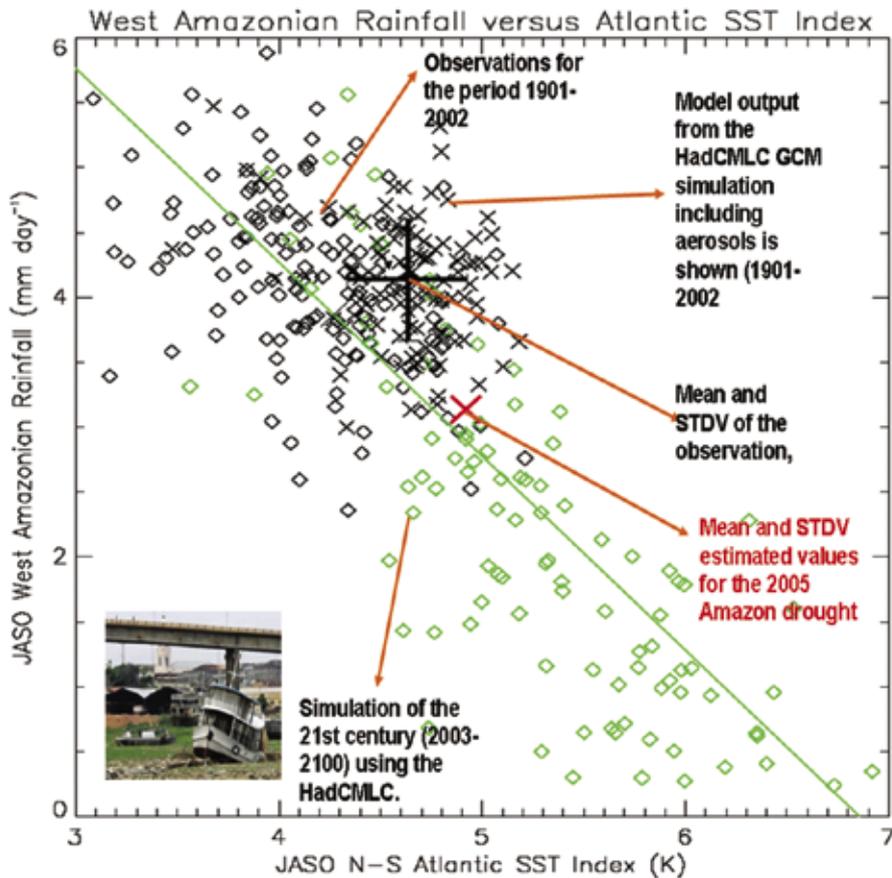


Figura 3. O relacionamento entre as anomalias de julho-outubro na chuva na Amazônia ocidental e o índice AMO no gradiente norte-sul SST no oceano atlântico tropical. As observações do período 1901-2002 são mostradas por cruzes diagonais em preto. O resultado do modelo da simulação GCM HadCM3, que inclui aerossóis, é indicado por losangos na cor verde para o período histórico (1901-2002) e em losangos na cor verde para a simulação do século 21 (2003-2100). A linha verde mostra o melhor ajuste ao resultado GCM, a cruz grande em preto mostra o desvio médio e padrão das observações, e a cruz diagonal em vermelho mostra valores estimados para a seca na Amazônia em 2005 (Cox et al. 2008).

sinal de aquecimento, o mesmo não pode ser dito para os extremos de chuvas. Mesmo que o consenso não seja tão grande quanto em outras regiões, a tendência é que mais modelos mostrem reduções nas chuvas na Amazônia oriental, enquanto na Amazônia ocidental as projeções mostram um aumento entre 2071-2100.

Com relação aos extremos climáticos, Tebaldi et al. (2006), Marengo (2009) e Marengo et al. (2009) avaliaram projeções mundiais de mudanças nos extremos climáticos de um conjunto de oito modelos globais AR4 do IPCC e de projeções de modelos regionais HadRM3P, sob diversos cenários de emissões para o período 2071-2100. As projeções para mudanças climáticas regionais HadRM3P de Marengo et al. (2009) mostram que tanto nos cenários de emissões altas quanto no de baixas (A2 e B2, respectivamente), há uma tendência à redução de chuvas no centro-leste e no sul da Amazônia, principalmente devido ao aumento na frequência e intensidade dos dias secos consecutivos. Essas conclusões são consistentes com as projeções de mudanças climáticas

derivadas dos modelos globais AR4 do IPCC (Tebaldi et al. 2006), nos quais o aumento do número de dias secos consecutivos no centro e no leste da Amazônia e o aumento de eventos de chuva intensa na área também foram detectados no oeste da Amazônia no cenário intermediário A1B.

As análises combinadas de extremos de chuva, tanto dos modelos globais quanto dos regionais, sugerem que esse aumento da chuva no futuro será na forma de extremos de chuva mais intensa e/ou frequente, enquanto as reduções de chuvas serão na forma de períodos de seca mais intensa. Na Amazônia oriental e no Nordeste do Brasil, o risco de seca provavelmente irá aumentar. No Sul e no Sudeste do Brasil, o aumento da precipitação média também está associado ao aumento da frequência de dias úmidos e reduções no número de dias secos consecutivos. Entretanto, essas projeções são para 2071-2100, e não há muita coisa dita sobre períodos mais próximos, como 2030.

5. PROJEÇÕES REGIONAIS PARA MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EXTREMOS ATÉ 2030

As projeções de mudanças climáticas derivadas dos Modelos de Climas Regionais podem ser consideradas, com algumas reservas, extremamente úteis para estudos sobre impactos climáticos, devido ao padrão subcontinental e à magnitude da mudança, o que resulta em um modelo mais sofisticado do que o espaçamento em grade, que impõe limitações para a representação da topografia, do uso da terra e da distribuição terra-mar.

Os cenários de mudanças climáticas futuros em alta resolução foram desenvolvidos a partir de resultados de modelos climáticos produzidos em diversas partes do mundo (ver críticas em Marengo et al. 2009 e referências citadas). Experimentos em pequena escala sobre cenários de mudanças climáticas na América do Sul foram disponibilizados recentemente para diversos cenários de emissões e períodos até o final do século 21, com o uso de diversos modelos regionais forçados com os cenários de mudanças climáticas globais futuras como condições limitantes de diversos modelos climáticos globais.

A metodologia de regionalização (downscaling) dinâmica dos cenários de mudanças climáticas, uma descrição do modelo global e os três modelos regionais usados são mostrados em Marengo et al. (2009a, b, 2007). Neste relatório, apresentamos as projeções dos extremos climáticos usando o modelo regional de latitude-longitude de 40 km do Eta-CPTec, incluído no modelo de clima global do Hadley Center, do Reino Unido, Met Office HadCM3P AOGCM, que foi executado com a abordagem da “perturbação física” (Collins et al. 2006). Os modelos CPTec/HadCM3 foram executados para o presente (1961-1990) induzido pelo gelo marítimo e temperaturas da superfície marítima observadas. Para o futuro, o período de 2010-2100, o modelo HadCM3 é induzido por estimativas SSTs do componente oceânico do modelo HadCM3. Foram adotados seis índices com base em chuvas extremas, os mesmos usados pelo IPCC (2007z) para o cenário de emissões intermediárias A1B (Nakicenovic et al. 2000). A análise se concentra no período de 2010-2030.

Os índices usados são:

1. Precipitação anual total, PREC
2. Número máximo de dias secos consecutivos: CDD
3. Número máximo de dias úmidos consecutivos: CWD
4. Número de dias com precipitação maior que 20 mm: R20
5. Fração da precipitação total devido a eventos que excederam o percentil 95o da distribuição climatológica para quantidades de dias úmidos: R95P
6. Precipitação máxima em dias, o total de precipitação em 5 dias consecutivos que poderiam levar a enchente: R5XDay

Esses índices não representam eventos extremamente raros, para os quais o cálculo de tendências significativas poderia ser a priori atrapalhado pelo tamanho reduzido das amostras. Os índices selecionados foram calculados em bases mensais e/ou anuais, e alguns baseiam-se em limites definidos como percentis (ex.: R95P) ou um valor determinado (ex.: R20), sendo usados para facilitar a comparação entre estações. R95 é definido como precip > 95o. considerando quintiles das climatologias calculadas a partir do histórico do mesmo modelo realizado entre 1961 e 1990.

A Figura 3 mostra que por volta de 2010 a precipitação aumentará no Sul do Brasil, assim como na Amazônia ocidental e na região litorânea entre Amapá e Ceará. Reduções nas chuvas são esperadas no sul e no centro da Amazônia, no Centro-Oeste do Brasil e na maior parte do Nordeste do Brasil, enquanto o número de dias úmidos consecutivos tende a cair na maior parte do Nordeste do Brasil, Centro-Oeste do Brasil e oeste e sul da Amazônia. Os índices extremos de chuvas mostram aumentos na frequência e na intensidade de eventos de chuva extremos no Sul e Sudeste do Brasil e, em menor grau, na Amazônia ocidental e na região litorânea da Amazônia oriental e no norte do Nordeste. São detectadas reduções nos extremos de chuvas do sul da Amazônia até o litoral do leste do Nordeste do Brasil do Rio Grande do Norte até o Espírito Santo. Por volta de 2020, enquanto as chuvas extremas e totais tendem a aumentar na

Amazônia ocidental e no sul do Sudeste do Brasil, o resto das regiões tende a mostrar uma redução das chuvas extremas. Em 2030, o padrão dominante é uma redução na quantidade total de chuvas e no número de dias úmidos na América do Sul tropical, com uma tendência para aumento das chuvas extremas em regiões como a Amazônia ocidental e Sul e Sudeste do Brasil. A redução projetada das chuvas extremas é consistente com um aumento do número projetado de dias secos consecutivos.

A Tabela 1 mostra uma síntese das tendências simuladas (1961-90) e projetadas dos índices pluviométricos conforme fornecidos pelo modelo Eta CPTEC, com médias por região do Brasil. Com base nas poucas observações disponíveis, podemos dizer que a climatologia de chuvas anuais do presente PREC simulada está perto da climatologia observada, com uma subestimação sistemática em regiões como Amazônia e uma superestimação no Sudeste e Sul do Brasil, entre -10% e -10%. Para os outros índices, para regiões com informações suficientes para calcular esses índices (como Sul e Sudeste) para 1961-90, a correspondência entre o modelo e as observações é bastante aceitável, entre +15% e -15%.

Tabela 1. Resumo (1961-1992) e índices projetados (2010, 2020, 2030) de chuva extrema para cinco regiões do Brasil. “Valor” representa o valor do índice produzido pelo modelo Eta CPTEC, e “Anoma” representa a diferença entre os valores dos índices do futuro e do presente.

PREC (mm/year)					R20mm (days)										
	1961-1990	2010		2020		2030			1961-1990	2010		2020		2030	
	Value	Value	Anoma	Value	Anoma	Value	Anoma		Value	Value	Anoma	Value	Anoma	Value	Anoma
Amazon	1905.5	1835.5	-69.9	1980.9	75.5	1798.7	-297.8	Amazon	18.6	17.4	-1.2	20.0	1.3	15.9	-2.7
Southern	1712.5	1986.0	273.2	1815.2	102.3	1662.7	-203.8	Southern	24.5	29.2	4.6	26.7	2.1	22.0	-2.6
Northeastern	476.5	543.0	66.6	481.7	5.2	753.9	1.9	Northeastern	3.9	5.2	1.3	4.3	0.4	5.7	1.8
West Central	1222.3	1291.61	69.3	1249.9	27.5	1108.4	-177.1	West Central	12.4	12.0	-0.3	12.7	0.2	9.7	-2.7
Southeastern	1518.4	1829.4	311.0	1585.3	66.8	1566.5	-136.3	Southeastern	21.4	27.2	5.7	23.2	1.7	19.8	-1.6

CDD (days)					R95p (mm/year)										
	1961-1990	2010		2020		2030			1961-1990	2010		2020		2030	
	Value	Value	Anoma	Value	Anoma	Value	Anoma		Value	Value	Anoma	Value	Anoma	Value	Anoma
Amazon	33.7	37.4	3.5	37.9	4.1	42.5	8.8	Amazon	384.1	331.1	-52.9	378.1	-5.9	354.4	-29.7
Southern	34.5	27.8	-6.7	24.2	-10.3	49.3	14.8	Southern	371.3	364.2	-7.0	336.7	-34.6	334.4	-36.9
Northeastern	90.4	108.5	18.0	125.9	35.4	149.1	58.6	Northeastern	69.1	98.2	29.0	83.8	14.6	111.1	41.9
West Central	45.8	39.8	-6.0	38.8	-7.0	61.9	16.0	West Central	275.9	226.5	-49.4	233.2	-42.6	219.2	-56.8
Southeastern	48.6	47.8	0.9	33.6	-15.0	74.4	25.8	Southeastern	314.7	331.7	16.9	286.5	-28.2	306.1	-8.7

CWD (days)					RX5day (mm/year)										
	1961-1990	2010		2020		2030			1961-1990	2010		2020		2030	
	Value	Value	Anoma	Value	Anoma	Value	Anoma		Value	Value	Anoma	Value	Anoma	Value	Anoma
Amazon	37.1	35.2	-1.9	44.5	7.4	26.8	-10.3	Amazon	111.7	111.8	0.1	121.2	9.5	106.0	-5.7
Southern	13.8	15.1	1.3	14.1	0.2	13.9	0.1	Southern	138.1	147.0	8.9	153.1	15.0	147.3	9.2
Northeastern	12.1	10.6	-1.5	10.7	-1.5	9.5	-2.7	Northeastern	73.6	87.0	13.13	69.3	-4.3	95.5	21.8
West Central	13.9	15.8	1.9	19.7	5.7	14.2	0.3	West Central	114.1	101	-12.7	115.2	1.1	110.5	-3.6
Southeastern	14.5	17.3	2.8	16.9	2.4	16.9	2.4	Southeastern	143.7	162.6	18.8	157.7	13.9	143.8	0.1

6. IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AMAZÔNIA: UM RESUMO

No caso da Amazônia, podemos dizer, a partir dos dados apresentados na Tabela 1 e nas Figuras 4-6, que para a região Amazônica, por volta de 2010, 2020 e 2030, há um aumento na frequência de dias secos consecutivos em relação ao presente. O fato de por volta de 2100 haver um aumento de CDD na região sugere uma grande variabilidade interanual, embora a tendência seja de aumento na frequência de CDD. Os índices PREC e CWD demonstram projeções de redução nas chuvas na região e mostram variabilidade interanual, o que significa que, em alguns anos ou décadas, a chuva pode aumentar, mas, em geral, a tendência é de haver uma redução por volta de 2100. Os índices de extremos mostram reduções na região Amazônia como um todo, variando em magnitude de 2010 a 2030, mas as Figuras 1-2 mostram que, na Amazônia ocidental, a tendência é de aumento das chuvas extremas por volta de 2030. Isso sugere comportamentos opostos nas proje-

ções de chuvas entre a Amazônia ocidental e oriental, o que é consistente com as simulações de clima médio e extremo a partir dos modelos AR4 do IPCC.

Tais mudanças nas chuvas, junto com o aquecimento projetado para a Amazônia, que pode atingir até 4-6 oC, certamente causariam impactos sobre a população, biodiversidade e atividades humanas. Os aumentos projetados na frequência dos extremos diários e sazonais podem implicar períodos secos mais longos na Amazônia oriental e secas mais frequentes, como em 2005. Isso aumentaria o risco e a vulnerabilidade a incêndios e as condições secas causariam um impacto negativo sobre a saúde humana, atividades agrícolas, biodiversidade e manejo florestal, geração de hidreletricidade e transporte fluvial e, quanto ao aspecto socioeconômico, a perda de muitas horas de trabalho e no acesso de crianças à escola.

7. ADAPTAÇÃO E OPÇÕES DE MITIGAÇÃO

Eventos climáticos extremos devem afetar a Amazônia, como se espera no caso das mudanças climáticas. Eventos de seca podem aumentar significativamente o número de incêndios na região, mesmo com a diminuição dos índices de desmatamento. Podemos esperar que o desmatamento contínuo, atualmente baseado em procedimentos de corte e queimada e no uso de incêndios como medida tradicional para manejo da terra na Amazônia, intensificará o impacto das secas. O aumento das secas pode ser esperado como consequência associada à variabilidade climática natural ou mudança climática causada pelo homem. Portanto, uma grande área florestal pode estar sob maior risco de incêndio.

Os impactos causados pelos incêndios na região amazônica podem ser reduzidos com o apoio do governo,

já que os incêndios na região são principalmente causados por atividades humanas, podendo ser evitados e/ou reduzidos por medidas como: a introdução de técnicas de manejo de terra sem fogo; o reforço do monitoramento, o controle e a aplicação da atual legislação brasileira sobre incêndios ilegais; a criação de áreas protegidas (Aragão et al. 2008, Nepstad et al. 2006); e programas de educação ambiental. Algumas iniciativas, como a criação de estatutos de Reservas Extrativas, o Programa Piloto para Conservação da Floresta Tropical Brasileira (PPG7), e o projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) foram implementados no Brasil como tentativas de aplicar as ideias de desenvolvimento sustentável e planejamento territorial na Amazônia (Alves 2008).

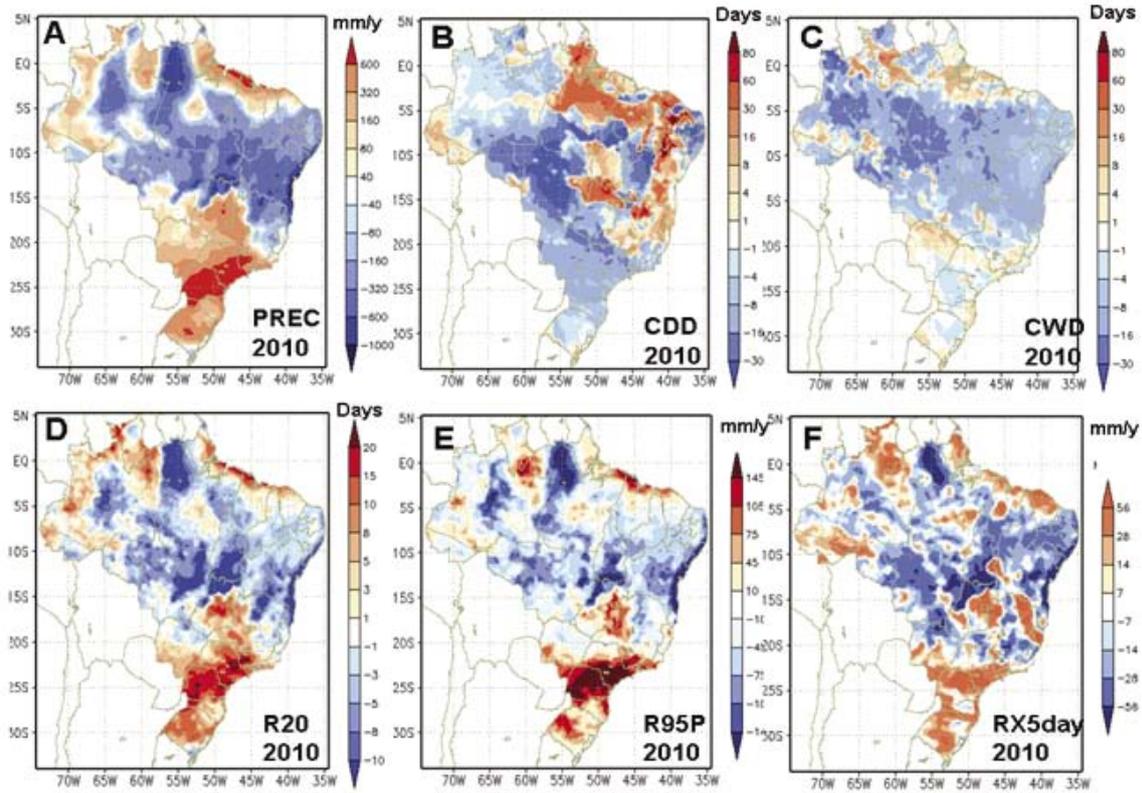
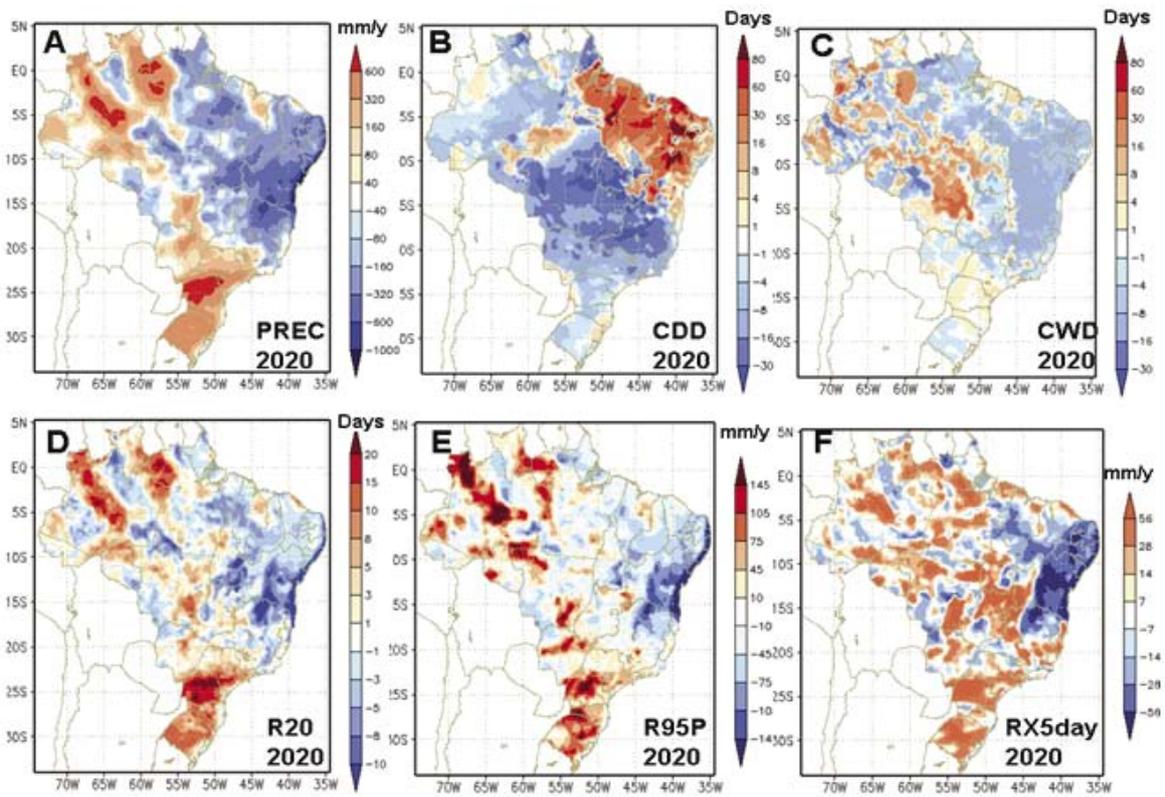
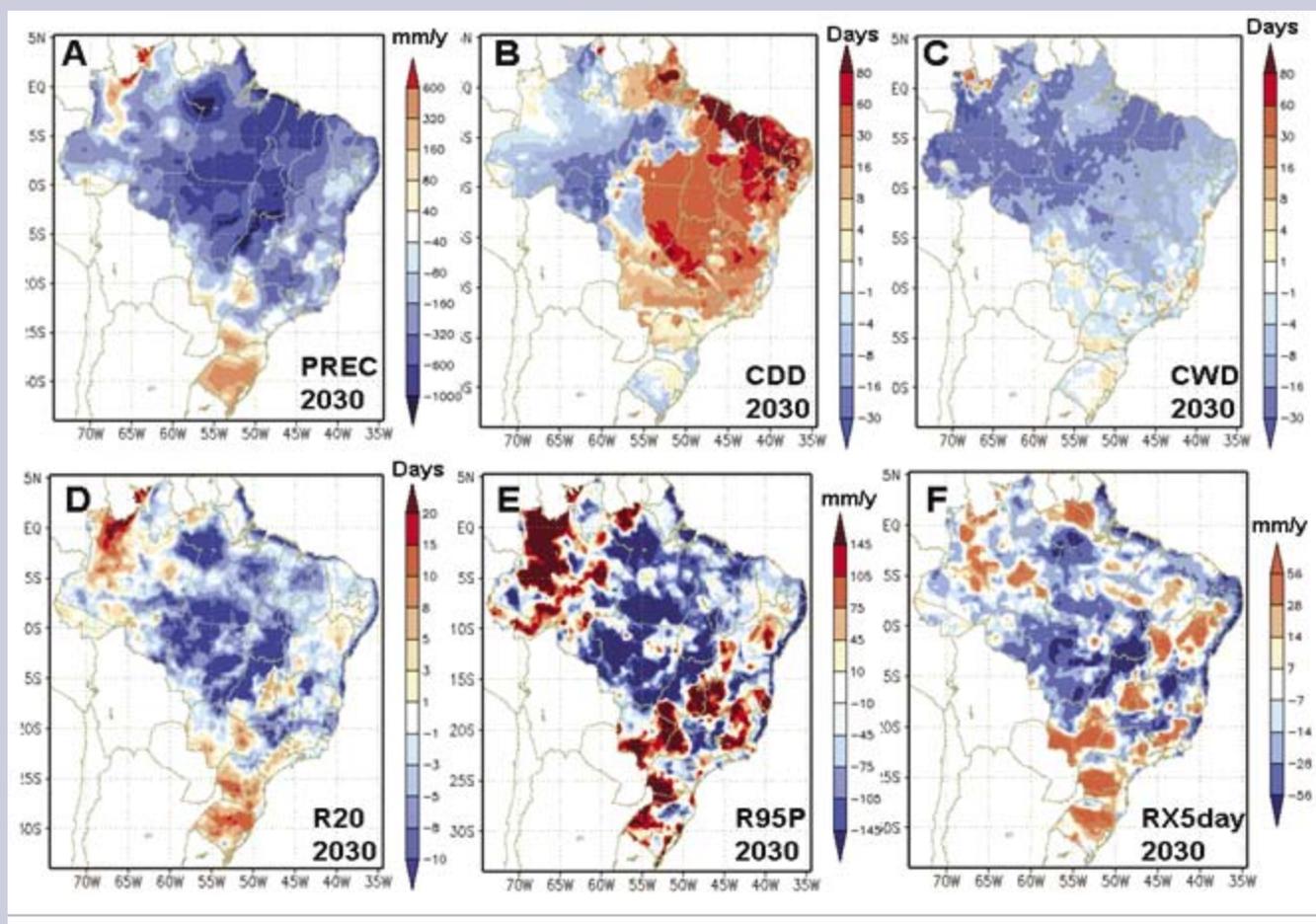


Figura 4. Índices de precipitação e extremos derivados das projeções de mudanças climáticas do Eta-CPTEC (40 km) para 2010, para o cenário A1B. Os índices são definidos em Frisch et al. [2002]. As figuras mostram as mudanças para a climatologia simulada do Eta-CPTEC para o ano de 2010 relativas ao período corrente (1961-90)



Como na Figura 4, mas para o ano de 2020.

