



**pbmc**

painel brasileiro de mudanças climáticas

# **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas:**

**Relatório Especial do Painel  
Brasileiro de Mudanças Climáticas**

**Jose A. Marengo e  
Fabio R. Scarano (Eds.)**



**Carlos Afonso Nobre**

Presidente do Conselho Diretor

**Suzana Kahn Ribeiro**

Presidente do Comitê Científico

**Andrea Souza Santos**

Secretária-Executiva

**Bruno Allevato Martins da Silva**

Unidade de Apoio Técnico

**AUTORES:**

**Jose A. Marengo** - Cemaden/MCTIC

**Fabio R. Scarano** - UFRJ e FBDS

**Antonio F. Klein** - UFSC

**Celia R. G. Souza** - IG/ SP

**Sin C. Chou** - CPTEC/ INPE

**REVISORA:**

**Andrea Souza Santos** - UFRJ

**Citação recomendada para este relatório:**

PBMC, 2016: Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

# Índice

i. Acrônimos e siglas

ii. Apresentação

1. Introdução

2. Vulnerabilidades das cidades costeiras brasileiras frente às mudanças climáticas

2.1. Conceitos importantes

2.2. Vulnerabilidades a perigos e desastres naturais nos cenários atuais e futuros de mudanças climáticas

2.3. Vulnerabilidades frente ao aumento do nível relativo do mar

2.4. Vulnerabilidades frente a eventos meteorológicos-oceanográficos extremos

3. Impactos potencialmente decorrentes ou associados às mudanças climáticas em áreas urbanas costeiras

3.1. Impactos da mudança do clima na elevação do nível do mar: uma revisão da literatura

3.2. Infraestrutura urbana em áreas costeiras (edificações, transportes, energia, recursos hídricos e saneamento, resíduos sólidos) frente às mudanças climáticas

4. Projeções de mudanças climáticas e impactos nas cidades costeiras (extremos, desastres naturais e nível do mar)

5. Alternativas de adaptação em áreas urbanas costeiras

6. Recomendações para políticas de adaptação

## 7. Estudos de casos de cidades costeiras de médio e grande porte em diferentes regiões do Brasil

7.1. Fortaleza

7.2. Recife

7.3. Salvador

7.4. Rio de Janeiro

7.5. Santos

7.6. Vale do Itajaí

## 8. Considerações finais e recomendações

## 9. Referências

Glossário

Apêndices



# Acrônimos e siglas

AbE - Adaptação Baseada em Ecossistemas  
AL - Alagoas  
AM - Amazonas  
AR5 - IPCC Fifth Assessment Report  
ARC3.2 - Second Assessment Report on Climate Change and Cities  
BA - Bahia  
CDD - Consecutive Dry Days  
CE - Ceará  
CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais  
CEPAL - Comision Economica para America Latina  
CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre desastres da UFSC  
CMIP5 - Coupled Model Intercomparison Program Phase 5  
CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos  
CRU - Climate Research Unit of the University of East Anglia, UK  
DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil  
ECLAC - Economical Comission for Latin America and Caribbean  
ES - Espírito Santo  
FBDS - Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável  
GEE - Gases de Efeito Estufa  
GIZ - Cooperação do Governo Alemão  
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICLEI - International Council for Local Environmental Initiatives  
IG-SP - Instituto Geológico do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente  
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
INPH - Instituto Nacional de Pesquisas Hidrográficas  
IOC - International Oceanographic Comission  
IOUSP - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo  
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change  
IPP - Insitituto Pereira Passos da Prefeitura do RJ  
MA - Maranhão  
MG - Minas Gerais  
MMA - Ministério do Meio Ambiente  
MCTI - Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação  
NCEP - National Center for Environmental Predictions dos EUA  
NESDIS - National Environmental Satellite Data and Information Service  
NMM - Nível Médio do Mar

NRM - Nível Relativo do Mar

ONG - Organização não Governamental

ONU - HABITAT - Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos

PB - Paraíba

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PE - Pernambuco

PNA - Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas

RCP - Representative Concentration Pathways

RMRJ - Região Metropolitana do Rio de Janeiro

RN - Rio Grande do Norte

RJ - Rio de Janeiro

RS - Rio Grande do Sul

SAE - Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República

SE - Sergipe

SLR - Sea-Level Rise

SP - São Paulo

TCN - Terceira Comunicação Nacional do Brasil a UNFCCC

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UNEP - United Nations Environmental Programme

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change

UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction

WB - World Bank

WMO - World Meteorological Organization



# Apresentação

## **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas**

Metade da população humana vive em cidades e, grande parte dessa se encontra na faixa costeira. O Brasil não é exceção a essa regra: mais de 60% da população habita cidades costeiras. As mudanças climáticas em curso expõem as cidades litorâneas ao aumento do nível do mar, a mudanças na frequência e intensidade de tempestades, e ao aumento na precipitação e na temperatura dos oceanos. Cada um desses fatores impõe riscos à população humana. O aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de chuva aumenta o risco de deslizamentos de terra, enchentes e enxurradas. A elevação no nível médio do mar pode aumentar a exposição a risco de moradias e infraestrutura, como escolas, mercados, hospitais, portos e rodovias, a inundações e erosão em zonas costeiras. Também, a tendência de tempestades mais intensas pode aumentar o risco das populações em cidades costeiras a eventos como enxurradas, deslizamentos de terra e inundações costeiras. Neste contexto, as cidades costeiras brasileiras demandam investimentos e medidas de adaptação frente às mudanças climáticas, com foco na redução de riscos e minimização dos impactos ocasionados pelos eventos extremos climáticos e oceanográficos observados no presente e projetados para o futuro.

O presente relatório foi preparado por encargo do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) para avaliar os impactos, a vulnerabilidade e as opções para adaptação das cidades brasileiras costeiras frente às mudanças climáticas. O relatório Especial do PBMC também aponta lacunas no conhecimento sobre os riscos e respostas das cidades aos eventos climáticos extremos. Esse estudo apresenta o estado da arte sobre o tema e fornece subsídios científicos para orientar estratégias de adaptação às mudanças climáticas, inclusive tratando de casos específicos para cidades costeiras de médio e grande porte no Brasil.

O escopo do relatório inclui: (a) vulnerabilidade das zonas costeiras das cidades brasileiras frente aos possíveis impactos do aumento do nível do mar e de eventos meteorológicos extremos, no presente e em cenários futuros de mudanças climáticas; (b) alternativas de adaptação em áreas urbanas costeiras, tanto infraestruturais como baseadas em ecossistemas; (c) recomendações para políticas de adaptação; e (d) estudos de casos de cidades costeiras de médio e grande porte em diferentes regiões do Brasil. Infelizmente, tendências na magnitude e frequência dos eventos ainda não são totalmente precisas devido à qualidade dos registros e ausência de padrão nas medições atmosféricas, o que dificulta a análise da erosão costeira e do aumento do nível do mar no território nacional.





vecteezy.com



# Introdução

Cerca de 3,5 bilhões de pessoas, ou mais de 50% da população mundial, vivem em cidades, e esse número segue aumentando (Puppim de Oliveira *et al.*, 2011). A continuar o padrão atual, é esperado que entre 2000 e 2030, a cobertura urbana do planeta aumente em 1,2 milhão de quilômetros quadrados, o que equivale a 200% de acréscimo em relação à área atual, para um aumento de população urbana global da ordem de 70% (Fragkias *et al.*, 2012). Ainda segundo estes autores, de todo o território urbano do planeta em 2030, cerca de 50-60% terá sido construído justamente nessas três décadas. Por outro lado, de acordo com Seto *et al.* (2012), em 2050 a população urbana do planeta terá dobrado em relação à atual, o que pode representar uma redução na taxa de crescimento urbano projetada por Fragkias *et al.* (2012).

É evidente, portanto, o papel estratégico das cidades, tanto do ponto de vista da contribuição para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), quanto das adaptações à nova realidade climática, cujo sucesso exige o conhecimento sobre as diversas facetas das vulnerabilidades aos perigos relacionados às mudanças do clima, bem como à criação de infraestruturas resilientes e redução dos riscos. Esta tem sido a linha mestra de discussão em diversos painéis mundiais, em especial na última década, destacando-se: o Programa das Nações Unidas sobre Estratégia Internacional para Redução de Riscos de Desastres (International Strategy for Disaster Risk Reduction), criado em 2005 e recentemente reafirmado pelo Marco de Sendai - Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030 (UNISDR, 2015 a, b); o Programa das Nações Unidas para Habitação Humana (UN-HABITAT, 2011); e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014). Este quinto relatório do IPCC deu destaque à questão urbana, incluindo no volume do segundo grupo de trabalho, um capítulo que trata de impactos, vulnerabilidade e adaptação às mudanças do clima em áreas urbanas (Revi *et al.*, 2014).

Muitas das maiores cidades do planeta estão localizadas em áreas costeiras: 40% da população do planeta vive a 60km da costa, e, portanto, são em maior ou menor grau, a depender da vulnerabilidade de cada cidade, expostas a aumento do nível relativo do mar (NRM), tempestades e inundações associadas (Hanson *et al.*, 2011; Hallegatte *et al.*, 2013). A expansão urbana desordenada, com a proliferação de habitações informais (favelas, ocupações inadequadas e loteamentos clandestinos), em especial em áreas de riscos geológicos e hidrológicos, contribui consideravelmente para intensificar as vulnerabilidades ambientais a perigos como erosão costeira, inundações costeiras, alagamentos e enchentes, e movimentos de massa nas encostas (ex. escorregamentos, corridas de detritos e lama etc.).

Os impactos já observados das variações nos extremos de tempo e clima nas grandes cidades, especialmente as costeiras, mostram que as mudanças climáticas projetadas para as próximas décadas representam um grande desafio a ser enfrentado pela humanidade no século XXI. Para lidar com isso, serão necessárias ações integradas entre os diversos setores da sociedade e fundamentadas no conhecimento profundo dos cenários atuais e previstos.

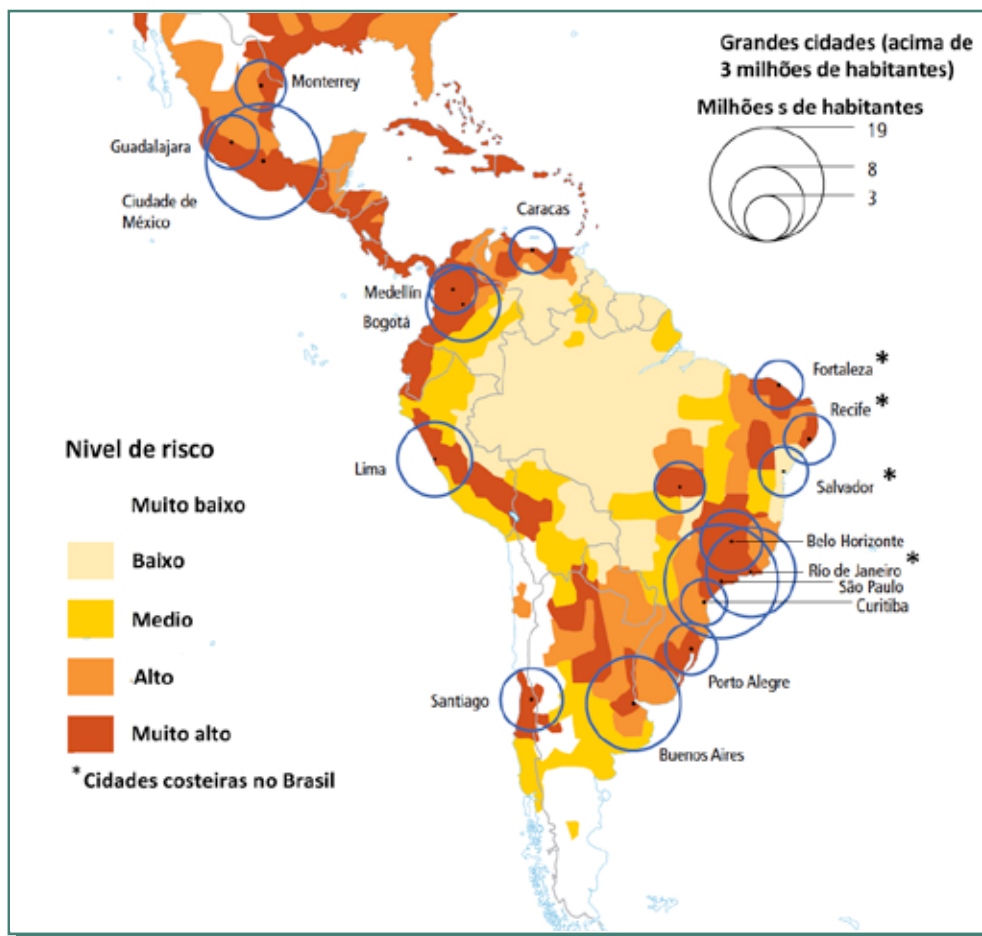
As cidades da América Latina estão expostas a toda uma variedade de desastres naturais que vão desde ciclones, tormentas, secas, inundações, ondas de frio e calor, até terremotos, erupções vulcânicas e tsunamis. De modo geral, o Brasil está submetido em maior ou menor grau a precipitações extremas e períodos secos, que podem estar associados à ocorrência de El Niño ou La Niña. Por exemplo, a frequência, intensidade e concentração de chuvas intensas têm aumentado nas últimas décadas no sudeste brasileiro (Magrin *et al.*, 2014), e isso tem aumentado o risco de extremos, inundações e secas. Esses extremos expõem as cidades a riscos, sendo que o grau de vulnerabilidade de cada cidade dependerá de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais são específicos para cada lugar. O grau de vulnerabilidade aumenta quando vários fatores são combinados, por exemplo, efeito simultâneo de extremos de chuva, localização das moradias em áreas de risco, gestão inadequada de bacias hidrográficas, natureza do solo, e/ou ressacas em áreas costeiras (ONU-Habitat, 2012). Como exemplo de um caso local, os deslizamentos de terra que mataram mais de 1000 pessoas na região serrana do Rio de Janeiro, em janeiro de 2011, refletem essa vulnerabilidade, com eventos de origem geológica e meteorológica impactando, entre outras, a população habitante em áreas de alto risco.

*As áreas mais sensíveis e com maior risco são aquelas com maior densidade demográfica, que no caso do Brasil cobrem as principais cidades em áreas continentais e costeiras das regiões Nordeste, Sudeste e Sul.*



A Figura 1.1 mostra o nível de risco e vulnerabilidade das grandes cidades da América Latina às ameaças do clima. O nível de risco representa uma escala acumulativa baseada no risco a ciclones, inundações, secas e terremotos. As áreas mais sensíveis e com maior risco são aquelas com maior densidade demográfica, que no caso do Brasil cobrem as principais cidades em áreas continentais e costeiras das regiões Nordeste, Sudeste e Sul.

No Brasil existem 5.570 municípios, a maioria deles com menos de 100 mil habitantes. Entretanto, nesse universo se destacam alguns grandes centros urbanos cujas populações somam milhões de habitantes (IBGE, 2014), a exemplo das 10 maiores cidades do Brasil, 5 das quais localizadas no litoral ou influenciadas pelo mar (Tabela 1.1, Figura 1.2).

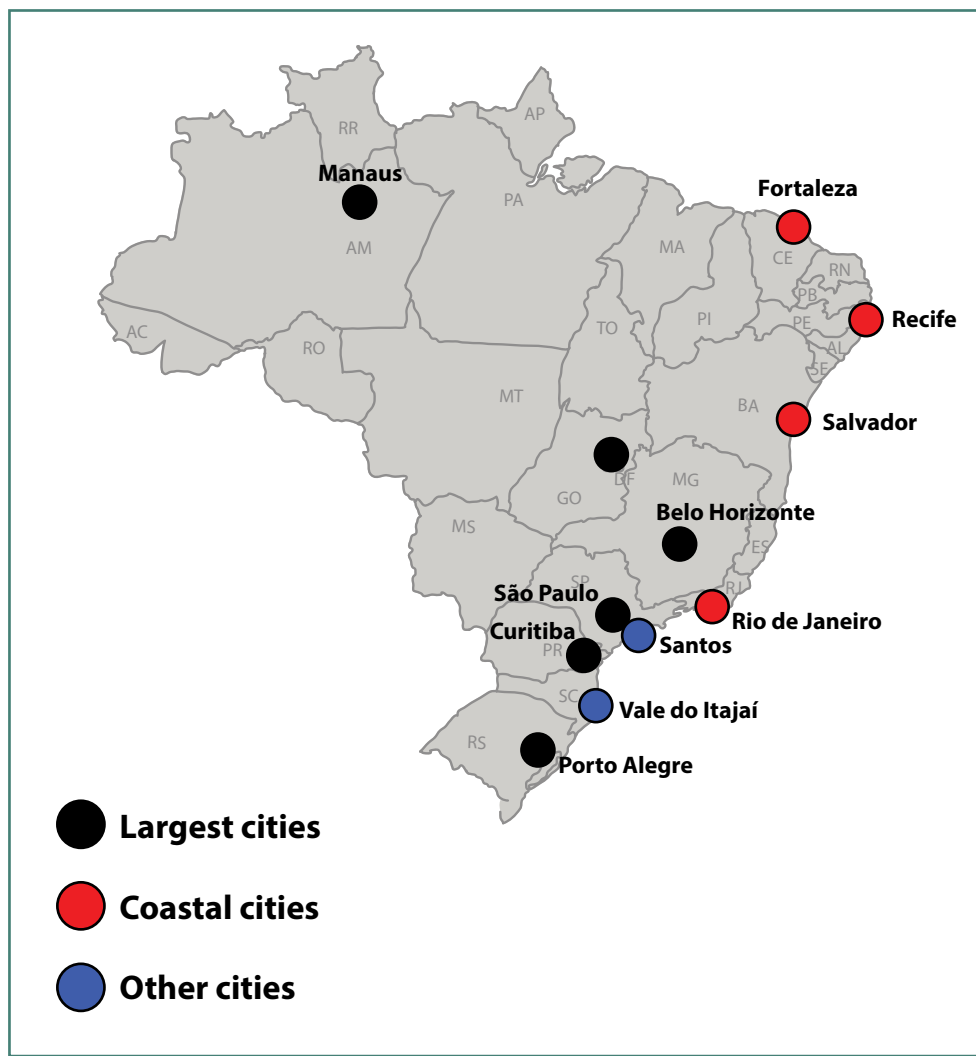


**Figura 1.1.** Risco e vulnerabilidade às mudanças climáticas das grandes cidades da América Latina



**Tabela 1.1.** Ranking das maiores cidades do Brasil, sua situação geográfica e população (\*: cidades costeiras ou influenciadas pelo mar). Fonte: IBGE (2014).

| RANQUE | CIDADE          | UF | HABITANTES (milhão) |
|--------|-----------------|----|---------------------|
| 1      | São Paulo       | SP | 11.244.369          |
| 2      | Rio de Janeiro* | RJ | 6.323.037           |
| 3      | Salvador*       | BA | 2.676.606           |
| 4      | Brasília        | DF | 2.562.963           |
| 5      | Fortaleza*      | CE | 2.447.409           |
| 6      | Belo Horizonte  | MG | 2.375.444           |
| 7      | Manaus          | AM | 1.802.525           |
| 8      | Curitiba        | PR | 1.746.896           |
| 9      | Recife*         | PE | 1.536.934           |
| 10     | Porto Alegre*   | RS | 1.409.939           |

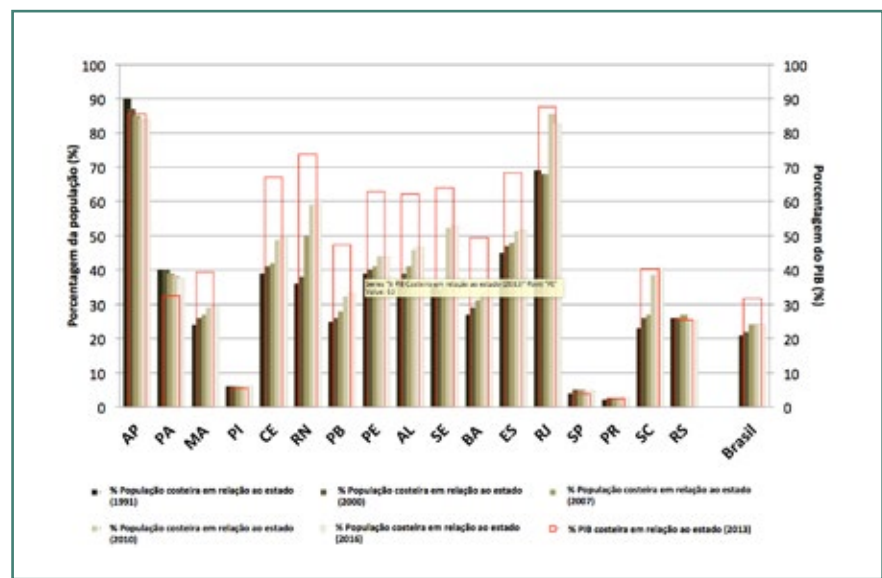


**Figura 1.2.** As maiores cidades do Brasil, incluindo a identificação das cidades costeiras e outras cidades fora do Ranking das maiores cidades do Brasil consideradas como estudos de caso.

Das 42 regiões metropolitanas brasileiras, 18 se encontram na zona costeira ou são influenciadas por ela, a saber: Macapá-Santana, Belém, São Luiz, Fortaleza, Natal, Aracaju, Maceió, João Pessoa, Recife, Salvador, Vitória, Rio de Janeiro, Vale do Paraíba/Litoral Norte de São Paulo, Baixada Santista, Joinville, Foz do Itajaí, Florianópolis e Porto Alegre. Embora a região metropolitana de Porto Alegre não seja oficialmente enquadrada como zona costeira e não seja banhada diretamente pelo mar, ela recebe grande influência da zona costeira pela sua localização nas margens da Lagoa (Laguna) dos Patos. No caso específico dos 9 estados da região Nordeste do Brasil, mais da metade da população vive em regiões metropolitanas vinculadas às suas capitais, todas localizadas no litoral. Dentre essas, três (Fortaleza, Recife e Salvador) estão no ranking das 10 maiores cidades brasileiras. Além disso, devido à carência de vias para escoamento da produção, os principais centros industriais da região estão localizados em áreas portuárias, como a de Suape (PE), Camaçari (BA) e Pecém (CE) (Priori Junior, 2013).

A importância estratégica da zona costeira do Brasil e suas cidades, bem como a geração de riqueza para cada estado brasileiro, ficam bem evidentes quando se comparam a população e o PIB dos municípios costeiros com os dos respectivos estados (Figura 1.3). No Brasil, a população das zonas costeiras é responsável pela geração de cerca de 30% de toda a riqueza nacional (IBGE, 2014). Os Estados do Piauí, São Paulo e Paraná, por exemplo, apresentam população residente na zona costeira inferior a 10% da população estadual, sendo que nestes estados a porcentagem do PIB da zona costeira é equivalente à porcentagem da população. Situação semelhante ocorre nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, onde as porcentagens de participação da população e do PIB são 40% e 25% respectivamente. No caso dos estados do Amapá e Rio de Janeiro, existe num patamar entre 80% a 90%, o que significa que, as atividades econômicas são extremamente vulneráveis às mudanças climáticas e, conseqüentemente, toda a economia dos Estados estará comprometida em cenários futuros. O Estado do Pará apresenta a menor proporção entre a população e o PIB gerado nos municípios costeiros: 37% dos habitantes residem na zona costeira, gerando em torno de 32% da riqueza total. Para os demais Estados costeiros (MA, CE, RN, PB, PE, AL, SE, BA, ES), a zona costeira possui uma participação percentual no PIB superior à participação populacional.