Propostas recentes para compensar os países em desenvolvimento pela redução das emissões oriundas do desmatamento e da degradação (ERDD) sob regimes de mitigação de mudanças climáticas futuras estão recebendo cada vez mais atenção. As discussões acerca das políticas climáticas internacionais estão considerando as ERDD como uma possível contribuição para a mitigação das mudanças climáticas. Recentemente, o debate ganhou novo fôlego, com propostas de compensação dos países em desenvolvimento que tiverem êxito na redução das emissões provocadas pelo desmatamento (REDD) com incentivos financeiros, como créditos de carbono comercializáveis (Laurance 2007). O conceito envolveria, muito provavelmente, países incluídos em um regime de Kioto pós 2012 (Santilli et al. 2005; UNFCCC 2005). Conceder créditos pelas reduções de emissão em nível nacional, em vez de em nível de projeto, teria a vantagem adicional de permitir a consideração do casos de “fuga de carbono” dentro do país, que é o que ocorre quando as atividades de desmatamento são simplesmente deslocadas, em vez de evitadas (Aukland et al. 2003). REDD trata, portanto, de uma das maiores objeções levantadas nas discussões políticas do passado contra a inclusão de desmatamento evitado sob a CDM. Globalmente, a Amazônia destaca-se como a região com o maior potencial para contribuir para a mitigação das mudanças climáticas através da REDD (Ebeling e Yasue, 2008).



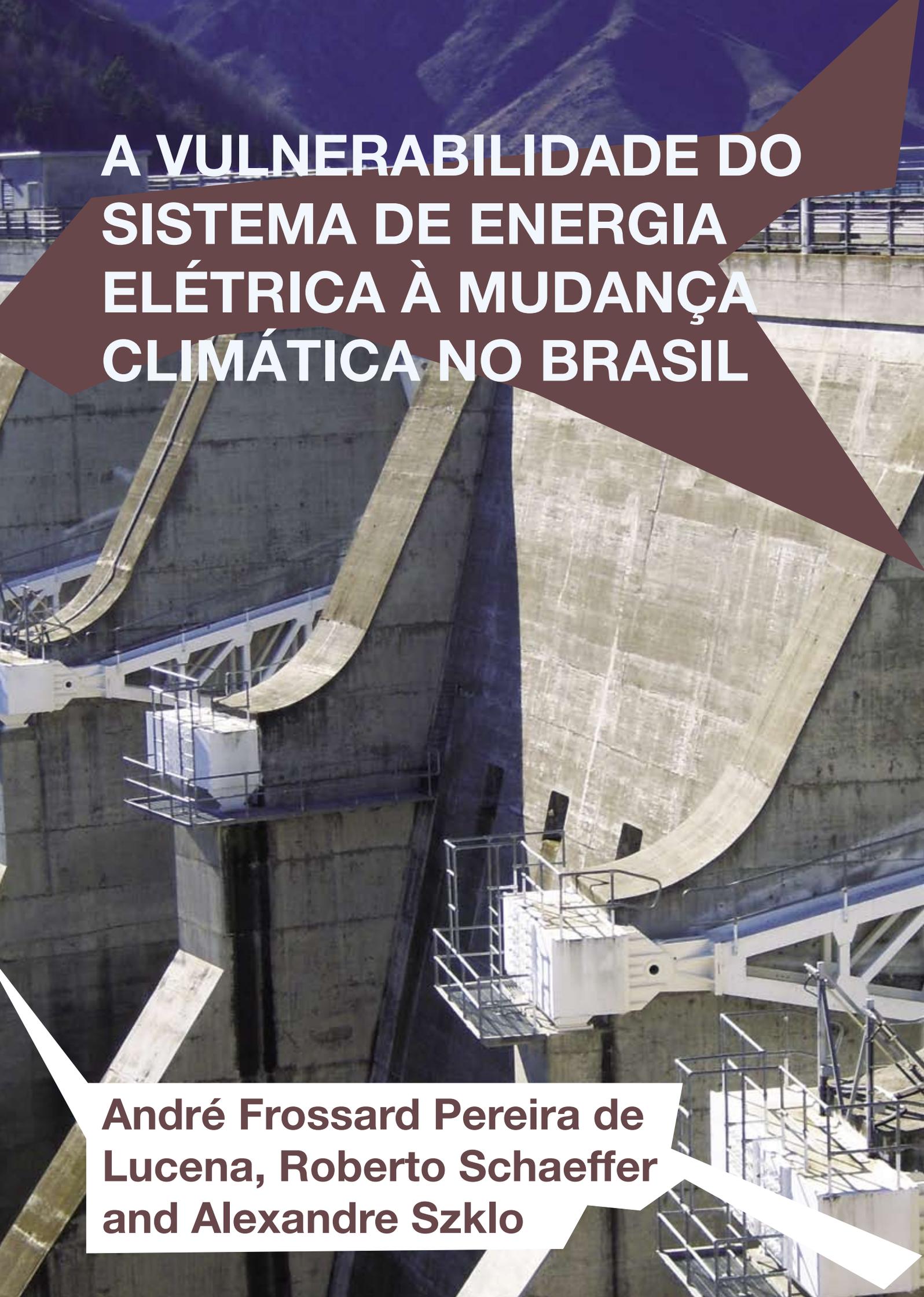
Como na Figura 4, mas para o ano de 2030.



A introdução de pagamentos por serviços ambientais (PES, Hall 2008) oferece a oportunidade de populações tradicionais e indígenas serem compensadas por contribuir para o sequestro de carbono, atendendo ao desafio de reduzir o aquecimento global. Como um mecanismo dentre vários para promover a conservação da biodiversidade e o desenvolvimento sustentável, iniciativas PES em favor dos pobres poderiam, por fim, ser incorporadas a uma estrutura internacional pós-Kioto para encorajar a redução das emissões provocadas pelo desmatamento. A compensação financeira na forma de renda PES recompensaria usuários de recursos por seus esforços para preservar florestas e outros recursos naturais intactos, e/ou introduzir sistemas de produção geradores de excedentes econômicos e sustento para as populações locais sem destruição da base de recursos da qual a sobrevivência das pessoas depende.

O Programa Bolsa Floresta, implementado pelo Governo do Estado do Amazonas em junho de 2007, como um esquema PES para pequenos agricultores no estado, teve algum sucesso e se tornou o modelo para futuras implementações de PES em todos os estados e países amazônicos. De acordo com esse programa, uma quantia mensal de 50,00 reais (cerca de 30 dólares) será paga para mais de 4000 famílias em cinco áreas protegidas pelo “desenvolvimento sustentável”, estendendo-se a 8500 famílias até o final de 2008. O objetivo é sustentar as populações tradicionais em sua busca por atividades não-destrutivas, como o extrativismo, a pesca e o cultivo de árvores frutíferas, e desencorajar desmatamentos ilegais. No futuro, os estados do Brasil poderiam arcar com uma responsabilidade básica de gerenciamento florestal e a introdução de esquemas PES.

Embora as projeções das chuvas dos diversos modelos AR4 do IPCC difiram substancialmente na Amazônia, os resultados sugerem que essa região pode ser drasticamente alterada, não somente pelos aumentos na concentração de gases do efeito estufa, mas também devido a esquemas de desenvolvimento, uso da terra e cobertura da terra nas próximas décadas. Devido às mudanças no clima médio e extremo futuro, a perda da floresta pode ser maior ao longo das áreas do sudeste e leste da bacia, e os impactos das mudanças também podem afetar as condições meteorológicas e o clima em outras regiões, como a Bacia do Prata no sudeste da América do Sul. A preservação das florestas amazônicas e a redução do desmatamento são uma opção que não será fácil de implementar. O investimento, entretanto, certamente compensará. O destino da maior floresta tropical da Terra está em jogo.



A VULNERABILIDADE DO SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA À MUDANÇA CLIMÁTICA NO BRASIL

André Frossard Pereira de Lucena, Roberto Schaeffer and Alexandre Szklo

RESUMO

Este estudo analisa os impactos que a mudança climática global pode ter na produção hidrelétrica no Brasil e propõe algumas medidas de adaptação para superação desses impactos. Para isso, foram usadas projeções climáticas regionalizadas (com o método downscaling) dinamicamente do modelo geral de circulação atmosférica HadCM3 para os cenários SRES (Special Report on Emissions Scenários, Relatório Especial sobre Emissões) A2 e B2 do IPCC para simulação de energia hidrológica. Os resultados apontam para o fato de que a confiabilidade da geração hidrelétrica no Brasil pode estar comprometida. Em algumas regiões, como Norte e Nordeste, a produção de energia hidrelétrica pode ser afetada, pois a disponibilidade hídrica nessas regiões diminui significativamente.

Os estudos sobre impactos climáticos baseiam-se nos resultados regionalizados de Modelos gerais de circulação atmosférica. Esses modelos projetam a evolução de variáveis climáticas, como temperatura e precipitação, com base em um cenário de evolução da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera. Entretanto, ainda há muita incerteza a respeito do modo como as funções de distribuição de probabilidade de variáveis climáticas podem se alterar em um cenário de mudança climática. Na verdade, a probabilidade de ocorrência de eventos climáticos extremos não é necessariamente proporcional a mudanças nos valores médios. Por isso, a avaliação de futuros eventos climáticos extremos e de seus impactos sobre sistemas naturais e humanos ainda precisa ser mais bem compreendida.

Por se basear essencialmente na energia renovável, o sistema de energia brasileiro é vulnerável às mudanças climáticas. A energia hidrelétrica desempenha um papel importante no fornecimento de eletricidade do país e respondeu por 80% da geração de eletricidade do Brasil em 2008. Alterações no ciclo hidrológico geradas por mudanças climáticas podem afetar a produção de eletricidade. A concentração de geração de eletricidade

nessa única fonte expõe o sistema a eventos climáticos extremos, como períodos de seca plurianuais, podendo afetar a capacidade do país de atender à demanda por eletricidade. Além disso, dadas as crescentes restrições ambientais à construção de novos grandes reservatórios, a capacidade de compensar regimes pluviométricos mais secos se reduzirá à medida que a demanda se expandir, devido à falta de capacidade de armazenamento. As medidas de adaptação propostas variam desde políticas no lado da demanda, como conservação de energia e maior eficiência energética, até políticas no lado da oferta, que promovem a expansão e a diversificação da matriz energética do país por meio de várias alternativas renováveis.

Danos físicos às instalações de geração de hidreletricidade não são esperados como resultado de eventos climáticos extremos relacionados à mudança climática global. As linhas de transmissão elétricas espalhadas por todo o país podem se tornar mais vulneráveis a potenciais ventos fortes, especialmente no Sul, mas os possíveis impactos não podem ser previstos com os modelos disponíveis atualmente.

O setor de seguros tem a oportunidade de contribuir para a melhoria de práticas no setor de eletricidade. Algumas empresas seguradoras já oferecem produtos específicos para projetos de energia alternativa, como seguro subsidiado para fazendas eólicas ou proteção a volatilidade de preços e a usinas de energia eólica e solar. Esses tipos de produtos inovadores podem criar o incentivo certo para expandir o desenvolvimento de projetos de baixa emissão de carbono. No lado da demanda, o setor de seguros pode oferecer produtos especiais para residências e empresas com iniciativas de construções ecológicas, como o uso das técnicas solar passiva, solar ativa e fotovoltaica ou o uso de plantas e árvores em telhados verdes e jardins de chuva para aproveitamento da água da chuva.

1. INTRODUÇÃO

A economia brasileira se baseia essencialmente nas fontes de energia renováveis. Cerca de 45% de toda a energia produzida no país em 2008 teve origem em fontes de energia renováveis. No setor de energia, essa dependência é ainda maior. As usinas de energia hidrelétrica foram responsáveis por 80% da geração de eletricidade do Brasil no mesmo ano (Ministério de Minas e Energia, 2009). A disponibilidade e a confiabilidade dessas fontes de energia renováveis, no entanto, dependem das condições climáticas, que podem variar à luz de mudanças climáticas globais (MCG) relacionadas à emissão de gases do efeito estufa (GEE).

Historicamente, o planejamento energético de longo prazo no Brasil não examinou os possíveis impactos da MCG sobre a vulnerabilidade das fontes de energia renováveis. Assim, o foco deste estudo é analisar as vulnerabilidades do sistema de energia elétrica no Brasil em relação à MCG. Isso é feito por meio da avaliação dos impactos que as novas condições climáticas, como as projetadas até 2100, podem ter sobre a produção de hidreletricidade no país.

Dois cenários de MCG semelhantes aos dois cenários de emissão A2 (emissão alta) e B2 (emissão baixa)¹ propostos pelo Relatório Especial do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas sobre Cenários de Emissões (IPCC, 2000) foram traduzidos em variações no fornecimento de energia hidrelétrica. Embora a mudança climática global também possa afetar o fornecimento² com origem em outras fontes de energia renováveis (como energia eólica e biocombustíveis líquidos) e não renováveis (como geração termelétrica e a gás), conforme mostrado por Schaeffer et al. (2008), essas outras fontes de energia não são examinadas neste trabalho. Este estudo concentra-se especificamente na hidreletricidade, já que esta é a mais importante fonte de energia renovável para a geração de eletricidade no Brasil (Ministério de Minas e Energia, 2009).

Os modelos climáticos são representações aproximadas de sistemas muito complexos. O nível de incerteza sobre os impactos da concentração de GEE no clima global (modelo climático global) e especificamente no clima brasileiro (modelo climático regional) é evidente quando comparado aos resultados de diferentes modelos climáticos (Marengo, 2007). Nesse sentido, os resultados apresentados neste estudo devem ser interpretados com cautela, devido a fatores como as grandes incertezas associadas à evolução futura das emissões de GEE (A2 e B2), as concentrações de GEE na atmosfera, a MCG e as incertezas acrescentadas pelas ferramentas de modelagem usadas para traduzir as

condições climáticas projetadas em impactos sobre o setor energético brasileiro.

Além das incertezas quanto aos modelos energéticos, os impactos estimados da MCG no setor de energia elétrica brasileiro apresentados neste estudo também dependem intrinsecamente das projeções climáticas adotadas. Portanto, numa análise com esse cenário de longo prazo, a ênfase é antes em tendências e direções do que na exatidão dos resultados fornecidos, dadas as muitas incertezas relacionadas a este tipo de estudo.

A energia hidrelétrica domina a geração de eletricidade no Brasil, e grandes represas hídricas dominam o setor. Com 791 usinas hidrelétricas em operação, as 25 maiores usinas com capacidade instalada superior a 1.000 MW respondem por 65% da capacidade instalada de energia hidrelétrica e por 49% de toda a capacidade de geração de eletricidade do país (ANEEL, 2009). Há ainda um potencial considerável de energia hidrelétrica não utilizada (estimado em cerca de 170 GW - EPE, 2007a) distribuído de modo não uniforme por todo o Brasil, mas localizado principalmente na região Norte e distante dos principais centros consumidores da região Sudeste, o que envolve custos de transmissão de eletricidade mais altos, assim como restrições ambientais.

Devido ao funcionamento integrado da grade energética nacional (SIN) e às complementaridades sazonais entre as diferentes regiões do país, a geração de energia em cada hidrelétrica depende, em grande medida, do fluxo de água recebido e de sua variação em várias épocas do ano. Assim, a variável climática relevante para a análise aqui discutida é o panorama a longo prazo do regime pluviométrico e evapotranspiração diante de uma possível nova realidade climática (Ambrizzi et al., 2007; Marengo et al., 2007; Salati et al., 2009).

¹ Para obter uma descrição mais detalhada das hipóteses dos cenários de emissão A2 e B2, consulte IPCC (2000). Os cenários de emissão do IPCC A2 e B2 foram traduzidos em projeções climáticas para o Brasil por uma equipe brasileira de especialistas em clima do CPTEC/INPE usando o modelo PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies). Trata-se de um sistema de modelo climático regional desenvolvido pelo Hadley Centre, que regionaliza os resultados do modelo HadCM3 de circulação atmosférica geral (Ambrizzi et al, 2007 e Marengo et al, 2007).

² A mudança climática global também pode impactar o consumo de energia, especialmente no caso de uso intensificado de ar condicionado nos setores residencial e de serviços. Esse ponto também foi investigado por Schaeffer et al. (2008).

³ Outras variáveis climáticas, como a temperatura, também são relevantes. Este estudo, no entanto, se concentra apenas nos impactos de diferentes regimes pluviométricos, uma vez que essa é a variável climática mais relevante que afeta o fluxo fluvial.

2. METODOLOGIA

Os dois cenários de emissão do IPCC nos quais se basearam as projeções climáticas usadas neste estudo, A2 e B2, são duas das quatro linhas mestras qualitativas (A1, A2, B1 e B2) caracterizadas por diferentes caminhos de desenvolvimento econômico e energético. Tais cenários descrevem futuros divergentes para tentar abranger uma parte significativa das incertezas subjacentes nas principais forças propulsoras de emissões de gases do efeito estufa (IPCC, 2000).

O cenário A2 (pessimista, alta emissão) descreve um mundo heterogêneo, em que a ênfase é no desenvolvimento econômico orientado para o regional. Nesse cenário, há menos ênfase nas interações econômicas, sociais e culturais entre regiões, que se tornam mais autoconfiantes e tendem a preservar as identidades locais. Além disso, o crescimento econômico per capita e a mudança tecnológica são desiguais e lentos, o que não ajuda a reduzir a distância entre locais hoje industrializados e partes do mundo em desenvolvimento. No cenário A2, as intensidades finais de energia diminuem em ritmo entre 0,5 e 0,7 por ano (IPCC, 2000).

No cenário B2 (otimista, baixa emissão), há uma preocupação maior em relação à sustentabilidade ambiental e social nos níveis nacional e local. Esse cenário apresenta um mundo com população global em crescimento contínuo a uma taxa inferior à do cenário A2, níveis intermediários de desenvolvimento econômico, além de inovações tecnológicas mais heterogêneas regionalmente. A intensidade final de energia do cenário B2 diminui em cerca de 1% por ano, de acordo com a experiência histórica, desde 1800 (IPCC, 2000).

Os cenários de emissão A2 e B2 do IPCC foram traduzidos em projeções climáticas para o Brasil por uma equipe de especialistas brasileiros em clima do CPTEC/INPE, com

o uso do modelo PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies, Fornecimento de Climas Regionais para Estudos de Impacto). Desenvolvido pelo Hadley Centre, este é um modelo climático regionalizado (com o método downscaling) os resultados do modelo climático global HadCM3⁴. Esse modelo usa as concentrações atuais e futuras de GEE e enxofre projetadas pelos cenários de emissões A2 e B2 do IPCC para fazer projeções climáticas regionais consistentes com o modelo global⁵ (Marengo, 2007). Para os fins deste estudo, o modelo PRECIS forneceu projeções de precipitação e temperatura com resolução de 50 km quadrados para o período 2025-2100, bem como os dados de referência⁶ (Ambrizzi et al., 2007 e Marengo et al., 2007).

Para avaliar o impacto de um novo regime pluviométrico sobre a geração de eletricidade advinda de usinas de energia hidrelétrica, primeiro foi necessário projetar de que forma isso afetaria o fluxo de entrada em cada instalação hidrelétrica da SIN. Em seguida, com a série de fluxos projetados em mãos, um modelo de simulação de operação chamado SUISHI-0 (Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Subsistemas Hidrotérmicos Interligados), desenvolvido pelo CEPEL (2007) foi usado para calcular os impactos sobre a geração de energia.

A primeira etapa não foi trivial. O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície e a atmosfera, motivado pela energia solar associada à gravidade e à rotação da Terra. Assim, a água da precipitação que alcança o solo pode estar sujeita a infiltração, percolação e evapotranspiração ao ser exposta à energia solar (Tucci, 2004). A parte que não se infiltra no solo, evaporando ou sendo absorvida pela vegetação, se torna escoamento, que pode ser usado para vários fins, inclusive para geração de eletricidade.

Em uma primeira tentativa de lidar com essa questão complexa e dada a precária disponibilidade de dados históricos sobre precipitação, Schaeffer et al. (2008) primeiro estimaram os fluxos futuros em cada usina de energia que alimenta a grade nacional usando modelos de séries temporais de uma só variável. Cada série de fluxos foi gerada a partir de modelos ARMA de 12 períodos aplicados às séries de fluxos históricos. Isso foi possível porque há boa disponibilidade de dados de fluxos históricos em instalações hidrelétricas no país (ONS, 2007). Em segui-

⁴As condições de limite lateral do modelo PRECIS são dadas pelo modelo HadAM3P de circulação geral da atmosfera global, que constitui o componente atmosférico do modelo HadCM3 climático global oceano-atmosfera, forçado com anomalias de temperatura da superfície marítima (Marengo, 2007).

⁵Para obter informações detalhadas sobre os aspectos metodológicos do modelo PRECIS, consulte Marengo (2007) e Jones et al. (2004).

⁶Os dados de referência dizem respeito aos resultados do modelo PRECIS para o passado, ou seja, o período 1961-1990. Não são usados valores históricos, mas valores modelados das concentrações históricas de GEE na atmosfera

da, o impacto das mudanças no regime pluviométrico foi incorporado à série de fluxos projetada por meio de coeficientes de sensibilidade hidrológica. Entretanto, devido à falta de dados sobre precipitação em todas as métricas de fluxos, foi necessário definir usinas de referência a partir das quais os resultados foram estimados para outras usinas hidrelétricas na mesma bacia.

Valendo-se de modelos de equilíbrio hídrico, Salati et al. (2009) projetaram o escoamento anual médio das maiores bacias brasileiras para o período de referência (1961-1990) e para cada período de cinco anos entre 2025 e 2100. A alteração percentual entre as projeções e os dados de referência foram aplicados por Schaeffer et al. (2009) ao influxo anual médio histórico no reservatório de cada usina de energia, criando assim a projeção de uma série temporal anual para influxos hídricos.

As variações sazonais desempenham um papel importante na operação de sistemas hidrelétricos, principalmente em países grandes como o Brasil, onde elas podem ser complementares entre as regiões. Assim, em um segundo estágio metodológico, Schaeffer et al. (2009) avaliaram possíveis impactos sazonais causados pela MCG através de uma metodologia semelhante à já usada antes em Schaeffer et al. (2008). Alterações projetadas na relação de médias mensais para anuais foram aplicadas à série temporal anual resultante dos dados gerados por Salati et al. (2009) para gerar uma série temporal mensal. A Figura 1 ilustra esse procedimento metodológico.

A média das relações mês/ano foi projetada por Schaeffer et al. (2009), com o uso de um método estatístico que emprega dados de painel sobre precipitação e fluxo para estimar os coeficientes de sensibilidade hidrológica. Essas relações foram calculadas a partir de uma série sintética que incorporou os impactos das mudanças de precipitação projetadas (através de coeficientes de sensibilidade hidrológica) em uma série mensal média (com os valores de fluxo médio de cada mês em cada usina de energia).

Finalmente, depois de geradas as estimativas de fluxo, um modelo de simulação de operação chamado SUIISHI-0 foi usado para quantificar a variação no sistema de geração de energia hidrelétrica brasileiro interconectado. As séries projetadas com o uso da metodologia acima para o fluxo recebido em 195 instalações hidrelétricas existentes e projetadas (EPE, 2007b) da SIN foram usadas como contribuições ao modelo SUIISHI-0, o que permitiu calcular possíveis variações na energia do sistema hidrelétrico brasileiro. Esse modelo calcula a energia firme e a média de energia de uma determinada configuração do sistema hidrelétrico (usinas de energia e suas características técnicas) e um determinado conjunto de séries temporais de fluxo. A energia firme, como calculada pelo SUIISHI-0, é definida como o maior mercado (demanda) que o sistema pode suprir continuamente, sem déficit, considerando-se a série hidrológica. Também é possível definir o conceito de energia firme como a quantidade de eletricidade que pode ser produzida no pior período hidrológico da série. A média de energia, como calculada pelo SUIISHI-0, é definida como a quantidade de energia que pode ser produzida consideradas as condições hidrológicas médias, com base na série de fluxo informada.

Para garantir o fornecimento de eletricidade, a expansão do sistema de geração de energia deve se basear na energia firme, uma vez que ela é, efetivamente, o que o sistema pode garantir (considerada a série de fluxos) continuamente sem déficit. No entanto, a média de energia é superior à energia firme. Em outras palavras, muitas vezes o sistema hidrelétrico será capaz de fornecer mais energia do que a energia firme calculada. Assim, um sistema confiável deve ter uma capacidade de geração termelétrica instalada para complementar a geração hidrelétrica em más condições hidrológicas, embora essa capacidade não seja utilizada o tempo todo. Portanto, as projeções de geração de energia firme e média de energia fornecem métricas complementares da capacidade de um sistema hidrelétrico.

Figura 1 – Procedimento hidrológico adotado

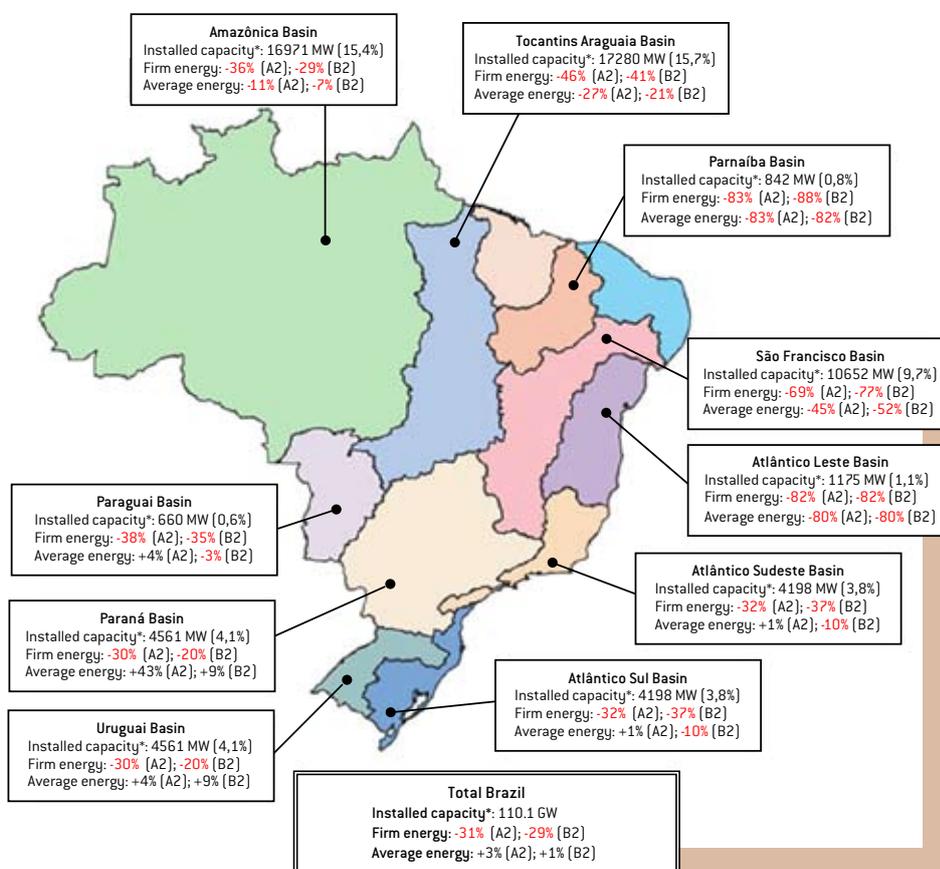


⁷ SUIISHI-0 é um modelo de simulação para a operação de cada usina de energia hidrelétrica em sistemas de energia hidrelétrica interconectados desenvolvidos pelo CÉPEL (2007). Esse modelo foi programado em FORTRAN 77.

3. IMPACTOS

A operação do sistema hidrelétrico brasileiro foi simulada em uma série temporal sintética de 75 anos (2025-2100) de fluxo em cada usina, projetada com base nas simulações climáticas de temperatura e precipitação nos cenários A2 e B2. Para a produção hidrelétrica no Brasil, os impactos agregados projetados mostram uma perda na confiabilidade de geração de eletricidade a partir de fontes hidráulicas, já que a energia firme do sistema de geração hidrelétrica do país cai em 31% e 29% nos cenários A2 e B2, respectivamente (Figura 2). Contudo, não houve nenhum impacto agregado relevante sobre a média de eletricidade gerada, embora impactos regionais significativos tenham sido projetados. De acordo com as projeções climáticas, a disponibilidade de água diminuirá drasticamente nas regiões Norte e Nordeste, afetando a geração de hidreletricidade nessas áreas. Em alguns locais, como nas bacias do Parnaíba e do Atlântico Leste, a perda na média de eletricidade gerada pode ser superior a 80%.

Figura 2 – Resultados do modelo SUIHSI-0



Observação: * capacidade instalada projetada para 2017 (EPE, 2007b)

As mudanças negativas projetadas no fluxo com base nos cenários de MCG não indicam um efeito proporcional em termos de geração de energia, porque os reservatórios hidrelétricos atuam como armazenadores, administrando o volume de água disponível para geração de energia elétrica. Como a boa administração de reservatório pode compensar alguma perda no fluxo, os resultados energéticos devem ficar dentro da faixa

entre os valores de fluxo projetados e os do modelo SUIHSI-0. Os resultados do fluxo variam dependendo de cada bacia, mas geralmente indicam uma tendência negativa do fluxo com impactos sazonais variáveis. No entanto, em razão das capacidades reservatórias plurianuais, os resultados de geração da energia não caem tanto devido às mudanças geradas por um novo regime pluviométrico.

Por outro lado, dadas as crescentes restrições ambientais para construção de novos reservatórios no Brasil, espera-se que o potencial hidrelétrico explorável restante se baseie principalmente nas usinas de energia hidrelétrica a fio de água com reservatórios menores. Assim, a capacidade de compensar regimes pluviométricos mais secos se reduz à medida que o sistema energético se expande. Nesse caso, o resultado sobre a provável estratégia de expansão com base em usinas de energia hidrelétrica a fio de água seria o uso total da capacidade instalada somente durante a estação chuvosa. Durante a estação seca, a produção dessas usinas precisaria ser complementada por outras.

A capacidade de transmissão também é uma importante forma de armazenamento para variações no fluxo de entrada natural em reservatórios de usinas de energia hidrelétrica. A grade nacional interconectada da SIN permite a operação do sistema hidrotérmico de energia para compensar perdas em determinadas áreas, aumentando a produção em outras. Na prática, os resultados do modelo SUIISHI-0 não incluem restrição à transmissão. Como a energia firme é calculada para o sistema com troca livre entre regiões, uma restrição na capacidade de transmissão reduziria ainda mais a energia firme do sis-

tema, não permitindo que a geração de eletricidade nas bacias do sul do país compensasse o déficit de geração de eletricidade nas regiões mais ao norte.

Finalmente, os resultados da energia do modelo SUIISHI-0 indicam uma quantidade de energia que o sistema hidrelétrico gera, considerando-se uma única série temporal projetada. Um aspecto que influencia profundamente um sistema de energia hidrelétrica é a ocorrência de eventos climáticos extremos, como secas e inundações. Na realidade, os impactos que a MCG pode ter sobre o sistema energético brasileiro podem ter duas origens: a mudança do comportamento médio dos fluxos hídricos nas bacias de rios que produzem energia; e a alteração da probabilidade de ocorrência de eventos extremos, o que poderia gerar condições climáticas imprevistas que ameaçariam a operação planejada de usinas de energia hidrelétrica e prejudicaria a administração dos reservatórios. Este estudo se concentra apenas no primeiro fator, devido à natureza das projeções climáticas que serviram de base para a análise. Outras análises que abordem o segundo fator podem ter muito a acrescentar à compreensão dos impactos da MCG sobre o sistema de energia elétrica brasileiro.



4. POLÍTICAS DE ADAPTAÇÃO NO SETOR ENERGÉTICO

A possível perda de confiança na capacidade hidrelétrica e a alta dependência do país dessa fonte específica suscitam a necessidade de proposição de algumas políticas de adaptação no lado da demanda e no lado da oferta do sistema de energia elétrica.

Em termos gerais, o Brasil implementou com sucesso várias políticas energéticas ao longo dos últimos 25 anos. As políticas de aumento de fontes de energia renováveis modernas e fornecimento de petróleo internamente foram bem-sucedidas. Entretanto, as políticas de aumento de eficiência energética e expansão do uso do gás natural tiveram sucesso limitado. O uso de lições aprendidas em experiências passadas e de várias novas políticas e iniciativas energéticas pode ajudar o Brasil a avançar social e economicamente, a alcançar outros importantes objetivos de desenvolvimento energético sustentável, além de, ao mesmo tempo, adaptar seu sistema energético para enfrentar a MCG.

Políticas no lado da demanda

O primeiro conjunto de medidas políticas para ajudar o país a se adaptar a uma nova realidade energética à luz da mudança climática global se relaciona à conservação e ao uso mais eficiente da eletricidade nos setores residencial, de serviços e industrial (Schaeffer e Cohen, 2007):

- Definição dos preços da eletricidade de modo a refletir a real propensão de pagamento do cliente, o que elevaria o preço pago por clientes com renda mais alta. Como o desperdício de eletricidade tende a ser mais alto entre esses usuários, e considerando-se que eles têm taxas de desconto melhores ao comprar novos aparelhos elétricos, esta medida aumentaria a viabilidade econômica da economia de eletricidade no setor residencial⁸.
- Concessão de empréstimos a juros baixos para programas de conservação e substituição de equipamentos por instituições financeiras governamentais (como o

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social – BNDES). As altas taxas de juros praticadas no Brasil são uma grande barreira financeira para a maior economia de eletricidade.

- A concessão de descontos a consumidores que mudarem para equipamentos mais eficientes pode ser uma opção interessante para as concessionárias quando o custo limite de expansão de fornecimento ultrapassar os custos do programa de descontos.
- Paralelamente, com programas de eficiência diretos ou ofertas de equipamentos eficientes, as concessionárias podem evitar custos altos de expansão de fornecimento, além de ajudar a desenvolver o mercado para tecnologias novas e mais eficientes. No entanto, para as concessionárias, esta é uma opção de alto custo, que deve ser usada quando os consumidores finais não responderem a outras medidas de gestão no lado da demanda. Esse seria o caso, por exemplo, de comunidades de baixa renda, em que os meios de melhorar a eficiência são escassos e impedir o roubo de eletricidade é dispendioso.
- Outro modo de desenvolver um mercado de eficiência energética é a criação de empresas de conservação de energia (ESCOs), que podem realizar auditorias, instalar novos equipamentos e implementar programas de conservação em empresas. AS ESCOs também podem se beneficiar de leilões de eficiência energética.
- Por fim, a criação de padrões de eficiência energética ainda mais severos e aplicados de modo mais amplo a uma gama maior de equipamentos de aparelhos elétricos pode ser uma medida interessante juntamente com programas de selos de garantia.

O consumo de eletricidade no setor residencial ocorre basicamente em quatro principais usos finais no Brasil: iluminação, aquecimento de água, sistemas de ar condicionado e conservação de alimentos (refrigeração e congelamento). Barreiras de mercado à economia de eletricidade no setor residencial podem ser reduzidas com políticas mais diretas, destinadas a cada uso final específico, por exemplo (Schaeffer e Cohen, 2007):

⁸ Incentivos de preços, no entanto, não são suficientes para promover a total eficiência energética. Há várias barreiras não econômicas que também devem ser consideradas.

- No aquecimento da água, incentivos à substituição de chuveiros elétricos por aquecedores a gás (alternativa mais viável economicamente) ou, ainda, painéis solares. Em muitos casos, a implementação direta de painéis solares em comunidades de baixa renda pelas concessionárias pode ser benéfica para as concessionárias pelos seguintes motivos: consumidores de baixa renda pagam uma tarifa de eletricidade mais baixa, o que torna mais lucrativo para a concessionária vender essa energia para consumidores que pagam mais; com a redução das contas de eletricidade dos consumidores de baixa renda, as concessionárias tendem a enfrentar taxas de inadimplência mais baixas; como o roubo de eletricidade pode ser dispendioso/difícil de reduzir, é mais fácil reduzir a demanda.

- No caso do ar condicionado e da conservação de alimentos, seria interessante incentivar uma substituição mais ampla de equipamentos ineficientes por modelos mais eficientes. As concessionárias enfrentam taxas de descontos mais baixas do que os consumidores finais, que podem viabilizar investimentos em equipamentos eficientes.

Quanto ao setor de serviços, existem áreas nas quais podem ser introduzidas medidas bem-sucedidas de economia de eletricidade. Silva (2006) realizou uma pesquisa sobre o sistema de iluminação pública brasileiro do ponto de vista energético e institucional, concluindo que há espaço para aprimoramentos que levariam à conservação da eletricidade. Ações para obter iluminação pública com maior eficiência incluem não só a substituição de equipamentos (na maioria lâmpadas), mas também melhores projetos de sistemas de iluminação. Além disso, a aplicação de medidas de conservação simples em hospitais pode resultar na conservação de grandes quantidades de eletricidade. Vargas Jr. (2006) estimou que a substituição de equipamento de ar condicionado, a iluminação de melhor qualidade e os ajustes de ar condicionado em hospitais menores ocasionaria a conservação de 1157 GWh/ano. Considerando-se que a proporção desses no número total de hospitais no Brasil é de cerca de 28%, a quantidade de eletricidade economizada pode ser substancial.

⁹ Medidas com um retorno médio sobre o investimento de até dois anos.

¹⁰ Esta medida busca evitar motores grandes demais em relação à carga acionada. A amostra de motores no Brasil analisada por Schaeffer et al. (2005) demonstrou que 1/3 deles funcionava 50% abaixo de sua carga nominal, 1/3 entre 50 e 75% dessa carga e 1/3 na faixa ideal, acima de 75%.

Em edifícios comerciais ou shopping centers, medidas no lado da demanda, como sistemas de armazenamento frios, podem ser uma opção economicamente interessante para reduzir o consumo de eletricidade de sistemas de ar condicionado quando a tarifa for mais alta. Esses sistemas permitem a mudança da curva de carga nas horas de pico, gerando e armazenando o frio durante horas do dia fora do pico. Designs arquitetônicos que fazem melhor uso de iluminação e ventilação natural também são opções que podem ajudar a reduzir o consumo de eletricidade em novos prédios.

Há uma grande possibilidade de obtenção de economia de energia no setor industrial, principalmente por meio do aumento da eficiência nos processos industriais. Em geral, os ganhos oriundos da economia de eletricidade podem ser obtidos por meio de algumas medidas de custo baixo⁹, como (Garcia, 2003; Garcia, 2008):

- Uso de iluminação mais eficiente, como lâmpadas de sódio de alta pressão (HPS) ou vapor de mercúrio;
- Substituição de motores grandes demais (acima da carga)¹⁰;
- Substituição de motores antigos por motores mais eficientes, ou seja, substituição de um motor padrão em operação por outro com rendimento superior, com energia adequada para a carga acionada.
- Substituição de linhas sobrecarregadas;
- Ajuste ou substituição de transformadores sobrecarregados;
- Correção dos fatores de baixa potência;
- Correção de corrente irregular em fases diferentes;
- Redução de picos de carga;
- Fornecimento de sistemas de proteção adequados como medida de segurança;
- Melhoria de sistemas de transmissão entre motores e o equipamento acionado;
- Redução e/ou controle de velocidade de motores. O uso de acionadores de velocidade ajustável (ASAs) se aplica principalmente (mas não apenas) a cargas centrífugas, como bombas, ventiladores e compressores com essa característica, que precisam de uma variação no fluxo fornecido. Como a energia é proporcional ao cubo da velocidade de rotação, os ganhos são altos.

Políticas no lado da oferta

O segundo conjunto de opções de políticas propostas para reduzir a vulnerabilidade do setor energético brasileiro a possíveis impactos de mudanças climáticas é a expansão da geração de energia por meio de diversas alternativas. Para garantir uma expansão confiável do sistema de eletricidade, a capacidade adicional de geração de eletricidade deverá garantir fornecimento de eletricidade considerando o pior cenário de caso hidrológico ao menor custo social. Entretanto, a operação do sistema hidrelétrico deverá ser mais próxima da condição hidrológica média, pois o período hidrológico crítico é sempre provisório. Isso significa que a capacidade adicional instalada funcionaria principalmente como reserva, permanecendo ociosa durante a maior parte do tempo.

Usando uma abordagem de otimização de demanda-oferta para calcular alternativas de adaptação de menor custo para impactos climáticos, Schaeffer et al. (2009) mostraram que a capacidade de geração de eletricidade adicional necessária para compensar a perda de confiabilidade no sistema de geração de energia hidrelétrica do Brasil, entre outros impactos, estaria baseada principalmente no gás natural, mas também em tecnologias avançadas de queima do bagaço de cana-de-açúcar, energia eólica e, em menor medida, em tecnologias de energia a carvão ou nuclear.

Os resultados de modelos de otimização, no entanto, refletem soluções ideais em termos econômicos, sem considerar as barreiras de mercado que podem obstruir a adoção de opções de adaptação de custo menor. Apesar disso, resultados economicamente ideais são uma forma importante de identificar e auxiliar políticas energéticas diretas na redução de barreiras de mercado. Entre as tecnologias adicionais de capacidade de geração de energia elétrica projetadas por Schaeffer et al. (2009), a energia eólica e o bagaço da cana-de-açúcar são as mais afetadas por barreiras de mercado no Brasil. Embora fontes convencionais de energia possam não precisar de incentivos em termos de políticas para garantir sua implementação, esse pode não ser o caso da energia eólica e do bagaço da cana-de-açúcar.

O bagaço da cana-de-açúcar é um coproduto do processo de produção de etanol e açúcar, que pode ser usado para aumentar o uso energético de cana-de-açúcar por meio de geração de calor e energia combinados ou, alternativamente, como uma entrada para a produção de etanol por hidrólise. A disponibilidade do bagaço da cana-de-açúcar depende diretamente da produção de etanol e açúcar, uma vez que esses são os principais produtos de uma usina. Entretanto, a possibilidade de vender eletricidade como subproduto da grade energética pode servir como incentivo para a expansão do setor. Atualmente, a geração de energia no setor de produção de açúcar e etanol usa principalmente uma turbina a vapor de contrapressão de 22 bar, em que a geração de eletricidade é um coproduto do processo de produção do etanol. Essa tecnologia gera um excedente de eletricidade (além do próprio consumo da usina de etanol) de cerca de 10 kWh/t de cana-de-açúcar, e somente durante a estação de colheita. O uso de tecnologias mais sofisticadas, no entanto, pode aumentar substancialmente a geração de energia do bagaço no setor de produção de açúcar e etanol. A alternativa mais fácil para aumentar o excedente de energia das usinas de etanol e açúcar é aperfeiçoar a turbina a vapor do ciclo Rankine de contrapressão elevando a pressão da caldeira para 82 bar. Uma alternativa intermediária é o uso de Turbina a Vapor de Extração/Condensação (CEST). Essa tecnologia é não só mais eficiente, devido à introdução do condensador, que aumenta o excedente de energia, mas também é capaz de gerar energia durante o ano inteiro, o que aumenta a confiabilidade da produção de eletricidade por usinas de etanol e açúcar. Por fim, a tecnologia revolucionária de geração de energia a partir de biomassa é a Tecnologia de gaseificação de biomassa integrada/Turbina a gás (BIG-GT). Nessa tecnologia, o bagaço residual e o lixo (folhas e partes de cima da cana) são gaseificados, e o gás sintetizado abastece uma turbina a gás (ciclo aberto ou turbinas de ciclo combinado de eficiência superior) conectada a um gerador de energia.

A Tabela 1 compara as diversas alternativas tecnológicas de geração de energia de biomassa da cana-de-açúcar residual e estima a geração de energia excedente que pode ser acrescentada à grade, de acordo com a produção de cana-de-açúcar projetada pelo estudo de referência da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2007a) — 1,14 bilhão de toneladas em 13,9 milhões de hectares de terra — e um limite superior conservador¹¹ estimado pelo uso total da linha de frente agrícola do Brasil de produção de cana-de-açúcar¹² (MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006). Considerando-se que a produção de eletricidade total no Brasil foi de 455 TWh em 2008 (MME – Ministério de Minas e Energia, 2009), a Tabela 1 mostra que o potencial de geração de eletricidade com tecnologias mais avançadas é substancial, mesmo sem o uso total da fronteira agrícola do país.

Um resumo das possíveis opções de política para geração de eletricidade no setor de etanol e açúcar é apresentado (Szklo e Geller, 2006):

- Possível necessidade de as concessionárias comprarem a energia excedente de usinas de açúcar, evitando custos de geração, transmissão e distribuição com contratos de longo prazo.
- Incentivos à interligação das concessionárias à rede elétrica sem atraso excessivo nem requisitos técnicos sem razoabilidade.
- Incentivos à pesquisa e ao desenvolvimento de tecnologias revolucionárias, como a gaseificação do bagaço e a geração de energia de ciclo combinado em usinas de açúcar.

TABLE 1 - Technological Alternatives for Surplus Power Generation in Sugar/ Ethanol Mills

Technology	Power Generation ⁽¹⁾	Process Steam Consumption ⁽¹⁾ kg/TC	Surplus Power ⁽¹⁾ kWh/TC	Potential Generation in Brazil	
				EPE (2007) ^(a) TWh/ycar	Agr. Frontier ^(b) TWh/ycar
22 bar/ 300° C backpressure ST	Season	500	0 — 10	0 — 11	0 — 66
82 bar/ 480° C backpressure ST	Season	500	20 — 40	23 — 46	132 — 263
82 bar/ 480° C	Year Round	340	80 — 100	91 — 114	526 — 658
CEST ^(c)					
BIG-GT ^(c, d)	Year Round	<340	150 — 300	171 — 342	987 — 1974
(a) Given sugar cane production projected to 2030			(b) given the estimated agricultural frontier (MAPA, 2006)		
(c) Supplementary fuel required			(d) Technology not commercial yet		
(1) Source: IEA (2004)			TC = tons of sugar cane; ST = steam turbine		

¹¹ Este pode ser considerado um limite superior conservador, porque pressupõe que a terra para pastagem no Brasil permanecerá a mesma. No entanto, um aumento de produtividade na terra para pastagem pode liberar mais terras para a agricultura no Brasil.

¹² Este limite superior não leva em conta questões economicossociais, como a concorrência com outras culturas, o deslocamento de mão-de-obra, a viabilidade econômica, a infraestrutura de transporte de produtos, entre outros fatores.

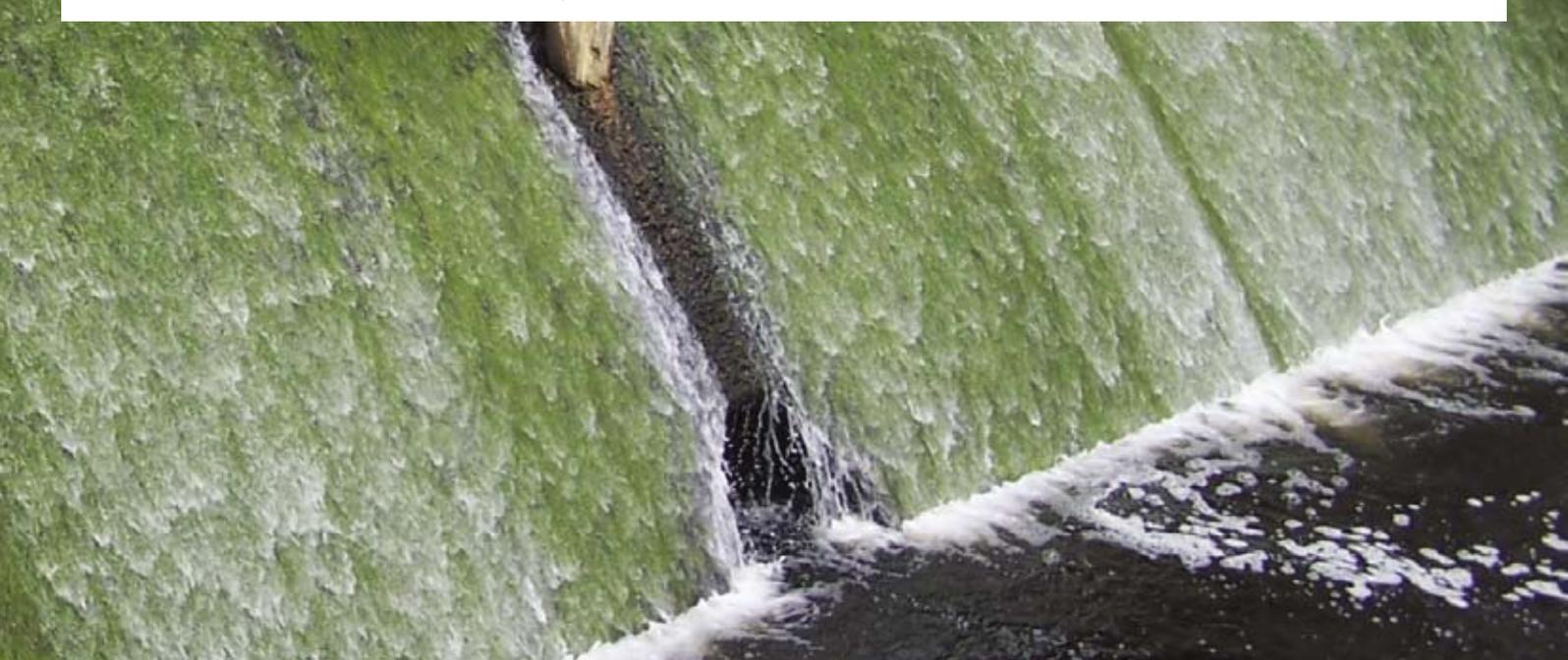


- Redução, pelo governo, das barreiras de informações nas tecnologias mais recentes (como o desenvolvimento de projetos de demonstração), bem como oferta de empréstimos de longo prazo com taxas de juros atraentes para usinas de açúcar que adotarem tecnologias mais eficientes.

Finalmente, a expansão de geração de energia eólica também é uma maneira possível de aumentar a oferta de eletricidade do país. Na realidade, as predisposições naturais do Brasil oferecem complementaridades interessantes entre recursos eólicos e hidráulicos em algumas regiões do país (Szklo e Geller, 2006, Dutra, 2007), o que pode ajudar a otimizar a operação da SIN. Considerando-se as velocidades do vento territorial na costa norte e nordeste do Brasil, a geração de energia a partir de vento territorial pode ser uma oportunidade atraente para o setor energético brasileiro. Embora as tecnologias de energia a partir de vento territorial tenham custos mais altos de transporte, instalação e manutenção, trata-se de uma opção interessante à medida que o potencial eólico on-shore se torna mais escasso como resultado de restrições ambientais e da concorrência com o uso da terra para outros fins. Assim, embora a energia eólica em algumas situações possa não ser economicamente competitiva com alternativas mais convencionais, em termos de custos privados, no Bra-

sil, o incentivo à geração de energia eólica pode ajudar a alcançar outros objetivos. Com outras opções de políticas, um programa de incentivo de geração de energia eólica a longo prazo no Brasil pode ter três objetivos distintos (Dutra e Szklo, 2008):

- primeiro, poderia ajudar a reduzir as emissões de gases do efeito estufa da geração de eletricidade. No caso de substituição parcial de usinas termelétricas de combustível fóssil, um programa de incentivo com base em cotas e permissões pode instalar uma capacidade eólica variável entre 18,7 e 28,9 GW;
- além disso, pode auxiliar na otimização da SIN, ajudando na operação dos reservatórios de energia hidrelétrica do país. Um programa baseado em tarifas de compensação resultaria em uma capacidade instalada de 15,5 a 65,4 GW, dependendo dos critérios de seleção dos projetos; e
- por último, um programa destinado a promover a geração de energia eólica no Brasil pode ajudar a estimular o setor de tecnologia eólica interno. Incentivos com base em tarifas de compensação para estimular fabricantes de turbinas de energia eólica a investir no país podem ajudar a estabelecer uma capacidade variável entre 29,1 e 217 GW para tarifas de compensação entre 60 dólares norte-americanos/MWh e 75 dólares norte-americanos/MWh, respectivamente.



5. TÓPICOS PARA DISCUSSÃO E INSTITUIÇÕES ENVOLVIDAS NO ENFRENTAMENTO DA VULNERABILIDADE DO SETOR DE ENERGIA BRASILEIRO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

As avaliações do impacto sobre a mudança climática se situam no fim de uma cadeia progressiva de incertezas. As projeções climáticas se baseiam em resultados de CG/EMs (Gas chromatography-mass spectrometry, Cromatografia gasosa - espectrometria de massas), os quais se baseiam, por sua vez, nos cenários de emissões e concentrações de gases do efeito estufa. Em nível regional, são necessárias técnicas de regionalização para reduzir a resolução espacial e temporal de resultados de CG/EMs, permitindo a avaliação do impacto local. Além disso, a análise setorial aplica suas próprias ferramentas de modelagem para projetar o impacto no sistema humano ou natural. Finalmente, esses resultados devem fornecer a base para políticas de adaptação que se destinam a reduzir a vulnerabilidade a mudanças climáticas. Um nível de incerteza é acrescentado a cada estágio nesse processo, portanto, a discussão sobre vulnerabilidade precisa ser abordada por toda essa cadeia.