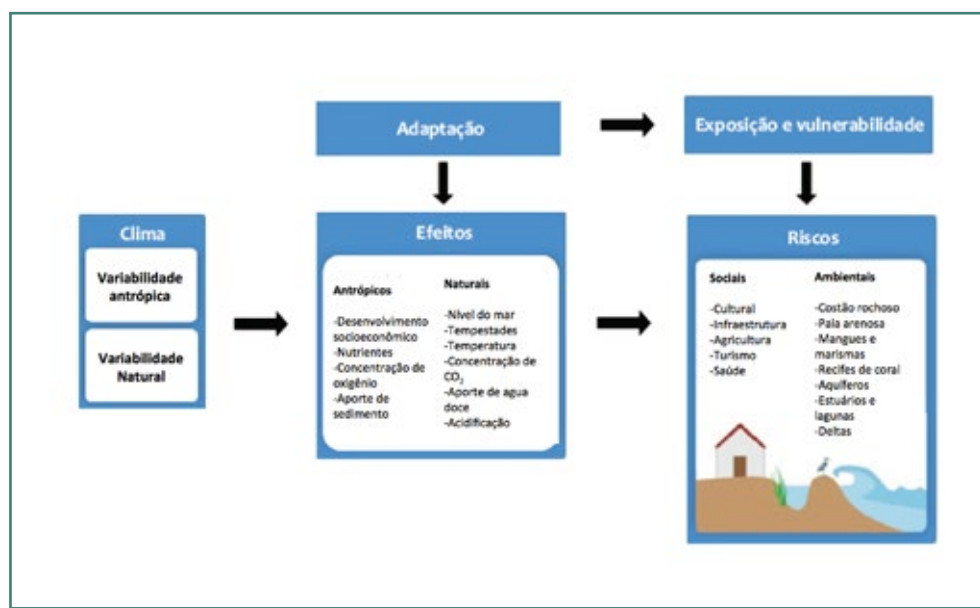
Parte significativa dessa população está ocupada em atividades, direta ou indiretamente, ligadas ao turismo, produção de petróleo e gás natural, pesca e serviços que atendem à dinâmica econômica gerada por esses municípios e outros próximos à zona costeira. A zona costeira é considerada um ambiente extremamente complexo, diversificado, de transição ecológica, desempenhando importante função de ligação e de trocas genéticas entre os ecossistemas marinhos e terrestres. O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC II reconhece esta diversidade, a importância da qualidade ambiental da Zona Costeira para as comunidades litorâneas e a necessidade de práticas integradas, cooperativas e participativas de gestão (<http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80033/0.PNGC-II97%20Resolucao0597.CIRM.pdf>).



**Figura 1.3.** Porcentagem da população e do PIB dos municípios costeiros em relação aos estados a que pertencem – evolução 1991 - 2016. (Fonte: IBGE, 2014).

De acordo com o censo demográfico de 2010, a ocupação do litoral brasileiro ainda é, de maneira geral, relativamente baixa. No entanto, a taxa de crescimento populacional nas últimas duas décadas deve ser considerada com atenção, pois no início da década de 1990, esses números correspondiam a 20% da população, ou cerca de 30 milhões de pessoas (Neves e Muehe, 1995). Essa assertiva é evidenciada também na Figura 1.3, que mostra que na maioria dos estados costeiros houve incremento da população entre 1991-2016.

A zona costeira brasileira, com 8.698km de extensão e área aproximada de 514 milkm<sup>2</sup> (Nicolodi e Zamboni, 2008), é composta por distintos ambientes naturais bastante sensíveis, como praias, dunas, planícies costeiras, ilhas barreiras, lagunas, estuários, deltas, mangues, marismas, costões rochosos e recifes, além de cidades e suas diversas atividades econômicas, constituindo assim um perene desafio à gestão costeira. Todos esses ambientes, em geral situados em cotas inferiores a 10m acima do NMM, são expostos a uma dinâmica de interação terra-mar-ar, e formam um complexo sistema extremamente ameaçado pelos potenciais impactos das mudanças climáticas (Figura 1.4). São aproximadamente 300 municípios costeiros que têm, na faixa de praia, um espaço privilegiado para o desenvolvimento de atividades turísticas, lazer, pesca, entre outras. Mas essas áreas de adensamento populacional convivem com amplas extensões de povoamento disperso e rarefeito, representados por habitats das comunidades de pescadores artesanais, dos remanescentes de quilombos, de tribos indígenas e de outros agrupamentos imersos em modos de vida tradicionais (Nicolodi e Zamboni, 2008).



**Figura 1.4.** Efeitos gerais da variabilidade do clima nos ambientes antrópicos e naturais da zona costeira e riscos sociais e ambientais associados (modificado de Wong et al., 2014)

A Comissão Oceanográfica Intergovernamental (IOC, 2009), órgão vinculado à UNESCO, definiu como os principais tipos de riscos relacionados às mudanças do clima: riscos de início rápido – sobrelevação do NRM, ondas geradas por ventos extremos e tsunamis; e riscos cumulativos – elevação do NRM de longo período e erosão costeira. Tsunamis não são fenômenos diretamente relacionados às mudanças do clima, mas sim a processos da dinâmica interna do planeta; entretanto, seus efeitos são mais devastadores em áreas de risco afetadas pelos demais tipos de perigos da dinâmica externa. A Tabela 1.2 mostra uma adaptação dessa classificação elaborada para este relatório.

Cidades costeiras convivem com eventos extremos desde o início da civilização, mas as mudanças climáticas e o rápido desenvolvimento urbano amplificam seus efeitos, aumentando sobremaneira os prejuízos socioeconômicos e as perdas ambientais. Por exemplo, somente para o perigo de ressacas do mar (storm surges) na costa atlântica da América do Sul, Nicholls (2006) previu que as 4,6 milhões de pessoas potencialmente expostas em 1990 passarão a ser 6,7 milhões em 2020, e que o número de pessoas afetadas por inundações costeiras por ano, passará de 33 mil em 1990 para 36 mil em 2020.

Um estudo do World Bank (2014) mostra que todas as áreas costeiras do mundo são vulneráveis à elevação do NRM. Dependendo da cidade, o NMM pode aumentar entre 0,34–0,39m para um aquecimento global de 1,5°C e de 0,56–0,64m com um aquecimento global de 4°C. Para 2050, inundações em áreas costeiras com elevação do NMM de 0,2m podem produzir prejuízos econômicos anuais de US\$ 940 milhões em 22 das maiores cidades costeiras da América Latina, e esta perda econômica pode alcançar até US\$ 1,2 bilhões para uma elevação do NMM de 0,40m.

Dentre os efeitos das mudanças climáticas mais relevantes que afetam as áreas costeiras se destaca a elevação do NRM que, de maneira geral, provoca alterações físicas, químicas e biológicas nos ambientes costeiros naturais e antrópicos (Souza, 2010 a, b, 2011). Dentre as suas principais consequências destacam-se: aumento da erosão costeira (linha de costa oceânica e estuarina); migração vertical do perfil praial; aumento da frequência, intensidade e magnitude das inundações costeiras; mudanças nos processos sedimentares e conseqüentemente no balanço sedimentar costeiro; perdas de terrenos naturais e urbanizados; fragmentação e até perda completa de ecossistemas lindeiros à linha de costa oceânica e estuarina/lagunar; migração vertical de espécies e até de ecossistemas inteiros; aumento da vulnerabilidade de pessoas e bens; redução dos espaços habitáveis; salinização do aquífero costeiro e das águas superficiais; comprometimento dos sistemas de saneamento básico (esgoto e água potável); impactos positivos e negativos nas atividades portuárias/retroportuárias; perda de solos férteis; problemas nas atividades agropecuárias, industriais, turísticas e de serviço-comércio; comprometimento dos recursos pesqueiros; comprometimento da beleza cênica; perda de potencial turístico; alto custo para manutenção/recuperação/mitigação; problemas de aplicação da legislação ambiental vigente; prejuízos socioeconômicos e perda da qualidade de vida.





**Tabela 1.2.** Riscos relacionados às mudanças climáticas para as zonas costeiras (adaptado de IOC, 2009).

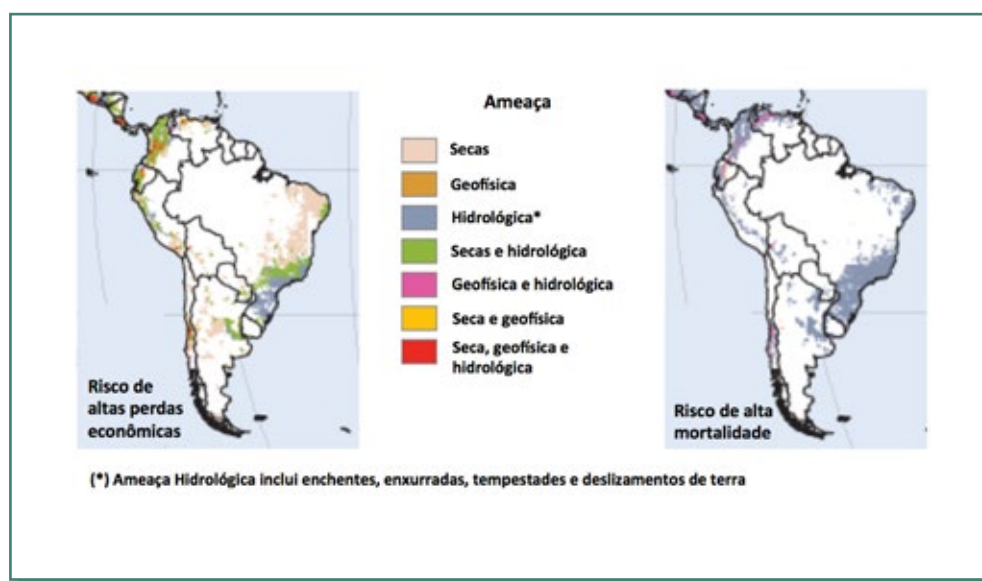
| TIPO DE RISCO                        | PERIGO NATURAL                                     | DEFINIÇÃO   |
|--------------------------------------|--|---|
| <b>Risco de início rápido</b>        | Sobrelevação do NMM e ressaca do mar (storm surge) | Elevação temporária do NMM (maré meteorológica positiva) e forte agitação marítima causada por tempestades intensas, associadas a sistemas de baixa pressão atmosférica e fortes ventos (tempestades tropicais e extratropicais). |
|                                      | Ondas geradas por ventos extremos                  | Ondas extremas geradas por ventos locais ou no oceano.  |
| <b>Risco cumulativo ou progresso</b> | Elevação do NRM de longo período                   | Elevação global do NRM devido à expansão térmica dos oceanos e ao derretimento de geleiras.   |
|                                      | Erosão costeira                                    | Perda de terras costeiras causada pela ação de ondas, marés e correntes associadas, potencializadas ou não por intervenções antrópicas.   |

Por outro lado, considerando as consequências devidas somente à erosão costeira no Brasil, os impactos podem ser diversos, destacando-se: redução na largura da praia e ou recuo da linha de costa; desaparecimento da zona de pós-praia e até da própria praia; erosão na porção a jusante dos sistemas fluviais-estuarinos, com possível alteração da circulação estuarina; perda de propriedades e bens ao longo da linha de costa; destruição de estruturas artificiais paralelas e transversais à linha de costa; problemas e até colapso dos sistemas de esgotamento sanitário (obras enterradas e emissários submarinos); diminuição da balneabilidade das águas costeiras; perda de recursos pesqueiros; perda do valor paisagístico da praia e/ou da região costeira; perda do valor imobiliário de habitações costeiras; comprometimento do potencial turístico da região; prejuízos nas atividades socioeconômicas ligadas ao turismo e ao lazer na praia; artificialização da linha de costa (obras de “proteção” costeira); gastos elevados com a recuperação de praias e a reconstrução da orla marítima (Souza *et al.*, 2005; Souza 2009, 2012).

O desenvolvimento desordenado tem afetado muito o processo de urbanização nas grandes cidades brasileiras, na medida em que está associado a um crescimento populacional desbalanceado, à fragmentação dos espaços, à degradação ambiental, à segregação social, à falta de infraestrutura, e a deficiências em serviços sociais e de saúde (World Bank, 2005). O aumento populacional e a conseqüente expansão urbana, promovendo mudanças e intensificação no uso da terra, acrescentam mais pressão aos ambientes costeiros sensíveis e levam à perda de habitats (Rosenzweig *et al.*, 2015). Além disso, o crescimento urbano desordenado e excessivo pode causar alterações no microclima, e também aumentar os efeitos dos eventos extremos, em especial os relacionados a perigos como enchentes e alagamentos, inundação costeira, ondas de calor, secas e movimentos de massa, que podem passar a ser mais frequentes e de maior magnitude. Tais fatores também colocam o capital econômico e as populações em situação de alto risco (World Bank, 2005, 2010; Gasper *et al.*, 2011).

## Introdução

Os riscos associados a desastres naturais de origem hidrometeorológica podem ser traduzidos em termos econômicos e na mortalidade da população (Figura 1.5). Essa figura mostra que em áreas costeiras do Brasil, o risco de elevadas perdas econômicas decorrentes de secas é maior nos estados do Nordeste, enquanto o risco hidrológico é maior nos estados do Sul e Sudeste. No Sudeste, destaca-se ainda o risco combinado de secas e fenômenos hidrológicos. Em relação ao risco de mortalidade, um maior número de vítimas está associado a desastres hidrológicos, particularmente na costa do leste do Nordeste, e nas regiões Sudeste e sul do Brasil.



**Figura 1.5.** Risco elevado de perdas socioeconômicas e de mortalidade devido a perigos (ameaças) naturais no Brasil. Fonte: modificado de World Bank (2005)

Por tudo isso, o planejamento urbano e a gestão das cidades têm, e terão cada vez mais, grande interferência nos cenários futuros de mudança climática, por influenciarem direta e indiretamente as fontes de emissão de GEE, bem como o comportamento e os efeitos dos eventos extremos. E decisões sobre o desenvolvimento urbano em megacidades precisam cada vez mais se amparar em conhecimento científico e tecnológico.

Portanto, as cidades costeiras brasileiras demandam um planejamento estratégico voltado para priorizar investimentos e medidas de adaptação frente às mudanças climáticas. Redução de riscos e minimização dos impactos ocasionados pelos eventos extremos associados a inundações costeiras, enchentes, alagamentos, movimentos de massa e erosão em zonas costeiras deverão ser parte integrante desse planejamento. E esta preocupação é destaque no Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas – PNA (MMA, 2015 a, b), lançado em maio de 2016.

Uma das melhores ferramentas para se desenvolver um planejamento estratégico com vistas à minimizar os efeitos das mudanças climáticas é a elaboração de estudos que envolvam análises de risco, vulnerabilidades e impactos associados a cenários atuais e projeções de eventos extremos. Esses estudos são um ponto de partida para a orientação na tomada de medidas efetivas para a redução de impactos e o restabelecimento das condições iniciais, além de possibilitarem a indicação de áreas críticas e prioritárias (Araújo, 2009; Nicolodi e Petermann, 2010; Rossini-Penteado e Ferreira, 2015; Almeida *et al.*, 2016).

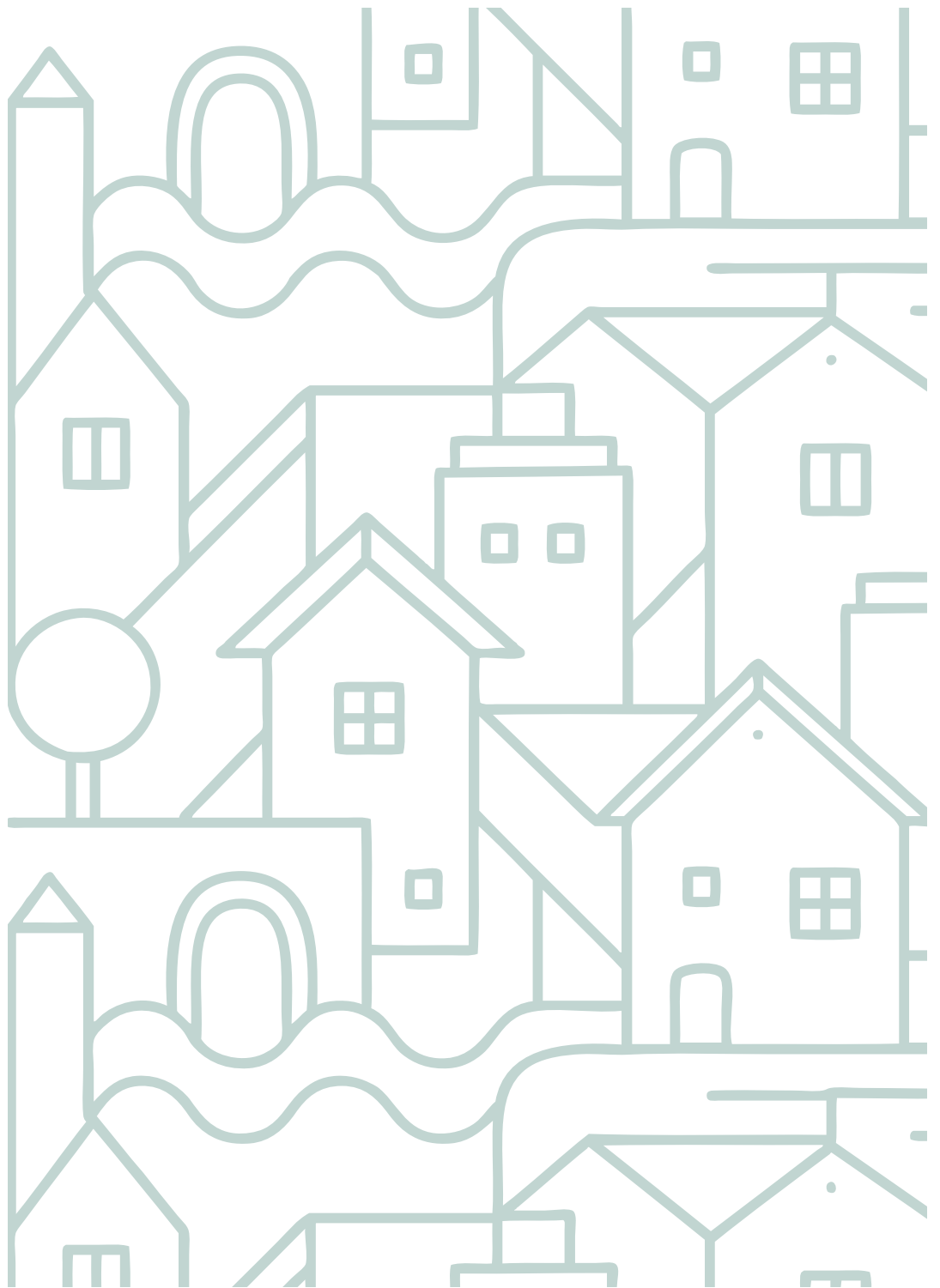
No entanto, a adaptação das regiões costeiras no Brasil representará um desafio maior do que em países desenvolvidos, dada as limitações à capacidade de adaptação de um país em desenvolvimento (PBMC, 2014). Neste contexto, é importante destacar ainda que, de acordo com o PBMC, diversas áreas costeiras do país apresentam alta ou muito alta vulnerabilidade, com destaque para as regiões metropolitanas de Belém, capitais dos estados da região Nordeste, Rio de Janeiro e as cidades portuárias de Santos e Itajaí. Altos níveis de vulnerabilidade, combinados com exposição a condições meteorológicas e extremos climáticos mais graves, podem por em risco a habitabilidade de uma dada região (IPCC, 2012), já que a sociedade constrói o risco a partir de sua interação com o mundo físico, transformando o evento natural em perigos de diferentes intensidades e magnitudes (Valencio *et al.*, 2009).

O objetivo principal deste Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) sobre Impacto, Vulnerabilidade e Adaptação das Cidades Costeiras Brasileiras às Mudanças Climáticas é avaliar o estado da arte do conhecimento sobre os impactos das mudanças climáticas nessas cidades, com foco na variabilidade e mudanças climáticas que afetam as cidades costeiras, incluindo eventos extremos de chuvas, tempestades e ressacas do mar que podem gerar inundações costeiras e sobrelevações do NRM e a elevação do NRM. Igualmente, esse relatório avalia as práticas de adaptação disponíveis ou já em aplicação nessas mesmas cidades.

A preparação deste relatório usou a mesma estratégia de preparação dos relatórios do IPCC (IPCC, 2012, 2013, 2014) e do PBMC (PBMC, 2014), considerando uma exaustiva revisão de bibliografia publicada recentemente sobre o assunto de mudanças do clima e cidades costeiras no Brasil, desde os próprios relatórios do IPCC e do PBMC, e apresentação de alguns relatos de casos de áreas com disponibilidade de estudos. Foram consultadas diversas publicações de abrangência nacional que incluem: os relatórios Brasil 2040 da SAE (SAE, 2015), Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas (MMA, 2015 a, b), a Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC (MCTI, 2016), relatórios de organizações das Nações Unidas, do Banco Mundial, de ONGs nacionais e internacionais, além de artigos científicos.



O presente Relatório apresenta, portanto, uma síntese do conhecimento mais recente sobre o tema de impactos, vulnerabilidade e adaptação aos extremos da variabilidade e mudanças climáticas em áreas urbanas costeiras do Brasil, com ênfase na elevação do NRM, em extremos de chuva e em eventos meteorológicos-oceanográficos extremos (ressacas do mar/sobrelevações do NRM), e os seus impactos nos sistemas humanos.



# Vulnerabilidade das cidades costeiras brasileiras frente às mudanças climáticas

## 2.1 Conceitos importantes

Alguns conceitos importantes relevantes à problemática de mudanças climáticas e zonas costeiras aparecem definidos no Glossário. A determinação da vulnerabilidade é um importante componente do planejamento costeiro. Ela pode aperfeiçoar a tomada de decisão, orientar planejamentos e gestão em áreas suscetíveis a algum perigo como, por exemplo, erosão costeira, inundações e outras alterações decorrentes das mudanças nos extremos de chuva, temperatura ou ventos.