A grande maioria das avaliações de impacto nas mudanças climáticas recentes se baseia nos cenários de emissão de gases do efeito estufa produzidos pelo SRES do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, Relatórios Especiais sobre Cenários de Emissões, IPCC, 2000). Várias CG/EMs foram realizadas para o quarto relatório de avaliação do IPCC (IPCC, 2007). No Brasil, porém, alguns desses modelos foram regionalizados para o território nacional. A parceria CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) tem empreendido um esforço contínuo no sentido de melhorar a disponibilidade de possíveis resultados climáticos necessários para produzir uma compreensão mais abrangente dos impactos climáticos no país. A disponibilidade de projeções climáticas regionalizadas, no entanto, ainda precisa ser aperfeiçoada. Além da incerteza sobre as mudanças no próprio clima, a análise dos impactos que essas mudanças podem ter sobre os sistemas humano e natural também precisa ser aprimorada. Universidades e outras instituições de pes-

quisa (privadas e públicas) têm trabalhado com o CPTEC/INPE para produzir avaliações sobre o impacto setorial. Apesar disso, esses estudos são relativamente recentes e o desenvolvimento de metodologias setoriais específicas é um esforço contínuo que requer aperfeiçoamento constante. Portanto, paralelamente à ampliação da faixa de resultados climáticos, desenvolvimentos metodológicos em análise setorial ainda precisam ser realizados.

Especificamente no setor de energia, a incerteza criada pela MCG ainda não foi incorporada ao planejamento de energia de longo prazo. Nesse sentido, a discussão sobre o impacto¹³ da mudança climática ainda precisa ser incorporada à agenda das instituições, como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE – empresa brasileira de pesquisa de energia do Ministério de Minas e Energia) e o próprio Ministério de Minas e Energia. Para que isso aconteça, é preciso alcançar um melhor entendimento das vulnerabilidades do setor energético, por meio de um número maior de estudos, tanto gerais quanto específicos sobre cada local.

O setor de energia está entreligado a todos os setores econômicos. Portanto, a vulnerabilidade deve ser abordada em uma análise integrada que considere os possíveis impactos de segunda ordem que a MCG pode causar através de seus efeitos sobre o sistema de energia. Isso levanta a questão de que avaliações de impacto precisam ser abordadas em um esforço de pesquisa coordenado, multidisciplinar e interdisciplinar.

Por fim, a medida mais importante para reduzir a vulnerabilidade à MCG é, em termos gerais, melhorar a disponibilidade de dados no Brasil. Os estudos só serão bons na medida em que os bancos de dados disponíveis permitirem. Isso significa, especialmente, aumentar e compartilhar o banco de dados meteorológico, bem como fazer um esforço de longo prazo para seguir variáveis climáticas à medida que a MCG ocorrer. Entre as instituições nacionais que podem assumir a liderança nesta área estão a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

¹³ Embora a discussão sobre atenuação já tenha sido incorporada de certa forma à agenda do setor de energia, os impactos da MCG ainda precisam ser considerados no planejamento de longo prazo.

6. OBSERVAÇÕES FINAIS

Considerando a grande confiança da economia brasileira nas fontes renováveis e a dependência dessas fontes em relação às condições climáticas, este trabalho empenhou-se em analisar as vulnerabilidades do sistema de energia hidrelétrica brasileira em relação à MCG. No entanto, devido às incertezas relacionadas aos modelos e cenários da MCG, as descobertas deste estudo deverão ser vistas mais como possibilidade do que como projeção futura.

Efetivamente, os resultados deste estudo baseiam-se essencialmente na qualidade das projeções climáticas sobre as quais ele se debruça. Provavelmente, os resultados mais importantes aqui descritos são as conclusões gerais das vulnerabilidades observadas quanto a mudanças climáticas globais do sistema de energia hidrelétrica no Brasil, em vez dos números quantitativos apresentados. Na verdade, estudos que investigam os possíveis efeitos da MCG sobre o setor energético são extremamente importantes para avaliar a capacidade de adaptação aos possíveis, embora ainda incertos, impactos sobre a produção e o consumo de energia.

As maiores incertezas neste estudo são as projeções do modelo de circulação atmosférica geral. Na verdade, modelos distintos têm projeções climáticas diferenciadas, especialmente na Amazônia e na região Nordeste, onde os impactos parecem ser mais acentuados. Não há projeções consensuais entre os diversos modelos de circulação atmosférica geral para o clima futuro no Brasil (INPE, 2007)

Agradecimentos:

Os cenários climáticos futuros usados neste estudo são derivados principalmente de resultados do projeto: Caracterização do Clima Atual e Definição das Mudanças Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Séc XXI, apoiado pelo PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira); MMA; BIRD; GEF; CNPq e o Reino Unido (GOF - Global Opportunity Fund – Fundo de Oportunidades Globais) através do projeto Uso de Cenários de Mudança Climática Regional em Estudos sobre Vulnerabilidade e Adaptação no Brasil e na América do Sul. Agradecemos a Jose A. Marengo, Lincoln Alves, Roger Torres e Daniel C. Santos pela ajuda na obtenção e na interpretação dos cenários regionais produzidos pelo INPE.

Gostaríamos de agradecer ao professor Eneas Salati e à sua equipe (especialmente a Daniel Victoria) pela cooperação na preparação dos resultados hidrológicos usados neste estudo. Agradecemos ao Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL) por permitir o uso do modelo SUISHI-O e à Empresa de Pesquisa Energética (EPE) pelo apoio técnico. Agradecemos também ao CNPq pelo apoio financeiro para este estudo, e a Raquel R. de Souza, Bruno Borba, Isabella Costa, Luiz Fernando Loureiro Legey, Roberto Araújo, Ricardo Dutra, Felipe Mendes Cronemberger e Thaís de Moraes Mattos pela ajuda em diversos estágios deste trabalho.

e as projeções climáticas são, na verdade, a força propulsora decisiva por trás de todos os resultados deste estudo.

Cabe enfatizar que este estudo é uma tentativa de quantificar uma questão muito complexa. Diversas hipóteses e sínteses precisaram ser elaboradas. Por exemplo, não foi considerada a concorrência crescente de recursos hídricos em um cenário de escassez em evolução em algumas bacias hidrográficas (por exemplo, a concorrência entre água para geração de energia e água para irrigação agrícola).

No entanto, este documento conclui que a oferta de energia hidrelétrica no Brasil pode ser impactada negativamente pela MCG, contribuindo para o entendimento de quais são as vulnerabilidades e incertezas às quais o sistema energético brasileiro está exposto em um cenário de MCG. Além disso, este estudo propõe um conjunto de políticas energéticas para reduzir as barreiras de mercado a fontes de energia não convencionais de energia que possam ajudar na adaptação do sistema energético do país a essas vulnerabilidades.

Por fim, talvez a vulnerabilidade mais significativa identificada neste estudo seja a disponibilidade precária de dados históricos meteorológicos no Brasil. Isso é especialmente crucial quando se trata de dados pluviométricos. Se o Brasil, bem como outros países, deseja estar mais bem preparado para enfrentar a mudança climática global, o país deve melhorar a compreensão da situação climática atual e sua evolução, especialmente através de uma melhor coleta de informações.



ADAPTAÇÃO DO SETOR AGRÍCOLA BRASILEIRO

Hilton Silveira Pinto

RESUMO

O objetivo deste estudo é demonstrar a necessidade de adaptação da produção agrícola brasileira, considerando as mudanças nas condições climáticas previstas para as próximas décadas. O estudo analisa a geografia da atual produção agrícola no Brasil e o modo como as futuras condições climáticas regionais, como temperatura, precipitação e intensidade e frequência de eventos climáticos extremos a afetarão. O futuro cenário climático apresentado no estudo foi desenvolvido pelo Hadley Centre e adaptado pelo INPE para ser usado no Brasil.

A agricultura em regiões tropicais é uma das atividades econômicas mais vulneráveis ao aquecimento global. As culturas já adaptadas ao clima nessas regiões sofrerão com temperaturas mais altas e mudanças na distribuição pluviométrica no decorrer do tempo. Centenas de milhões de agricultores do mundo inteiro (principalmente na África e na Ásia, mas também no Brasil) enfrentarão riscos tanto econômicos quanto relacionados à saúde. A migração deverá ser outra consequência do impacto do aquecimento global sobre a agricultura.

Como no Brasil a atividade agrícola é responsável por cerca de 30% do PIB, variações nas condições ambientais podem ter grandes implicações na produtividade de diferentes culturas.

Há vários eventos climáticos extremos associados ao aquecimento global que podem afetar o setor agrícola. Entre eles:

Ondas de calor: no estado de São Paulo, a temperatura média do mês de setembro de 2004 (32,1°C) chegou a 4,4°C acima da média histórica (27,7°C), causando um prejuízo de aproximadamente 50 milhões de dólares ao segmento de criação de animais em virtude da morte prematura dos animais. Ondas de calor com temperaturas máximas diárias acima de 32°C são responsáveis não só pela morte de animais, mas também pela queda da produção agrícola.

Veranicos: períodos com dias mais quentes e secos durante estações atípicas (outono e inverno) podem resultar em maior necessidade de irrigação. O cultivo da soja pode se tornar cada vez mais difícil na região Sul e alguns estados do Nordeste podem perder entre 70% e 80% de sua área agricultável.

Chuvas e ventos intensos: o aumento da frequência de chuvas e tempestades fortes no Sudeste e em parte da região Sul pode causar problemas para a mecanização agrícola devido à inundações das áreas cultivadas. Plantações de cana-de-açúcar, trigo e arroz também podem sofrer perdas devido a ventos fortes.

Nove culturas são responsáveis por 85% de todo o PIB da agroindústria brasileira, a saber: arroz, algodão, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho e soja. Este relatório ressalta a pesquisa realizada por PINTO e ASSAD (2008), que demonstra o impacto das temperaturas elevadas no futuro sobre esses produtos agrícolas. Por volta do ano de 2050, por exemplo, se não houver inovações tecnológicas, somente a cana-de-açúcar deverá aumentar sua área potencial de cultivo. Todas as outras culturas analisadas devem perder em torno de 15% de sua área potencial de cultivo, sendo a soja a mais afetada, com possível perda de 35% de sua área de cultivo.

Em resposta às mudanças climáticas previstas, o estudo sugere medidas de atenuação que podem ser adotadas no setor agrícola. Entre elas: integração das atividades de criação de rebanhos, agricultura e silvicultura, com uma lógica rotativa definida para reduzir a erosão e aumentar a eficiência do sequestro de carbono. O estudo também ressalta os benefícios do sistema de plantio direto, altamente eficiente para o sequestro de carbono.

Além disso, o estudo ressalta que os aprimoramentos genéticos estão entre as alternativas mais promissoras para permitir a adaptação das principais culturas agrícolas às futuras mudanças climáticas. Os avanços na biotecnologia vão permitir a introdução de novos genes para prover as plantas de maior tolerância a períodos de seca e temperaturas mais altas, assim como a identificação de genes tolerantes nos vegetais da biodiversidade brasileira.

Em relação ao setor agrícola, as companhias de seguro podem ajudar seus clientes fornecendo acesso a informações sobre os riscos climáticos e tecnologias para gerenciá-los, e sobre a escolha da cultura e das épocas de cultivo de acordo com a localização das terras dos clientes. A oferta de treinamentos e materiais de leitura aos clientes, com orientações sobre como evitar perdas e o fornecimento de produtos de seguro adequados aos pequenos agricultores são instrumentos fundamentais para combater os impactos mais danosos do aquecimento global sobre a agricultura.

O setor de seguros, um dos maiores do mundo, pode realocar alguns de seus recursos para investimentos verdes, contribuindo com a transição para uma economia de baixa emissão de carbono. Projetos envolvendo energia renovável, prédios verdes e tecnologias de eficiência de energia são alguns exemplos de investimentos que podem gerar bons retornos financeiros, além de contribuir para atenuar os efeitos das mudanças climáticas e, em consequência, reduzir os impactos sobre o setor agrícola.

Os relatórios do IPCC consideram que, mantendo-se as taxas atuais de emissão de CO₂ e de outros gases que causam o efeito estufa, ao final do século XXI a temperatura do planeta ficará entre 1,4°C a 5,8°C maior do que a observada em 1990 (IPCC 2001) ou entre 1,2°C e 6,4°C segundo o IPCC (2007). As chuvas no Sudeste e Sul do Brasil deverão ficar entre 5% e 15% mais elevadas do que as observadas no mesmo período. No Brasil, as atividades do agronegócio são responsáveis por cerca de 30% do PIB. Portanto, qualquer variação nas condições ambientais pode alterar a produtividade das culturas e, conseqüentemente, a economia do país. Um programa de zoneamento de riscos climáticos para a agricultura brasileira, que indica “o que plantar, onde plantar e quando plantar”, vem sendo desenvolvido pelo governo federal desde 1995, com o objetivo racionalizar o plantio e de se obter a máxima produtividade para as principais culturas econômicas do país, entre elas café, arroz, feijão, milho, soja e trigo. O presente trabalho visa estabelecer os cenários das principais culturas agrícolas brasileiras, para os anos de 2020, 2050 e 2070, levando em conta as alterações futuras das temperaturas e das chuvas, de acordo com o modelo Precip RCM, desenvolvido pelo Hadley Centre da Inglaterra. Os cenários futuros foram modelados tendo como base o zoneamento de riscos climáticos atuais.

1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

A preocupação com as mudanças climáticas, já no século 19, era demonstrada por alguns pesquisadores que tentavam prever o clima em função das causas naturais e antropogênicas. UPPENBRINK (1996) destaca alguns desses trabalhos como o de J. TYNDAL (1861) e o de S. P. LANGLEY (1884), ambos referenciados em NASA (2002a e 2002b). Os autores, naquela época, avaliaram a importância dos gases atmosféricos na absorção de calor, evitando o excessivo resfriamento da superfície terrestre de forma a permitir a existência da vida, como conhecida. Foi, talvez, a primeira tentativa de definição do efeito estufa. ARRHENIUS (1896) utilizando dados de LANGLEY (1890) analisou o efeito do CO₂ no comportamento do clima, concluindo que a duplicação da concentração mundial do dióxido de carbono promoveria a elevação da temperatura global entre 5°C e 6°C, bastante próximo aos valores estimados atualmente.

Nos anos 70, houve um aumento na preocupação das instituições quanto às possíveis alterações climáticas e suas conseqüências. Um trabalho meticuloso, com resultados baseados em análises estatísticas consistentes foi coordenado pela NATIONAL DEFENSE UNIVERSITY (1978). A dúvida fundamental consistia em saber se a tendência mundial seria de aumento ou de diminuição da temperatura, tendo se chegado à conclusão de que, nos 25 anos futuros, ou seja, até o ano 2000, haveria, igualmente, 10% de probabilidade de que as temperaturas ficassem 0,6°C acima ou 0,3°C abaixo da média de 1970.

Na década de 90, trabalhos de DUPLESSY (1992) e de LE TREUT e KANDEL (1992) indicaram a possibilidade de causas astronômicas para alteração do clima nos anos anteriores. A origem dessas variações teria como base, argumentos do geofísico MILUTIN MILANKOVICH (DUPLESSY 1992). Variações nas temperaturas ou nos totais de chuvas associadas a variações do número de manchas solares ou de atividade magnética foram analisadas por PUGASHEVA et al. (1995) e GUSEV et al. (1995). Trabalhos desenvolvidos pela OMM (1992) mostram um crescimento da temperatura no Hemisfério Norte da ordem de 0,6°C, não contínuo, mas concentrado principalmente em dois períodos: de 1920 a 1940 e a partir de 1976, com um aquecimento rápido que culmina em 1990. Outro aspecto refere-se a uma possível variação climática devido às flutuações de insolação ou de outros fenômenos naturais, conforme apresentado por GUYOT (1997) e STOZHKOVA et al. (1995 e 1996).

Os relatórios do IPCC indicam uma situação inquietante quanto ao aumento da temperatura no planeta. A previsão é a de que a temperatura global deverá aumentar, nos próximos 100 anos, entre 1,4°C e 5,8°C, considerando a média de 1990 como referência. Confirmando de maneira clara e objetiva os argumentos anteriores, os relatórios do IPCC (2007a e 2007b) confirmaram os resultados do IPCC-2001, indicando uma situação realmente inquietante quanto ao aumento da temperatura no planeta e seus efeitos nas atividades humanas futuras. Considerando as causas naturais e antropogênicas, a previsão é a de que a temperatura global deverá aumentar, até o final do século vinte e um, entre extremos de 1,2°C e 6,4°C tendo a média de 1961-1990 como referência. Pode se admitir que, qualquer aumento das temperaturas, nas diferentes regiões do globo terrestre, levará a alterações do comportamento agrícola, provocando uma mudança das fronteiras de exploração econômica ou de subsistência.

O objetivo deste trabalho é mostrar, com base na geografia da produção agrícola atual, a necessidade de adaptação dessas culturas às condições climáticas regionais futuras criando uma nova geografia agrícola do país. O parâmetro básico adotado nas simulações dos

cenários futuros tem como referência o Zoneamento de Riscos Climáticos para a Agricultura, um programa de políticas públicas operacionalizado pelo governo federal para racionalizar o financiamento agrícola brasileiro. Os cenários para os anos 2020, 2050 e 2070 foram estabelecidos pelo modelo Precip RCM desenvolvido pelo Hadley Centre da Inglaterra e adaptado para as condições brasileiras pelo CPTEC/INPE (MACHADO e MARENGO, 2006 e MARENGO e AMBRISI, 2006), com uma resolução da ordem de 50 x 50 Km. Com base nas demandas climáticas básicas para a adaptação regional, tomando como base os parâmetros climáticos do zoneamento de riscos climáticos atuais, foram recalculados os dados climáticos futuros para nove culturas que representam cerca de 85% do produto interno bruto do agronegócio brasileiro: arroz, algodão, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho e soja. Foram assim elaborados mapas e tabelas municipais mostrando a possível migração das culturas no futuro em função do aumento das temperaturas e que permitiram avaliar a variação das áreas adequadas ao cultivo nos cenários atual e futuros.



2. IMPACTOS DO CLIMA NA AGRICULTURA

Cada planta tem sua adaptação própria às condições climáticas predominantes em seu *habitat*. Condições térmicas ou hídricas, quando modificadas de forma excessiva, causam a morte dessas plantas, de modo geral devido aos extremos incidentes. É o caso das geadas ou das ondas de calor. Nesses casos, a sobrevivência da espécie pode ocorrer através da migração, em busca de novos locais com condições de clima semelhantes às anteriores, da mitigação das condições ambientais ou de uma mutação genética benéfica.

O conhecimento da geografia agrícola atual do país através do zoneamento de riscos climáticos permitiu o desenvolvimento dos trabalhos de simulação dos cenários futuros da agricultura. Os modelos permitem recalcular as variáveis condicionantes da acomodação vegetal nos diferentes tipos de clima existentes atribuindo-se valores de temperaturas esperadas de acordo com os modelos climáticos mundiais ou regionais. Esses valores são utilizados na simulação dos balanços hídricos e de extremos meteorológicos possíveis na indicação das novas condições de acomodamento das culturas ao novo clima considerado.

Até o ano 2000, poucos estudos desse tipo haviam sido feitos para simular os cenários de mudanças climáticas na agricultura. ASSAD & LUCHIARI JR. (1989) avaliaram as possíveis alterações de produtividade para as culturas de soja e milho em função de cenários de aumento e de redução de temperatura. SIQUEIRA et al. (1994 e 2000) apresentaram, para alguns pontos do Brasil, os

efeitos das mudanças globais na produção de trigo, milho e soja. Uma primeira tentativa de identificar o impacto das mudanças do clima na produção regional foi feita por PINTO et al. (2001), que simularam os efeitos das elevações das temperaturas e das chuvas no zoneamento de riscos climáticos para o café arábica nos estados de São Paulo e Goiás. Os resultados das simulações mostraram uma redução significativa nas áreas com aptidão agroclimática.

Considerando o cenário de aumento das temperaturas, pode-se admitir que, nas regiões climaticamente limitadas àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas, a anomalia positiva que venha a ocorrer será desfavorável ao desenvolvimento da cultura. Quanto maior a anomalia, menos apta se tornará a região, até o limite máximo de tolerância biológica ao calor ou à seca provocada pelo aumento térmico. Por outro lado, outras culturas mais resistentes a altas temperaturas ou estiagens mais longas, provavelmente serão beneficiadas, até o seu limite próprio de tolerância ao estresse térmico ou hídrico. No caso de baixas temperaturas, regiões que atualmente sejam limitantes ao desenvolvimento de culturas susceptíveis a geadas, com o aumento do nível térmico devido ao aquecimento global passarão a exibir condições de menor risco ao desenvolvimento da planta. É o caso típico da cultura cafeeira que poderá ser deslocada futuramente do Sudeste para o Sul do país.

3. CLIMA E COMPORTAMENTO VEGETAL

O principal aspecto que condiciona a adaptabilidade biológica das culturas ao clima refere-se ao efeito direto nas plantas, do aumento da temperatura e da concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, que alteram, de forma significativa, o comportamento dos estômatos e, conseqüentemente, da fotossíntese. A concentração do CO_2 , sendo próxima de 300 ppm, está bem abaixo da saturação para a maioria das plantas. Níveis excessivos, próximos de 1.000 ppm passam a causar fitotoxicidade. Nesse intervalo, de modo geral, o aumento do CO_2 promove maior produtividade biológica nas plantas, conforme demonstraram ASSAD e LUCHIARI (1989) e COSTA et al. (2008). Da mesma forma, o aumento da temperatura do ar condiciona um comportamento biológico cada vez menos eficiente à medida que as temperaturas se aproximam de 34°C. O café arábica, na fase de florescimento, sob temperaturas acima dos 33°C perde as flores devido ao abortamento que as transforma em “estrelinhas”, termo popular que indica falha na polinização e conseqüente queda na produção (Figura 1). À medida em que as temperaturas aumentam acima de 22 ou 23°C, a fotossíntese tende a diminuir de intensidade, causando um decréscimo do crescimento vegetal que se interrompe com valores próximos a 40°C.



Figuras 1a e 1b: Ramos de café mostrando: a) Lado esquerdo - Botões florais normais; b) Lado direito - Botões florais abortados ou "estrelinhas", devido à ocorrência de temperaturas elevadas. (IAFFE et al., 2003).

As denominadas plantas do tipo C4 (cana-de-açúcar) suportam mais as temperaturas elevadas do que as plantas chamadas C3 (café) e por isso sobrevivem facilmente em ambientes com maiores temperaturas ou níveis mais elevados de CO₂.

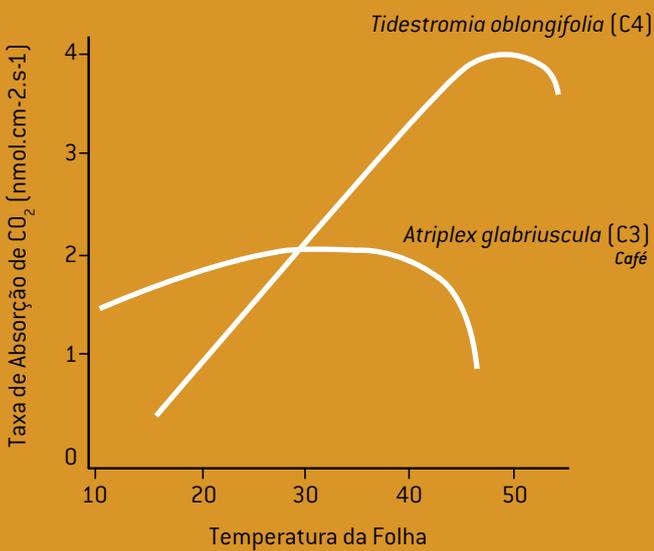


Figura 2: Efeito da temperatura no processo da fotossíntese em plantas dos tipos C3 (café) e C4 (cana-de-açúcar).

Fonte: <http://www.herbario.com.br/cie/universi/teoriacont/1003fot.htm>.

Adotando a definição do IPCC e da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, considerando-se apenas o aumento de temperatura é possível, segundo AYOADE (2001), apontar algumas alterações/limitações no comportamento vegetal, a saber:

1. Temperaturas do ar e do solo afetam todos os processos de crescimento da planta, ou seja, todos os cultivos possuem limites térmicos mínimos, ótimos e máximos para cada um de seus estágios de crescimento;
2. As temperaturas letais mais altas para a maioria das plantas situam-se entre 50°C e 60°C. A partir de 40°C a fotossíntese é interrompida.
3. O resfriamento prolongado das plantas, com temperaturas acima do ponto de congelamento do tecido retarda o crescimento vegetal e pode matar plantas adaptadas somente a condições térmicas elevadas;
4. o calor excessivo pode destruir o protoplasma vegetal, pois ele tem um efeito ressecante sobre as plantas e as rápidas taxas de transpiração pode levar ao murchamento.

4. ZONEAMENTO DE RISCOS CLIMÁTICOS PARA A AGRICULTURA

O Zoneamento de Riscos Climáticos para a Agricultura é uma ferramenta utilizada atualmente como política pública do Governo Federal com a finalidade de racionalizar o uso de recursos para financiamento do plantio e do seguro rural. Na forma simplificada significa indicar ao próprio governo e aos agricultores “o que plantar, onde plantar e quando plantar” com probabilidade igual ou menor do que 20% de ocorrer perda econômica da produção.

No Brasil, desde 1996, por determinação do Conselho Monetário Nacional (CMN), somente têm acesso ao crédito e ao seguro rural os agricultores de municípios que optam por plantio de determinada cultura, que esteja definida como adequada pelo zoneamento de riscos climáticos (PINTO et al., 2000). O estudo básico do zoneamento permitiu que os pesquisadores e o próprio governo tomassem conhecimento detalhado da distribuição das culturas agrícolas no país, ou seja, da geografia agrícola brasileira. Para fins de zoneamento, o potencial climático de uma região, de modo geral tem como base as variações de temperatura e de disponibilidade de água para as plantas conforme estabelecido por CAMARGO et al. (1977), CATI (1977), PINTO et al. (2001), SILVA et al. (2000 e 2001) e ASSAD et al. (2004, 2007). Áreas com temperaturas médias mínimas anuais inferiores a 15°C são consideradas de alto risco devido à alta probabilidade de geadas e áreas com temperaturas superiores a 23°C são também de alto risco devido à persistência de ondas de calor com temperaturas acima dos 30°C na fase de florescimento, o que causa o abortamento das flores (IAFFE et al., 2003).

O processo para se criar um Zoneamento, de acordo com PINTO et al. (2000) baseia-se na simulação de crescimento e desenvolvimento de culturas, em uma base de dados de clima e de solo, em técnicas de análise de decisão e em ferramentas de geoprocessamento. Assim, o desenvolvimento de simulações tem como base métodos de análise frequencial das chuvas e do Índice de Satisfação da Necessidade de Águas das Culturas – ISNA – que é a relação entre ETR (evapotranspiração real) e a ETM (evapotranspiração máxima).





5. EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS E PERDAS NA AGRICULTURA

Aumento do dióxido de carbono na atmosfera

É bem conhecido o funcionamento da atividade fotossintética em função da concentração do dióxido de carbono atmosférico no crescimento das plantas. Quando próxima de 300 ppm está bem abaixo da saturação para a maioria das plantas e quando próxima de 1.000 ppm, passa a ser fitotóxica. A atividade fotossintética é maior nas plantas classificadas como do tipo C3 – leguminosas – do que nas C4 – gramíneas. Da mesma maneira, a transpiração, diretamente relacionada com a temperatura, tende a ser mais reduzida nas plantas C4 do que nas plantas C3, o que deixa evidenciada uma maior eficiência no uso da água nas plantas C4 do que nas C3.