*Os impactos gerados por eventos de chuvas extremas são, na maioria das vezes, enquadrados na categoria de eventos naturais extremos ou desastres naturais, dependendo de sua magnitude e extensão espacial (Brandão, 2001).*



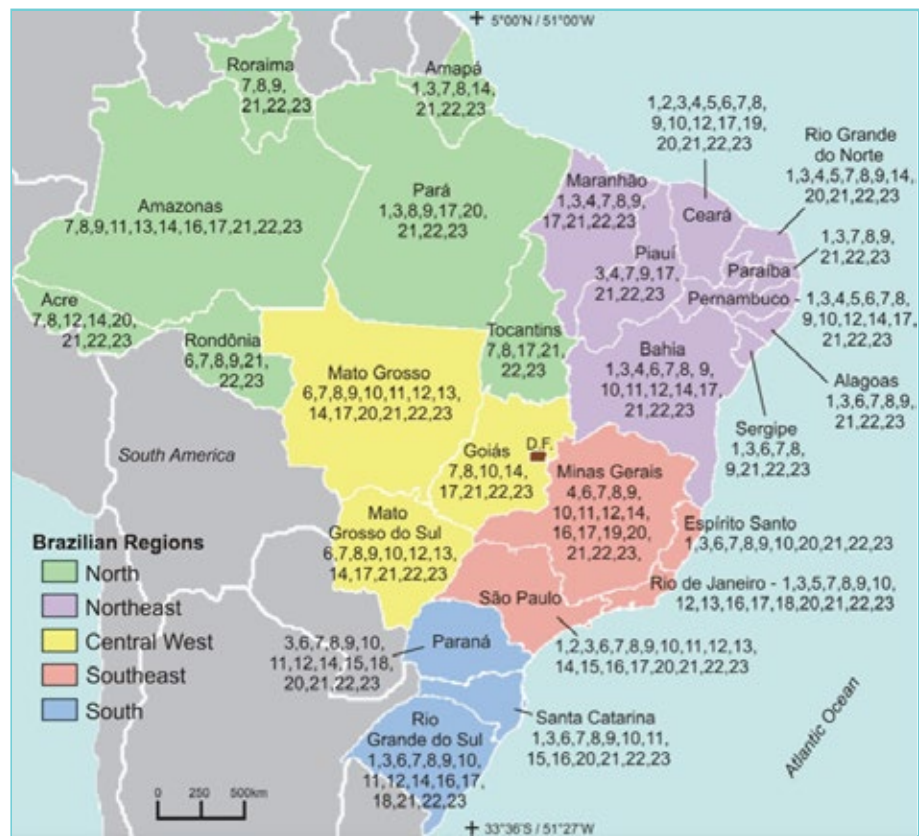
Os impactos gerados por eventos de chuvas extremas são, na maioria das vezes, enquadrados na categoria de eventos naturais extremos ou desastres naturais, dependendo de sua magnitude e extensão espacial (Brandão, 2001). Nas cidades brasileiras, seus principais efeitos são enchentes, enchentes-relâmpago, alagamentos e movimentos de massa nas encostas (escorregamentos, deslizamentos, corridas ou fluxos de detritos e lama etc.), todos estes classificados como perigos de origem hidrometeorológica.

Nas cidades costeiras do Brasil, os eventos meteorológicos-oceanográficos extremos, como ressacas e sobrelevações do NMM (marés meteorológicas positivas), têm como efeitos principais as inundações costeiras e a erosão costeira, que também podem ser enquadradas como perigos de origem hidrometeorológica. No contexto das inundações costeiras, como a evolução do evento está associada à atuação de ciclones extratropicais e sistemas frontais (baixa pressão atmosférica) (vide também Tabela 1.2), que geram elevada precipitação, então é comum a conjunção com eventos de enchentes/alagamentos, que amplificam os efeitos nas cidades costeiras, em especial quando ocorrem em fase de maré de sizígia.



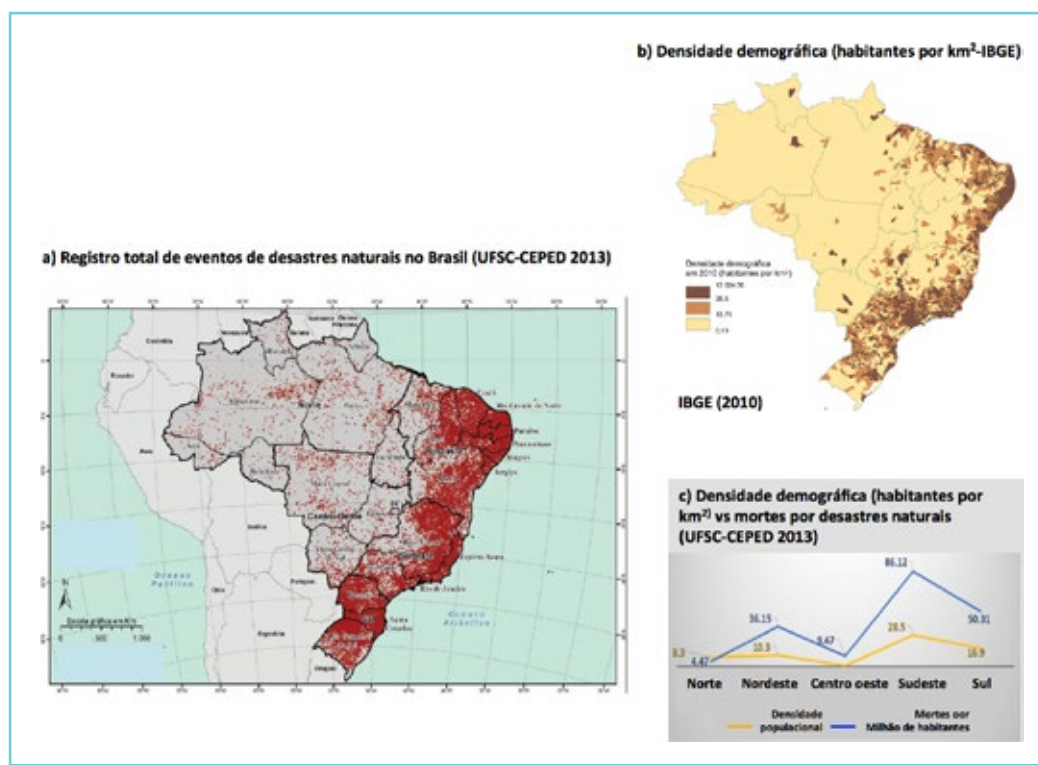
### 2.1 Conceitos importantes

A Figura 2.1 mostra uma síntese dos perigos naturais que ameaçam os estados brasileiros, ficando evidente a ocorrência dos perigos citados acima nos estados costeiros, bem como a existência de outros perigos que podem ser amplificados pelas mudanças climáticas, tais como: movimentação de dunas, secas, extremos de temperatura, epidemias (doenças de veiculação hídrica e aérea) e infestações de insetos.



**Figura 2.1.** Distribuição dos perigos naturais no Brasil (fonte: Souza, 2010a).  
 Legenda: (1) erosão costeira; (2) tempestades e ventos severos; (3) ressacas do mar e marés meteorológicas positivas; (4) secas e estiagens; (5) movimentação de dunas; (6) solos salinos; (7) enchentes, enchentes-relâmpago, alagamentos e inundação costeira; (8) erosão continental; (9) assoreamento (lagos, rios, lagoas e reservatórios); (10) subsidência cárstica; (11) movimentos de massa (escorregamentos, deslocamentos de rocha, corridas ou fluxos de detritos e lama); (12) solos e rochas expansivos; (13) liquefação de solos; (14) solos inestáveis e subsidência; (15) geadas; (16) incêndios florestais (florestas and turfeiras); (17) desertificação; (18) componentes tóxicos naturais em solos e águas; (19) radioatividade natural; (20) atividades sísmicas (terremotos, abalos não sísmicos); (21) temperaturas extremas (ondas de calor e frio); (22) epidemias; (23) infestação de insetos e pragas.

Segundo o Atlas de Desastres Naturais do Brasil (UFSC-CEPED, 2013), desastres naturais observados de 1991 a 2012, consequência de eventos intensos de chuva ou de estiagem, têm afetado todo o país. A Figura 2.2 mostra que as regiões Nordeste, Sudeste e Sul são justamente aquelas que apresentam uma maior ocorrência de desastres naturais, sendo que o Sul e Sudeste apresentam um maior número de fatalidades. Entre os anos de 1995 e 2014, os municípios reportaram algum tipo de dano material ou prejuízo decorrente de desastres naturais em 22.810 documentos identificados pela pesquisa. Por meio da análise desses documentos, foram contabilizadas perdas totais de R\$ 182,7 bilhões, sendo que R\$ 137,3 bilhões se referem aos prejuízos públicos e privados informados e R\$ 45,4 bilhões aos danos materiais (UFSC-CEPED, 2016). Os danos materiais de maior relevância que foram reportados são os relacionados à infraestrutura, representando 59% do total. Os relacionados a habitações representam aproximadamente 36% do total, enquanto 5% se referem aos danos verificados em instalações de saúde, de ensino, comunitárias, entre outras.



**Figura 2.2** a) Registro total de eventos de desastres no Brasil de 1991 a 2012; (b) Densidade populacional (habitantes/km<sup>2</sup>) no Brasil (IBGE); e c) Densidade populacional (habitantes/km<sup>2</sup>) e número de fatalidades como consequência de desastres naturais (UFSC-CEPED, 2013)



## 2.2 Vulnerabilidades a perigos e desastres naturais nos cenários atuais e futuros de mudanças climáticas

Há evidências que sugerem que a mudança climática já mudou a magnitude e a frequência de alguns eventos extremos de condições meteorológicas e climáticas em algumas regiões globais, embora continue ainda muito difícil atribuir eventos individuais às mudanças climáticas (IPCC, 2012). Eventos extremos, que em muitas cidades incluem ondas de calor, secas, chuvas intensas e inundações costeiras, são projetados para aumentar em frequência e intensidade (IPCC, 2014).

A urbanização tende a ser associada com o aumento na temperatura do ar, o efeito chamado de “ilha urbana de calor”. Centros urbanos e cidades são por vezes vários graus mais quentes do que as áreas circundantes devido à presença de materiais que absorvem calor, e com um resfriamento evaporativo causado pela falta de vegetação ou corpos d’água. Alguns eventos climáticos extremos serão agravados em condições de aquecimento global.

Desde o ano 1950, as regiões Sudeste e Sul do Brasil experimentam aumento na frequência de dias com chuvas intensas, assim como aumento na frequência de ondas de calor e de dias secos consecutivos, o que significaria chuva intensa concentrada em poucos dias com períodos secos e quentes entre eventos chuvosos; já no Nordeste, a frequência de dias secos consecutivos aumenta em extensão e intensidade (Magrin *et al.*, 2014).

Em escala mundial, as zonas urbanas vivenciaram uma multiplicação das ondas de calor nos últimos 40 anos. Segundo Mishra *et al.* (2015), cujo estudo não contempla cidades costeiras no Brasil, entre 1973 e 2012, quase a metade (48%) das 217 aglomerações estudadas passaram por um aumento dos dias muito quentes, e dois terços delas de noites também de muito calor. O agravamento das ondas de calor em zonas urbanas se acelerou nos últimos anos, ao mesmo tempo em que houve uma queda das ondas de frio (as mais importantes datam de 1973, 1974, 1976, 1981 e 1983), e em 60% delas, os dias com ventos intensos também diminuíram. Além disso, apenas 17% das zonas urbanas estudadas registraram um aumento dos dias de fortes chuvas, e 10% das de caráter torrencial. Esse padrão também foi identificado em São Paulo (Marengo *et al.*, 2013) e Rio de Janeiro (Dereczynski *et al.*, 2013). Uma onda de calor que atingiu o litoral de São Paulo em fevereiro de 2010 provocou a morte de pelo menos 32 pessoas com idades entre 60 e 97 anos na cidade de Santos, em apenas dois dias (Secretaria Municipal de Saúde da cidade de Santos - <http://oglobo.globo.com/brasil/onda-de-calor-provocou-morte-de-32-idosos-em-santos-em-sp-diz-prefeitura-3054640#ixzz3ZpBxPkTR>).



Almeida *et al.* (2016) calcularam um conjunto de índices que apontam a vulnerabilidade e o risco atual de ocorrer desastres associados a quatro tipos de perigos naturais – enchentes/enchentes-relâmpago, secas/estiagens, escorregamentos e elevação do NMM, para cada um dos 5.570 municípios do Brasil. Para tanto, os autores utilizaram o índice DRI (Disaster Risk Indicators), que agrupa vários índices de vulnerabilidade – exposição (Figura 2.3), suscetibilidade (Figura 2.4), capacidade de lidar com o evento e capacidade adaptativa (Figura 2.5), para obter a vulnerabilidade (Figura 2.6), sendo o risco final para o Brasil (DRIB), calculado em relação à ocorrência dos quatro tipos de eventos extremos somados (Figura 2.7). Os resultados para a região costeira do Brasil indicam que a exposição a enchentes é alta em praticamente todos os estados; a exposição a secas é alta nos estados do Nordeste, no extremo sul da Bahia, no Espírito Santo e Rio de Janeiro; e a exposição a escorregamentos é alta na costa de Santa Catarina, norte de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Pernambuco. Em termos absolutos, a cidade do Rio de Janeiro possui mais de 2 milhões de pessoas expostas a escorregamentos e 800 mil expostas a secas e estiagens. Fortaleza tem mais do que 650 mil expostas a secas e estiagens. As cidades de Vila Velha e Vitória (Espírito Santo), Salvador (Bahia) e Santos (São Paulo) apresentam alta exposição à elevação do NRM. Praticamente toda costa Sul, Sudeste e Norte do país possuem alto ou muito alto grau de exposição aos efeitos da elevação do NRM. Entre os 20 municípios com pior desempenho no índice DRIB nenhum deles está em zona costeira, 12 são da região Norte, 6 do Nordeste e 2 do Sudeste. Esses municípios têm pequenas populações, entre 3 mil e 25 mil habitantes, alta exposição a desastres e baixa capacidade adaptativa. O estudo aponta ainda que apenas 20% dos municípios brasileiros estão bem preparados para mitigar os impactos e reagir imediatamente a eventos extremos, em especial os localizados no Sudeste e Sul. Esses e os demais resultados exaltam as grandes desigualdades entre e dentro das diferentes regiões do Brasil, incluindo a zona costeira, e que constituem grandes barreiras para a gestão do risco. Os autores concluíram que o risco associado a esses desastres é extremamente dependente das condições socioeconômicas e culturais das populações expostas, bem como com a performance das instituições estatais em lidar com os desastres - em outras palavras, o risco é dependente da vulnerabilidade.

---

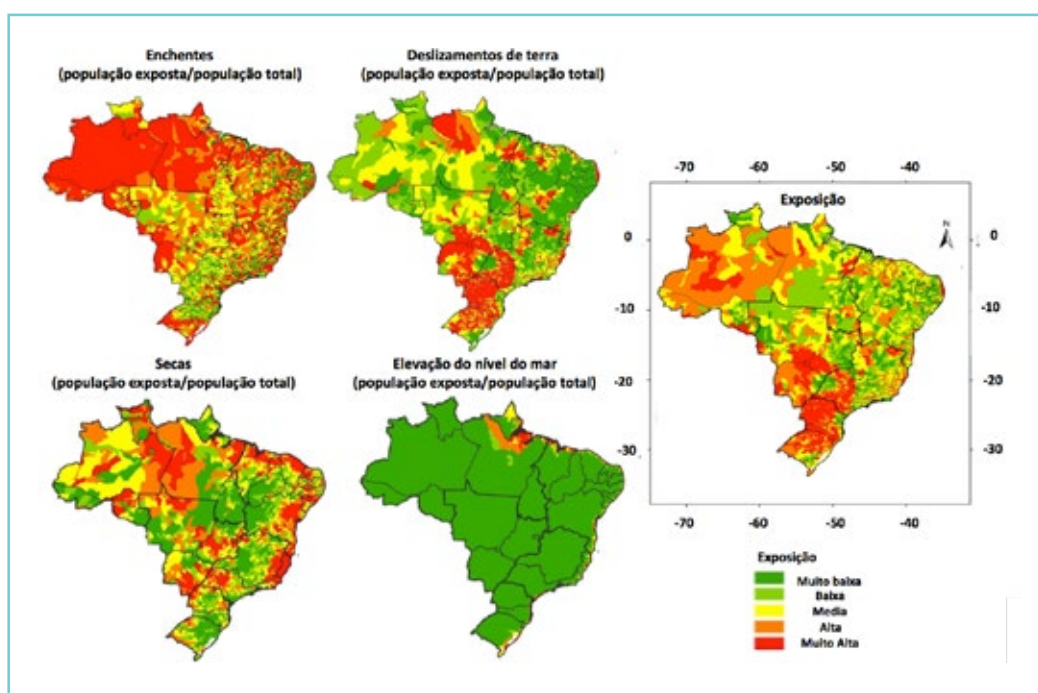
*Os autores concluíram que o risco associado a esses desastres é extremamente dependente das condições socioeconômicas e culturais das populações expostas, bem como com a performance das instituições estatais em lidar com os desastres.*

---

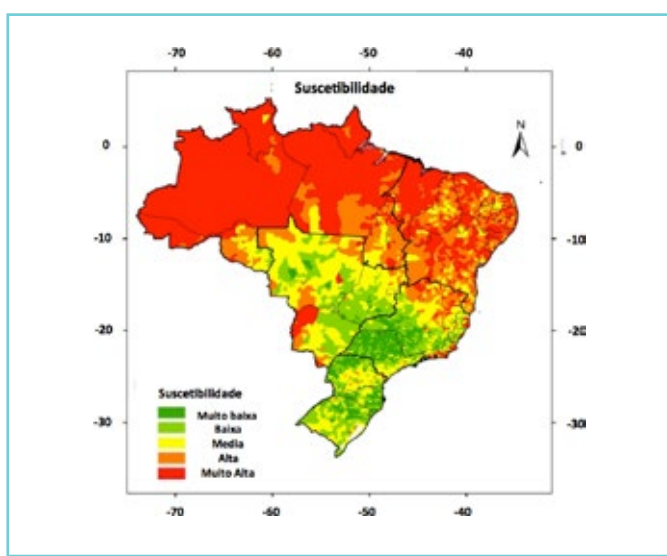


### 2.2 Vulnerabilidades a perigos e desastres naturais nos cenários atuais e futuros de mudanças climáticas

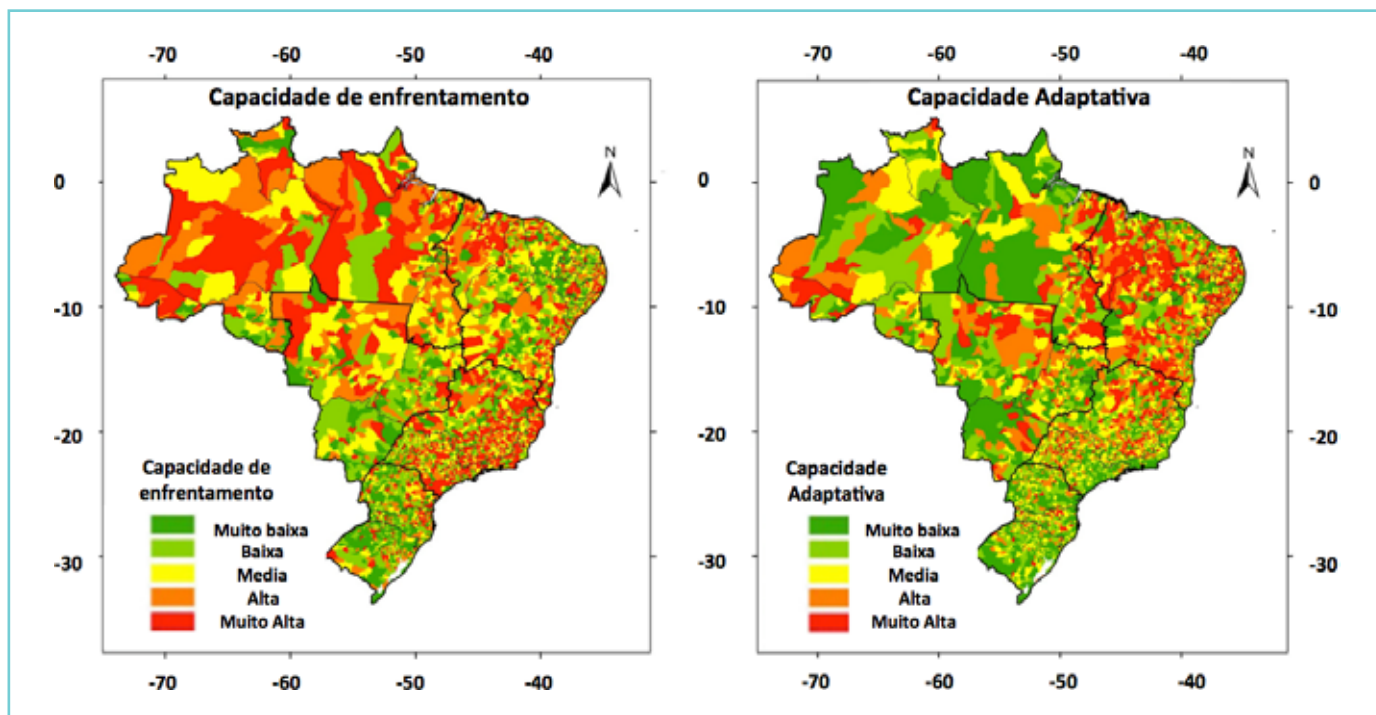
As projeções de extremos climáticos no futuro apontam para uma continuidade nas tendências de extremos nas regiões costeiras do país, com extremos de chuva mais intensos e frequentes no Sul e Sudeste do Brasil, e de secas no Nordeste, e que pode levar a um maior número de desastres naturais de origem hidrometeorológica, como enchentes, secas e deslizamentos de terra em áreas expostas e com alta densidade populacional (IPCC, 2013; Magrin *et al.*, 2014).



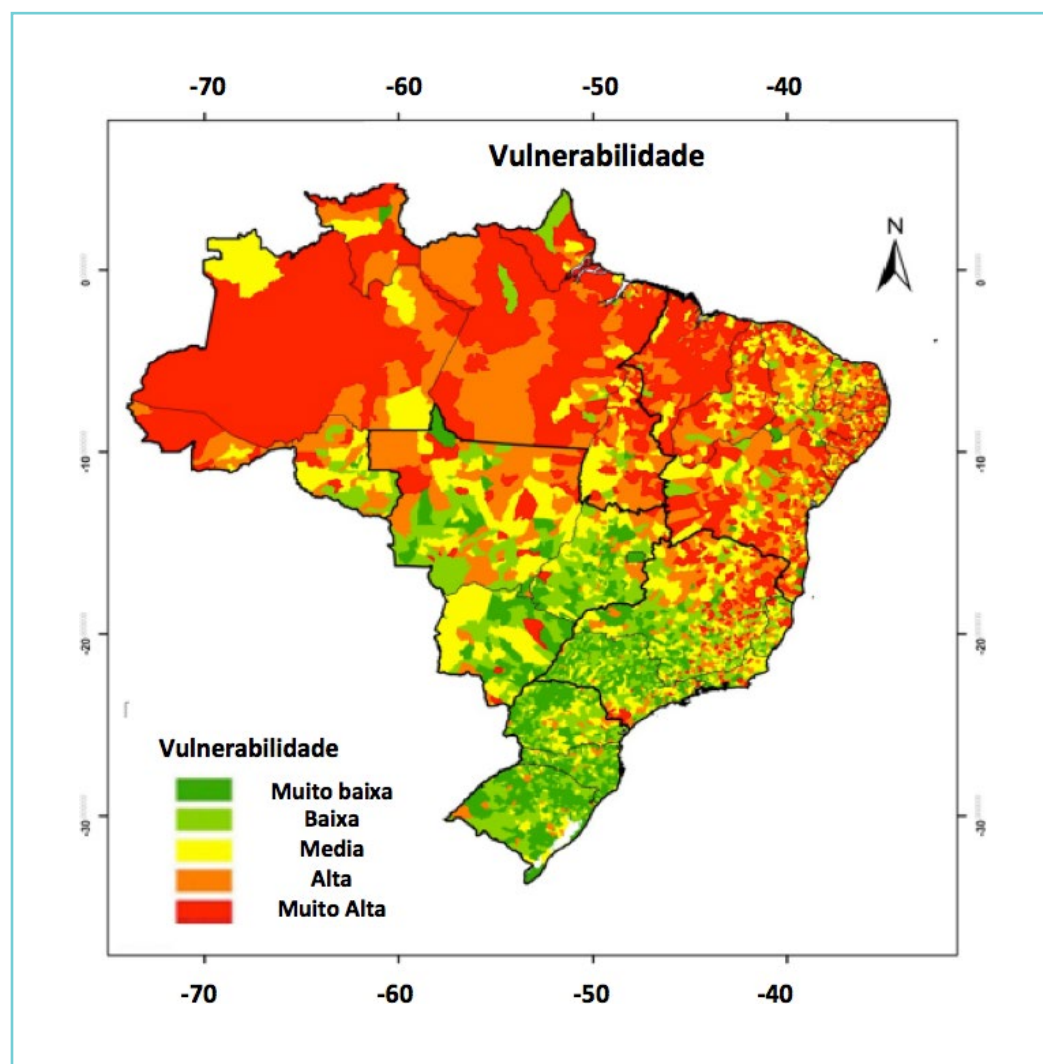
**Figura 2.3** Exposição a perigos naturais e exposição total por município (Almeida *et al.*, 2016).



**Figura 2.4** Suscetibilidade aos perigos naturais por município (Almeida *et al.*, 2016).

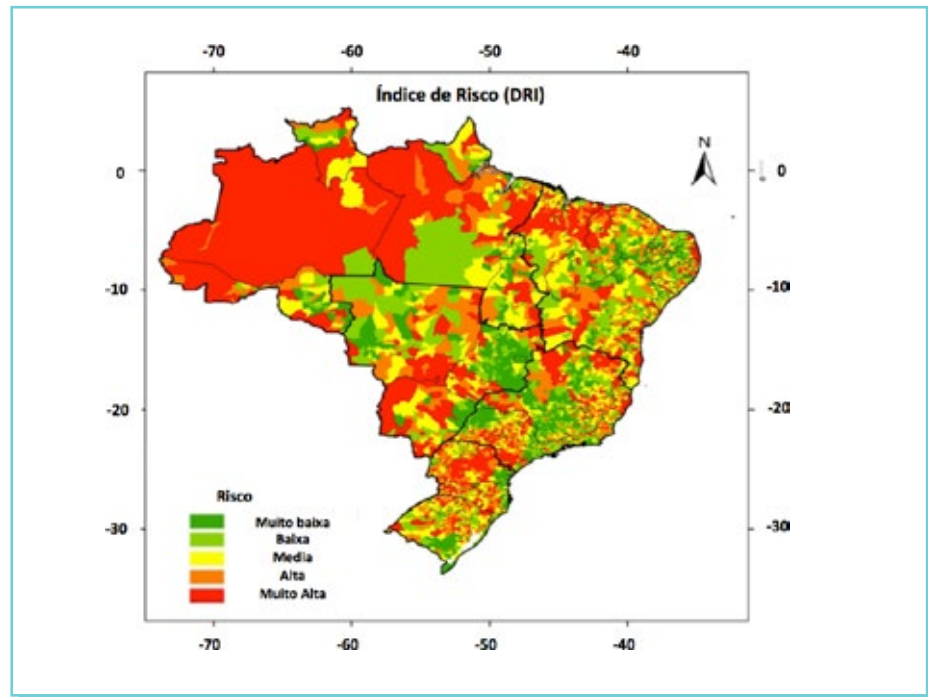


**Figura 2.5** Ausência de capacidade total de lidar com os perigos naturais e ausência de capacidade adaptativa por município (Almeida et al., 2016).



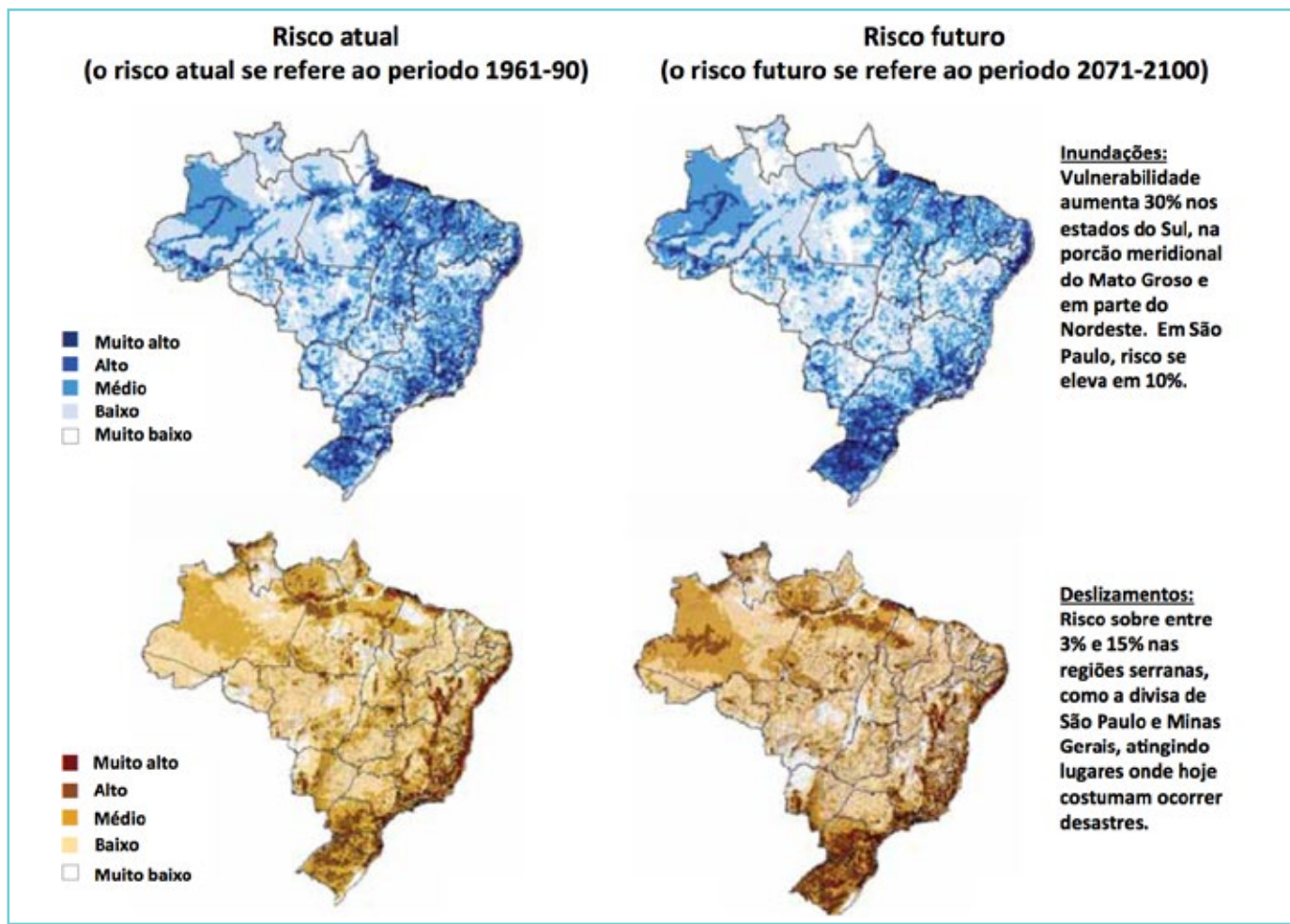
**Figura 2.6** Vulnerabilidade aos perigos naturais por município (Almeida et al., 2016).

### 2.2 Vulnerabilidades a perigos e desastres naturais nos cenários atuais e futuros de mudanças climáticas



**Figura 2.7** DRIB (risco final) aos perigos naturais por município (Almeida et al., 2016).

Para identificar cidades com áreas vulneráveis ou de risco a desastres naturais de origem hidrometeorológica no Brasil no futuro (até 2100), Camarinha e Debortoli (2015) e Debortoli et al. (2016) desenvolveram uma metodologia que considera a combinação de dados climáticos, ambientais e socioeconômicos em áreas densamente povoadas no presente e no futuro, com resolução espacial de até 20km (Figura 2.8). Cidades na faixa litorânea que vão do Estado do Rio de Janeiro até o Rio Grande do Norte foram identificadas no período presente como algumas das mais vulneráveis a todos os tipos de perigos. Em relação a enchentes-relâmpago, enchentes e alagamentos, projeta-se que a região Sul deva sofrer um aumento considerável da vulnerabilidade no futuro. Também merecem destaque a área na divisa entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, a faixa que vai de Sergipe até Natal (Rio Grande do Norte), o norte do Ceará, e áreas nos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Todas essas localidades se enquadram nas classes de vulnerabilidade alta ou muito alta no período presente, possuem históricos recorrentes de inundações, enxurradas ou alagamentos altamente impactantes para a sociedade e muito provavelmente se tornarão ainda mais vulneráveis no futuro (UFSC-CEPED, 2013). Em relação aos movimentos de massa, praticamente toda a zona costeira brasileira das regiões Sul, Sudeste e Nordeste continuarão apresentando alta a muito alta vulnerabilidade, merecendo destaque a porção central de Santa Catarina, o Litoral Norte de São Paulo, e o litoral sul e central do Rio de Janeiro. No tocante às secas e estiagens, os cenários (atual e futuro) apontam para as áreas litorâneas mais vulneráveis localizadas nas regiões Nordeste (Maranhão, Piauí, Ceará, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e extremo sul da Bahia) e Sudeste (Espírito Santo e Rio de Janeiro).



**Figura 2.8** Vulnerabilidades a desastres relacionados com (a, b) enchentes, enchentes-relâmpago e alagamentos no presente 1961-90; (b, c) movimentos de massa no presente e futuro. Projeções de clima futuro são derivadas do modelo Eta-HADGEM2-ES para o período futuro de 2071-2100 a partir do cenário RCP 8.5 (Camarinha et al., 2015; Debortoli et al., 2016). (Fonte: N. Debortoli, modificado por M. Piveta - FAPESP).

O recente estudo de Hummell et al. (2016) usou uma combinação de índices sócio- econômicos no Brasil para estudar vulnerabilidade social frente aos desastres naturais. Os resultados sugerem que cidades na região Norte e Nordeste são aquelas que apresentam maior vulnerabilidade social, enquanto que as cidades na região Sul e Sudeste são as que apresentam menor vulnerabilidade. Este padrão é consistente com o desenvolvimento econômico de cada região, e as grandes diferenças sociais e econômicas entre as diversas regiões do país se refletem também nas diferentes vulnerabilidades aos desastres naturais em escala local e regional. As cidades costeiras que dependem do turismo podem ter dificuldades em se recuperar de um desastre natural, e isso pode diminuir o fluxo de turistas e afetar a infraestrutura hoteleira e de lazer por um longo prazo. Cidades costeiras geralmente têm no turismo uma importante atividade econômica e, portanto, são vulneráveis aos desastres naturais.

Em linhas gerais, os resultados obtidos por Camarinha e Debortoli (2015) e Debortoli et al. (2016) para desastres naturais hidrometeorológicos são similares aos de Almeida et al. (2016) e Hummell et al. (2016), e os resultados fornecidos pelos dois modelos climáticos são semelhantes para cerca de 80% do território nacional, demonstrando que as realidades e tendências atuais serão intensificadas nos cenários futuros de mudanças climáticas.



## 2.3 Vulnerabilidades frente ao aumento do nível relativo do mar

A exposição humana ao aumento do NRM, sem nenhuma estratégia de adaptação, se traduzirá em impactos catastróficos, com dezenas de milhões de pessoas se tornando refugiados ambientais, com o risco real do deslocamento forçado de até 187 milhões de pessoas ao longo deste século - cerca de 2,4% da população mundial (Nicholls *et al.*, 2011). Como exemplo, de 1994 a 2004 houve mais de 1500 inundações, com cerca de 120 mil mortos e 2 milhões de pessoas afetadas (McGranahan *et al.*, 2007). Barbier (2015) aponta para o fato de que 40% da população rural em zonas costeiras do Brasil moram em condições de pobreza. Muitas dessas pessoas dependem da agricultura e pesca, e a sua sobrevivência depende de barreiras de proteção natural, como os manguezais, para proteção contra eventos meteorológicos-oceanográficos extremos, assim como outras ameaças costeiras que poderiam ser amplificadas num cenário de mudanças climáticas. Estima-se que cerca de 8 milhões de pessoas sejam atingidas na América do Sul Atlântica até o ano de 2100 para um aumento de 2m do NMM (Nicholls *et al.*, 2011).

Muitos dos ecossistemas costeiros ameaçados pela subida do NRM já estão impactados pelo uso insustentável de recursos e, portanto, têm sua resistência e resiliência enfraquecida, o que acaba afetando os usos humanos destes recursos (Hinkel *et al.*, 2010; Wong *et al.*, 2014). Entre 1901-2010 o NMM global aumentou 0,19m (variando entre 0,17 e 0,21m), taxa esta estimada a partir de registros de mareógrafos e, adicionalmente, dados de altimetria de satélites desde 1993. Entre 1993 e 2010, a taxa de elevação era superior a 3,2mm ano<sup>-1</sup> (variando entre 2,8 e 3,6mm ano<sup>-1</sup>). As novas estimativas apresentadas no Quinto relatório do IPCC (AR5) para a elevação do NMM global variam entre 0,26 e 0,98m até 2100 (IPCC, 2013), valores superiores aos 0,18 a 0,59m foram projetados no relatório anterior do IPCC (IPCC, 2007). Com uma elevação média de 0,5m, a população em risco poderia mais do que triplicar enquanto a exposição de ativos aumentaria mais de 10 vezes (Barbier *et al.*, 2015).

O Brasil ainda não possui um estudo integrado da vulnerabilidade das cidades costeiras frente aos impactos decorrentes das mudanças climáticas em escala nacional, particularmente em relação à elevação do NRM. Os dados disponíveis no país são ainda insuficientes para a construção de cenários de impactos nas zonas costeiras decorrentes das mudanças climáticas. Estudos regionais têm sido desenvolvidos, mas as metodologias e objetivos são variados, o que não permite comparação ou uma análise integrada regional ou nacional.

Na costa brasileira as medições sistemáticas do NMM são relativamente recentes, da década de 1950, embora um grande número de medições tenha sido iniciado no início do século XX pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidrográficas (INPH), em vários portos da costa (Mesquita, 2003).

Tendências no NMM na costa do Brasil foram revisadas por Neves e Muehe (1995), Mesquita (2003) e Muehe (2006). Losada *et al.* (2013), examinando mudanças no NMM junto com variações dos níveis de marés, ressacas e eventos extremos para diferentes séries históricas ao longo do país, concluíram que o NMM está subindo, que as ressacas estão aumentando na região Sul e que os eventos El Niño afetam positivamente o NMM. A Tabela 2.1 exibe uma síntese dos dados compilados por Klein e Short (2016).



**Tabela 2.1.** Mudanças no NMM na costa do Brasil (modificado de Klein e Short, 2016).

| AUTOR                                    | LOCAL   | TAXA DE VARIAÇÃO   | PERÍODO    |
|--|---|--|------------|
| <b>Pirazolli (1986)</b>                  | Recife (PE)<br>Salvador (BA)<br>Canaveiras (BA)<br>Imbituba (SC)  | 3,7 mm/ano <sup>-1</sup><br>1,6 mm/ano <sup>-1</sup><br>3,1 mm/ano <sup>-1</sup><br>0,55 mm/ano <sup>-1</sup>  | 1950-70    |
| <b>Aubrey et al. (1988)</b>              | Fortaleza (CE)<br>Belém (PA)<br>Recife (PE)<br>Salvador (BA)<br>Canaveiras (BA)<br>Rio de Janeiro (RJ)<br>Imbituba (SC) | 0,3 mm/ano <sup>-1</sup><br>3,4 mm/ano <sup>-1</sup><br>0,2 mm/ano <sup>-1</sup><br>2,7 mm/ano <sup>-1</sup><br>4,1 mm/ano <sup>-1</sup><br>3,6 mm/ano <sup>-1</sup><br>0,7 mm/ano <sup>-1</sup> | 1950-70    |
| <b>Silva (1992)</b>                      | Rio de Janeiro (RJ)   | 12,6 mm/ano <sup>-1</sup>  | 1965-86    |
| <b>Harari e Camargo (1994)</b>           | Recife (PE)   | 5,6 mm/ano <sup>-1</sup>   | 1946-88    |
| <b>Franca (2000)<br/>Mesquita (2003)</b> | Atlântico Equatorial  | 4,0 mm/ano <sup>-1</sup>   | Altimetria |
| <b>Losada et al. (2013)</b>              | Salvador (BA)   | ~2,0 mm/ano <sup>-1</sup>  | 1950-2009  |

De acordo com Belém (2007), várias cidades no Brasil encontram-se na situação em que 60% da população reside na faixa de 60 quilômetros da costa (Rio Grande-RS, Laguna-SC, Florianópolis-SC, Paranaguá-PR, Santos-SP, Rio de Janeiro-RJ, Vitória-ES, Salvador-BA, Maceió-AL, Recife-PE, São Luís-MA, Fortaleza-CE, Belém-PA). O autor levantou dados sinóticos no período de 14 anos, na região da plataforma continental sudeste do Brasil, em 3 pontos localizados estrategicamente ao longo da costa brasileira que foram: região da plataforma continental ao largo do Rio Grande (RS), ao largo de Salvador (BA) e ao largo de Fortaleza (CE). Segundo este mesmo autor, a interpretação mais correta dos dados encontrados é de que existe uma significativa variação decadal e interanual na temperatura da superfície do mar, variação esta que pode contribuir para o aumento do nível do mar. O autor afirma que quando comparados os diferentes pontos da costa brasileira, a tendência de aumento do nível do mar é clara, mas em taxas variáveis de 8cm em alguns pontos a 10cm no sul do país, considerando os dados dos últimos 10 anos.



### 2.3 Vulnerabilidades frente ao aumento do nível relativo do mar

Os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro registraram taxas de aumento do NMM de 1,8 a 4,2mm ano<sup>-1</sup> desde a década de 1950 (Alfredini *et al.*, 2013; Harari *et al.*, 2007). A cidade de Santos, localizada na Região Metropolitana da Baixada Santista e detentora do maior porto da América Latina, tem visto o aumento do nível do mar em uma média de 1,2mm ano<sup>-1</sup> desde a década de 1940 (Harari e Camargo, 1995; Alfredini *et al.*, 2008). Santos é vulnerável à elevação de NMM e a inundações, sendo crítica a vulnerabilidade infraestrutural (Zanetti *et al.*, 2016). A resposta a desastres naturais nessa situação se torna um grande desafio. O crescimento da cidade tem sido associado basicamente a interesses econômicos, sem considerar o risco e exposição aos impactos da elevação do NMM e dos extremos meteorológicos, a exemplo da maioria das cidades costeiras do Brasil. Alfredini *et al.* (2014) mostra aumentos significantes na altura das ondas de 1,0m em 1957 a 1,3m em 2002, e na frequência de ressacas durante as últimas décadas (1957-2002) em Santos.

A análise dos dados da estação maregráfica da Ilha Fiscal, no Rio de Janeiro, no período de 1965 a 1986, indica uma elevação anual de 1,26mm ano<sup>-1</sup>. No Estado do Rio de Janeiro, a vulnerabilidade pode ser intensificada com o aumento relativo do NRM e com outras alterações climáticas, com sérios problemas relacionados à erosão, além dos problemas recorrentes com inundações (Santos, 2012). As inundações, juntamente com as enchentes, comprometem a drenagem das áreas costeiras, a frequência de alagamentos e inundações aumenta e a qualidade da água diminui (Santos, 2012).

Em Recife, com mais de 2 milhões de habitantes, o nível do mar entre 1946 e 1988 aumentou em 5,6mm/ano (Harari *et al.*, 2008), que corresponde a uma elevação de 0,24m em 42 anos. A erosão costeira e a ocupação do pós-praia provocaram uma redução da linha de praia em mais de 20m na Praia de Boa Viagem, a área da orla mais valorizada da cidade.

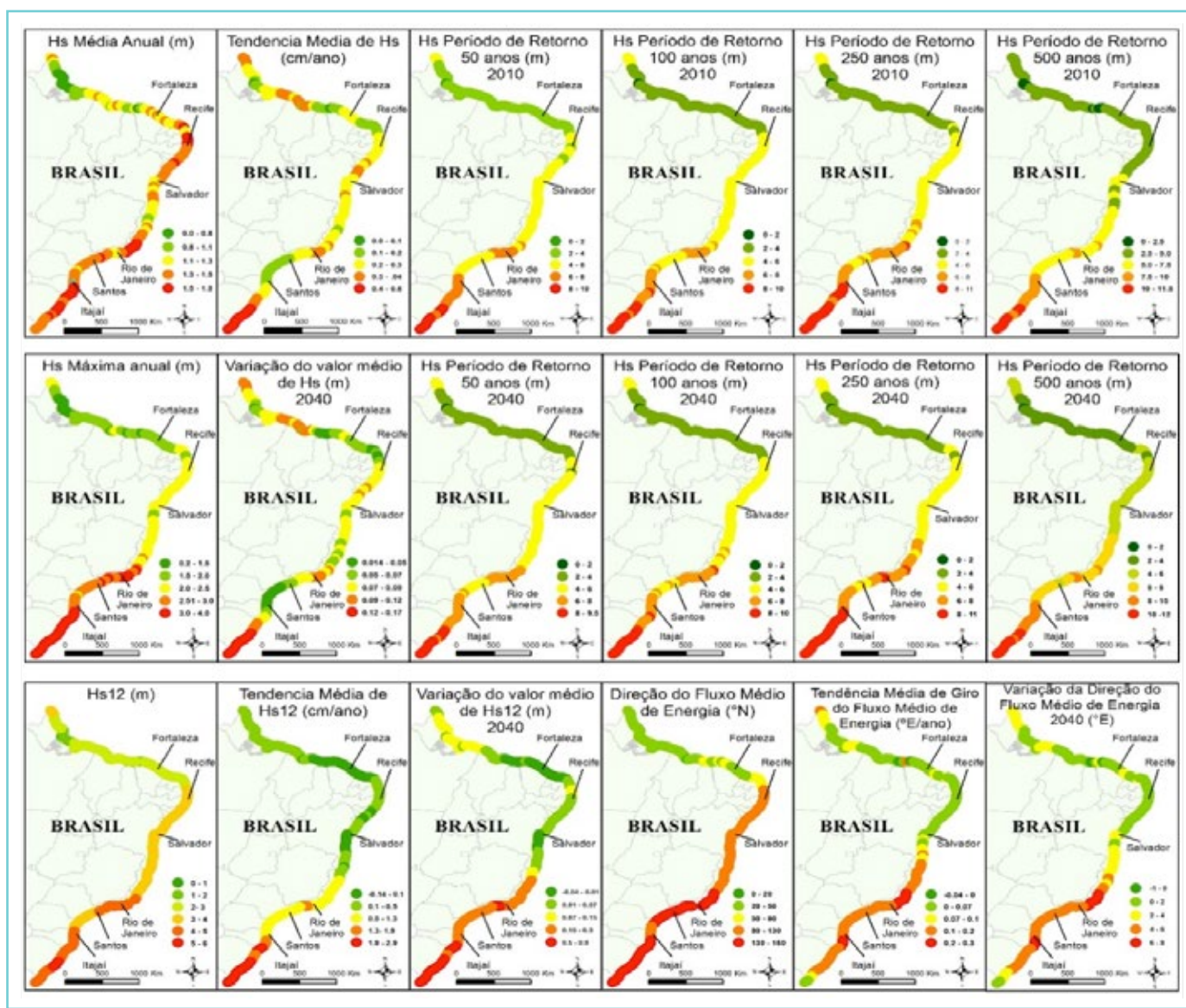
Baseado em projeções de elevação do NRM e considerando o nível de população de 2010, Strauss *et al.* (2015) mostram que no Brasil 8% dos habitantes de áreas costeiras seriam afetados em consequência de um aquecimento global de 4°C até 2080, mas que esta porcentagem poderia chegar a 5% se o aquecimento fosse limitado a 2°C.