ASSAD e LUCHIARI (1989), utilizando modelos fisiológicos simplificados, mostraram que essas variações são significativas nos cerrados brasileiros. Por exemplo, a temperatura média durante a estação chuvosa nessas regiões, de outubro a abril, é de 22° C, tendo um máximo de 26,7°C e um mínimo de 17,6°C. Considerando a hipótese de que um aumento da concentração de CO₂ na atmosfera provoca um aumento na temperatura os autores simularam dois cenários: o primeiro supondo um aumento de 5°C na temperatura média, quando as

plantas C4, como o milho e o sorgo, sofreriam um incremento potencial de pelo menos 10 Kg/ha/dia de grãos secos na produtividade média. Para as plantas tipo C3 – soja, feijão, trigo – esse aumento seria menor, da ordem de 2 a 3 Kg/ha/dia de grãos secos. No segundo cenário, simulando uma redução de 5°C na temperatura média, a perda de produtividade nas plantas tipo C4 seria da ordem de 20 Kg/ha/dia e nas plantas C3, da ordem de 10 kg/ha/dia. SIQUEIRA et al. (1994), utilizando esses tipos de modelos e trabalhando com vários cenários diferentes, em 13 locais que vão desde baixas latitudes (Manaus) até altas latitudes (Pelotas), encontraram respostas bem próximas e mais exatas do que aquelas propostas por ASSAD e LUCHIARI (1989). Em decorrência da elevação de temperatura são projetados encurtamento no ciclo do milho e do trigo e aumentos nas produtividades de milho, soja e trigo, em função de aumentos na concentração de CO₂, variando dos atuais 330ppm para 550ppm. Em alguns casos são projetados ganhos superiores a 500 kg/ha para o milho e trigo e mais de 1.000 kg/ha para a soja. Trabalhos mais recentes (COSTA et al, 2008) mostram de maneira mais detalhada as consequências do aumento do CO₂ no aumento de produtividade de plantas agrícolas devido ao efeito de fertilização.

Ondas de calor

De acordo com o IPCC (2001 e 2007) o aumento da temperatura mundial é inequívoco. Onze dos últimos doze anos (1995 a 2006) acusaram temperaturas crescentes. A tendência linear de aumento térmico dos últimos 50 anos foi de 0,13°C por década, o que corresponde a quase duas vezes a dos últimos 100 anos.

Nos últimos anos, duas ondas extremas de calor atingiram o Sudeste da Europa, valores de temperaturas extremas foram ultrapassados com índices da ordem de 45°C na Bulgária e, de modo geral, países da Europa, Ásia e Américas observaram fenômenos meteorológicos extremos considerados pouco prováveis.

No estado de São Paulo, no Brasil, a temperatura média do mês de Setembro de 2004 (32,1°C) foi 4,4°C acima da média histórica (27,7°C) causando um prejuízo aproximado de US\$50 milhões à pecuária devido à morte prematura de animais. Ondas de calor, com temperaturas máximas diárias acima de 32°C são responsáveis não somente pela morte de animais mas também pela queda da produção agrícola, uma vez que interferem de forma significativa em fases do ciclo fenológico das culturas e no desenvolvimento de órgãos vitais das plantas. As figuras 3a e 3b mostram o efeito letal de um único dia com temperatura máxima de 33°C em flores do café arábica.

Em São Paulo, a ocorrência de ondas de calor tem aumentado significativamente nos últimos anos, conforme mostra a Figura 4. No início do século vinte, ocorriam em média cerca de 12 dias com temperaturas máximas maiores do que 32°C na região de Piracicaba e atualmente esse número passou para 17 dias.

Figuras 3a e 3b. Plantas de café arábica mostrando, do lado esquerdo, ramos com flores e do lado direito ramo com flores danificadas por temperatura máxima de 33°C observada em um único dia. Cortesia P. Caramori. IAPAR.

Figura 3a



Figura 3b

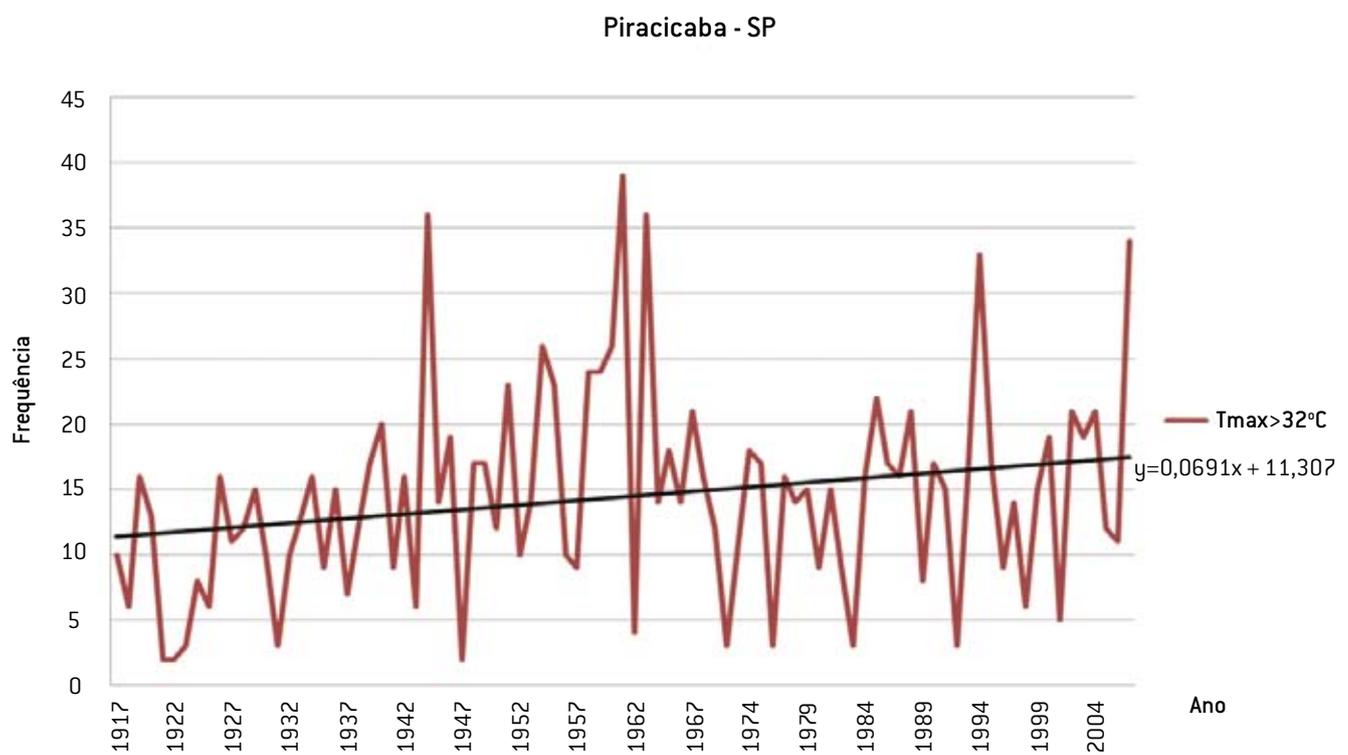


Figura 4. Variação da frequência de número de dias por ano com temperaturas máximas maiores do que 32°C no município de Piracicaba, SP.

Considerando a evolução das temperaturas globais e os cenários previstos por PINTO e ASSAD (2008), com exceção da cana-de-açúcar é de se esperar que, por volta do ano 2050, a maior parte das culturas agrícolas do Brasil venha a sofrer um decréscimo acentuado na produtividade devido ao excesso de calor.

Geadas

De modo geral, o agricultor chama de geada a condição de formação de gelo em gramados ou pastagens quando ocorrem temperaturas baixas durante madrugadas de inverno. Estudos referentes ao assunto (PINTO, 2000) mostram que essas condições são observadas quando a temperatura medida no abrigo meteorológico padrão atinge cerca de 5°C, ou seja, equivalente a zero grau nas folhas, ou temperatura da relva. No entanto, em agricultura, quando se considera a morte dos tecidos das plantas, a denominação geada vai depender da cultura que sofreu a baixa temperatura. Assim, para o café ou cana-de-açúcar, a temperatura letal na folha é de -3,5°C, para o tomate de -1,0°C e para seringueira de -7,7°C.

A ocorrência de geadas em plantas perenes, de modo geral, tem diminuído sensivelmente no Norte do Paraná, em São Paulo e em Minas Gerais. Até a década de 90, eram observadas geadas agrícolas fracas a cada 4 anos aproximadamente e geadas severas a cada 8 anos. Dados atualizados mostram que desde o ano 2.000 não foram mais observadas geadas com danos significativos na agricultura. A Figura 5 mostra o decréscimo acentuado no número de dias com temperaturas abaixo de 10°C observado na região de Campinas, que passou aproximadamente de 40, no início do século, para 10, nos últimos anos. Esse fato comprova a diminuição da frequência de geadas na área tropical, em função do aumento sensível da temperatura, o que pode ser demonstrado por dados observados em cerca de 120 estações meteorológicas. Considerando os cenários de aumento de temperatura até o ano 2050, observa-se que o Sul do Brasil poderá ter uma diminuição significativa na ocorrência do fenômeno, permitindo o cultivo de plantas tropicalizadas inclusive no Rio Grande do Sul. É o caso da cultura do café arábica, cujo deslocamento é previsto nos próximos anos para o Sul do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (PINTO et al, 2008).

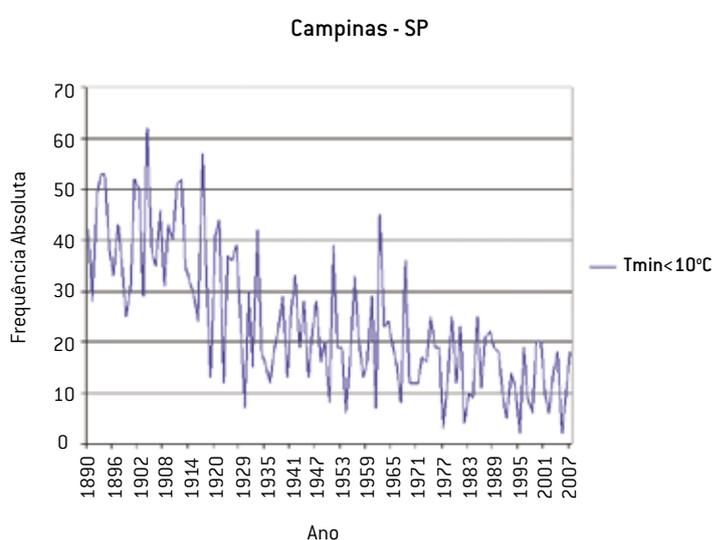


Figura 5. Variação da frequência de dias com temperaturas abaixo de 10°C em Campinas, SP, entre os anos de 1890 e 2007. (Dados: IAC/Apta).

Veranicos

Com base no trabalho de PINTO e ASSAD (2008), com exceção da Amazônia, o possível aumento dos períodos de estiagem deverá causar problemas de produtividade em praticamente todas as culturas anuais e perenes no Brasil. A soja perderá condições de cultivo no Sul, a cana-de-açúcar deverá aumentar a demanda pela chamada “irrigação de salvamento” em sua expansão para o Brasil Central e as culturas de subsistência como feijão, milho e mandioca deverão sofrer queda acentuada da produtividade nas áreas nordestinas. Segundo Alisson Barbieri da Cedeplar/UFMG e Ulisses Canfalonieri da Fiocruz, em trabalho em fase de publicação pela Embaixada Britânica do Brasil, alguns estados do Nordeste como o Ceará e o Piauí deverão perder entre 70 e 80% das terras agricultáveis devido ao aumento dos índices de estiagens no Nordeste, entre os anos de 2010 e 2050. As plantas agrícolas necessitam de água em algumas fases críticas do seu desenvolvimento, como no florescimento, quando a estiagem causa a perda de flores e conseqüente queda da produtividade.

O uso de irrigação para compensar o aumento de veranicos no Brasil Central e Nordeste deverá se tornar não recomendável em vista do aumento de competitividade entre a água para consumo humano e agricultura. Por outro lado, algumas áreas do Leste da Amazônia, com a diminuição das chuvas, poderão criar condições para cultivo da mandioca e da cana-de-açúcar em função do aumento da trafegabilidade por máquinas, o que possibilita a colheita mecanizada.

Chuvas intensas e ventos.

A previsão da maior parte dos modelos climáticos de aumento da frequência de chuvas intensas e de temporais no Sudeste e parte do Sul do país, poderá trazer alguns problemas principalmente para a mecanização agrícola em função do alagamento de áreas cultivadas impedindo o acesso de máquinas agrícolas para o manejo contínuo das culturas. Efeitos de acamamento de plantas como cana-de-açúcar, trigo e arroz também poderão ter um aumento significativo de ocorrência. Tratos agrícolas contra pragas e doenças poderão ser dificultados em função da impraticabilidade de pulverizações com defensivos devido a ventos mais fortes ou chuvas intensas.

Umidade do ar

O aumento das temperaturas e do conseqüente teor de vapor de água na atmosfera deverá aumentar o índice de doenças em plantas agrícolas por criar melhores condições da formação de orvalho nas folhas e de conforto térmico para os fungos. O aumento da temperatura induz um encurtamento do ciclo reprodutivo de fungos e insetos devido ao menor período de incubação, o que permite um número maior de gerações do microorganismo. Por outro lado, a incidência de intervalos maiores de estiagem, com queda da Umidade do Ar poderá aumentar a incidência de pragas nas lavouras uma vez que os insetos se adaptam melhor em condições secas e de temperaturas mais elevadas.



6. MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO DAS CULTURAS

Vulnerabilidade é o grau de susceptibilidade ou de incapacidade de um sistema para contornar efeitos climáticos adversos à permanência no ambiente em que subsiste. Em agricultura, a vulnerabilidade é responsável pela quebra de produção das espécies produtoras de alimentos. Mitigação é a forma pela qual são elaborados os processos que tentam minimizar nas plantas, os efeitos da elevação das temperaturas ou do aumento dos períodos de estiagem. Adaptação refere-se à capacidade que o ser vivo tem de se ajustar a novas condições climáticas ou suas consequências. Em agricultura, a adaptação pode ser forçada através do chamado melhoramento genético, convencional ou pela engenharia genética.

No Brasil, os cenários agrícolas futuros podem ser analisados mais detalhadamente em função dos novos estudos de PINTO e ASSAD (2008). A partir de todos os panoramas analisados os efeitos do aquecimento global serão sentidos de forma intensiva pela produção agrícola nacional. No entanto, é possível, desde já, propor soluções que controlem e/ou mitiguem esses efeitos. Basicamente a minimização das consequências dependem de três frentes de ação: 1) Redução de emissão dos GEE, 2) Mitigação e 3) Incremento de pesquisa em biotecnologia.

O Brasil ocupa atualmente a quarta posição no ranking de emissores de GEE no mundo sendo o desmatamento responsável por 75% dessa emissão. A adoção de uma política pública séria e eficaz que fiscalize e iniba as ações das queimadas poderá promover uma redução

drástica na taxa de emissão, reclassificando o país para a 18ª ou 19ª posição de país poluidor mundial.

O segundo aspecto é a mitigação. Investir em sistemas agrícolas mais eficientes e limpos auxilia a melhoria da atmosfera. Equivocadamente, existem críticas em relação à agricultura alegando que essa atividade contribui para aumentar o aquecimento global, principalmente por conta das práticas da queimada e da abertura de novas fronteiras na Amazônia. No entanto, na atividade agrícola há escala suficientemente forte para reduzir a concentração de GEE na atmosfera. Com áreas extensas cultivadas por sistemas mais eficientes e limpos é possível sequestrar o carbono da atmosfera de maneira ágil e eficaz.

O terceiro aspecto prevê o trabalho com adaptação de espécies investindo, para isso, em melhoramento genético, convencional ou com o uso da biotecnologia. Com esses investimentos haveria a garantia de que diferentes cultivares seriam criados para adaptação a temperaturas mais elevadas ou à falta de água.

Redução na emissão de gases do efeito estufa

Para que seja possível promover a redução de GEE é preciso garantir que existam ações e programas agrícolas que contribuam para diminuir cada vez mais essas emissões, que incentivem a produção agrícola mais eficiente e limpa e que invistam na pesquisa para adaptabilidade de espécies aos novos panoramas climáticos. Diante disso é preciso criar políticas públicas eficientes que garantam:

- a) a redução das queimadas, caminhando para sua eliminação;
- b) a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis;
- c) o investimento em pesquisas de fontes alternativas de energia;
- d) a criação de sistemas eficientes de estoque de carbono;
- e) atividades contínuas de Reflorestamento e Florestamento;
- f) a adoção de práticas conservacionistas, como a redução de erosão, adoção de técnicas de plantio direto e cobertura eficiente do solo.



Figura 6. Ilustração de diferentes etapas do sistema agrosilvopastoril. (Foto: Geraldo B. Martha Jr. Embrapa Cerrados)



Paralelamente a essas ações, é necessário investir em estudos que permitam traçar cenários detalhados sobre uma nova geografia da produção agrícola brasileira. É preciso, portanto, aprofundar esses estudos para que seja possível identificar, município por município, as condições agroclimatológicas e estudar, em nível local, os possíveis cenários climáticos e agrícolas daqui a dez, cinquenta ou cem anos.

O Brasil hoje possui na região dos Cerrados algo em torno de 40 milhões de hectares de pastagens degradadas, caracterizadas por baixa capacidade de suporte – cerca de 0,5 unidade animal/ha/ano – já que não são submetidos a técnicas agronômicas de manejo e sustentação. Soluções como a implantação de técnicas de integração pecuária-lavoura ou pecuária-lavoura-floresta, em uma lógica rotacional definida, seguiria uma sequência de substituição de pasto por grãos e florestas num primeiro momento e a volta de pasto sob floresta num segundo momento. Tal prática permitiria a redução de erosão, ciclagem de nutrientes, aumento da produção de biomassa, maior eficiência no sequestro de carbono e, ao final do ciclo de instalação pasto/floresta, um aumento da capacidade de suporte anual, passando de 0,5 UA/ha para 2,5 UA/ha.

Essa seria uma maneira limpa e eficiente de mitigar os efeitos do aquecimento global, já que, ao mesmo tempo, tornaria possível reduzir a quantidade de carbono presente na atmosfera, contar com alta capacidade

de produção de celulose, auxiliar a fertilização do solo e praticamente quadruplicar a capacidade de suporte das pastagens.

Ainda nas possibilidades de mitigação oferecidas por sistemas agrícolas é possível citar, no caso de manejo de solo, os benefícios encontrados no plantio direto. O Brasil é um dos poucos países do mundo que praticam este tipo de plantio, com uma área atual em torno de 23 milhões de hectares. Esse tipo de plantio é altamente eficiente no sequestro de carbono. Primeiro porque reduz a quantidade de implementos, demandando, por exemplo, menos combustível e máquinas para a aplicação de adubos, fertilizantes e defensivos agrícolas. Segundo porque basta uma única etapa para efetuar o plantio. Uma máquina adaptada para plantio direto já possibilita efetuar a semeadura sobre o resíduo da cultura anterior sem a necessidade de revirar a leiva, passar o arado ou a grade niveladora. Terceiro porque aumenta a produção de biomassa.

Vários estudos no Brasil demonstram que nas Regiões Norte, Centro-Oeste e Sul a utilização do sistema de plantio direto, garante o sequestro de aproximadamente 500 Kg/ha/ano de carbono, o que significa que são absorvidos 12 milhões de toneladas de carbono por hectare por uma única prática agrícola. No caso da integração pecuária-lavoura-floresta, há um sequestro de carbono da ordem de 2,5 ton/ha/ano, segundo dados da Embrapa Cerrados.



P58 (BR-16 with gene)
2,5% soil moisture



BR-16 without gene
2,5% soil moisture

Figura 7. Soja com genes de tolerância a seca. Os quatro vasos à esquerda contêm o gene de tolerância e os quatro à direita correspondem à soja comum. (Dr. Alexandre Nepomuceno, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR).

Melhoramento genético

Independente do conceito ambientalista sobre a produção de cultivares com o uso de transgênicos, paralelamente ao melhoramento genético convencional, essa é uma das alternativas mais promissoras para a adaptação dos principais cultivos agrícolas no futuro. Para melhor adaptação é necessário utilizar técnicas da biotecnologia que possibilitem introduzir novos genes nas plantas, criando tolerância a seca e a temperaturas elevadas.

A biotecnologia também pode contribuir para mapear os genes tolerantes ao calor e à seca, tornando o processo independente de genes mapeados em países estrangeiros, já que é plenamente possível encontrar esses genes tolerantes nas plantas da biodiversidade brasileira. Assim, preservar a biodiversidade além de ser uma prática absolutamente necessária e importante para o meio ambiente pode ser também fundamental para a manutenção e sustentabilidade da agricultura.

Instituições brasileiras já desenvolveram, e continuam desenvolvendo trabalhos com base em melhoramento genético para tolerância à seca e a altas temperaturas. A Embrapa Soja, em Londrina, dispõe experimentalmente de uma variedade de soja com tolerância à seca. O Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar) desenvolveu quatro variedades de feijão com boa tolerância à seca e ao calor e a Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) tem demonstrado avanços nesse tipo de pesquisas, com frutas de clima temperado.

7. CENÁRIOS FUTUROS

O sumário da segunda parte do relatório de 2001 do IPCC – sobre impactos, adaptação e vulnerabilidade – dirigido aos formuladores de políticas públicas foi extremamente vago ao avaliar os possíveis impactos das alterações climáticas globais no comportamento das plantas agrícolas. Com referência à adaptação de culturas localizadas nas “médias latitudes” e o reflexo em sua produtividade, o relatório afirma apenas que a mudança climática levará a “respostas gerais positivas para variações menores do que alguns graus Celsius e respostas gerais negativas para mais do que alguns graus Celsius”. O relatório do IPCC de 2007 bem como trabalhos recentes de ASSAD et al. (2006, 2007), PINTO et al. (2007, 2008). e NOBRE et al. (2008) são mais específicos quanto aos efeitos do aumento das temperaturas nas plantas. Recentemente, ZULLO JR et al. (2008a e 2008b), COSTA et al. (2008), PINTO et al. (2008) e ASSAD et al. (2007) mostraram os efeitos do aquecimento global sobre os deslocamentos futuros das principais culturas agrícolas no Brasil. NOBRE et al (2008) analisam as consequências do aquecimento na América do Sul.

PINTO e ASSAD (2008), em trabalho desenvolvido com apoio da Embaixada Britânica no Brasil, mostraram as perdas e ganhos financeiros decorrentes da migração de culturas no país devido ao aumento de temperatura. A Tabela 1 mostra as consequências sobre nove das princi-

pais plantas cultivadas e responsáveis por cerca de 85% do produto interno bruto do agronegócio brasileiro.

Calculando-se proporcionalmente a perda ou ganho de áreas cultiváveis com as culturas consideradas na tabela 1, em função da migração causada pelo aquecimento, os resultados indicam ganho econômico da ordem de R\$27 bilhões por ano com a cana-de-açúcar em 2020, no pior cenário (A2). A soja deverá perder R\$4,3 bilhões/ano e o milho cerca de R\$1,2 bilhões/ano no mesmo período.

No cenário B2, de menor aquecimento previsto, o saldo negativo de produção chega a R\$6,7 bilhões/ano e o positivo, devido principalmente ao aumento de áreas potenciais para a cana-de-açúcar, a R\$29 bilhões/ano.

Dados recentes coletados por PINTO e ASSAD (2008) mostram que, para a obtenção de uma nova cultivar de planta agrícola, o prazo necessário é de dez anos além de mais três para multiplicação de sementes. O custo anual é da ordem de US\$500 mil, ou seja, US\$6 milhões para cada cultivar nova. Esse fato mostra a importância de se começarem trabalhos de melhoramento genético em busca de plantas tolerantes à seca e a altas temperaturas o quanto antes sob pena de obsolescência das cultivares existentes antes da produção de novas plantas adaptadas às novas condições climáticas futuras.

Culturas	Área potencial atual (Km²)	Área potencial modelo Precip A2 ano 2020 (Km²)	% de Variação em relação à área atual	Área potencial modelo Precip A2 ano 2050 (Km²)	% de Variação em relação à área atual	Área potencial modelo Precip A2 ano 2070 (Km²)	% de Variação em relação à área atual
Algodão	4,029,507	3,583,461	-11.07	3,449,349	-14.40	3,380,202	-16.12
Arroz	4,168,806	3,764,488	-09.70	3,655,029	-12.32	3,577,169	-14.19
Café	395,976	358,446	-9.48	328,071	-17.15	265,243	-33.01
Cana	619,422	1,608,994	159.76	1,477,816	138.58	1,351,441	118.18
Feijão	4,137,837	3,957,481	-04.36	3,715,178	-10.21	3,587,559	-13.30
Girassol	4,440,650	3,811,838	-14.16	3,709,223	-16.47	3,633,928	-18.17
Mandioca	5,169,795	5,006,777	-03.16	5,886,398	13.48	6,268,634	21.26
Milho	4,381,791	3,856,839	-11.98	3,716,684	-15.18	3,624,487	-17.28
Soja	2,790,265	2,132,001	-23.59	1,837,447	-34.15	1,635,239	-41.39

Tabela 1 Variação das áreas estimadas pelo modelo Precip RCM, em Km², com potencial para o plantio das principais culturas brasileiras nas condições climáticas atual (2007/08) e em 2020, 2050 e 2070, no cenário IPCC - A2.

8. A NECESSIDADE DE UM MELHOR ENTENDIMENTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DE UMA PARTICIPAÇÃO MAIS EFETIVA DOS ATORES ENVOLVIDOS NA DISCUSSÃO

De modo geral, cerca de 98% dos climatologistas no mundo concordam que o aquecimento global é um fenômeno em desenvolvimento e que, de acordo com o IPCC [2007], 95% das causas se devem à atividade antrópica. As opiniões contrárias dos 2% restantes dos pesquisadores, os chamados “céticos”, não são baseadas em argumentos científicos que demonstrem as incorreções dos trabalhos existentes. São apresentados apenas argumentos, a maioria com base em fenômenos astronômicos, sobre o aumento ou diminuição do CO₂, sobre a variação das temperaturas em milhões de anos e sobre eras glaciais, mas faltam análises científicas que descaracterizem a ocorrência dos cenários de aquecimento nos próximos 10 a 100 anos. Para o agronegócio, 10 anos podem significar perdas significativas em termos de economia e, principalmente, de segurança alimentar no futuro. Levantamento efetuado junto a Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – e a outras instituições de pesquisas em agricultura no Brasil, oficiais e privadas, mostraram que para se obter uma única cultivar de planta com tolerância ao calor ou à seca, seja por melhoramento convencional ou transgenia, há uma demora de aproximadamente 10 anos, ao custo de 10 a 12 milhões de reais. As análises climáticas atuais mostram que, ao final de 10 a 20 anos, certamente já terá ocorrido nova alteração do cenário agrícola, com migração de plantas para o Sul ou para áreas de maiores altitudes, com perdas acentuadas na produção do país. Neste caso, a inação de hoje poderá ter um alto custo em um futuro próximo. Com raras exceções, as agências financiadoras de pesquisas no Brasil demoraram cerca de 10 anos para tomarem a decisão de apoiar os estudos de mudanças climáticas e, mesmo assim, esses recursos ainda fazem parte mais das promessas do que da realidade. Na área agrícola, apenas a Embrapa e a Embaixada Britânica se mostraram realmente susceptíveis ao financiamento desses estudos.