### 2.4 Vulnerabilidades frente a eventos meteorológicos-oceanográficos extremos

Apesar de causarem implicações para operações e desenho de estruturas costeiras, bem como nos próprios ecossistemas costeiros (perda de habitats por erosão e/ou inundações), alterações nos climas de ventos e de ondas (intensidade, condições médias e direção), as projeções futuras de eventos meteorológicos-oceanográficos extremos (ressacas do mar e marés meteorológicas positivas) foram abordadas de forma apenas superficial no quarto relatório do IPCC (Reguero *et al.*, 2015).



Para a América Latina e Caribe, o tema foi estudado no âmbito do projeto: “Estudio de los Efectos del Cambio Climático en la costa de América Latina y el Caribe” (CEPAL, 2012; Reguero *et al.*, 2013; Izaguirre *et al.*, 2013). Um dos produtos desenvolvidos foi uma base de dados de reanálise de 60 anos (1948 a 2008) de ondas, disponibilizada ao público em sítio da web (<http://www.c3a.ihcantabria.com/>). Essa base foi gerada usando o modelo Wavewatch III (Reguero *et al.*, 2015), a partir de campos de vento e cobertura de gelo da reanálise NCEP-NCAR, com resolução em nível global e grade de 1,5° de longitude e 1° de latitude. Para a região do Atlântico, uma malha de resolução de 0,5° de longitude e 0,5° de latitude, foi aninhada à global. Os resultados foram uma série horária de vários parâmetros estatísticos de ondas. Os dados numéricos foram calibrados e validados com dados de altimetria de satélite entre 1992 e 2008, e dados de bóias (ondógrafos). Mudanças de longo prazo foram identificadas na altura da onda, no período e na direção do fluxo de energia de onda (Figura 2.9) (CEPAL, 2012; Reguero *et al.*, 2015).



**Figura 2.9** Alturas médias e significativas de ondas e fluxo de energia de ondas para a costa do Brasil, com diferentes períodos de retorno, para os cenários atual (2010) e projetados para 2040. Fonte: CEPAL (2012).



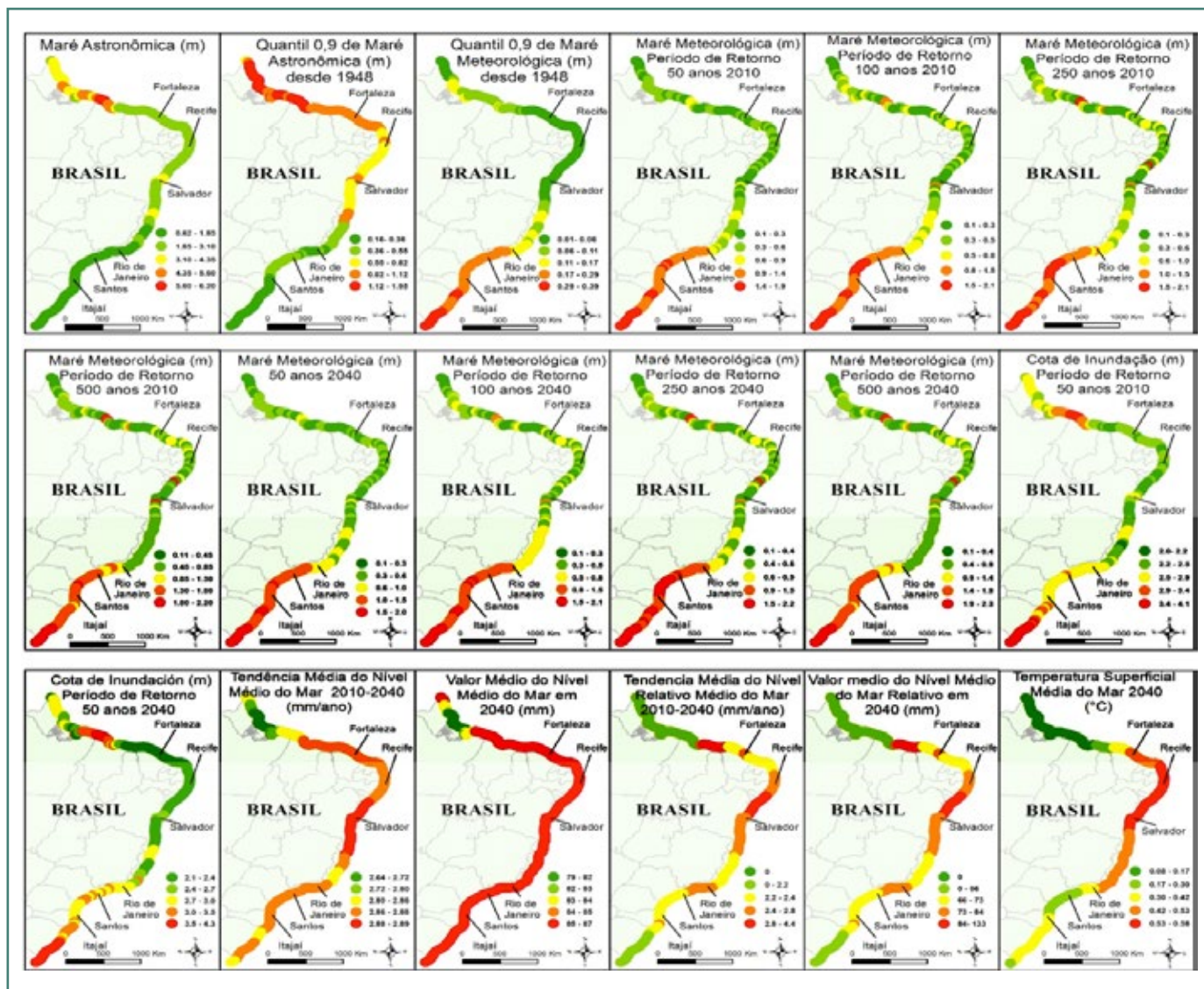
### 2.4 Vulnerabilidades frente a eventos meteorológicos-oceanográficos extremos

Ao fazer uma análise dos 60 anos de retroanálise, os autores evidenciam uma tendência de aumento da altura média anual da onda ( $H_s$ ), principalmente no Sul do Brasil, com valores ao redor de 6mm/ano (Reguero *et al.*, 2015) (Figura 2.9). Para a altura significativa de onda ( $H_{s12}$ ), indicador dos extremos anuais, as tendências foram maiores, com valores máximos também no Sul do Brasil, ao redor de 3cm/ano (Reguero *et al.*, 2015). Os resultados mostram ainda uma tendência de rotação horária da direção da onda, definida através do fluxo médio de energia das ondas, provavelmente relacionada com a tendência de ocorrência de mais tempestades em altas latitudes e menos em médias latitudes, fator pronunciado no Hemisfério Sul (Reguero *et al.*, 2015). Por exemplo, uma alteração de 1º na direção do fluxo médio de energia de onda em uma praia de enseada pode resultar em alteração de até 8,7m na posição da linha de costa (Reguero *et al.*, 2015), já que a linha de costa desse tipo de praia, comum na região Sul e Sudeste do Brasil, está orientada perpendicularmente à direção da onda predominante na região, ou seja ao fluxo médio de energia (Gonzales e Medina, 2001).

No entanto, Izaguirre *et al.* (2013) fizeram uma análise por estação do ano usando dados de reanálise apenas entre 1980 e 2008, e encontraram tendências discrepantes: de maneira geral, ocorreu um decréscimo significativo para a região Norte do Brasil, sendo que uma diminuição geral foi reportada principalmente para os meses de março-abril e maio, alcançando -1,5cm/ano para o Atlântico Sul. Essa discrepância justifica que sejam fomentadas novas análises para entender melhor a variabilidade temporal do clima de ondas no Brasil e para estabelecer cenários futuros mais confiáveis.

Quando se consideram as tendências de aumento do NRM, deve-se considerar não somente as mudanças do NMM, mas também mudanças no padrão das marés de tempestade e de eventos extremos que podem causar problemas na região costeira (Losada *et al.*, 2013). No relatório CEPAL (2012) e em Losada *et al.* (2013) foram analisados diferentes componentes do nível do mar total (definido pela maré astronômica, NMM mensal, marés de tempestades e taxa de subsidência) para explicar mudanças detectadas para a região da América Latina e Caribe. Os autores encontraram mudanças da ordem de 1,5mm/ano no nível das marés de tempestade para a região Sul do Brasil, diminuindo progressivamente para a região Norte. Enquanto que mudanças dos valores do NMM total foram mais importantes para a região tropical (Figura 2.10), onde os autores reportaram uma tendência de aumento de aproximadamente 2mm/ano para a costa norte Atlântica, entre 1950 e 2008.

Quando Reguero *et al.* (2015) analisaram 100 anos de período de retorno para determinado nível do mar, verificaram que este é maior para região Sul do Brasil, onde a tendência é dominada pelas marés de tempestade. Isto implica em dizer que áreas baixas, situadas na região costeira, estarão cada vez mais vulneráveis a inundações.



**Figura 2.10** Marés astronômica e meteorológica, cotas de inundação e tendências de aumento do NRM, com diferentes períodos de retorno, em cenários atual (2010) e projetados para o ano de 2040. Fonte: CEPAL (2012).

# Impactos Potencialmente Decorrentes ou Associados às Mudanças Climáticas em Áreas Urbanas Costeiras

## 3.1 Impactos da mudança do clima nos desastres naturais e na elevação do nível do mar: uma revisão da literatura

Os principais impactos decorrentes de mudanças climáticas são os efeitos da elevação do NRM, as alterações nos climas de vento e de ondas, o aumento na frequência dos extremos climáticos de chuva (tempestades, ciclones e outros) e temperatura, e a diminuição do aporte sedimentar das bacias hidrográficas (Wong *et al.*, 2014). Todos estes fatores estão intimamente relacionados com processos de erosão nos ambientes costeiros. Além disso, esses vários fatores apresentam grande sinergia. Por exemplo, as mudanças nos padrões de temperatura da superfície do mar influenciam o regime de ventos, atuando também sobre o padrão de formação das ondas sobre o nível do mar (eustasia por aquecimento). Alterações na intensidade, distribuição ou no clima dos ventos geram diferentes impactos na área costeira, contudo os mais significativos são sobre os corpos de água costeiros e os oceanos. Dentre esses, estão incluídas a geração de ondas, a indução de circulação de massas d'água e alterações no NMM. Como a circulação hidrodinâmica em corpos hídricos costeiros é muito dependente da ação dos ventos, a mudança no clima de ventos pode alterar o transporte de substâncias passivas (Neves e Muehe, 2008 a, b). Com o aquecimento, a água tende a evaporar mais rápido, o que gera 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 causará alteração no padrão dos processos sedimentares e, conseqüentemente, no balanço sedimentar costeiro.

---

*Segundo Neves e Muehe (1995), mudanças climáticas e um acelerado ritmo de elevação do NRM podem ter sérios impactos nas áreas costeiras do Brasil.*

---



Segundo Neves e Muehe (1995), mudanças climáticas e um acelerado ritmo de elevação do NRM podem ter sérios impactos nas áreas costeiras do Brasil. Os impactos socioeconômicos seriam mais restritos às vizinhanças das 10-15 maiores cidades costeiras (vide Tabela 1.1 e Figuras 1.1, 2), que ocupam uma extensão de 1300km da linha costeira, ou seja, 17% da linha costeira do Brasil.

Dentre as suas principais consequências destacam-se: aumento da erosão costeira (linha de costa oceânica e estuarina); migração vertical do perfil praial; aumento da frequência, intensidade e magnitude das inundações costeiras; mudanças nos processos sedimentares e conseqüentemente no balanço sedimentar costeiro; perdas de terrenos naturais e urbanizados; fragmentação e até perda completa de ecossistemas lindeiros à linha de costa oceânica e estuarina/lagunar; migração vertical de espécies e até de ecossistemas inteiros; aumento da vulnerabilidade de pessoas e bens; redução dos espaços habitáveis; salinização do aquífero costeiro e das águas superficiais; comprometimento dos sistemas de saneamento básico (esgoto e água potável); impactos positivos e negativos nas atividades portuárias/retroportuárias; perda de solos férteis; problemas nas atividades agropecuárias, industriais, turísticas e de serviço-comércio; comprometimento dos recursos pesqueiros; comprometimento da beleza cênica; perda de potencial turístico; alto custo para manutenção/recuperação/mitigação; problemas de aplicação da legislação ambiental vigente; prejuízos socioeconômicos; perda da qualidade de vida (Souza, 2011).

Por outro lado, considerando as conseqüências devido somente à erosão costeira no Brasil, os impactos podem ser diversos, destacando-se: redução na largura da praia e ou recuo da linha de costa; desaparecimento da zona de pós-praia e até da própria praia; erosão na porção a jusante dos sistemas fluviais-estuarinos, com possível alteração da circulação estuarina; perda de propriedades e bens ao longo da linha de costa; destruição de estruturas artificiais paralelas e transversais à linha de costa; problemas e até colapso dos sistemas de esgotamento sanitário (obras enterradas e emissários submarinos); diminuição da balneabilidade das águas costeiras; perda de recursos pesqueiros; perda do valor paisagístico da praia e/ou da região costeira; perda do valor imobiliário de habitações costeiras; comprometimento do potencial turístico da região; prejuízos nas atividades socioeconômicas ligadas ao turismo e ao lazer na praia; artificialização da linha de costa (obras de “proteção” costeira); gastos elevados com a recuperação de praias e a reconstrução da orla marítima (Tabela 3.1).

## Impactos Potencialmente Decorrentes ou Associados às Mudanças Climáticas em Áreas Urbanas Costeiras

### 3.1 Impactos da mudança do clima nos desastres naturais e na elevação do nível do mar: uma revisão de literatura



**Tabela 3.1.** Mudanças ambientais, impactos da elevação do NRM e respostas em ambientes naturais e antrópicos da zona costeira. Fonte: Souza (2011).

| MUDANÇAS AMBIENTAIS E IMPACTOS   | RESPOSTAS - AMBIENTES NATURAIS  | RESPOSTAS - AMBIENTES ANTROPIZADOS  |
|--|---|---|
| Aumento ou desencadeamento de erosão costeira de médio a longo período (praias, estuários e costões rochosos).                               | Perda e fragmentação de ecossistemas (praias, dunas, manguezais, brejos, florestas de "restinga", costões rochosos, ilhas arenosas e restingas s.s.); Migração vertical do perfil praial; Soterramento de ecossistemas lindeiros à praia; Redução do balanço sedimentar da praia; Retenção de sedimentos na parte submersa do perfil praial e plataforma continental interna; Redução do balanço sedimentar da praia; Mortandades, seleção natural, desaparecimento e introdução de espécies vegetais e animais nos ambientes lindeiros à orla.     | Erosão, destruição e/ou comprometimento de propriedades e bens; Redução de espaços habitáveis; Aumento da vulnerabilidade de pessoas e bens; Problemas com atividades portuárias/retroportuárias (estruturas, dragagens), industriais (ex. petróleo e gás), turísticas e de serviço-comércio; Comprometimento da beleza cênica; Perda de potencial turístico; Problemas com aplicação da legislação ambiental vigente (ex. Terrenos de Marinha e Áreas de Preservação Permanente); Alto custo de manutenção/recuperação/mitigação; Prejuízos socioeconômicos; Perda da qualidade de vida. |
| Mudanças na dinâmica de circulação costeira, estuarina e lagunar de médio a longo período.   | Mudanças nos processos sedimentares (erosão, transporte, deposição/assoreamento); Alteração no balanço sedimentar costeiro; Aumento da atividade dos sistemas de lagunas-barreiras, podendo haver crescimento vertical e longitudinal das barreiras, mas erosão frontal e à retaguarda das mesmas; Desequilíbrios na manutenção e distribuição geográfica da produção primária e dos recursos pesqueiros.   | Impactos positivos e negativos nas atividades portuárias/retroportuárias (desassoreamento, movimentação de navios); Comprometimento dos recursos pesqueiros; Prejuízos socioeconômicos; Perda da qualidade de vida.   |
| Migração vertical e lateral de ecossistemas dependentes das oscilações de maré (praias, manguezais / marismas / apicuns e costões rochosos). | Migrações, contrações e expansões dos limites de distribuição geográfica de ecossistemas; Mortandades, doenças, mutações e adaptações genéticas, seleção natural, desaparecimento e introdução de espécies; Destruição total (barreiras antrópicas) ou parcial (inicialmente) de manguezais; Migração dos manguezais e apicuns para montante, com invasão paulatina de ambientes fluviais e depressões paleolagunares-estuarinas (alguns ecossistemas poderão desaparecer); Migração vertical da zonação de vida dos costões rochosos e das praias. | Redução dos estoques pesqueiros; Prejuízos nas atividades agropecuárias; Comprometimento da beleza cênica; Perda de potencial turístico; Prejuízos socioeconômicos; Perda da qualidade de vida.   |
| Elevação do nível de base regional.  | Redução da produção de sedimentos no continente; Alteração do balanço sedimentar costeiro.  | Problemas com as redes de esgoto e de fornecimento de água potável (gravidade e refluxo); Diminuição dos recursos hídricos e fornecimento de água potável; Alto custo de manutenção/recuperação/mitigação; Prejuízos socioeconômicos; Perda da qualidade de vida.   |

Continuação **Tabela 3.1.**

| MUDANÇAS AMBIENTAIS E IMPACTOS   | RESPOSTAS - AMBIENTES NATURAIS   | RESPOSTAS - AMBIENTES ANTROPORIZADOS  |
|--|--|---|
| Aumento da intrusão da cunha salina (subterrânea e superficial).                   | Salinização do aquífero costeiro; Salinização dos corpos d'água superficiais; Migração vertical e lateral de ecossistemas dependentes dos ciclos de maré; Modificações paulatinas nos processos biogeoquímicos do solo e da vegetação (raízes); Mortandades, doenças, mutações e adaptações genéticas, seleção natural, desaparecimento e introdução de espécies; Mudanças na manutenção e distribuição da produção primária e dos recursos pesqueiros; Aumento da turbidez das águas; Eutrofização de corpos d'água.  | Diminuição dos recursos hídricos potáveis (água doce); Problemas com redes de esgoto e fornecimento de água potável; Perda de solos férteis; Problemas nas atividades agropecuárias; Alto custo de manutenção / recuperação / mitigação; Prejuízos socioeconômicos; Perda da qualidade de vida.   |
| Elevação do nível do lençol freático.  | Alagamento periódico a permanente de depressões e terrenos de baixas altimetria e declividade; Afloramento permanente do lençol em determinadas áreas (depressões paleolagunares-estuarinas, entrecordões litorâneos, interdunas, zonas de deflação eólica); Modificações paulatinas nos processos biogeoquímicos do solo e da vegetação (raízes); Alterações na fertilidade dos solos; Migração e lixiviação de nutrientes; Reativação de processos de podzolização (espodossolos); Morte e/ou migração de espécies vegetais e animais; Modificações na estrutura e composição da vegetação; Modificação paulatina da fitofisionomia e da fauna; Eutrofização de corpos d'água. | Redução dos estoques pesqueiros; Problemas com as redes de esgoto e de fornecimento de água potável (gravidade e refluxo); Comprometimento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; Problemas em atividades agropecuárias, industriais (ex. petróleo e gás), turísticas e de serviço-comércio; Impactos negativos no turismo; Alto custo de manutenção / recuperação/mitigação dos danos; Prejuízos socioeconômicos; Perda da qualidade de vida.  |
| Aumento da frequência, intensidade e magnitude das inundações costeiras (ressacas) | Perda progressiva de terrenos naturais (diferentes ecossistemas); Inundações periódicas em terrenos da orla (águas mixohalinas e halinas); Salinização dos terrenos e do lençol freático; Migração vertical e lateral da cunha salina; Modificações paulatinas nos processos biogeoquímicos nesses locais; Alteração dos nutrientes e aumento da lixiviação; Mortandades, doenças, desaparecimento, migração e introdução de espécies vegetais e animais; Mudanças na estrutura e composição da vegetação; Migração vertical de ecossistemas; Modificação da fitofisionomia local.   | Erosão, destruição e/ou comprometimento de propriedades e bens; Redução de espaços habitáveis; Aumento da vulnerabilidade de pessoas e bens; Impactos positivos e negativos nas atividades e estruturas portuárias/retroportuárias; Perda de solos férteis; Problemas nas atividades agropecuárias, industriais (ex. petróleo e gás), turísticas e de serviço-comércio; Problemas com as redes de esgoto e de fornecimento de água potável (gravidade e refluxo); Comprometimento da beleza cênica; Perda de potencial turístico; Problemas com aplicação da legislação ambiental vigente (ex. Terrenos de Marinha e Áreas de Preservação Permanente); Alto custo de manutenção / recuperação / mitigação; Prejuízos socioeconômicos; Perda da qualidade de vida. |

## Impactos Potencialmente Decorrentes ou Associados às Mudanças Climáticas em Áreas Urbanas Costeiras

### 3.1 Impactos da mudança do clima nos desastres naturais e na elevação do nível do mar: uma revisão de literatura

Quanto ao aumento do NRM, projeções globais indicam que poderá variar entre 0,26 e 0,55m em um cenário otimista, e entre 0,45 e 0,82m até 2100, em um cenário mais pessimista (IPCC, 2013). Números similares são apresentados para a costa do Brasil (vide Tabela 2.1). Para a América Central e do Sul, a Figura 3.1 mostra os possíveis impactos decorrentes de tendências observadas e projetadas de elevação de NRM. Considerando que a probabilidade de inundações aumenta com a elevação do NRM, pode ser esperada uma maior probabilidade de inundações em áreas que apresentam mais de 40% de mudanças no NRM observado nos últimos 60 anos – como no caso de várias metrópoles costeiras brasileiras. Inundações intensas podem ser mais frequentes, porque o período de retorno pode diminuir e áreas costeiras urbanas podem ser particularmente afetadas. A Figura 3.1 também sugere que erosão costeira pode aumentar no Sul do Brasil (ECLAC, 2011) e que em partes da costa sul-sudeste brasileira, caso não haja estruturas de proteção, existiria uma redução na confiabilidade da infraestrutura, devido ao possível aumento na altura das ondas (ECLAC, 2011; Magrin *et al.*, 2014).



**Figura 3.1** Impactos em áreas costeiras observados e projetados na América Central e América do Sul (ECLAC, 2011; Magrin *et al.*, 2014).



Souza (2009) apresentou uma avaliação econômica qualitativa sobre como uma série de problemas ambientais da zona costeira, uma vez instalados, podem responder negativamente (impactos econômicos maiores, menores, de difícil avaliação e sem impacto direto) no desenvolvimento das próprias atividades socioeconômicas estabelecidas, num ciclo Pressão-Mudança-Impacto-Resposta (Tabela 3.2). A autora concluiu que todos os perigos costeiros de origem hidrometeorológica, bem como a elevação do NRM e as mudanças climáticas, afetam de maneira mais efetiva o desenvolvimento socioeconômico de uma região. O exemplo foi aplicado para o litoral do Estado de São Paulo (Brasil), mas pode ser estendido para toda a zona costeira brasileira. Num contexto de projeções futuras sob os efeitos das mudanças climáticas, esses resultados certamente se amplificam. Avaliações como esta são úteis para orientar os gestores públicos e até mesmo o setor econômico e a sociedade civil na busca de soluções, mitigações e adaptações para lidar com esses problemas.



**Tabela 3.2.** Avaliação qualitativa de impactos econômicos sobre atividades antrópicas na zona costeira do Estado de São Paulo, gerados por processos e problemas geoambientais já instalados. Onde: \$\$ = maiores impactos; \$ = menores impactos; N\$ = impactos de difícil avaliação; N = sem impacto direto. Fonte: Souza (2009)

| ATIVIDADES ANTRÓPICAS IMPACTADAS       | PROBLEMAS AMBIENTAIS INSTALADOS |                     |                        |                          |                               |  |   |
|--|---------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|--|---|
|  | Erosão Costeira                 | Movimentos de Massa | Inundações e Enchentes | Intrusão da Cunha Salina | Assoreamento de Cursos d'Água | Poluição (Balneabilidade e Eutrofização) | Elevação Atual do Nível do Mar, Mudanças Climáticas |
| Turismo e Lazer                        | \$\$                            | \$ - \$\$           | \$\$                   | N\$                      | \$\$                          | \$\$                                     | \$\$ - N\$  |
| Suprimento de Água Doce                | N                               | \$\$                | \$                     | \$ - N\$                 | \$\$                          | \$\$                                     | N\$   |
| Pesca e Aquicultura                    | \$ - \$\$                       | \$ - \$\$           | \$\$                   | \$\$                     | \$\$                          | \$\$                                     | \$\$ - N\$  |
| Comércio, Serviços, Porto e Indústrias | \$\$                            | \$\$                | \$\$                   | N\$                      | \$\$                          | \$\$                                     | \$\$ - N\$  |
| Agricultura e Pecuária                 | \$ - N\$                        | \$                  | \$\$                   | \$\$                     | \$\$                          | \$\$                                     | \$\$  |
| Saúde Pública                          | N\$ - \$\$                      | \$                  | \$\$                   | \$                       | N\$                           | \$\$                                     | N\$   |
| Conservação de Ecossistemas Costeiros  | \$\$                            | \$\$                | \$\$                   | \$\$                     | \$\$ - N\$                    | \$\$                                     | \$\$ - N\$  |

## 3.2 Infraestrutura urbana em áreas costeiras (edificações, transportes, energia, recursos hídricos e saneamento, resíduos sólidos) frente às mudanças climáticas

Nas cidades costeiras, as mudanças climáticas também causam grandes impactos adversos sobre a infraestrutura. Aumentos na temperatura podem produzir rachaduras em estradas, empenamento de ferrovias e enchentes em aeroportos, e também afetar a circulação atmosférica regional, impactando inundações costeiras, e tempestades afetando terminais, conglomerados de frete, áreas de armazenagem e carga, além de prejudicar as cadeias de suprimentos e o transporte. Isso pode ter implicações de longo alcance no comércio internacional, uma vez que mais de 80% do comércio global de bens (por volume) é transportado pelo mar. Edificações, suprimento de energia, saneamento e recursos hídricos, bem como manejo de resíduos sólidos, são todos aspectos infraestruturais vulneráveis sob distintos cenários de impactos gerados pelas mudanças climáticas.

---

*A existência de várias opções de infraestrutura costeira disponíveis para os tomadores de decisões vai permitir comparações entre os possíveis impactos nos serviços ecossistêmicos e infraestrutura, em preparação para um cenário futuro de elevação no NMM.*

---



A existência de várias opções de infraestrutura costeira disponíveis para os tomadores de decisões vai permitir comparações entre os possíveis impactos nos serviços ecossistêmicos e infraestrutura, em preparação para um cenário futuro de elevação no NMM. Um estudo de Hill (2015) avalia vários tipos de infraestrutura física, incluindo estruturas híbridas que combinam elevação do terreno com elementos de concreto e aço, baseado no histórico de diferentes práticas de engenharia. Este tipo de estrutura pode ser otimizado nas várias fases de adaptação costeira e podem fornecer benefícios (proteger ecossistemas e minimizar enchentes em cidades costeiras). Fatores importantes no contexto de geomorfologia, ecologia e uso da terra devem ser considerados ao selecionar infraestruturas estratégicas para proteção de cidades costeiras frente à elevação do NMM. O estudo de Hill (2015) descreve uma experiência em San Francisco, EUA, mas no caso do Brasil ainda não se tem experiências destes tipos de aplicações.

Quanto às edificações, a maior parte das cidades latino-americanas concentram moradias de pessoas de baixa renda em áreas costeiras e continentais, sob alto risco de serem afetadas por eventos extremos de tempo e clima. Ainda que muitas cidades tenham melhorado notavelmente em relação ao gerenciamento de risco ambiental, existem algumas exceções. Em geral, as prefeituras não têm implementado mecanismos de governança necessários para enfrentar problemas ambientais, e isso inclui várias cidades brasileiras (PBMC, 2014). Eventos de natureza extrema (ondas, maré meteorológica e ressacas, ciclones e tempestades), junto com a elevação do NMM, são sérias ameaças de colapso das edificações e estruturas costeiras. Zee (2008) acrescenta que a elevação do NRM compromete a drenagem das cidades costeiras dificultando a dispersão dos efluentes urbanos e, traz como consequência, o aumento da poluição das águas.

Uma elevação de apenas um metro no nível dos oceanos já poderia ser suficiente para impedir a circulação de carros em grande parte das vias construídas em aterros da faixa de praia. A interiorização dessas vias não é simples, uma vez que implicaria em desapropriações onerosas, já que são áreas muito valorizadas pelo mercado imobiliário. Outra dificuldade a ser enfrentada por algumas cidades costeiras seria com o esgoto que é coletado, transportado e lançado ao mar através de emissários submarinos, sem tratamento prévio, uma vez que a vazão desse material é calculada para ser realizada com níveis do mar mais baixos que os projetados pelas mudanças climáticas. Caso esses dutos não sejam redimensionados, corre-se o risco de refluxo desse material para a cidade, o que agravaria a poluição das praias e aumentaria o risco de ocorrência de doenças na população (Ribeiro, 2008).

Segundo o IPCC (2014), mobilidade urbana e os sistemas de transportes são um dos setores mais difíceis de serem adaptados para lidar com as mudanças climáticas. As pesquisas se concentram nas interações entre infraestrutura de transportes, condições meteorológicas extremas, alterações climáticas e seus impactos, e como tornar as cidades mais resilientes. Eles estão suscetíveis a efeitos devastadores e de grandes implicações para as cidades, com efeitos locais, secundários, regionais e globais. Por exemplo, a elevação do NMM poderá provocar a inundação de rodovias costeiras ou mesmo de extensos centros urbanos. Além disso, a modificação da intensidade e da frequência de ventos extremos poderá acarretar danos em estruturas como pontes, viadutos, calçadões, passarelas e placas de sinalização (Hardoy e Pandiella, 2009).

O comportamento de mobilidade dos usuários frente às mudanças climáticas tem sido pouco estudado e tem lacunas de conhecimento sobre formas como os extremos do clima influenciam as escolhas modais e as decisões de se deslocar ou não pela cidade. Assim, mudanças na precipitação e no NMM como consequência da mudança global do clima poderão afetar a infraestrutura de transporte, antecipando a vida média da infraestrutura construída (PBMC, 2014). Os efeitos das mudanças dos níveis de precipitação poderão afetar fundações e pavimentações, especialmente quando os níveis de precipitação aumentarem significativamente em relação aos níveis atuais (Meyer, 2008). O planejamento de transportes opera em diversas escalas de tempo, e será importante que no futuro leve em consideração prováveis mudanças (Lindquist, 2007; PBMC, 2014). Com o aumento da ocorrência e intensidade de eventos climáticos extremos, a infraestrutura deverá ser adaptada para suportar as novas condições adversas como forma de promover resiliência no setor de transporte às mudanças climáticas.

## Impactos Potencialmente Decorrentes ou Associados às Mudanças Climáticas em Áreas Urbanas Costeiras

### 3.2 Infraestrutura urbana em áreas costeiras (edificações, transportes, energia, recursos hídricos e saneamento, resíduos sólidos) frente às mudanças climáticas

A elevação do NRM também ameaça a infraestrutura vital, povoadamentos e instalações, comprometendo o bem-estar socioeconômico, inclusive a mobilidade, em cidades costeiras. A degradação na infraestrutura 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 (IPCC, 2014). Chuvas intensas e enchentes podem também contaminar a água de superfície e afetar a saúde ambiental em áreas urbanas (PBMC, 2014).

Grandes centros urbanos costeiros estão expostos à elevação do NMM, como as cidades de Vila Velha e Vitória (Espírito Santo), Santos (São Paulo) Salvador (Bahia), que atualmente apresentam uma grande exposição ao aumento do NMM (Almeida *et al.*, 2016). Na cidade de Florianópolis, por exemplo, a via de acesso ao aeroporto seguidamente é interrompida devido a níveis extremos de elevação do NMM. O mesmo também é reportado para cidade de Recife, onde há alagamentos de vias durante níveis extremos do NMM. Tais efeitos tendem a ser amplificados com as mudanças climáticas (PBMC, 2014).

No Brasil, grandes portos como Rio Grande, Itajaí, Santos, Rio de Janeiro, Paranaguá e Belém podem estar sob risco, porque suas instalações de transporte são localizadas, em sua maioria, ao longo da orla. Em muitas áreas costeiras, povoadamentos urbanos em crescimento também afetaram a habilidade natural dos sistemas costeiros em responder efetivamente a eventos climáticos extremos, tornando-os assim mais vulneráveis. As estruturas de engenharia costeira, a ocupação humana e outras atividades socioeconômicas aumentaram a vulnerabilidade da costa aos processos oceânicos (ex.: ondas de ressaca) e potencializaram o risco de erosão costeira e de alagamentos oceânicos, às vezes causando fortes danos físicos, econômicos, sociais e patrimoniais em núcleos urbanos costeiros (ex.: Fortaleza, Natal, João Pessoa, Recife, Paulista, Rio de Janeiro, Itajaí, Florianópolis e Santos). Apesar disso, a pressão humana (por exemplo, demanda turística) tem aumentado durante os últimos anos, sem qualquer preocupação com a capacidade de resiliência do sistema costeiro (Paula *et al.*, 2015).

Na linha da costa, o impacto das marés meteorológicas e a elevação do NRM pode ter efeitos catastróficos sobre áreas costeiras urbanas e instalações portuárias. Cidades com extensas instalações portuárias e indústrias são especialmente vulneráveis aos riscos do aumento de inundações (Hallegatte *et al.*, 2013), como no caso da cidade de Santos, na costa de São Paulo e Itajaí na costa de Santa Catarina.

Comunidades costeiras sob grande risco aos extremos da variabilidade climática e às mudanças de clima, incluem aquelas que dependem do turismo costeiro e pesca. Esses riscos podem também levar ao fechamento de refinarias em zonas costeiras e a um aumento no custo de operação das plataformas marinhas, que vão ter que ser mais resistentes a ondas e ventos mais intensos associados a ciclones, a tempestades e ressacas.

---

*Enchentes-relâmpago podem causar a destruição de edificações, de obras de infraestrutura urbana (barragens, reservatórios), colocando em risco a integridade física das pessoas residentes em áreas ribeirinhas.*

---



As condições geomorfológicas e climáticas presentes em locais de relevo mais acidentado, principalmente nos compartimentos geomorfológicos de maciços, morros e morrotes em diversas regiões do país, permitem a ocorrência de escoamento superficial de alta energia, ou seja, grande volume e velocidade das águas, em razão das altas declividades dos terrenos marginais das porções de cabeceira de drenagem em vales encaixados, deflagrados por eventos localizados de chuva com elevados índices de pluviosidade instantânea, como é o caso de Rio de Janeiro, Vale do Itajaí e Santos. Enchentes-relâmpago podem causar a destruição de edificações, de obras de infraestrutura urbana (barragens, reservatórios), colocando em risco a integridade física das pessoas residentes em áreas ribeirinhas. Assentamentos humanos ao longo de cursos d'água e da linha costeira podem ser afetados gravemente. Além disso, a energia erosiva destes processos tende a causar o assoreamento dos trechos de jusante nos cursos d'água, propiciando condições para a ocorrência de inundações (IPT, 2004; Nobre *et al.*, 2011). Erosões e assoreamentos também podem ser verificados em regiões portuárias, em especial nas áreas de remanso e nas desembocaduras estuarinas e em baías costeiras (PBMC, 2014), causando paralisações e prejuízos sociais e econômicos.

Ao longo da orla marítima do Brasil, diversas indústrias estão sujeitas a eventos meteorológicos-oceanográficos extremos. A elevação do NRM associada a esses eventos extremos deverá aumentar os riscos de enchentes e inundações na zona costeira, ameaçando os sistemas de transporte, telecomunicações, fornecimento de água e energia (Rosenzweig *et al.*, 2011), afetando direta e indiretamente os parques industriais instalados, portos e aeroportos.

## Impactos Potencialmente Decorrentes ou Associados às Mudanças Climáticas em Áreas Urbanas Costeiras

### 3.2 Infraestrutura urbana em áreas costeiras (edificações, transportes, energia, recursos hídricos e saneamento, resíduos sólidos) frente às mudanças climáticas

Na região de Santos, as infraestruturas mais vulneráveis aos riscos futuros estão em áreas onde existem diques, mas suas paredes podem não ser fortes o suficiente para enfrentar a futura erosão das praias e elevação do NMM (Sousa e Green, 2016). Para continuar avançando e reduzir suas vulnerabilidades, as cidades brasileiras precisam contar com fontes seguras e previsíveis de recursos, assim como fortalecer sua capacidade de planejamento, elaboração, implementação e adaptação de projetos e infraestruturas de transporte.

*O estudo da SAE usou as projeções de nível do mar do IPCC para estimar risco de alagamento e ressacas em Santos e no Rio de Janeiro. Foram mapeadas as zonas em risco alto e muito alto de deslizamento, ressaca e inundação, o que inclui hospitais e a infraestrutura de transporte público, além de estações de tratamento de esgotos.*



O Relatório Brasil 2040 (SAE, 2015) estudou, entre outras coisas, os impactos da elevação do NMM na infraestrutura costeira, incluindo portos. O estudo mostra que a elevação do NMM, por exemplo, poderá provocar a inundação de rodovias costeiras. Além disso, a modificação da intensidade e da frequência de ventos extremos poderá acarretar danos em estruturas como pontes, viadutos, passarelas e placas de sinalização. O estudo da SAE usou as projeções de nível do mar do IPCC para estimar risco de alagamento e ressacas em Santos e no Rio de Janeiro. Foram mapeadas as zonas em risco alto e muito alto de deslizamento, ressaca e inundação, o que inclui hospitais e a infraestrutura de transporte público, além de estações de tratamento de esgotos. Os resultados mostram que quase todos os portos do país necessitam de medidas de adaptação, seja para aumentar o espaço seco entre o cais e a água, seja para aumentar o calado por causa de assoreamento. O custo dessas medidas, que inclui a construção de quebra-mares, foi calculado em R\$ 7 bilhões. A Linha Vermelha, no Rio de Janeiro, está longe da praia, mas deve alagar com frequência ainda maior devido ao efeito de “barragem” que o mar mais alto exerce sobre os canais que a rodovia cruza. O quadro que emerge nas duas cidades é o de colapso urbano em caso de ressacas e inundações muito graves no futuro, e se reproduz por diversas outras cidades costeiras no Brasil (ex. Florianópolis, Itajaí, Recife etc.). Apenas no Rio de Janeiro, o patrimônio imobiliário sob alto risco foi estimado em R\$ 124 bilhões. Em termos de vulnerabilidade, o risco nessas regiões é médio – há áreas no Rio de Janeiro muito mais vulneráveis, como a Ilha do Fundão e o aeroporto de Santos Dumont.

O mesmo relatório da SAE (2015) também avaliou os riscos dos portos do Brasil. No porto de Santos, que foi projetado para ter uma borda livre de apenas 1,18m (quando o recomendável é de 1,58m), já fica hoje com apenas 0,95m de borda em momentos de maré baixa. Isso pode cair para 0,72m até 2040 no pior cenário. Em Santos, por exemplo, o código de habitações ainda permite construções insulares que são muito vulneráveis, como os estacionamentos em subsolo. Eles já sofrem com inundações e isso tende a ser exacerbado com a mudança climática. O zoneamento urbano e os planos de mobilidade têm de levar isso em conta.

Uma característica frequentemente encontrada nas cidades costeiras brasileiras é a intensa verticalização, que pode ser verificada em Santos e São Vicente, para citar um aglomerado urbano importante no Estado de São Paulo, e em metrópoles regionais como Fortaleza e Recife, além do Rio de Janeiro, litoral norte de Santa Catarina, entre outras. Além disso, é comum o uso da orla para circulação de veículos, com vias expressas junto ao mar. O uso da costa terá que ser reavaliado à luz das mudanças climáticas, e a presença de indústrias na costa brasileira terá que ser protegida. Centros industriais como Cubatão, em São Paulo, terão dificuldades em manter as unidades fabris com a elevação da água do mar (Ribeiro, 2008), o mesmo pode-se dizer do setor industrial metalomecânica da Cidade de Joinville, SC, entre outras.

---

*Um aspecto importante na avaliação de vulnerabilidades em cidades costeiras do Brasil se refere a ter um maior conhecimento sobre tendências e projeções de tempestades e ressacas.*

---



Um aspecto importante na avaliação de vulnerabilidades em cidades costeiras do Brasil se refere a ter um maior conhecimento sobre tendências e projeções de tempestades e ressacas. Num estudo recente de Reed *et al.* (2015), desenvolvido para Nova Iorque, foram avaliadas tendências observadas e projeções de ciclones tropicais que podem produzir tempestades extremas que geram intensas ressacas, tal como aconteceu em 2012 durante o Furacão Sandy, que causou perdas estimadas em US\$ 50 bilhões, e destruiu 650.000 casas devido a uma enchente costeira, consequência da ressaca de 3-4m. Este tipo de avaliação ainda não foi feita no Brasil devido à falta de um histórico de estatísticas confiáveis de tempestades e ressacas no longo prazo, que possam ser usadas para validar simulações de modelos climáticos e para projetar impactos na elevação do NMM no futuro em cidades costeiras brasileiras.

## Projeções de mudanças climáticas e impactos nas cidades costeiras (extremos, desastres naturais, e nível do mar)

As projeções de clima futuro apresentadas neste relatório resultam da redução de escala (regionalização) das projeções dos modelos climáticos globais HadGEM2-ES e MIROC5, a partir do modelo Eta do INPE (Chou *et al.*, 2014a;b), e na resolução horizontal de 20km, adotando os cenários RCP4.5 e RCP8.5 (IPCC, 2013). Estas simulações foram utilizadas para apoiar a Terceira Comunicação Nacional do Brasil (MCTI, 2016). As simulações em que o modelo Eta foi forçado pelas simulações do modelo HadGEM2-ES são denominados doravante como Eta-HadGEM, enquanto que aquelas simulações forçadas pelo modelo MIROC5, são denominadas Eta-MIROC. As análises a seguir se baseiam nas diferenças entre os climas futuros e o clima presente. Nas análises sazonais e espaciais, foram considerados 30 anos para cada período climático, sendo o clima presente de 1961-1990, e os climas futuros de 2011 a 2040, de 2041 a 2070, e de 2071 a 2100. Portanto, diferenças positivas indicam aumento no período futuro em relação ao período de 1961-1990, e diferenças negativas indicam redução. As análises se concentram nas mudanças na precipitação, temperatura e vento. Extremos de precipitação e temperatura também são discutidos. Resultados concordantes entre as quatro opções: Eta-HadGEM RCP4.5, Eta-HadGEM RCP 8.5, Eta-MIROC5 RCP4.5 e Eta-MIROC 8.5, serão apontados para indicar algum grau de confiabilidade. Da mesma forma, na medida do possível, projeções discordantes entre Eta-HadGEM e Eta-MIROC5 serão apontadas para indicar a incerteza associada às projeções climáticas e o caráter de baixa confiabilidade do resultado.

---

*As análises foram feitas para a região do Vale do Itajaí, as cidades de Florianópolis, Santos, Rio de Janeiro, Salvador, Recife, João Pessoa, Natal, Fortaleza, Belém e Macapá. Estas cidades e seu entorno foram escolhidos por apresentarem vulnerabilidades a diferentes perigos, como deslizamento de terra, inundação, danos nas atividades econômicas, etc.*

---



As projeções são apresentadas a seguir por região e por cidades. As análises foram feitas para a região do Vale do Itajaí, as cidades de Florianópolis, Santos, Rio de Janeiro, Salvador, Recife, João Pessoa, Natal, Fortaleza, Belém e Macapá. Estas cidades e seu entorno foram escolhidos por apresentarem vulnerabilidades a diferentes perigos, como deslizamento de terra, inundação, danos nas atividades econômicas, etc.