Estimativas preliminares da Embrapa mostram que, atualmente, existem no Brasil cerca de 150 milhões de hectares de pastos degradados, com capacidade de pastoreio da ordem de 0,5 UA/ha (Unidade Animal por hectare). O esforço gerencial para recuperação desses solos através de manejo agro-silvo-pastoril, além de permitir o sequestro de CO₂ equivalente a 2 a 4 toneladas por hectare, poderá gerar condições de lotação dos pastos da ordem de 2,0 UA/ha, com vantagens econômicas na produção de essências florestais.

Um bom planejamento agrícola deve ser feito com pelo menos 10 anos de antecedência. Um aspecto que pode contribuir para um futuro agrícola menos prejudicado pelo aquecimento global refere-se à previsão do uso adequado do solo por parte dos agricultores, tendo como base de plantio as indicações do zoneamento de riscos climáticos e as alterações previstas.

Nas empresas privadas dedicadas ao agronegócio, grande parte já vem trabalhando com transgenia de segunda geração, ou seja, melhoramento dedicado à obtenção de plantas resistentes a estresses meteorológicos. Nessas empresas, os responsáveis pelas áreas de pesquisas têm avaliações mais positivas quanto à alteração do clima futuro do que os dirigentes das instituições oficiais, provavelmente devido a um fluxo de informações mais atualizado à menor influência dos “céticos” e à precaução contra o mau desempenho econômico que possa advir.

Na área governamental a diversidade de interpretação das alterações climáticas tem dificultado o estabelecimento de um programa único coerente de pesquisas e mesmo de mitigação dos problemas já existentes, sem que haja uma coordenação mais competente para definir como estabelecer um programa integrado que atenda a demanda nacional e internacional. O Brasil já foi pioneiro nas pesquisas sobre aquecimento global e desenvolvimento agrícola e poderá perder em breve posições na escala mundial caso não estabeleça um programa realmente integrado, com recursos para experimentação básica envolvendo trabalhos de laboratório e de campo com as principais culturas agrícolas.



ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR E ADAPTAÇÃO EM GRANDES CIDADES COSTEIRAS DO BRASIL

David Man Wai Zee

RESUMO

Como quase 60% da população mundial vive nas áreas costeiras ou precisa passar por elas, qualquer elevação nos níveis do mar é uma grave ameaça ao modo de vida humano. De acordo como relatório Climate Change 2007, do IPCC, a temperatura mundial deve subir entre 1,1° C e 6,4° C durante o século 21, o que resultará numa elevação no nível do mar entre 18 e 59 cm.

Além da elevação do nível do mar, a maior frequência dos eventos climáticos extremos reduzirá a estabilidade geográfica da linha costeira. Com o aquecimento, a água tende a evaporar mais rápido e teremos mais chuvas e tempestades, além de ventos, furacões e ciclones. A energia cinética é transferida para o mar na forma de ondas ou marés meteorológicas, o que causa erosão ou sedimentação das áreas costeiras.

A mudança do perfil da linha costeira, o impacto das marés meteorológicas e a elevação dos níveis do mar costeiro podem ter efeitos catastróficos sobre áreas costeiras urbanas e instalações portuárias.

Os riscos para a navegação crescem à medida que aumenta a absorção de energia pelo mar, o que gera ondas e ciclones de maior intensidade e com maior frequência. Além disso, a elevação do nível do mar compromete a rede de drenagem das cidades costeiras, já que dificulta a dispersão dos efluentes urbanos, aumentando a poluição da água. A degradação ambiental do espaço costeiro significa a perda de áreas de turismo e lazer, a desvalorização de propriedades e o aumento da insegurança para os moradores locais. Tais fatores geram prejuízos econômicos e desvalorização das propriedades costeiras.

Este estudo apresenta as ameaças, a vulnerabilidade e o risco da exposição a essas mudanças para três regiões do Brasil: o estado do Rio de Janeiro, o estado de Santa Catarina, e a área metropolitana de Recife na região Nordeste do Brasil. O estado de Santa Catarina é uma das áreas mais ameaçadas pelo aquecimento global. O primeiro furacão observado no Atlântico Sul, em 2004, aconteceu dentro das fronteiras do estado. Além disso, Santa Catarina sofreu com fortes chuvas nos últimos dois anos. O estado do Rio de Janeiro sofre o impacto de frequentes marés meteorológicas, embora nos últimos anos se apresente menos prejudicado do que Santa Catarina. A área metropolitana de Recife é a menos ameaçada pelo aquecimento global entre as três estudadas, já que sua região é mais estável em termos climáticos do que as outras duas. Mas isso não significa que Recife esteja a salvo das mudanças climáticas. Como o Nordeste do Brasil é uma região pouco desen-

volvida, a vulnerabilidade de Recife, principalmente em Olinda, ainda é bem grande.

O estudo classifica essas regiões de acordo com seu grau de risco, tendo como objetivo estimar o prejuízo econômico que a mudança climática pode causar. Estudamos a infraestrutura construída, o investimento planejado e a densidade demográfica de cada local. Como resultado, o relatório objetiva determinar as regiões com maior probabilidade de ter alta demanda por seguro.

A zona costeira pode ser adaptada para reduzir esses riscos com a adoção de políticas preventivas e reativas. Como se sabe, as medidas preventivas são mais baratas e eficazes do que as reativas, mas a prevenção nem sempre é possível, em virtude da falta de capacidade de planejamento, dos poucos investimentos e da resistência da opinião pública. Entre essas políticas de adaptação, podem ser destacadas as seguintes:

- Aumento dos requisitos para projetos de infraestrutura urbana.
- Maior informação às populações sobre os possíveis riscos locais da elevação do nível do mar.
- Proteção das barreiras naturais (como mangues e reservas de coral) da elevação do nível do mar.
- Criação de um plano de investimento para reduzir a vulnerabilidade das áreas mais afetadas (com a construção de diques e outras barreiras artificiais, por exemplo).
- Uso mais rigoroso das terras costeiras (com a definição de áreas non aedificandi, por exemplo).

Como parte de seu projeto *360 Risk Insight*, o Lloyd's já publicou um estudo sobre a elevação do nível do mar. Este estudo analisa o crescimento da ameaça da mudança climática em três regiões do mundo: Caribe, Inglaterra e sudeste da Ásia. Entretanto, o trabalho adverte que todas as regiões sofrerão mais eventos extremos e maiores perdas com a progressão do aquecimento global.

É papel do setor de seguros estimular medidas de adaptação, incentivando os responsáveis por políticas estratégicas e indivíduos em geral. De acordo com o projeto *360 Risk Insight* do Lloyd's, as companhias de seguro devem "Definir os prêmios das apólices em níveis mais compatíveis com o risco a que os bens dos indivíduos estão expostos. Se medidas de adaptação não forem implementadas, o seguro se tornará mais caro e menos acessível". Além disso, as companhias de seguro devem empregar parte de seus recursos em investimentos verdes, como estratégia de atenuação do aquecimento global e de redução das perdas futuras.

1. INTRODUÇÃO

As áreas costeiras estão permanentemente expostas ao embate entre as forças continentais e oceânicas que promovem a sua constante transformação. O litoral é portanto uma área de risco, ainda mais com a influência das mudanças climáticas cujo efeito colateral mais notável é a elevação do nível dos oceanos.

É nos oceanos que a energia térmica absorvida pelos GEE se acumula e se traduz sob forma de elevação da temperatura da água. Águas mais aquecidas da região tropical são transportadas pelas correntes para locais mais distantes como os polos e provocam o derretimento das geleiras. O degelo acarreta diferenças de temperaturas e de salinidades que provocam a alteração da densidade da água do mar entre regiões oceânicas, que por sua vez retro-alimentam as correntezas que espalham o calor concentrado na zona tropical pelos oceanos.

Essa cadeia de efeitos alimenta a engrenagem da dissipação da energia acumulada no planeta.

A elevação de 1°C na água oceânica promove a expansão térmica de um enorme volume d'água contido nos oceanos e conseqüentemente o nível do mar. Se forem acrescidos os efeitos combinados da água derretida proveniente da capa de gelo dos polos e das montanhas, além das marés meteorológicas (originadas pelos fenômenos meteorológicos), percebe-se o potencial de elevação do nível do mar. Se também for contabilizado o efeito de galgamento das ondas mais fortes devido a maior interação de energia entre a atmosfera e os oceanos decorrente do efeito estufa, percebe-se que os oceanos podem atingir regiões continentais que antes eram inimagináveis. Desta forma o risco do aumento do nível do mar afetar regiões urbanas-costeiras se potencializou em muito.



2. MARCO CONCEITUAL: A ELEVAÇÃO DO NÍVEL DOS OCEANOS

O aquecimento global é uma realidade tanto física quanto de percepção. O desafio atual não é mais provar a sua existência e sim como vamos nos adaptar a esta nova condição. Quase 60% da população mundial vive ou transita em áreas costeiras. A elevação dos oceanos é uma séria ameaça as condições de vida da humanidade no futuro imediato. Segundo o relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC, Climate Change2007:The Physical Sciences Basis (IPCC, 2007), as principais conclusões inerentes à elevação do nível dos oceanos, são as seguintes:

- a) O aquecimento do sistema climático é real.
- b) O aquecimento de origem antropogênica e a elevação do nível dos oceanos continuarão a aumentar por séculos devido as escalas de tempo dos processos climáticos e da retro-alimentação, mesmo com a manutenção dos níveis dos gases do efeito estufa na atmosfera em seu estado atual.
- c) A temperatura mundial tende a aumentar entre 1,1° C á 6,4° C no século XXI.
- d) O nível do mar deverá se elevar entre 18 e 59 cm no século XXI.
- e) Existe mais de 90% de chances de haver mais derretimento glacial.
- f) Aumento de 66% de ocorrências de ciclones tropicais e de elevação das marés meteorológicas.
- g) Tanto a emissão de gases do efeito estufa passada como a futura, continuarão a contribuir com o aumento do nível dos oceanos por mais mil anos.

Portanto, as previsões são bastante concretas e preocupantes. A humanidade já se encaminha para outra fase, qual seja, a preparação para o enfrentamento das consequências das mudanças climáticas. A questão da adaptabilidade é a nova palavra de ordem e para tanto deve-se compreender melhor os potenciais efeitos que possam advir da elevação do nível dos mares em regiões costeiras e circunvizinhas.

2.1 CAUSAS DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DOS OCEANOS

Cerca de 70% da superfície da terra são cobertos pelos oceanos. A amplitude do seu espelho d'água constitui-se local propício para promover as trocas de energia entre a atmosfera e os oceanos. É na atmosfera que os GEE aprisionam a energia térmica convertida pela radiação solar incidente no planeta.

A energia térmica aprisionada na atmosfera devido ao efeito estufa converte-se em energia eólica e no aumento da temperatura das águas. A energia acumulada se transmite sob forma de ondas e evaporação que por sua vez transformam-se em ressacas, elevação do nível dos oceanos e tempestades (furacões, ciclones etc.). Esta cadeia sucessória de eventos climato-oceanográficos nada mais é do que a transmissão da enorme quantidade de energia adicional armazenada pelo planeta.

Esta energia adicional é dissipada sob forma de ressacas mais severas, furacões mais intensos, ciclones em regiões antes inimagináveis e o que é mais preocupante, atingindo edificações antrópicas totalmente despreparadas para receber este tipo de impacto.

As primeiras trincheiras de dissipação da energia acumulada nos oceanos são as zonas costeiras, daí a importância da adaptação e da prevenção destas regiões contra os efeitos imediatos das mudanças climáticas.

A elevação do nível do mar deve-se portanto a fenômenos de natureza estática e dinâmica (eventos extremos). A sobrelevação do nível do mar de natureza estática se deve essencialmente a expansão térmica da água do mar e a contribuição decorrente do acréscimo do volume d'água dos oceanos devido ao derretimento das geleiras da calota polar e das montanhas nevadas.

A sobrelevação do nível do mar de natureza dinâmica se deve basicamente aos seguintes efeitos:

- a) Diferenças de pressão atmosférica provocando ventos que promovam o "empilhamento" de águas oceânicas de encontro com o litoral (maré meteorológica).
- b) Evaporação da água do mar e campo de ventos capazes de acumular energia para a formação de ciclones e furacões que provocam deformações do nível do mar ao longo de sua trajetória. Este fenômeno pode ser chamado de maré de tormenta e corresponde a eventos extremos.

c) A formação de ressacas próximo ao litoral promove um maior ataque de ondas de alta energia com capacidade de galgamento ou avanço sobre o litoral.

d) Eventual alteração do padrão de circulação das correntes costeiras também pode acarretar um empilhamento de águas em determinados pontos da costa em função da sua morfologia. A alteração do perfil de circulação (direção e intensidade) costeira pode ser também um reflexo das mudanças climáticas.

Além da questão da intensidade da elevação do nível das águas, a frequência como aparecem estes eventos de natureza extrema também é relevante, uma vez que debilita a estabilidade física do litoral.

A transferência da energia térmica acumulada na atmosfera, ocorre pela diferença da distribuição da temperatura ao redor do planeta. Naturalmente que o calor acumulado nos trópicos tende a se espalhar e se equilibrar pelas regiões do globo terrestre. Esta distribuição do calor é realizada pelas correntes do ar (ventos) e marinhas (correntes costeiras e oceânicas). Quanto maior for a diferença tanto maior será a intensidade e a frequência dos desequilíbrios térmicos.

A transferência do calor para os oceanos provoca a expansão térmica das águas e mudanças das correntes marinhas. O transporte de águas mais quentes para os polos derretem as geleiras que incrementam o volume dos oceanos provocando a elevação do nível dos mares.

Maior aquecimento das águas, maiores serão os processos de evaporação da água, mais chuvas e tempestades além da formação de ventos, furacões ou ciclones. Esta energia cinética é transferida para o mar sob forma de ondas de ressacas que ao se abaterem no litoral promovem o transporte de sedimentos (erosão e assoreamento). A alteração do perfil costeiro, o impacto das ressacas e a conseqüente elevação do nível das águas litorâneas promovem bruscos cenários de dissipação de energia podendo provocar impactos catastróficos em áreas costeiras urbanizadas.

A figura 1 apresenta de forma esquemática a sucessão de potenciais eventos de natureza causal que provocam a elevação do nível do mar junto ao litoral.

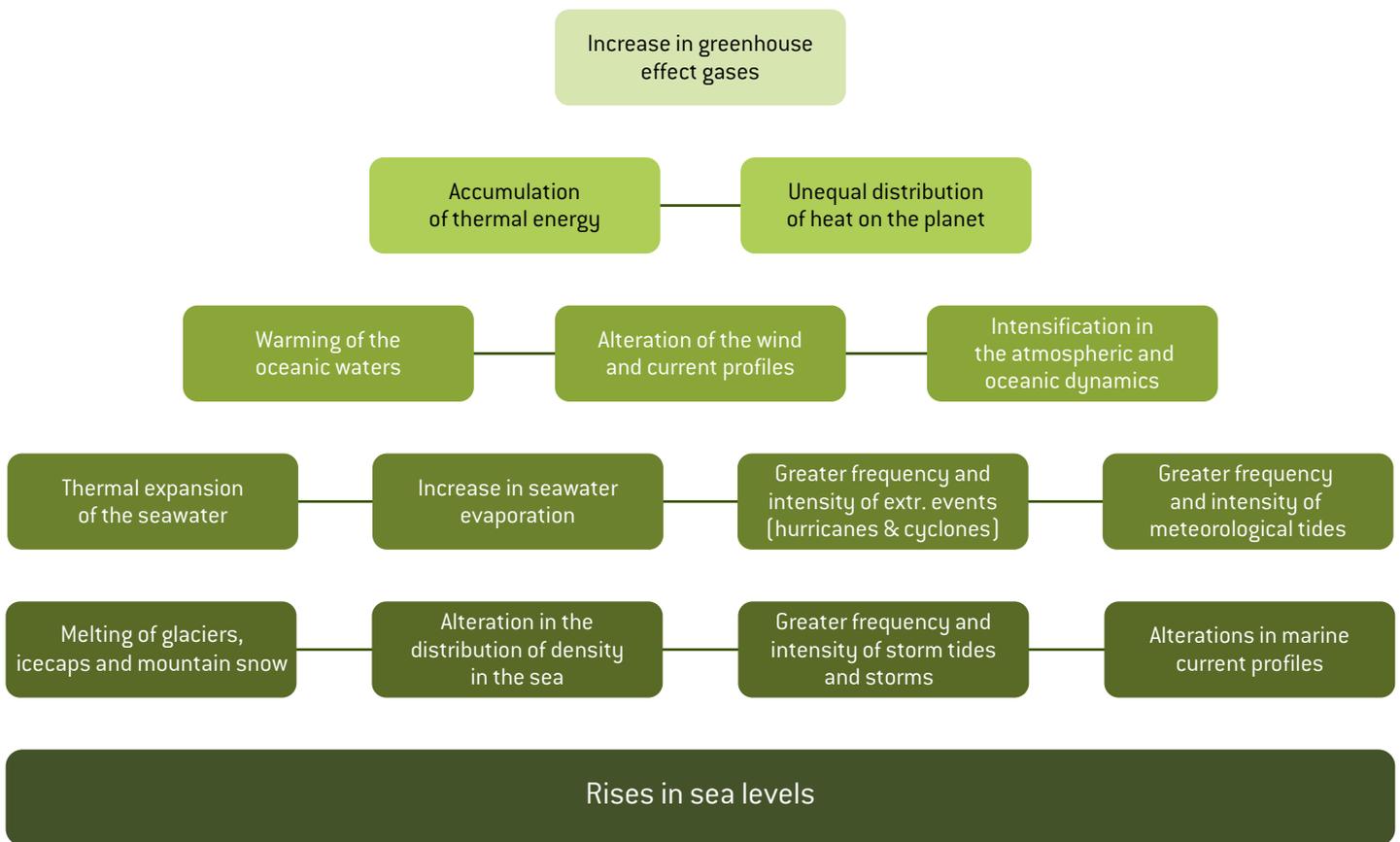


Figura 1: Sequência causal da origem da elevação do nível dos oceanos

2.2 EFEITOS DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DOS OCEANOS

As áreas costeiras são sensíveis, pois sofrem os primeiros impactos decorrentes da elevação do nível dos oceanos.

Para litoral de pequena declividade e de natureza sedimentar, extensas áreas de planície costeira e lagunas ficam mais expostas à invasão das águas marinhas alterando sua morfologia, relevo e batimetria.

A maior acessibilidade das ondas, correntes litorâneas, ventos, salsugem (maresia) promovem um maior desgaste físico e maior mobilidade dos sedimentos costeiros. Desta forma ocorre uma alteração da morfologia costeira e do balanço de sedimentos acarretando a deteriorização ou colapso das estruturas costeiras e urbanas nelas assentadas. Da mesma forma verifica-se a perda de áreas abrigadas e mesmo a intrusão salina nos mananciais d'água costeiros.

Com a crescente elevação do nível do mar, as águas interiores ficam represadas e o remanso acarreta problemas de enchente em áreas baixas interiores. A alteração da qualidade d'água litorânea provoca a migração da biota específica para áreas mais propícias.

Eventos de natureza extrema (ondas, maré meteorológica, ciclones, correntes litorâneas) apoiadas sobre a elevação estática do mar, com certeza são sérias ameaças de colapso das edificações e estruturas costeiras. Tal hipótese fundamenta-se na desconsideração das cargas ambientais oriundas das mudanças climáticas no momento do dimensionamento destas estruturas. Os riscos à navegação se potencializaram em função da maior energia absorvida pelo meio marinho traduzindo-se em ondas e ciclones de maior intensidade e frequência.

Por fim, a elevação das águas comprometem a drenagem das cidades costeiras dificultando a dispersão dos efluentes urbanos e como consequência o aumento da poluição das águas. A degradação ambiental do espaço costeiro acarreta perdas de áreas de turismo e lazer, a depreciação imobiliária e o aumento da sensação de insegurança. Tais fatores redundam em perdas econômicas e na desvalorização dos espaços costeiros.

A figura 2 esquematiza a sequência dos eventos de depreciação das zonas costeiras urbanas decorrentes da elevação do nível dos oceanos.

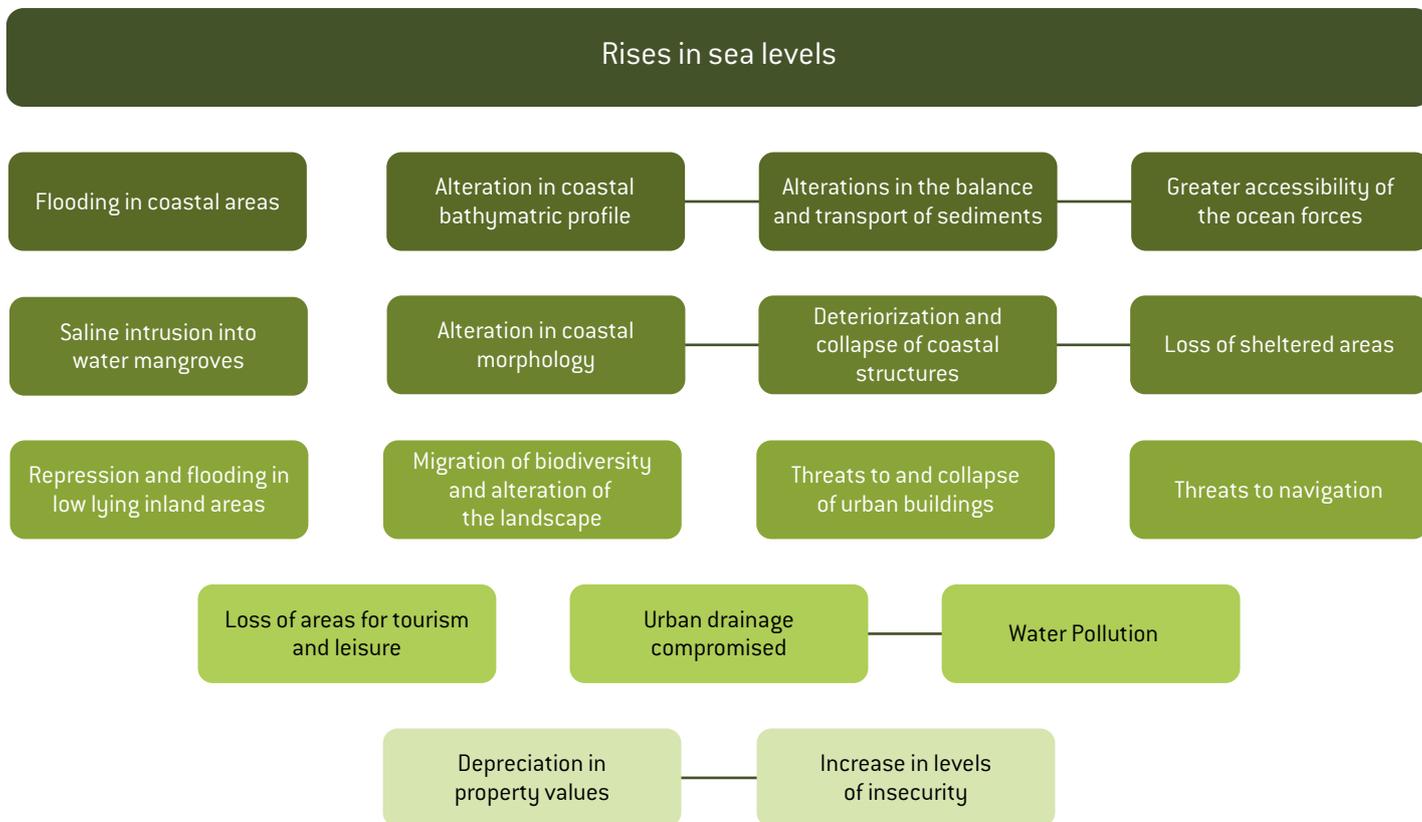


Figura 2: Árvore de impactos decorrentes da elevação do nível dos oceanos.

2.3 ÚLTIMAS EVIDÊNCIAS

A temperatura média dos oceanos atingiu 17° C em julho de 2009, que é a mais alta já registrada desde o início das medições em 1880, segundo a National Climate Data Center – NCDC (<http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia-tecnologia/temperatura-oceanos-bate-recorde-493298.shtml>, em 07.09.09). Tal constatação aumenta a pressão do derretimento das geleiras do Ártico e do Antártico, fortalece o surgimento de mais furacões e com maior intensidade, além do fenômeno de expansão térmica dos oceanos. Todos estes fatores individualmente ou em conjunto promovem a elevação dos níveis dos oceanos ao longo do litoral.

O aquecimento das águas dos oceanos é inevitável e tende a se confirmar uma vez que os mares respondem

de forma extremamente lenta a temperatura do ar que já se elevou significativamente nas últimas décadas.

Quanto ao derretimento das geleiras, a Antártica concentra 90% de todo o gelo do planeta e segundo pesquisadores britânicos e holandeses, se todo este gelo derretesse haveria uma elevação do nível do mar em torno de 3,2 metros (<http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia-saude/elevação-nivel-oceanos-sera-menor-470466.shtml>, em 07.09.09).

Os oceanos cobrem mais de 70% da superfície da terra e tem profundidade média de 4026 metros. Com estas dimensões é possível avaliar o enorme volume d'água dos oceanos que corresponde aproximadamente a 97% de toda a água do planeta. Desta forma, torna-se fácil perceber o potencial de influência que um aumento de

1° C na temperatura da água pode provocar em termos de expansão térmica no que tange ao volume e a elevação dos níveis dos mares.

Algumas projeções da elevação do nível do mar preveem a elevação de 60 centímetros para o século XXI. Para 2030 a hipótese de incremento da ordem de 15 cm é bastante razoável em termos globais.

Como foi mencionado, a elevação do nível do mar e sua capacidade de impacto para determinadas regiões da costa brasileira depende de inúmeros fatores, tais como, morfologia, batimetria local e densidade de ocupação. Assim, a previsão da elevação das águas varia de localidade para localidade ao longo do litoral brasileiro.

No Brasil, trabalhos do Instituto Oceanográfico da USP-IOUSP confirmam o aumento do nível do mar na costa de Cananéia (litoral Sul de S.P.), entre 1955 e 1990, a uma taxa da ordem de 4,1 mm por ano. Entre 1944 e 1989, o litoral de Santos sofreu uma elevação média de 1,1 mm por ano.