Foram extraídas as informações das caixas de grade do modelo Eta que contém o ponto das cidades. Essas informações na forma de séries temporais foram construídas e plotadas para análise das tendências das mudanças. As análises se baseiam na anomalia de precipitação (mm/dia), temperatura a 2m (°C), vento a 10m (m/s), de alguns índices extremos e na diferença entre o período futuro e o clima presente. Foram calculadas as médias dessas variáveis para a linha de base, nesse caso de 1961 a 1990, a partir dos downscalings Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5. As anomalias e diferenças foram calculadas subtraindo-se o valor médio da linha de base dos valores anuais entre 1961 e 2099, considerando o período histórico, de 1961-1990, e os períodos futuros dos cenários, RCP4.5 e RCP8.5 de cada modelo. Os índices de extremos climáticos considerados são: CDD (máximo anual de dias consecutivos secos), CWD (máximo anual de dias consecutivos úmidos), RX1DAY (máximo anual de chuva acumulada em 1 dia), RX5DAY (máximo anual de chuva acumulada em 5 dias) e R95p (quantidade de chuva acima do percentil 95 da linha de base), TN90p (porcentagem de dias do ano em que as temperaturas mínimas excederam o percentil 90 da linha de base), TX90p (porcentagem de dias do ano em que as temperaturas máximas excederam o percentil 90 da linha de base), WSDI (número de dias consecutivos em que a temperatura excedeu o percentil 95 da linha de base, indica a duração das ondas de calor). Os resultados para cada caso de estudo aparecem na Seção 7.



## Alternativas de adaptação em áreas urbanas costeiras

Os possíveis impactos da elevação do mar podem se resumir em: (a) estabelecimento ou variação da intensidade de erosão; (b) modificação da frequência e intensidade de inundações costeiras; e (c) alterações na qualidade da água de estuários, lagoas e aquíferos costeiros, particularmente em áreas com ocupação humana intensa e elevado desenvolvimento. Aqui, a manutenção e eventual reforço das estruturas pesadas de proteção/defesa costeira precisa de análises custo/benefício (efeitos sociais, econômicos, ambientais, culturais e recreativos) vs. recuo/abandono e realojamento de populações, acomodação e análise custo/benefício (opções defesa pesada vs. alimentação artificial; retirada e realojamento de populações e infraestruturas).

Frente a estes impactos, ações voltadas à redução de desastres naturais (tais quais enxurradas, enchentes costeiras e deslizamentos), geram adaptação, aprendizagem e aumento da resiliência do meio ambiente e das comunidades costeiras. Muitas ações de adaptação são locais e elaboradas fora da gestão de riscos climáticos, e ainda existe um conjunto de barreiras e limitações para adaptação.

As medidas de adaptação à mudança climática combinam subconjuntos de atividades como (a) prevenção de extremos de tempo, clima e ressacas que podem deflagrar desastres naturais e enchentes costeiras; (b) desenvolvimento de infraestrutura; (c) otimização de processo tecnológico; (d) mudança ou reforço institucional e comportamental; (e) gestão integrada dos recursos naturais, como bacias hidrográficas e zonas costeiras; (f) serviços financeiros, incluindo a transferência de riscos; e (g) sistemas de informação.

---

*Zee (2008) sugere que zonas costeiras podem ser adaptadas para reduzir os riscos de extremos climáticos, como elevação do NMM e as suas consequências, com a adoção de políticas preventivas e reativas.*

---



Zee (2008) sugere que zonas costeiras podem ser adaptadas para reduzir os riscos de extremos climáticos, como elevação do NMM e as suas consequências, 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 políticas de adaptação das cidades costeiras aos extremos do clima e elevação do NMM e enchentes costeiras, podem ser destacadas as seguintes:

- a) Maior acesso à informação sobre os possíveis riscos locais da elevação do NMM às populações; das enchentes, enxurradas e deslizamentos de terra;
- b) Identificação de áreas de risco e vulneráveis a enchentes e deslizamentos de terra, consequência de chuvas intensas;
- c) Proteção das barreiras naturais (como dunas, mangues e recifes de coral) à elevação do NMM;
- d) Criação de planos de investimento para reduzir a vulnerabilidade das áreas mais afetadas (com a construção de diques e outras barreiras artificiais, por exemplo);
- e) Uso mais rigoroso das terras costeiras (com a definição de áreas não aptas para edificação, por exemplo).
- f) Aumento de subsídios científicos para projetos de infraestrutura urbana.

Para aumentar a resiliência das comunidades costeiras, os formuladores de políticas precisam entender as opções de adaptação e os obstáculos para implementá-las. O processo de adaptação depende da forma como os decisores e o público percebem e respondem ao risco que está associado a ameaças ambientais e da vulnerabilidade de uma comunidade. Ações de sensibilização para os riscos e a compreensão das respostas adaptativas das comunidades à adaptação são fundamentais para reduzir a vulnerabilidade e aumentar a resiliência (Slovic, 1987). A falta de compreensão sobre como o risco é percebido por uma determinada comunidade pode levar a políticas ineficazes, mesmo que estas sejam bem-intencionadas.

Um processo adaptativo do gerenciamento costeiro deve manter a flexibilidade para acomodar condições de mudanças no tempo. Isto envolve a implementação de medidas de adaptação com co-benefícios para o ambiente urbano, ecossistemas e sistemas humanos. Uma estratégia de adaptação requer monitoramento das mudanças nas condições ambientais, tais como elevação do nível do mar e de condições climáticas, assim como refinar os sistemas de medição de forma que novas metodologias possam ser consideradas, como, por exemplo, satélites e sensoriamento remoto.



Segundo Egler e Gusmão (2011), a gestão ambiental urbana na região metropolitana do Rio de Janeiro deve aplicar a formulação de políticas de adaptação às mudanças climáticas. Um modelo negocial de gestão envolverá a combinação de um mix de políticas e ações de diferentes temáticas (saúde, educação, desenvolvimento urbano e industrial, transporte, habitação, saneamento etc.), escalas espaciais (local, micro-regional e macro-regional) e temporais (curto, médio e longo prazo). Elas contemplarão ações no âmbito metropolitano, das bacias hidrográficas e dos territórios municipais, até alcançar a escala de áreas específicas (encostas, lagoas, manguezais etc.) identificadas, por exemplo, segundo seus respectivos graus de vulnerabilidade. Por outro lado, no caso do Rio de Janeiro, a maior e mais complexa aglomeração urbana da zona costeira brasileira, é necessário ter como princípio que o espaço não será atingido nem terá como responder de modo homogêneo às mudanças climáticas e seus efeitos-impactos.

Algumas medidas de adaptação ao cenário associado às projeções envolvem estruturas de alto custo (por exemplo: barragens para armazenar água ou construção de diques em zonas costeiras), mas contemplam também medidas mais simples, como, por exemplo, sistemas de alerta de riscos, mudanças de práticas agrícolas ou organização de grupos sociais (SAE, 2015).

Segundo King *et al.* (2014), entre as políticas e práticas de adaptação para redução de risco dedicadas à proteção de áreas costeiras, incluem-se fortificação (ex., construção de diques e paredes), acomodação (ex., conscientizar a população sobre comportamento frente à adaptação, e construir prédios e estruturas resistentes a inundações) e realocação (ex., migração). “Fortificação” significa mudar o fluxo da água, enquanto “acomodação” significa modificar o impacto da água e “realocação” significa migração para áreas mais seguras.

Além das medidas de adaptação com base em infraestrutura, muito destaque foi dado no recente relatório do IPCC, inclusive para a América do Sul e Brasil (Magrin *et al.*, 2014) à chamada adaptação baseada em ecossistemas (AbE). A AbE recorre intencionalmente a infraestruturas verdes e a serviços dos ecossistemas para aumentar a resiliência das sociedades humanas contra as alterações climáticas. O objetivo é reduzir constantemente a vulnerabilidade das comunidades em relação aos efeitos adversos das mudanças climáticas. A AbE compreende medidas para conservar, restaurar ou gerir de forma sustentável os ecossistemas e os recursos naturais, ao mesmo tempo em que gera mecanismos de geração de renda ou redução de pobreza. Ela complementa ou mesmo substitui outras medidas de adaptação, tais como medidas de infraestrutura física. AbE será discutida em detalhe na seção 6.

# 6

## Recomendações para políticas de adaptação

O processo de adaptação às mudanças climáticas abrange cinco estágios definidos por PROVIA (2013): (1) identificar as necessidades de adaptação; (2) identificar opções de adaptação; (3) avaliar as opções de adaptação; (4) planejar e implementar as ações de adaptação; (5) monitorar e avaliar medidas de adaptação já em andamento. A identificação das necessidades de adaptação requer uma avaliação dos fatores que determinam a natureza e a vulnerabilidade aos riscos climáticos e de elevação do NMM e uma avaliação das opções de adaptação para reduzir os riscos. Essas avaliações são de extrema importância para a tomada de decisões sobre estratégias de adaptação a serem selecionadas, de forma a responder a futuras mudanças do clima.

Como já mencionado na seção anterior, para áreas costeiras, a adaptação com base em infraestrutura e a chamada adaptação baseada em ecossistemas estão sendo mais consideradas na América do Sul (Magrin *et al.*, 2014), e nos casos de estudo serão discutidos estes dois tipos de adaptação e experiência da sua aplicação no Brasil.

### 6.1 Políticas de adaptação

Há uma significativa lacuna na aplicação de políticas de **adaptação às mudanças climáticas** e relatos de resultados em áreas urbanas com mais de 1 milhão de habitantes no planeta. Araos *et al.* (2016) encontraram que, dentre 401 governos locais (municípios, províncias, condados, etc.), apenas 61 (15%) apresentam relatos de iniciativas de adaptação, ao tempo em que 73 (18%) apresentam qualquer planejamento visando políticas de adaptação. Os resultados sugerem que adaptação urbana ainda é incipiente, apesar de alguns casos substantivos, especialmente em países com alta renda na América do Norte, Europa e Oceania. Assim, 81% dos centros urbanos estudados não apresentam relatos de adaptação e, dentre esses, 10 metrópoles costeiras são brasileiras.

Reis *et al.* (2015) confirmam que cidades brasileiras ainda não incorporaram as mudanças do clima à agenda política, a despeito da onda de mobilização internacional em prol de medidas de mitigação e adaptação. A primeira cidade brasileira a aprovar uma legislação relacionada às mudanças climáticas foi Palmas (Tocantins), em 2003. Em 2009, a cidade de São Paulo estabeleceu metas para a redução de GEEs, servindo como modelo para iniciativas no estado e em outras cidades do Brasil, como Belo Horizonte (Minas Gerais), Rio de Janeiro (Rio de Janeiro) e Feira de Santana (Bahia).

## 6.1 Políticas de adaptação

Ainda que diversos municípios brasileiros tenham iniciativas associadas à questão da mudança do clima, das quais algumas são ligadas a iniciativas internacionais, os governos locais têm atuado de forma ainda tímida em ações de adaptação e mitigação. No Brasil, onde as grandes cidades passaram por um processo rápido de urbanização, a ausência de infraestrutura em áreas de risco ocupadas por assentamentos informais, ou a própria ocupação destas áreas, eleva o grau de vulnerabilidade da população.

Estudos desenvolvidos no contexto da Terceira Comunicação Nacional do Brasil (TCN) para UNFCCC (MCTI, 2016) abordaram a análise de diferentes potenciais impactos. No entanto, observa-se uma concordância no que se refere à análise de deslizamento e inundações. Tendo em vista a magnitude e a recorrência de tais eventos em cidades brasileiras, é absolutamente pertinente a realização de estudos nessas temáticas, especialmente que visem desenhar estratégias de adaptação que permitam aumentar a resiliência das cidades a esses impactos. Observa-se também a necessidade de reforçar a análise de inundações costeiras para as cidades litorâneas.

---

*As políticas de desenvolvimento urbano podem estar entre os meios mais efetivos de adaptação à mudança do clima, sobretudo por intermédio de uma abordagem sistêmica que trata de problemas atuais, ao mesmo tempo em que antecipa problemas futuros.*

---



As políticas de desenvolvimento urbano podem estar entre os meios mais efetivos de adaptação à mudança do clima, sobretudo por intermédio de uma abordagem sistêmica que trata de problemas atuais, ao mesmo tempo em que antecipa problemas futuros. Estudos sobre megacidades, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas na região metropolitana de São Paulo (Nobre *et al.*, 2011; Marengo *et al.*, 2013; Martine *et al.*, 2015) propõem estratégias de adaptação frente a um possível cenário de aumento na frequência de chuvas intensas e desastres naturais de origem hidrometeorológica, consequência das mudanças climáticas, agravadas pelo efeito de urbanização na cidade.

Tais políticas, em geral, irão se basear em avaliações de risco. Por exemplo, Lentz *et al.* (2016) afirmam que as avaliações de riscos referentes ao aumento no NMM são essenciais para lidar com possíveis ações comunitárias e de governança com base em decisões informadas. O custo de riscos específicos está relacionado com o desenvolvimento socioeconômico das comunidades costeiras. Fatores como a exposição da população e a infraestrutura compõem a avaliação do risco acerca da perda de vidas e bens. As comunidades precisam saber sobre os possíveis efeitos físicos das mudanças climáticas e avaliar opções de adaptação (Kulp e Strauss, 2016). Porém, as medidas de adaptação têm um custo. Atrasos na consideração destas medidas e seus custos podem tornar as operações ainda mais caras, pôr em perigo vidas e ameaçar a infraestrutura (Richards e Nicholls, 2009; PBMC, 2016).

Zanetti *et al.* (2016) identifica como políticas públicas de adaptação para o Rio de Janeiro a realização de tratativas setoriais, visando discutir e encaminhar medidas específicas de adaptação junto a setores mais críticos, em especial o de infraestrutura de transportes (envolvendo portos, aeroportos, ferrovias, malha viária urbana e suas estações). Já para Santos, se sugere elaboração de um plano municipal de mudanças climáticas, em se tratando de municipalidade sujeita à alta vulnerabilidade em toda a área insular do município. Seria interessante que este plano abrangesse os principais elementos da infraestrutura urbana em sua concepção. Este plano foi implementado em dezembro de 2016. Para as duas cidades, se sugere a elaboração de estudos de vulnerabilidade e riscos para setores específicos (ex.: áreas industriais e de portos e de sensibilidade logística).

## 6.2 Adaptação baseada em ecossistemas

A adaptação baseada em ecossistemas inclui ações como o estabelecimento e o manejo efetivo de áreas protegidas, manejo comunitário de áreas silvestres, acordos e incentivos para conservação (por exemplo, os chamados pagamentos por serviços ambientais) e a restauração ecológica. Para serem de fato adaptativas, tais iniciativas precisam reduzir a vulnerabilidade de sociedades, o que muitas vezes envolve mecanismos de geração de renda ou redução de pobreza associados (Magrin *et al.*, 2014).

Naturalmente, para que possam ser feitas intervenções que visem adaptação baseada em ecossistemas, será necessário que os ecossistemas naturais ainda existam ou sejam recuperáveis. Em geral, essa possibilidade vai ser maior em países em desenvolvimento, que ainda disponham de estoques significativos de recursos naturais, que em países que já o perderam em grande parte. Decorre dessa discussão que aliar a redução da pobreza à conservação da natureza talvez seja a principal estratégia adaptativa às mudanças climáticas nos países em desenvolvimento que ainda dispõem de seus recursos naturais – como é o caso dos países latino-americanos. Conciliar redução de pobreza e conservação da natureza, significa equilibrar o tripé social, econômico e ambiental da sustentabilidade, e em outras palavras, poderíamos propor que o desenvolvimento sustentável é a principal forma das sociedades se adaptarem às mudanças climáticas, conforme afirmou o relatório do IPCC (2014).

## 6.1 Adaptação baseada em ecossistemas

Do ponto de vista científico, ainda há muito que se fazer em relação ao tema da adaptação às mudanças climáticas baseadas em ecossistemas. O tema é conceitualmente novo e parte da premissa básica que deve haver uma ligação direta entre serviços ecossistêmicos e bem-estar, que nem sempre é demonstrável ou testável (Ojea, 2015). Diante dessa limitação, muitas vezes AbE é tratada como sinônimo de pagamento por serviços ambientais ou como sinônimo de restauração ecológica. Essas duas práticas podem ser exemplos de AbE, desde que de fato conciliem recuperação/conservação da natureza com maior bem-estar social e, adicionalmente, possam ainda implicar em significativo sequestro ou estocagem de carbono. Além disso, há problemas com métricas, o que, em geral, é o caso quando se faz necessário medir variáveis, parâmetros e indicadores referentes a disciplinas diferentes – nesse caso, medidas sociais, econômicas e ambientais – e ainda compreender as relações causais entre elas (Scarano, 2017).

A lacuna também é grande do ponto de vista político, na medida em que os acordos globais no âmbito das convenções que nasceram na conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento Rio-92 (Clima, Biodiversidade e Combate à Desertificação), nem sempre são prontamente aplicáveis a unidades nacionais ou subnacionais. Da mesma forma, soluções locais de AbE, nem sempre ganham escala para além de um município ou uma unidade de conservação.

Hoje, no Brasil, o conjunto de ações que pode ser enquadrado como AbE é amparado por compromissos internacionais firmados pelo país (Acordo de Paris, UNFCCC; Metas de Aichi, CBD; Objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU), mas também por políticas e legislação nacional (como a Lei de Proteção à Vegetação Nativa, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação, o recente Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas, e o Plano Nacional de Restauração da Vegetação Nativa). Somados, esses vários mecanismos dão uma sólida sustentação legal e política ao que é, provavelmente, o maior programa de adaptação às mudanças climáticas baseada em ecossistemas no mundo: conservação e restauração de ecossistemas para melhorar o bem-estar das pessoas, o que, ao mesmo tempo, adapta a sociedade aos efeitos das mudanças climáticas e mitiga a emissão de gases estufa (Scarano, 2017). Não surpreende, portanto, que o Brasil tenha sido recentemente classificado como um dos cinco países com maior sinergia entre políticas de adaptação e mitigação (Duguma *et al.*, 2014). Por outro lado, a lacuna científica no país ainda é muito grande (ver revisão de estudos e práticas existentes no país em FBPN/ICLEI 2015). No caso de AbE em zonas urbanas, por exemplo, Brink *et al.* (2016) revisaram 110 estudos realizados para 112 cidades e, dentre esses, apenas 2 foram realizados no Brasil, e ambos na cidade do Rio de Janeiro.



Entretanto, para que tal missão seja levada a cabo, as questões ligadas à interação biodiversidade-clima, que com frequência tocam em aspectos ligados ao ordenamento territorial, precisam ser incorporadas em instrumentos de planejamento municipal. Isso segue sendo uma lacuna no Brasil e em vários outros países do mundo. Por exemplo, na Suécia o conceito de serviços ecossistêmicos tem sido importante na incorporação da pauta de adaptação às mudanças climáticas em políticas municipais. Já na Alemanha, é a agenda de mitigação às mudanças climáticas que tem dado base para a incorporação de temas ligados à adaptação em políticas municipais (Wamsler and Pauleit, 2016). Contudo, pouco ainda se sabe sobre os caminhos para a implementação sistemática de políticas integradas de adaptação em escala municipal, especialmente em países em desenvolvimento. A Cooperação Alemã (GIZ) tem uma interessante ação nesse sentido, voltada para municípios da Mata Atlântica (especialmente no sul da BA, RJ e sul de SP/norte do PR).

Em todo o Brasil, alertas e prevenção de desastres naturais, assim como capacidade de enfrentamento aos extremos hidrometeorológicos e capacidade de recuperação devem ser consideradas na esfera local, estadual e federal, como forma de reduzir os impactos dos desastres naturais tanto na infraestrutura física como na população. Estes tipos de medidas de prevenção podem também ajudar a desenvolver melhor uma capacidade de enfrentamento aos desastres naturais, assim como uma capacidade adaptativa aos desastres e os seus impactos nas inundações costeiras, deslizamentos de terra e enchentes.



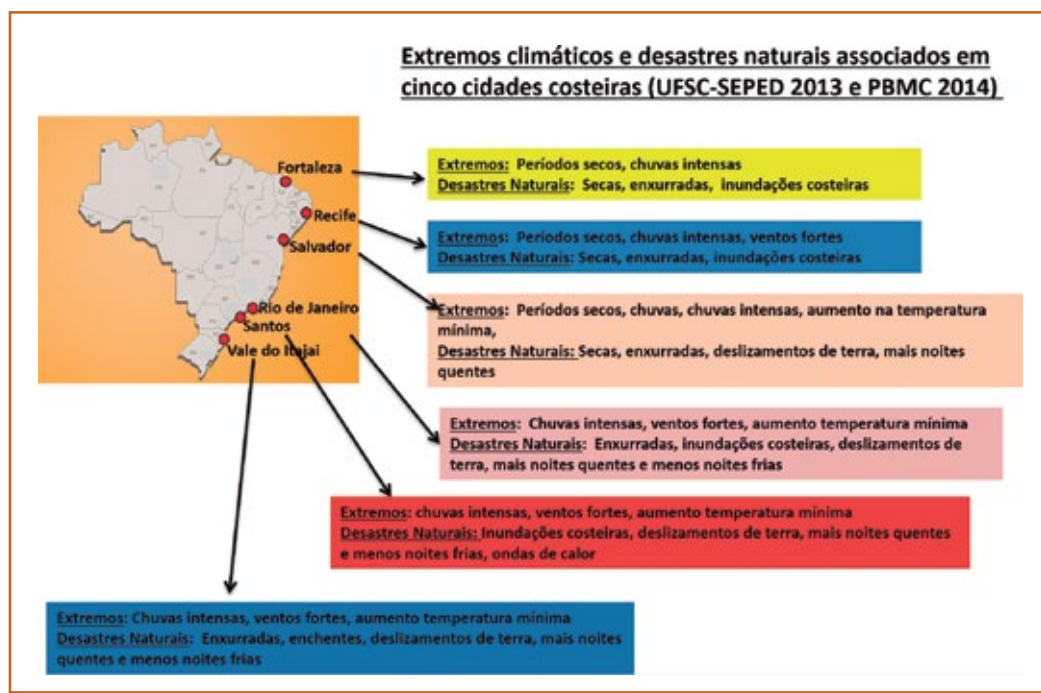
## Estudos de caso de cidades costeiras de médio e grande porte em diferentes regiões do Brasil

Uma vez que a maioria das atividades humanas acontece nas cidades, a questão sobre os rumos do desenvolvimento urbano tem chamado a atenção de órgãos governamentais, agências financiadoras, entidades da sociedade civil e especialistas de diversas áreas de conhecimento (Ferreira, 2001). A crescente concentração da população nas cidades vem acompanhada pela deterioração da qualidade de vida, trazendo a deterioração ambiental e o estrangulamento da infraestrutura das cidades, especialmente na América Latina, África e Ásia (Jacobi, 2006).

No Brasil, várias cidades de médio e grande porte já sofrem com a elevação do nível do mar entre elas, Laguna-SC, Florianópolis-SC, Paranaguá-PR, Santos-SP, Rio de Janeiro-RJ, Vitória-ES, Salvador-BA, Maceió-AL, Recife-PE, São Luís-MA, Fortaleza-CE e Belém-PA (Moita e Wainer, 2005). As inundações costeiras serão mais preocupantes no litoral do Nordeste, Sul e Sudeste, e instalações urbanas se apresentam em zonas de risco. Inundações costeiras e deslizamentos de terra podem afetar também o litoral sul e sudoeste da cidade do Rio de Janeiro. Moita e Wainer (2005) realizaram uma análise de vulnerabilidade para o Rio de Janeiro e apontam seis municípios, de diferentes regiões, como sendo os mais vulneráveis: Parati, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Magé e Campos dos Goytacazes.