Tal fato demonstra a variabilidade da elevação média do nível do mar em diferentes localidades. Contudo a tendência de elevação do nível dos oceanos é evidente e real.

O porto de Recife registrou entre 1946 a 1988 uma elevação de 0,56 cm/ano (Neves e Muehe apud Harari e Camargo, 2008) que corresponde a uma elevação de 23,5 cm em 42 anos.

A análise dos dados da estação maregráfica da ilha fiscal, no Rio de Janeiro, no período de 1965 a 1986 indicam uma elevação anual de 1,26 cm/ano (Silva, 1992). Possivelmente por estar a estação maregráfica localizada no interior da Baía de Guanabara ocorre uma maximização da sobreelevação do nível d'água devido a efeitos hidrodinâmicos localizados.

Portanto estima-se uma variação da ordem de 15 cm para Recife e de 30 cm para a Baía de Guanabara no Rio de Janeiro, projetando-se para 2030.



3. CONCEITO DE RISCO

Em função da extensão do litoral brasileiro, diversos são os fatores [físicos, climáticos, oceanográficos, biológicos e antrópicos] que intervêm nesta estreita faixa litorânea no que tange à magnitude dos impactos devido a elevação do nível dos oceanos. A combinação destes fatores promove cenários diversos de risco e, portanto, potencial demanda de mercado de seguros.

Apesar das inúmeras incertezas a mais evidente certeza é a de que as mudanças climáticas são reais e vieram para ficar. Assim torna-se importante avaliar os riscos, mensurar as perdas potenciais e desenvolver medidas preventivas. Tratam-se de ações de adaptação para uma nova realidade que se estabelece.

O risco é composto de 3 variáveis, a saber: vulnerabilidade, exposição e ameaça (Roaf et al, 2009). Este representa o potencial com que a elevação do nível dos oceanos pode desencadear uma sequência de efeitos, vindo a promover inúmeros impactos nas zonas costeiras em futuro próximo. Os prejuízos decorrentes do avanço do mar podem se manifestar sob inúmeras formas em função das características locais de vulnerabilidade, do seu nível de exposição e da potencial ameaça dos fenômenos climato-oceanográficos decorrentes do efeito estufa (Roaf et al, 2009).

$$\text{Risco de Impacto} = \text{ameaça} \times \text{vulnerabilidade} \times \text{exposição}$$

Fig. 3 Equação do Risco de Impacto (Roaf et al, 2009).

Pela equação do risco de impacto (fig. 3) torna-se fácil perceber que se for possível anular qualquer uma das variáveis o risco tende a desaparecer. Contudo, se for possível reduzir ao máximo o maior número de lados do triângulo de risco (Fig.4) tanto menor é a possibilidade de se desenvolver algum impacto em áreas costeiras devido a elevação do nível dos oceanos.

O fator exposição do triângulo de risco está relacionado com a localização geográfica e do nível de interação, existentes entre a linha da costa e o oceano. Áreas mais abrigadas ao ataque direto do mar, tais como as partes internas de estuários e baías, tendem a ter menos riscos de sofrer as consequências da elevação do nível do mar. Por outro lado, zonas costeiras abertas para o mar possuem um risco maior de sofrer os impactos ambientais, decorrentes da variação do nível do mar.

A vulnerabilidade do litoral diz respeito as características físicas [geologia e morfologia] do cenário costeiro. Quanto melhores forem as condições de estabilidade do litoral, tanto menos vulnerável será a faixa costeira frente as mudanças climáticas. Fatores como disponibilidade de sedimentos, declividade, batimetria, cobertura vegetal, relevo, nível de ocupação antrópica, dentre outros, constituem elementos que caracterizam a maior ou menor vulnerabilidade do litoral.

As bruscas alterações do cenário climato-oceanográfico decorrente das mudanças climáticas e o risco da elevação do nível dos oceanos compõem a natureza da ameaça. A ameaça considera o potencial de ocorrência e a frequência com que o evento possa se manifestar nas próximas décadas.

A explicação do quadro anterior configura a importância da análise localizada e específica para cada um dos inúmeros cenários que compõem a costa brasileira frente à ameaça de elevação do nível do mar.



Figura.4 Triângulo de Risco

Fonte: Crichton, D.C. The Implication of Climate Change for the Insurance Industry. Building Research Establishment, UK.

4. ESTUDOS DE CASO

Serão apresentados 3 cenários urbanos-costeiros representativos da costa brasileira quanto aos impactos decorrentes da elevação do nível dos oceanos. As análises serão abrangentes e qualitativas e abordarão os riscos e os potenciais prejuízos que as áreas em questão podem estar sujeitas no horizonte até 2030.

As cidades escolhidas foram Recife (PE), Rio de Janeiro (RJ) e Itajaí (SC) em função da sua importância regional, densidade urbana, equipamentos portuários, e de sua representatividade geomorfológica.

4.1 RIO DE JANEIRO

A faixa costeira analisada estende-se entre Itacuruça na Baía de Sepetiba até Macaé, no litoral NE do estado do Rio de Janeiro devido a sua importância econômica e social.

Neste setor litorâneo em análise, existem terminais de minérios e petróleo, um parque portuário multifuncional (Sepetiba, Rio de Janeiro, Forno) além da previsão de instalação de outras unidades portuárias, indústrias pesadas, estaleiros, emissários submarinos e inúmeras cidades com alta taxa de conurbação.

Geograficamente pode-se dividir a área de estudo em dois trechos: litoral oriental, Macaé a Cabo Frio, e litoral

sul (Rosman et al, 2009). Em termos oceanográficos é possível observar diferenças entre estes dois litorais tendo em vista os aspectos dinâmicos (ondas e correntes) e do transporte de sedimentos. Desta forma, o aspecto de exposição, um dos elementos da tríade que compõe o risco de impacto, torna-se variável em função da situação da linha de costa frente as cargas oceânicas existentes.

O aspecto da vulnerabilidade, outra variável da tríade do risco de impacto, dependerá fundamentalmente do relevo (submarino e continental), das características geológicas do litoral e da composição da biota litorânea.

Considerando-se estes aspectos de exposição e de vulnerabilidade é possível subdividir o litoral em análise em 6 trechos segundo Rosman et al (2009), a saber:

- 1) Embaiamento entre Macaé e Búzios;
- 2) Embaiamento entre Búzios e Ilha de Cabo Frio;
- 3) Região dos Lagos, entre Arraial do Cabo e Niterói;
- 4) Baía de Guanabara, Municípios da Baixada Fluminense;
- 5) Baixada de Jacarepaguá, Ipanema à Pedra de Guaratiba;
- 6) Baía de Sepetiba.

A figura 5 mostra a localização dos trechos e respectivas subdivisões.





Figura 5: Litoral do Rio de Janeiro e seus seis setores analisados
 Fonte: CIDE, 2004

Considerando-se os 6 trechos o aspecto de exposição pode ser valorado em 6 níveis (de 1 a 6) sendo que o trecho mais exposto terá valor maior = 6. Em termos de exposição à elevação do nível do mar o trecho mais exposto corresponde ao da Região dos Lagos, seguido do Baixada de Jacarepaguá e Búzios até a ilha de Cabo Frio. O embaçamento entre Macaé e Búzios, devido a proteção da ombreira rochosa da península de Búzios, bem como o litoral da Baía de Guanabara e de Sepetiba que se encontram protegidas em águas interiores e têm um nível de exposição mais baixo.

Quanto ao aspecto de vulnerabilidade, a Baixada de Jacarepaguá seguida pela Baía de Sepetiba e da Guanabara são aquelas de maior pontuação. Tal fato se deve as extensas áreas de baixada (declividade suave), densamente ocupadas e antropizadas, além de sua composição geológica de natureza sedimentar. O litoral

da região dos Lagos, o trecho entre Macaé e Búzios e principalmente entre Búzios e a Ilha de Cabo Frio correspondem aqueles de menor vulnerabilidade devido a sua característica geológica (aflorações cristalinas), baixa ocupação e alta oferta de sedimentos que equilibram a linha de praia.

Quanto ao aspecto de ameaça, esta tem natureza regional e será analisada de forma comparativa entre as cidades consideradas no presente estudo. Para a região do estado do Rio de Janeiro a ameaça da passagem de um ciclone diretamente sobre a mesma é menor que para a região Sul, como é o caso de Santa Catarina, Itajaí. Contudo marés meteorológicas provocadas pela passagem de frentes frias que atualmente já atingem sobrelevações da ordem de 60 centímetros são frequentes e comuns no estado do Rio de Janeiro principalmente entre os trechos c,d e e. Tal fato se deve

ao alinhamento Leste-Oeste do litoral sul fluminense que recebe o impacto direto decorrente da trajetória de penetração das frentes frias (Sudoeste) que “empilham” as águas oceânicas de encontro a costa fluminense.

A tendência é do aumento de intensidade e da frequência de entradas das frentes frias de Sudoeste nos próximos anos, devido à maior disponibilidade de energia a ser dissipada decorrente do calor absorvido pelo efeito estufa. Isto representa maior ameaça que, conjugada com a maior exposição, faz com que o litoral sul fluminense em relação ao litoral oriental tenha um cenário mais preocupante.

Para efeito de uma análise comparada em termos de ameaça, a região Sul (Itajaí, SC) é a que tem a maior tendência de ocorrer eventos extremos (ciclones e ressacas), que passam a potencializar a elevação do nível dos oceanos. Segue-se a região Sudeste (Rio de Janeiro) em decorrência das marés meteorológicas e ressacas frequentes. Por fim, a região Nordeste (Recife-PE), que qualitativamente sofre a menor ameaça de potencialização do efeito estufa em termos de elevação do nível do mar na região. Desta forma, será considerado, em termos de valor comparativo para o fator ameaça, na região Sul a pontuação 6 ou 5 (maior ameaça), na região Sudeste a pontuação 4 ou 3, na região nordeste a pontuação 2 ou 1 (menor ameaça).

A tabela 1 refere-se a uma análise comparativa de risco para o litoral fluminense em questão. Considera-se também aspectos regionais pois compara-se, em termos de ameaça, três cidades ao longo da costa brasileira (PE, RJ, SC) uma vez que a mesma tem característica mais abrangente, ou seja, regional.

A tabela 1 demonstra qualitativamente e comparativamente os riscos potenciais que a elevação no nível do mar poderá oferecer ao litoral fluminense. A análise considera aspectos de risco (ameaça, vulnerabilidade, exposição) e de demanda. A mesma realiza uma hierarquização do potencial de mercado para serviços e demandas de seguros para enfrentar a elevação do nível do mar no litoral fluminense para as próximas décadas.

Para a questão de demanda considerou-se o valor econômico das obras antrópicas de forma comparativa (1 a 6) que ao ser multiplicado pelo risco forneceria também o ranking conceitual de prioridade.

Rio de Janeiro coastline	A. Threats	B. Exposure	C. Vulnerability	Risk = A x B x C	Ranking of risk	D. Economic value	Demand = D x Risk	Ranking for demand	Market priority
Stretch a) Macaé to Búzios	3	3	2	18	4°	3	54	4°	B
Stretch b) Búzios and Ilha de Cabo Frio	3	4	1	12	6°	2	24	6°	C
Stretch c) Região dos Lagos	3	6	3	54	2°	1	54	5°	C
Stretch d) Guanabara Bay	3	2	4	24	3°	6	144	2°	A
Stretch e) Baixada de Jacarepaguá	3	5	6	90	1°	4	360	1°	A
Stretch f) Sepetiba Bay	3	1	5	15	5°	5	75	3°	B

Tabela 1: Conceito de risco e demanda por trechos do litoral fluminense

4.2 SANTA CATARINA

Em função das feições morfológicas do litoral Catarinense, o mesmo pode ser dividido em 4 segmentos distintos (Rosman et al, 2009), a saber:

Trecho A: Macrocompartimento litoral retificado do Norte a Costa de Barreiras (de Passos de Torres ao Cabo de Santa Marta).

Trecho B: Macrocompartimento das planícies litorâneas de Santa Catarina ou Costa com promontórios rochosos e barreiras cuspidas (Cabo Santa Marta a Ilha do Papagaio).

Trecho C: Macrocompartimento das escarpas cristalinas do sul ou Planícies costeiras e promontórios rochosos (de Ilha dos Papagaios a Ponta do Vigia).

Trecho D: Macrocompartimento litoral das planícies costeiras e estuários (da Ponta do Vigia e Ilha de São Francisco).

A figura 6 mostra as divisões de morfologia consideradas para o litoral catarinense

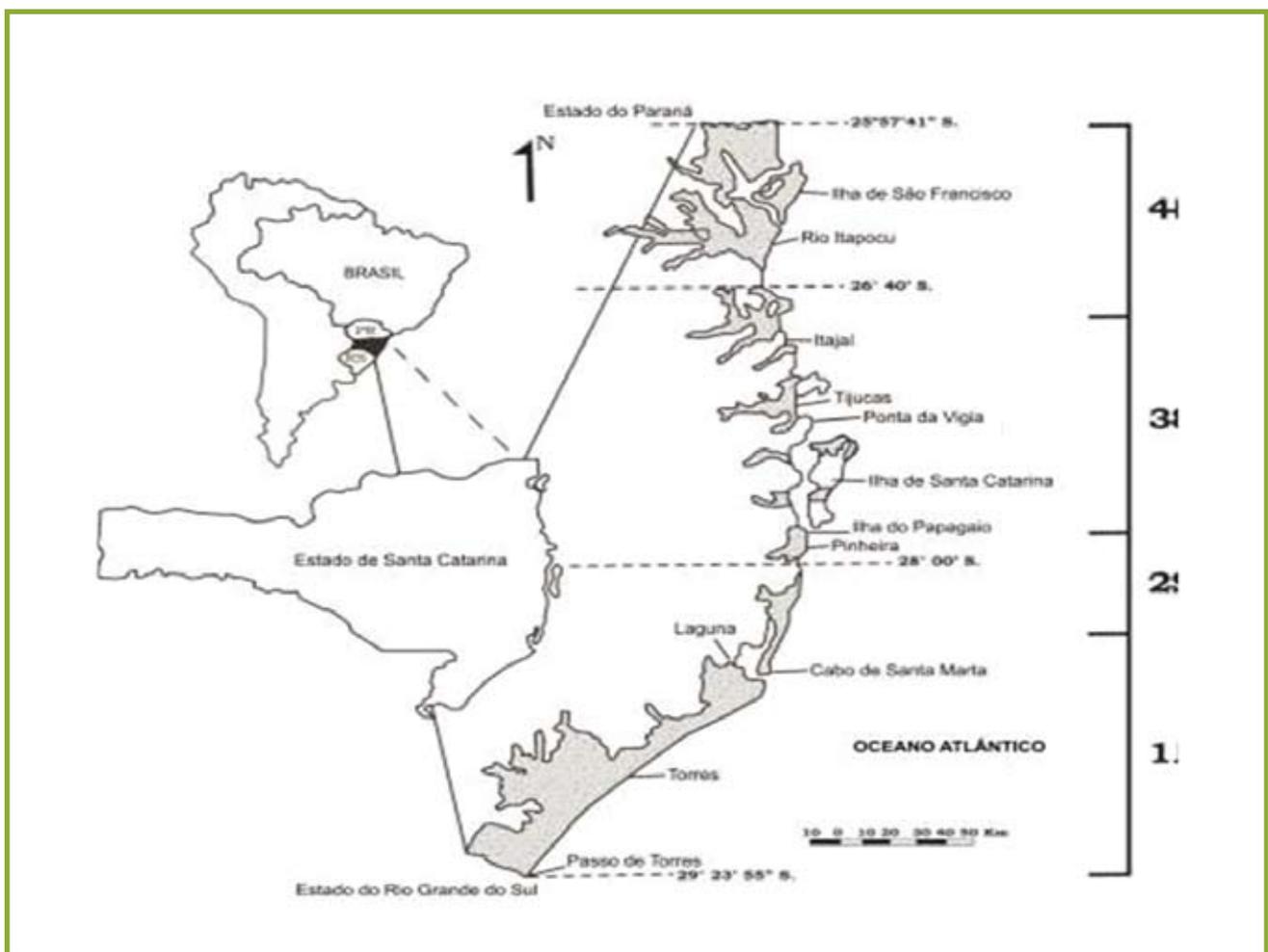


Figura 6: Litoral Catarinense e seus quatro principais setores. A área hachurada na figura representa os depósitos Quaternários (Pleistoceno e Holoceno) de acordo com Horn Filho et al. (1994). Fonte: Rosman et al, 2009.

O trecho **A** corresponde um setor com linha de costa retilínea contrastando com o restante do litoral catarinense que se apresenta entrecortado de reentrâncias. Este litoral se caracteriza pela presença de cristas arenosas margeadas por lagunas (Rosman, 2009).

O trecho **B** apresenta promontórios rochosos e barreiras curvilíneas. Neste trecho, sistemas lagunares de vários tamanhos encontram-se conectados ao oceano com pequenos canais de maré (Rosman, 2009)

O porto de Itajaí corresponde ao trecho **C** caracterizado por inúmeros promontórios, reentrâncias e estuários proporcionando corpos d'água abrigados próprios para instalações portuárias.

O trecho **D** corresponde a um litoral com abundante suprimento de sedimentos proporcionando a presença de dunas frontais propagantes entre sistemas estuários (Rosman, 2009). A grande quantidade de sedimentos promove uma proteção e manutenção da linha de costa perante os eventos extremos de origem oceânica.

No que tange ao aspecto de ameaça conforme foi considerado anteriormente, para o litoral de Santa Catarina comparativamente ao do Rio de Janeiro e de Pernambuco, definiu-se o valor de 6 e 5 pelo fato de haver chances reais de passagem de ciclones nesta região.

Por haver 4 segmentos distintos em termos morfológicos os valores para vulnerabilidade considerados serão entre 1 e 4 (1 para o de menor e 4 para o de maior vulnerabilidade).

O trecho **A** será considerado a feição litorânea mais vulnerável (4) por ser composta basicamente por depósito sedimentar e sem a presença de promontórios cristalinos.

No trecho **B** a existência de inúmeros promontórios rochosos promove uma proteção mais eficaz para o litoral. Estes funcionam como verdadeiras ombreiras de estabilização dos arcos praias. Este setor será considerado de vulnerabilidade de nível 2.

O trecho **C** devido a maior presença de promontórios rochosos será considerado de menor vulnerabilidade (1). A ilha de Santa Catarina representa uma barreira cristalina de proteção do litoral.

Finalmente o trecho **D** restará a classificação 3 no que se refere a vulnerabilidade comparativa de segmentos do litoral catarinense.

Quanto ao aspecto de exposição o trecho **A** será considerado o de maior grau (4) enquanto que o trecho **B**, ligeiramente menor (3), pelo fato histórico da passagem nesta região do ciclone Catarina em 27/03/2004. Os trechos **C** e **D** serão considerados com nível de exposição 2 e 1 respectivamente.

Em termos de valor econômico, o trecho **D** apresenta a cidade portuária de São Francisco do Sul que é responsável pelo escoamento de boa parte da produção industrial, grãos e minérios do Estado. Desta forma, será considerado de nível 4. O trecho **A** (Torres a Cabo de Santa Marta) pela falta de instalações antrópicas relevantes será atribuído o valor 1

O trecho **C** por haver cidades importantes como Florianópolis, Camboriú e Itajaí será considerado o valor econômico de nível 3.

Para o trecho **B** testará valor 2 para o quesito de valor econômico.

Os resultados obtidos pela tabela 2 fornecem uma prioridade alta para o trecho **A** contudo por apresentar um nível de desenvolvimento econômico e social acentuadamente inferior em relação aos outros trechos considera-se de menor interesse quanto ao potencial de serviços de adaptabilidade para enfrentar a elevação do nível do mar.

Recomenda-se concentrar atenção e esforços para atender os trechos **B** e **D** uma vez que apresentam valores finais bastante próximos e elevados indicando um verdadeiro potencial de negócios.

Santa Catarina coastline	A. Threats	B. Exposure	C. Vulnerability	Risk = A x B x C	Ranking of risk	D. Economic value	Demand = D x Risk	Ranking for demand	Market priority
Stretch a) Torres to Cabo de Sta. Marta	5	4	4	80	1°	1	80	1°	A
Stretch b) C. de Sta. Marta to I. Papagaio	5	3	2	30	2°	2	60	3°	A
Stretch c) I. Papagaio to Pta. Do Vigia	5	2	1	10	4°	3	30	4°	B
Stretch d) Pta. Do Vigia to I. S. Francisco	5	1	3	15	3°	4	60	2°	A

Tabela 2 Conceito de risco e demanda por trechos do litoral Catarinense

4.3 PERNAMBUCO

Será escolhida a orla da região metropolitana de Recife como área de estudo para as consequências da elevação do nível do mar em função das mudanças climáticas.

A vulnerabilidade desta área de estudo se deve basicamente a três fatores (Rosman et al, 2009):

- 1) Alta concentração de edificações e obras urbanas próximas ao litoral (84% de edificações na faixa de 30m da linha de costa);
- 2) Reduzidas altitudes médias (entre 2 e 4m) caracterizando a implantação de áreas urbanas em planícies costeiras onde a drenagem é o fator de preocupação;
- 3) Inadequada ocupação antrópica e o conseqüente problema erosivo crônico e crescente na orla litorânea.

A região metropolitana do Recife compreende uma faixa litorânea dos municípios de Jaboatão dos Guararapes, ao sul, Recife, Olinda e Paulista, ao norte.

A extensão da linha de costa estudada é da ordem de 47 km, composta de rios e estuários. Esta estende-se sobre uma planície sedimentar com altitude média em torno dos 4m (Rosman et al, 2009). Trata-se da região litorânea mais densamente ocupada e antropizada da costa pernambucana.

Na área de estudo, destacam-se as adjacências do sistema estuarino Jaboatão-Pirapama, a Bacia do Pina e a Confluência dos rios Capibaribe – Beberibe (Recife), a área de drenagem do Rio Paratibe (limite Olinda – Paulista) e o estuário do Timbó (Paulista) (Rosman et al, 2009). As áreas anteriormente descritas são zonas de planície costeira com alta probabilidade de sofrer inundações com a elevação do nível do mar.

O centro metropolitano do Recife destaca-se como uma das cidades litorâneas brasileiras mais vulneráveis ao au-

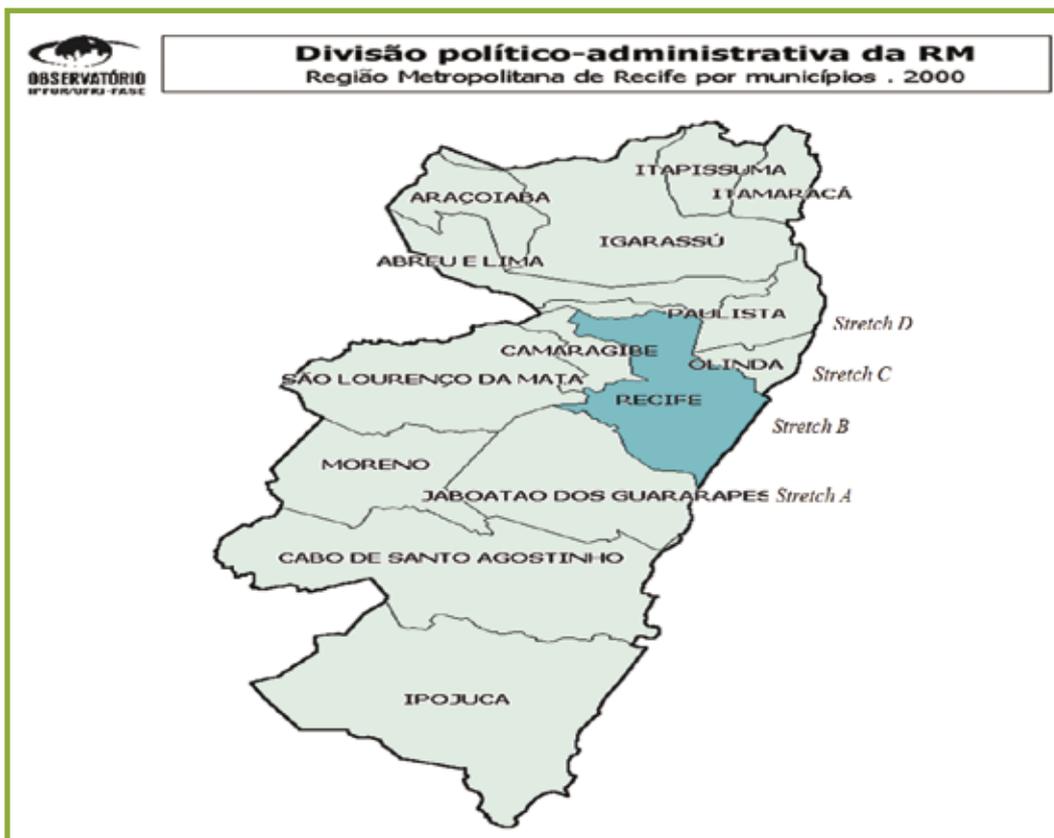


Figura 7: Litoral de Pernambuco e seus quatro trechos analisados
 Fonte: Observatório de Políticas Urbanas e Gestão Municipal. IPPUR/UFRJ-FASE, 2002
 Equipe Metrodata : Henrique Rezende, Paulo Renato Azevedo, Peterson Leal.

mento do nível do mar, 81,8% das construções urbanas do grande Recife estão a menos de 30 m da linha de costa [Rosman et al, 2009].

Em Olinda, a situação é ainda mais grave, pois 59% do seu litoral não possui mais praia recreativa devido a processos erosivos intensos [Rosman et al, 2009].

A ausência de praia devido a proximidade da infra estrutura urbana representa a perda da primeira linha de defesa do continente frente as cargas oceânicas destrutivas.

Para efeito de análise serão considerados 4 trechos, a saber:

Trecho A: Município Jaboatão dos Guararapes

Trecho B: Município do Recife

Trecho C: Município de Olinda

Trecho D: Município de Paulista

A figura 7 apresenta os municípios da Região Metropolitana do Recife.

Dentro dos mesmos critérios de análise contemplados para o Rio de Janeiro e Santa Catarina serão abordados aspectos de ameaça, exposição, vulnerabilidade e valor econômico.

No que se refere ao quesito ameaça, considera-se homogêneo para todos municípios e será conferido o valor 2.

Quanto a exposição, a linha de costa dos referidos municípios tem a mesma direção e portanto as mesmas características de exposição. Será conferido o valor 4, de uma escala de 1 a 5, para todos municípios por estarem frontalmente expostos ao mar aberto.

A classificação, em ordem decrescente de vulnerabilidade quanto o impacto direto de cargas oceânicas e áreas sujeitas a inundações decorrentes da elevação do nível do mar, foi conferida da seguinte forma (Rosman et al, 2009):

a) Olinda (4) apresenta o cenário mais crítico de vulnerabilidade pois 59% de seu litoral já não mais possui praia recreativa e a integridade das obras urbanas depende somente da sua capacidade de manutenção.

b) Paulista (3) possui 70% de seu litoral comprometido e com alta vulnerabilidade apesar de possuir a menor densidade de ocupação;

c) Sistema estuarino Jaboatão. Pirapama sujeita a inundações e 56% do litoral do município de Jaboatão dos Guararapes (2), vulnerabilidade superior a Recife.

d) Recife (1) tem vulnerabilidade a inundações na confluência dos rios Capibaribe – Beberibe onde se situa o porto do Recife e 29% do seu litoral caracterizado como de alta vulnerabilidade quanto aos ataques do mar.

No que tange à vulnerabilidade o município de Olinda sem a primeira barreira de defesa contra o ataque do mar, no caso as praias, torna-se o mais vulnerável sen-

do conferido o grau 4 em uma escala de 1 a 4. A baixa declividade dos municípios de Paulista e Jaboatão dos Guararapes além da erosão costeira são fatores que potencializam a vulnerabilidade destes municípios na qual serão conferidos os valores de 3 e 2 respectivamente. Para efeito comparativo, ao município de Recife será conferido o valor de 1.

O porto do Recife, as margens dos rios Capibaribe e Beberibe, movimentam 2,2 milhões de toneladas anuais de granéis sólidos, barrilha entre outros. Recife ainda possui o porto de Suape com 8 milhões de toneladas de produtos escoados anualmente. Somada a uma população aproximada de 1.560.000 habitantes (IBGE, 2007) e PIB de R\$ 18,32 bilhões (IBGE, 2005), ao município do Recife será conferido o valor econômico máximo (4) em relação aos outros municípios analisados.

Jaboatão dos Guararapes com população da ordem de 688.000 habitantes (IBGE, 2007) constitui o segundo maior núcleo de adensamento urbano da região com PIB da ordem de 4.07 bilhões (IBGE, 2005). Jaboatão será classificado como nível 3 para efeito de valor econômico.

Olinda com população aproximada de 397.000 habitantes, PIB de R\$ 1,94 bilhões e renome mundial como patrimônio histórico e cultural, em termos de valor econômico será considerada como de terceira maior importância com índice 2. Assim para Paulista (1) será conferido o de menor valor econômico comparativamente.

Percebe-se pela tabela 3 que o trecho correspondente a Olinda possui prioridade para demanda de serviços de adaptabilidade frente a elevação do nível dos oceanos. Segue-se Jaboatão dos Guararapes e Recife em função da alta densidade de edificações.

Pernambuco coastline	A. Threats	B. Exposure	C. Vulnerability	Risk = A x B x C	Ranking of risk	D. Economic value	Demand = D x Risk	Ranking for demand	Market priority
Stretch a) Jaboatão dos Guararapes	2	4	2	16	3°	3	48	2°	B
Stretch b) Recife	2	4	1	8	4°	4	32	3°	B
Stretch c) Olinda	2	4	4	32	1°	2	64	1°	A
Stretch d) Paulista	2	4	3	24	2°	1	24	4°	C

Tabela 3 Conceito de risco e demanda por trechos do litoral Pernambucano

5. ADAPTABILIDADE COSTEIRA

Adaptabilidades são respostas oferecidas aos potenciais impactos decorrentes da mudança do clima visando mitigar possíveis danos além do aproveitamento de eventuais oportunidades.

Baseando-se no conceito de risco, a melhor estratégia de adaptação seria promover uma redução de vulnerabilidade e de exposição, além do monitoramento da evolução da ameaça ao longo do tempo. Todos estes três fatores (vulnerabilidade, exposição e ameaça) variam em função da localização geográfica e do tempo.

A vulnerabilidade depende da interferência antropica uma vez que a expansão urbana na zona costeira fragiliza a mesma. Da mesma forma, o fator exposição pode, por exemplo, alterar em função do ângulo de penetração das ondas ao longo do tempo. A direção de incidência das ondas de alta energia na boca da Baía de Guanabara tem alterado nos últimos anos. Anteriormente a direção predominante das ondas de maior energia era de sudoeste, contudo o aumento de incidências de ondulações provenientes de sul e sudeste tem provocado problemas para a navegação e impactos destrutivos na cabeceira da pista do Aeroporto Santos Dumont.

Apesar de ser uma realidade a Elevação de Nível do Oceano – ENO, esta não é homogênea e varia em função das características locais (condições oceanográficas, meteorológicas e geomorfológicas).

A adaptabilidade da zona costeira pode ser desenvolvida adotando-se políticas preventivas ou reativas. Naturalmente, as medidas preventivas são mais econômicas e eficazes do que as reativas, contudo nem sempre são possíveis, por falta de planejamento, investimento e opinião pública formada quanto aos riscos da ENO.

O direcionamento de esforços de monitoramento e de acompanhamento da evolução dos riscos e efeitos da

ENO ao longo de cidades costeiras de alta visibilidade tais como Rio de Janeiro, Recife, e Itajaí, promover-se-ia maior divulgação além da construção de uma opinião pública favorável à prevenção. Um dos aspectos importantes da prevenção é a compra de seguros pelo setor privado que, por sua vez, estimularia o desenvolvimento de medidas de combate à vulnerabilidade costeira pelo setor público.

Dentre algumas medidas preventivas para aumentar a proteção costeira, citam-se (Tal et al, 2008):

- a) Aumento das exigências dos critérios de dimensionamento da infra-estrutura urbana.
- b) Aumento da flexibilidade de sistemas urbanos vulneráveis (mudança de local, redução da vida útil etc.).
- c) Critérios mais preventivos quanto ao uso do solo costeiro (ex. definição de faixa *non aedificandi*).
- d) Intensificar a comunicação social visando a participação e a conscientização dos riscos potenciais da ENO localmente.

Medidas de adaptação preventivas são ações implementadas anteriores aos impactos, enquanto que ações reativas de adaptação são aquelas realizadas em função dos impactos da ENO. Em áreas costeiras naturais, a adaptação tem natureza reativa. Por outro lado, em áreas costeiras antropizadas as intervenções tem natureza tanto reativa como preventiva (Tal et al, 2008). Quanto maior for a comunicação e consequente participação da sociedade, tanto maior será a pressão para intervenções do poder público.

A tabela 4 procura exemplificar os principais tipos de adaptação e sua classificação (adaptado a partir de Tal et al , 2008).



Areas	Proactive Adaptations	Reactive Adaptations
Natural	Do not occur	Alteration of vegetal cover. Migration and/or recuperation of damp areas Creation of natural protection areas.
Private sector	Arrange insurance. Be more flexible in construction projects. Alteration of industrial and port projects.	Alteration of insurance premiums. Modification to economic use of the coastline. Development of new services and technologies to confront rsl.
Urban	Contingency plans. Monitoring programme. Alter construction specifications; Alter technical norms. Alter plans for urban land use. Coastal macrozoning.	Subsidies and compensation measures. Building of coastal protection structures. Beach widening. Construction of sea walls and barriers. Reinforcement and reconstruction of Urban infrastructure.

Tabela 4: Resumo das principais ações de adaptação das zonas costeiras frente a ENO.

6. MOBILIZAÇÃO SOCIAL

As soluções ambientais eficazes passam necessariamente pela aprovação e participação social.

A articulação política será sempre um fator importante para a transformação da sociedade e para a superação dos desafios coletivos.

Contudo, é preciso reconhecer que a mobilização social requer um planejamento abrangente e que contemple prioridades temáticas, prazos, investimentos e principalmente uma estratégia que estimule a auto sustentação do processo uma vez iniciado.

A adaptação das zonas costeiras urbanizadas de uma forma eficaz e rápida, frente a ENO, depende da participação efetiva da sociedade que irá se beneficiar com as intervenções projetadas.

A sociedade só participa se reconhece os potenciais impactos da ENO, identifica a vulnerabilidade, percebe a ameaça e reconhece os meios de combate disponíveis. Este elenco de informações deve ser repassado para conhecimento público visando formar uma opinião pública mais próxima possível da realidade e necessidades locais.

Os principais difusores da informação e formadores de opinião pública são os ambientalistas, ONG's, professores, pesquisadores e jornalistas especializados na temática ambiental em questão.

Os principais monitores das alterações ambientais da zona costeira são as comunidades de pescadores, surfistas, corpo de bombeiros, moradores da orla, e pesquisadores que trabalhem ou usufruam do litoral.

Naturalmente que o início das ações em cidades de alta visibilidade social (Rio de Janeiro, Salvador, Florianópolis, Fortaleza) potencializariam a difusão das informações e da preocupação quanto as consequências da ENO.

Ações que promovam uma maior visibilidade para o problema acarretam uma difusão do conhecimento junto a sociedade. Dentre as mais relevantes, citam-se:

- a) Mídia espontânea através da assessoria de imprensa pautando nos veículos de comunicação de massa (TV e jornais);
- b) Debates e ciclos de palestras patrocinados por jornais, revistas e empresas;
- c) Programas de TV debatendo e entrevistando pesquisadores e lideranças ambientais;
- d) Movimentos comunitários, de entidades de classe, e políticos chamando a atenção para o problema;
- e) Assessoramento parlamentar com intuito de promover novas normas, legislação ou pronunciamentos visando antecipar-se com ações preventivas de planejamento e de restrição ao mau uso do solo urbano;
- f) Identificação e fortalecimento de ONG's, e entidades de classe, associação civil, clubes náuticos, sistemas portuários, centros de pesquisa e ensino que atuem diretamente com a questão da ENO.

Por fim, deve haver uma entidade que possa coordenar e estimular a ação de forma integrada além de promover, monitorar e avaliar os resultados da mobilização social ao longo do litoral brasileiro.

EPE, 2009. Available at: <https://www.ben.epe.gov.br/> // ONS, 2007. [National System Operator], Dados de Vazão. Available at: <http://www.ons.org.br/> // Salati, E., Schindler, W., Victoria, D.C., Salati, E., Souza, J.C.S., Nova, N.A.V., 2009. Estimativas da Oferta de Recursos Hídricos no Brasil em Cenários Futuros de Clima (2015 – 2100). In: Margulis, S. [org], et al., 2009. Economia das Mudanças Climáticas no Brasil. Brasília, UK Embassy in Brazil, in press. // Schaeffer, R. [org], Lucena, A.F.P. and Szklo, A.S., 2008. Climate Change and Energy Security – Technical Report. PPE/COPPE/UFRJ. Available at: www.ppe.ufrj.br/ // Schaeffer, R. et al., 2005. Avaliação dos Índices de Eficiência Energética para Motores Trifásicos de Indução. Relatório final. Project conducted by CLASP, under the auspices of the UN/DESA. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005. // Schaeffer, R., Cohen, C. A. [org], 2007. Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil [BRA/01/001]: Simulação de Potenciais de Eficiência Energética para o Setor Residencial. Programa de Planejamento Energético - PPE/COPPE/UFRJ, 2007. // Schaeffer, R., Szklo, A.S., Lucena, A.F.P., Souza, R.R., Borba, B.S.M.C., Costa, I.V.L., Pereira Jr., A.O., Cunha, S.H., 2009. Economia das Mudanças Climáticas no Brasil – Segurança Energética. Relatório Técnico. In Press. // Silva, L. L. F., 2006. Iluminação pública no Brasil: aspectos energéticos e institucionais. Rio de Janeiro – M.Sc. Dissertation COPPE/UFRJ, 2006. // Szklo, A.S. and Geller, H., 2006. Policy Options for Sustainable Energy Development In: IAEA, 2006. Brazil: A Country Profile on Sustainable Energy Development International Atomic Energy Agency, Vienna, 2006. // Tucci, 2004. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre: 2004. // Vargas Jr., R.H., 2006. Análise do Potencial de Conservação de Energia Elétrica em Hospitais Públicos de Pequeno Porte no Brasil: Sistemas de Iluminação e Ar Condicionado do Tipo Janela. Rio de Janeiro, M.Sc. Dissertation COPPE/UFRJ, 2006.

Adaptation in the Brazilian Agricultural Sector

ARRHENIUS, S. 1896. On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground. Philosophical Magazine 41, 237. 8pp. // ASSAD, E. D. ; PINTO, H. S.; ZULLO JR, J.; ÁVILA, A. M. H. 2004. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, n. 11, pp: 1057-1064. // ASSAD, E. D. ; PINTO, H. S.; ZULLO JR, J. ; MARIN, F. R. 2007. Mudanças climáticas e agricultura: Uma abordagem agroclimatológica. Ciência & Ambiente, v. 34, pp: 169-182. // ASSAD, E.D., LUCHIARI JR., A. 1989. Future scenarios and agricultural strategies against climatic changes: the case of tropical savannas. Reunião Sobre Mudanças Climáticas e Estratégias Futuras. USP, São Paulo, 30-31 de outubro, 1989. // AYDADE, J. O. 2001. Introdução à climatologia para os trópicos. 6ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. // CAMARGO, A.P.de; ALFONSI, R.R.; PINTO, H.S. e CHIARINI, J.V. 1977. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em áreas de cerrado. In: IV Simpósio Sobre o Cerrado - Bases para utilização agropecuária. Ed.Itatiaia. pp:89-120. // CATI. 1977. Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo. Vol.II, 131 e vol. II (suplemento), 16 cartas. Instituto Agronômico-CATI. Campinas,SP. // COSTA et al. Potential force of CO₂, technology and climate change in maize and bean yield in Southeast Brazil. Environ. Res. Lett. 4 (2009). // DUPLESSY, J. C. 1992 Les certitudes des paléoclimatologues. La Recherche, vol 23, 243: pp:558-565. // GUSEV, A.A.; MARTIN, I.M.; PUGACHEVA, G.I.; SILVA, M.G.; PINTO, H.S.; ZULLO JR., J.; BEZERRA, P.C. and KUDELA, K. 1995. The Study of Solar-Terrestrial Connections in the Brazilian Magnetic Anomaly Region. Revista Brasileira de Geofísica. Vol. 13 (2). pp:119-125. // GUYOT, G. 1997. Climatologie de l'environnement. De la plante aux écosystèmes. Ed. Masson. Paris. 505 pp. // IAFFE, A.; PINTO, H. S.; MAZZAFERA, P.; ZULLO JR, J.; ASSAD, E. D. 2003. Avaliação da Ocorrência de Florescimento Anormal e Formação de Flores Estrelas Associadas à Deficiências Hídricas e Recuperação do Potencial Hídrico Foliar em Cafeeiros em Garça, SP. IX Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal. Brazilian Journal of Plant Physiology, 2003. v. 15. pp. 325-325. // IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II. TAR: Summary for Policymakers. <http://www.meto.gov.uk/sec5/CRdiv/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf>. // IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007a: the physical science basis summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. // IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Impacts, adaptation and vulnerability summary for policymakers. 2007b. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change. // LANGLEY, S. P. 1890. The Temperature of the Moon. Mem. of the Nat. Academy of Sciences, vol. IV, pp: 193. // LE TREUT, H. et KANDEL, R. 1992. Que nous apprennent les modèles de climats? La recherche, vol 23, 243, pp: 572-583. // MACHADO, M. A. de M. e MARENGO, J. A. 2006. Global climate changes and its effects on Brazilian agriculture. NewsLetter, Project GOF-UK-CPTC, Year 1, No.2. http://www6.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/pdfs/Newsletter2_Eng.pdf. Downloaded 11 July 2008. // MARENGO, J.A. e AMBRIZZI, T. 2006. Use of regional climate models in impacts assessments and adaptations studies from continental to regional and local scales. The CREAS (Regional Climate Change Scenarios for South America) initiative in South America. Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguaçu, Brazil, April 24-28, 2006, INPE, pp. 291-296. // NASA. 2002a. John Tyndall [1820-1893]. On the Shoulders of Giants. Earth Observatory. 2 pp. <http://earthobservatory.nasa.gov/Lybrary/Giants/Tyndall>. // NASA. 2002b. Svante Arrhenius [1859-1927]. On the Shoulders of Giants. Earth Observatory. 2 pp. <http://earthobservatory.nasa.gov/Lybrary/Giants/Arrhenius> // NATIONAL DEFENSE UNIVERSITY. 1978. Climate Change to the Year 2000. 109 pp. Fort Lesley J. McNair. Washington, USA. // NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G. e SALAZAR, L. 2008. Cenários de Mudança Climática para a América do Sul para o Final do Século 21. In: Parcerias Estratégicas. Mudança do Clima no Brasil: Vulnerabilidade, Impactos e

Adaptação. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. CGEE. Número 27. pp: 19-42. Brasília, DF. // OMM-ORGANIZATION METEOROLOGIQUE MONDIALE. 1992. The global climate system monitoring. December 1988-may1991,OMM,Geneve, 110pp. // PINTO, H. S.; BRUNINI, O.; ZULLO JR, J.; ALFONSI, R. R.; CORAL, G.; BARBANO, M. T. 2000. Um Modelo Para a Estimativa de Danos Causados por Geadas em Cafezais. Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café - Embrapa. v. 1. p. 120-122. // PINTO, H. S.; BRUNINI, O.; ZULLO JR, J. e ASSAD, E. D. 2000. Zoneamento de Riscos Meteorológicos e Climáticos Para a Agricultura do E. S. Paulo. Anais do Workshop Internacional Sobre Seguros Para o Agronegócio. CEPEA/ESALQ-USP, DEAS e ANSP. Pp: 333-360. Piracicaba,SP. // 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. // PINTO, H. S. e ASSAD, E. D. 2008. Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil". Embaixada Britânica do Brasil. 83 pp. [Coordenadores]. // PUGACHEVA, G.I., GUSEV, A.A., MARTIN, I.M., TURTELLI JR., A., PINTO, H.S., ZULLO JR., J. E BEZERRA, P.C. 1995. The Influence of Geomagnetic Disturbances on the Meteorological Parameters in the Brazilian Magnetic Anomaly Region. 24 ICRC. Contributed Papers V.4., pp:1110-1113. Rome, Italy. // SILVA, F. A. M. da, SANTOS, E. R. Alves dos, EVANGELISTA, B. A., ASSAD, E. D., PINTO, H. S., ZULLO JR, J., BRUNINI, O., CORAL, G. 2000. Delimitação das Áreas Aptas do Ponto de Vista Agroclimático Para o Plantio da Cultura do Café (Coffea arábica L.) no Estado de Goiás. In: I Simpósio de Pesquisas dos Cafés no Brasil. Poços de Caldas, MG. Resumos Expandidos. Brasília, DF. Embrapa. Café-Minasplan. Vol.1. pp.123-125. // SILVA, S. C., ASSAD, E. D. 2001. Zoneamento de riscos climáticos no arroz de sequeiro nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.9, n.2. // SIQUEIRA, O. J. F.; FARIAS, J.R.B. and SANS, L.M. A. 1994. Potential effects of global climate change for brazilian agriculture and adaptative strategies for wheat, maize and soybean. Revista Brasileira de Agroclimatologia. Santa Maria. V.2, pp: 115-129. // SIQUEIRA, O. J. W., STEINMETZ, S., FERREIRA, M.F., COSTA, A.C., WOZNIAK, M.A. 2000. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.8, n.2, p.311-320. // STOZHKOVA, YU. I.; ZULLO, J.; MARTIN, I. M.; PELLEGRINO, G. Q.; PINTO, H. S.; BASILEVSKAYA, G. A.; BEZERRA, P. C.; MAKHUTOV, V. S.; SVIRZEVSKII, N. S. and TURTELLI JR., A. 1995. Rainfall During Great Forbush-decreases. Il Nuovo Cimento, vol 18 C, nr 3, pp: 335-341. Italy. // STOZHKOVA, Y.I.; POCREVSKY, P.E.; ZULLO JR., J.; MARTINS, I.M.; OHLOIKOV, V.P.; PELLEGRINO, G.Q.; PINTO, H.S.; BEZERRA, P.C. and TURTELLI JR., A. 1996. Influence of Charge Particle Fluxes on Precipitations. Geomagnetism and Aeronomy. Vol 36 (4). Russia. // UPPEBRINK, J. 1996. Arrhenius and Global Warming. Science, vol. 272. pp:1122. // ZULLO J, J.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.. 2008. Alterações Devem Deslocar Culturas Agrícolas. Scientific American Brasil, v. 6, p. 72-77. // ZULLO JR, J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, S. R. M.. 2008. Potential Economic Impacts of Global Warming on Two Brazilian Commodities, According to IPCC Prognostics. Terrae (Campinas), v. 3, p. 28.

Sea Level Rise and Adaption in Brazilian Major Coastal Cities

BAMBER, J. L. Reassessment of the potential sea-level rise from a collapse of the west Antarctic ice sheet- NAIS. Science. v. 324, n. 5929, p. 901- 903, 2009. // COELHO, C.; SILVA, R.; VELOSO-GOMES, F.; TAVEIRA-PINTO, F. Potential effects of climate change on northwest Portuguese coastal zones. ICES Journal of Marine Science. v. 66, p. 1497- 1507, 2009. // DOUKAKIS, E. Identifying Coastal Vulnerability Due to Climate Changes. Journal of Marine Environmental Engineering, Castle Point Station, Hoboken, v. 8, n.2, p. 155- 160, 2005. // ELEVAÇÃO do nível dos oceanos será menor. Revista Veja. São Paulo. 14 de maio de 2009. Seção de ciência e saúde. Disponível em <http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia-saude/elevacao-nivel-oceanos-sera-menor-470466.shtml>. Acesso em 07 set. 2009. // GUSMÃO, P. P.; CARMO, P. S.; VIANNA, S.B. Rio próximos 100 anos. Rio de Janeiro; IPP, 2008. // MUEHE, D. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. Revista Brasileira de Geomorfologia, Uberlândia, MG, v. 2, n. 1, p. 35- 44, 2001. // NEVES, C. F.; MUEHE, D. Vulnerabilidade, impactos e adaptação às mudanças do clima: a zona costeira. Parcerias Estratégicas, Brasília, DF, v. 1, n. 27, p. 217 – 295, dez. 2008. // ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. A adaptação de Edificações e Cidades às Mudanças Climáticas. Tradução por Alexandre Salvaterra. Porto Alegre. Booleman 2009. // ROSMANT, P.C.C [Coordenador]; KLEIN, A. H. F.; NEVES, C. F.; MUEHE, D. C. E. H.; CARVALHO, J. L. B.; ARAÚJO, M. Vulnerabilidades da zona costeira as mudanças climáticas. COPPETEC fundação. PENO -11896, p.1-461, março de 2009. // SILVA, G. N. Variações do nível médio do mar: causas, consequências e metodologia de análise. COPPE / UFRJ Rio de Janeiro, 1992. Tese [Mestrado] // SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; MARQUIS, M.; AVERY, K.; TIGNOR, M. M. B.; MILLER, H. L. Jr.; CHEN, Z. Climate changee 2007: the physical science basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. p. 142. Cambridge [United Kingdom] 2007. // TEMPERATURA dos oceanos bate recorde. Revista Veja. São Paulo. 20 de agosto de 2009. Seção de ciência e tecnologia. Disponível em <http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia-tecnologia/temperatura-oceanos-bate-recorde-493298.shtml>. Acesso em 07 set. 2009. // TOL, R. S. J.; KKLIN, R. J. T.; NICHOLLS, R. J. Towards successful adaptation to sea-level rise along Europe's coast. Journal of Coastal Research, Flórida, v. 24, n. 2, p.432- 442. Mar. 2008. // VAN VUREN, S.; KOK, M.; JORISSEN, R. E. Coastal Defence and Societal Activities in the Coastal Zone: Compatible or Conflicting Interests? Journal of Coastal Research, Flórida, v. 20, n. 2, p. 550- 561, Mar. 2004.

Créditos



Jose A. Marengo é graduado em Física e Meteorologia pela Universidad Nacional Agraria, no Peru. Mestre em Engenharia de recursos hídricos e terrestres na Post Graduate School of the Universidad Nacional Agraria. Ph.D. em meteorologia na Universidade de Wisconsin, EUA. Pós-doutor pela NASA-GISS e na Columbia University em Nova Iorque e na Florida State University in Tallahassee, EUA. Atualmente, é cientista e pesquisador sênior no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), onde conduz estudos sobre a mudança climática. Membro de painéis nacionais e internacionais, como o IPCC, VAMOS-CLIVAR, GWSP e de grupos de trabalho sobre mudança climática. Atualmente ele está envolvido em programas e projetos nacionais e internacionais representando o INPE, com instituições dos EUA, Reino Unido, Japão, Argentina, França, em áreas da variabilidade do clima, hidrologia de superfície e alterações climáticas em nível regional e nacional.



Roberto Schaeffer é professor associado do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ. Ph.D. em Política Energética pela Universidade da Pensilvânia, EUA, onde lecionou como Professor Visitante. Já orientou mais de 80 teses de mestrado e de doutorado, e já publicou mais de 100 trabalhos científicos nas áreas de energia e de mudanças climáticas. O Prof. Schaeffer é membro do Painel Intergovernamental em Mudanças do Clima (IPCC) desde 1998, do Painel de Metodologias em Linhas de Base e Monitoramento do Mecanismo do Desenvolvimento Limpo (UNFCCC Meth Panel) desde 2002, e Editor-associado das revistas científicas internacionais Energy-The International Journal e Climate Policy desde 1999.



Hilton Silveira Pinto é formado em agronomia pela ESALQ/USP, com MSA pela USP e doutorado pela Unesp. Fez pós-doutorado na universidade de Guelph - Canadá - onde atuou também como professor visitante, em agrometeorologia. É pesquisador nível 1A do CNPq. Foi Chefe Substituto da Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agrônomo de Campinas entre 1970 e 1975. É Professor da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp desde 1975. Coordenou e coordena um total de 21 projetos de pesquisas financiados por agências nacionais e internacionais, individuais ou em parceria com a Embrapa Informática.



Professor David Man Wai Zee. Consultor Senior da Greenlink Estudos Ambientais Ltda. Coordenador do Mestrado em Meio Ambiente da Universidade Veiga de Almeida (UVA). Professor da Faculdade de Oceanografia da Univ. do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Vice-Presidente da ONG Câmara Comunitária da Barra da Tijuca. Presidente do Conselho Consultivo da ONG Defensores da Terra.

Produção Executiva: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS
Conselho Curador - FBDS: Israel Klabin, Philippe Reichstul, Maria Silvia Bastos Marques, Rubens Ricuperro, Thomas Lovejoy and Jerson Kelman

Coordenação: Walfredo Schindler

Editor Responsável: Lília Giannotti - DaGema Comunicação // www.dagemacomunicacao.com.br

Projeto Gráfico: Chris Lima - Evolutiva Estúdio // www.evolutivaestudio.com

Tradução: Claudia Pessanha - Lacio Traduções // www.lacio.trd.br



Embora todos os esforços tenham sido feitos para confirmar a exatidão das informações desta publicação, a FBDS, o Lloyd's ou suas afiliadas não se responsabilizam, nem assumem obrigações legais quanto à credibilidade de qualquer pessoa em relação a estas informações.



Sponsored by

LLOYD'S

www.lloyds.com