Um estudo realizado por Rosman *et al.* (2007) buscou identificar zonas potencialmente inundáveis e os possíveis danos em função do aumento do nível do mar nos cenários climáticos A2 (0,23m a 0,51m) e B1 (0,18m a 0,38m) do IPCC (AR4), para os próximos cem anos. Foram incluídos, também, cenários associados à ocorrência de eventos extremos, como ciclones extratropicais sobre a costa, que provocariam elevação temporária do nível relativo do mar significativamente maiores que aqueles previstos nos cenários projetados pelo IPCC e que estariam associados a chuvas intensas e ação das ondas. Segundo este estudo, as cidades brasileiras localizadas no litoral com patrimônio ameaçado pelas alterações do clima são: Fortaleza, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Santos, Salvador e Vitória.

Neste relatório foram selecionados, como estudo de casos, as quatro maiores cidades costeiras do Brasil (Rio de Janeiro, Fortaleza, Salvador e Recife), Santos, e da Foz do Vale do Itajaí, onde ficam as cidades de Itajaí, Navegantes e Balneário Camboriú. Estes dois últimos são municípios costeiros de porte mediano. Santos tem uma população de 434.359 habitantes, e as cidades da Foz do Vale do Itajaí somam cerca de 500 mil habitantes. A região metropolitana de Santos é de uma importância econômica ímpar. Santos e as cidades na Foz do Vale do Itajaí possuem importantes portos, aeroportos e balneários turísticos. Apresentam inundações fluvial e pelo mar, e, no interior próximo, têm deslizamentos de encosta similares aos do Rio de Janeiro. A figura 7.1 mostra um resumo de extremos climáticos e desastres naturais resultantes destes extremos em cinco cidades costeiras, segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (UFSC-CEPED, 2013).

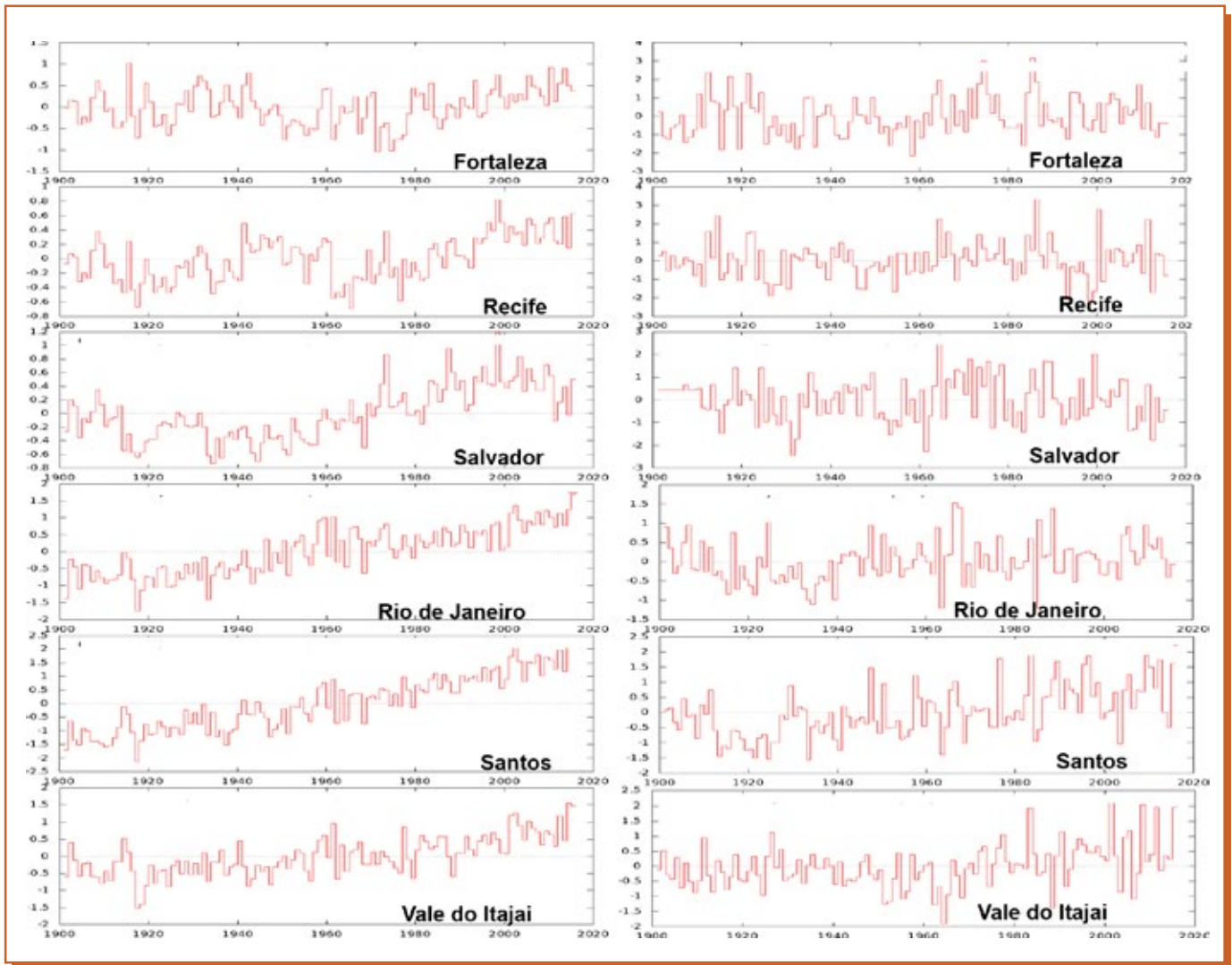


**Figura 7.1** Extremos climáticos e desastres naturais associados em seis cidades costeiras. Fonte: Adaptado de UFSC-CEPED (2013) e PBMC (2014).

Tendências na temperatura média anual nestas cidades costeiras (figura 7.2) mostram que a maioria está experimentando aquecimento. Devido à dificuldade em obter séries longas, contínuas e homogêneas de temperatura e precipitação, considerando as limitações das redes meteorológicas brasileiras, utilizou-se dados de temperatura e precipitação em pontos de grade dos registros da Climate Research Unit (CRU) da Universidade de East Anglia, Reino Unido (New *et al.* 2002).

A figura 7.2 mostra as médias anuais de anomalias de temperatura média anual (relativo a 1961-90) nas cidades e regiões costeiras consideradas como estudos de caso. Todas as cidades, exceto uma, mostram aquecimento mais intenso nas décadas recentes. Salvador mostra esfriamento recente, ainda que revele também aquecimento nas décadas passadas. As taxas de aquecimento variam de cidade a cidade, e algumas delas mostram um aquecimento mais moderado no início do século XX e mais acentuado nas décadas recentes. Ainda que seja difícil atribuir os impactos deste aquecimento a causas humanas, a ilha de calor pode acrescentar a taxa de aquecimento nestas cidades. A figura 6 mostra uma grande variabilidade dos totais anuais da chuva, possivelmente associada ao El Niño ou La Niña, onde mudanças na circulação atmosférica associadas a estes fenômenos podem determinar anos mais ou menos chuvosos, como acontece no Norte ou Nordeste, onde El Niño pode determinar anos mais secos, enquanto no Sul, El Niño mostra uma tendência de aumento de chuvas, como no Vale do Itajaí.

## Estudos de caso de cidades costeiras de médio e grande porte em diferentes regiões do Brasil



**Figura 7.2** Séries de anomalias em temperatura média anual e de chuva total anual para os 6 estudos de caso. Dados são da Climate Research Unit (CRU). Anomalias são calculadas relativas ao período de 1961-90.

Conforme mencionado anteriormente, nas cidades brasileiras, dois graves efeitos decorrem do aumento das chuvas intensas: os alagamentos e os escorregamentos de encostas, sendo a situação mais grave nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador e Recife (Ribeiro, 2008; IPCC, 2013; Magrin *et al.*, 2014). Em relação a extremos de chuva e temperatura, a tabela 7.1 mostra que, para estas cidades costeiras no Brasil, se observa, durante 1951-2010, um aumento na frequência de noites e dias quentes e redução na frequência de noites e dias frios, indicadores do aquecimento nas cidades. Em termos de extremos de chuva, nota-se um aumento na frequência de dias com chuva intensa e de períodos secos, demonstrando que as chuvas estão se concentrando em poucos dias e com períodos secos, intensos e quentes entre eventos de chuva. Adicionalmente, a tendência positiva do índice de chuva acumulada em 5 dias consecutivos, sugere aumento na possibilidade de chuvas que podem gerar enchentes ou deslizamentos de terra. Na mesma tabela verificase que, para cidades do Nordeste, não foram calculados índices de extremos pela ausência de dados de temperatura e chuva diária, necessários para calculá-los.



**Tabela 7.1.** Resumo de tendências observadas de extremos de chuva e temperatura observadas durante 1951-2010 em algumas cidades costeiras do Brasil. Tendências foram extrapoladas dos mapas publicados em Hartmann *et al.* (2013) e Sillmann *et al.* (2013a). NC indica que o índice não foi calculado por ausência de informações meteorológicas. Tn10-noites frias, Tx10-dias frios, Tn90-noites quentes, Tx90-dias quentes, R95p-chuva intensa, CDD-dias secos consecutivos, Rx5p-chuva acumulada em 5 dias. Tendências positivas/negativas aparecem indicadas com +/-.

| CIDADE         | Tn10 | Tx10 | Tn90 | Tx90 | R95P | CDD | Rx5p |
|----------------|------|------|------|------|------|-----|------|
| Vale do Itajaí | -    | -    | +    | +    | +    | +   | +    |
| Santos         | -    | -    | +    | +    | +    | NC  | NC   |
| Rio de Janeiro | -    | -    | +    | +    | +    | NC  | NC   |
| Recife         | NC   | NC   | NC   | NC   | NC   | NC  | NC   |
| Salvador       | NC   | NC   | +    | +    | NC   | NC  | NC   |
| Fortaleza      | NC   | NC   | NC   | NC   | NC   | NC  | NC   |

Em cenários futuros de mudança de clima, as projeções dos modelos do CMIP5 usados no IPCC AR5, para o cenário RCP8.5, período de 2081-2100, apontam para um aumento na ocorrência de chuvas intensas em algumas cidades costeiras do Brasil, com acumulados em vários dias consecutivos que podem deflagrar deslizamentos de terra e enchentes (tabela 7.2), assim como na presença de períodos secos entre temporadas de chuva intensa. Ondas de frio tendem a diminuir, mas ondas de calor tendem a ficar mais longas em todas as cidades costeiras. Estes aumentos de chuva intensa e de períodos secos podem dar lugar a desastres naturais mais frequentes e intensos que podem afetar as cidades em geral.



**Tabela 7.2.** Resumo de tendências projetadas de extremos de chuva e temperatura observadas para o período 2081-2100, cenário RCP8.5 da média dos modelos do CMIP5 em algumas cidades costeiras do Brasil. NC indica que o índice não foi calculado. Tendências foram extrapoladas dos mapas publicados em Collins *et al.* (2013) e Sillmann *et al.* (2013b). CNTmin-Temperatura mínima em dias frios, WDTmax-Temperatura Máxima em dias quentes, FD-dias com geada, Tn90-noites quentes, Rx5p-chuva acumulada em 5 dias. CDD-dias secos consecutivos, CSD-duração de onda de frio, CWD-duração onda de calor, R95p-chuva intensa, R10-numero de dias com chuva acima de 10 mm. Tendências positivas/negativas aparecem indicadas com +/-.

| CIDADE         | CNT min | WDT max | FD | Tn90 | Rx5p | CDD | CSD | WSP | Rx5p | R10 |
|----------------|---------|---------|----|------|------|-----|-----|-----|------|-----|
| Vale do Itajaí | +       | +       | -  | +    | +    | +   | -   | +   | +    | +   |
| Santos         | +       | +       | NC | +    | +    | +   | -   | +   | +    | +   |
| Rio de Janeiro | +       | +       | NC | +    | +    | +   | -   | +   | +    | +   |
| Recife         | +       | +       | NC | +    | +    | +   | -   | +   | +    | +   |
| Salvador       | +       | +       | NC | +    | +    | +   | -   | +   | +    | +   |
| Fortaleza      | +       | +       | NC | +    | +    | +   | -   | +   | +    | +   |

## Estudos de caso de cidades costeiras de médio e grande porte em diferentes regiões do Brasil

Como ponto de partida antes de avaliar cada um dos casos de estudo, serão apresentados os resultados do estudo de análises de vulnerabilidade desenvolvido por Nicolodi e Petermann (2010), onde a vulnerabilidade geral considera os riscos sociais, tecnológicos e naturais. Alta vulnerabilidade pode estar associada à maior densidade populacional, às condições de saneamento básico deficitário, ou ainda, às socioeconômicas e configuração geomorfológica. A região da Foz do Vale do Itajaí vem sofrendo inundações sistemáticas nos últimos anos, com destaque para os eventos ocorridos em 1983, 1984, 2008 e 2011. Estas classificações são usadas como referência, pois ainda contêm incertezas devido à natureza da metodologia considerada. A figura 7.3 apresenta um sumário das vulnerabilidades em cada região do estudo, desenvolvido por Nicolodi e Petermann (2010), e são apresentados detalhes maiores para as regiões metropolitanas de Salvador, Rio de Janeiro, Santos e Foz do Vale do Itajaí.

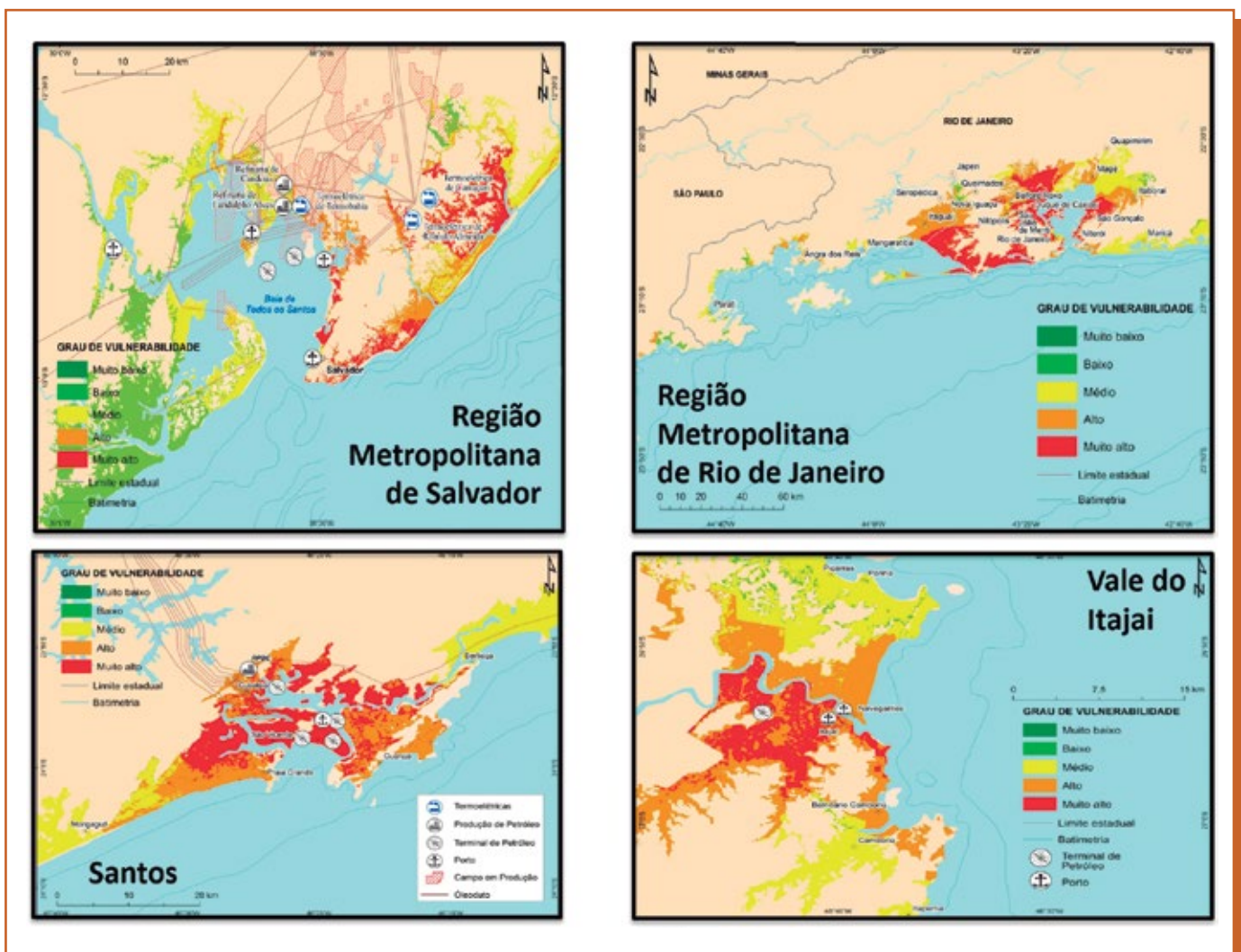
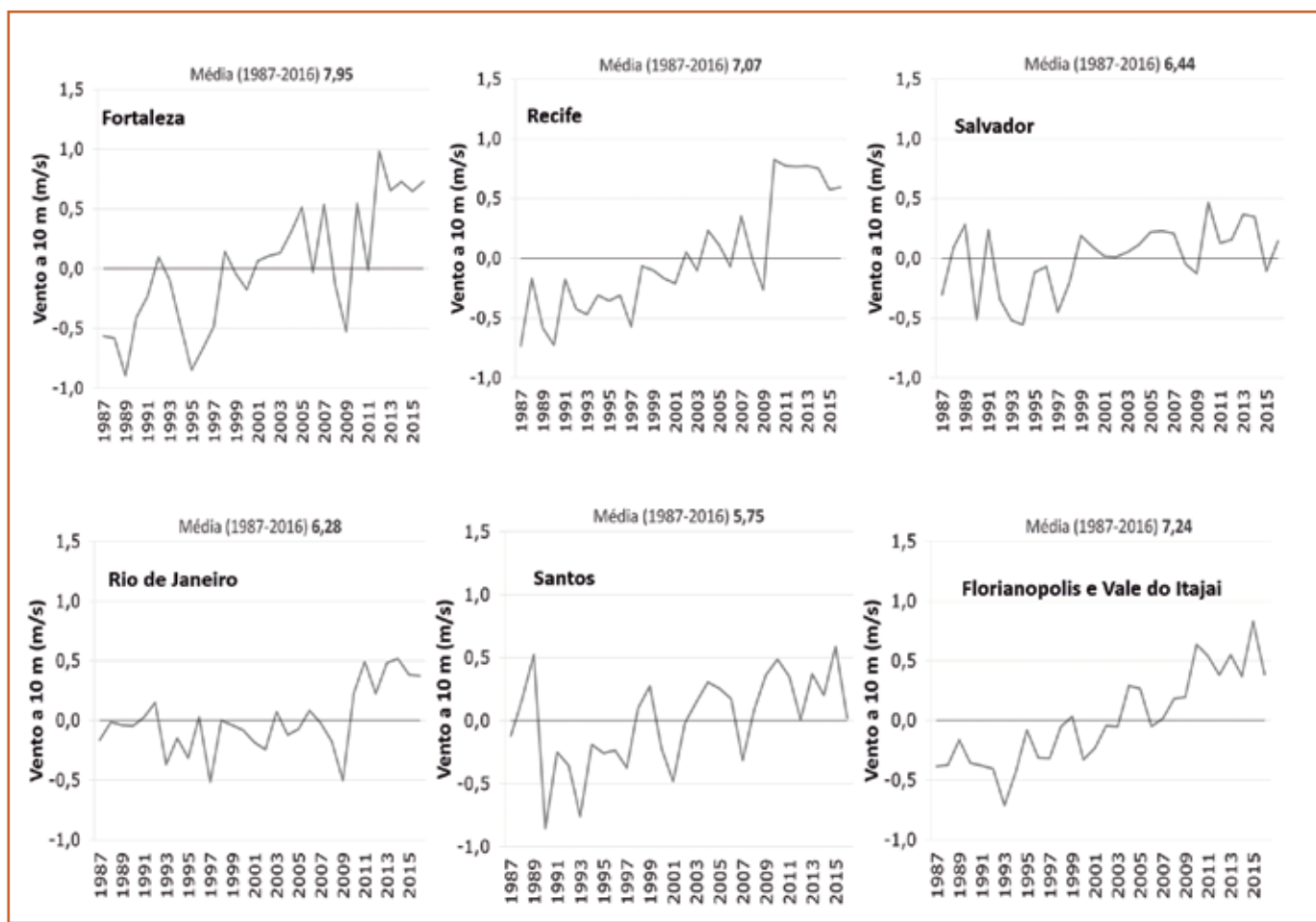


Figura 7.3 Mapeamento da vulnerabilidade geral nas várias regiões do Brasil, desenvolvido por Nicolodi e Petermann (2010)

Em relação à tendência observada dos ventos oceânicos próximos às cidades costeiras, um conjunto de dados globais de ventos oceânicos na resolução de 0,25o , para o período de 1987 até a atualidade, foi gerado pelo NCEP (Zhang *et al.*, 2006). Estes ventos a 10m da superfície do mar são provenientes da composição de ventos estimados por satélites. Foram construídas as séries temporais dos ventos oceânicos extraídos de pontos próximos às cidades costeiras. A figura 7.4 mostra a anomalia dos ventos à superfície próxima à costa das cidades litorâneas. A anomalia é obtida em relação à média do período de 1987 a 2016. É possível verificar que todas as cidades apresentam tendência de intensificação dos ventos neste período de 30 anos. As cidades de Macapá, Belém e Rio de Janeiro não apresentam tendência clara na maior parte do tempo, a intensificação dos ventos ocorre nos últimos cinco anos da série. As cidades litorâneas do Nordeste, Fortaleza, Natal, João Pessoa e Recife apresentam tendências semelhantes na intensificação dos ventos neste período, enquanto que Salvador e Santos apresentam tendência menor de intensificação dos ventos ao apresentar anomalias menores no final do período de 30 anos. Os ventos no litoral de Florianópolis apresentam clara tendência de intensificação: do início ao final do período, estes ventos sofreram, em média, uma intensificação de cerca de 1,5m/s. A intensificação dos ventos das cidades do Sul e Sudeste do país pode estar relacionada com passagens de ciclones extratropicais e subtropicais. Os ventos no litoral do Nordeste, em geral estão associados a perturbações dos ventos alísios, sejam pelas ondas de leste, sejam pelos pulsos do anticiclone do Atlântico Sul. As cidades da região Norte são afetadas pela atividade e por perturbações na zona de convergência intertropical.



**Figura 7.4** SeaWind – Séries temporais de anomalia do vento a 10m (m/s) observado sobre oceano próximo das cidades costeiras de: (a) Fortaleza, (b) Recife, (c) Salvador, (d) Rio de Janeiro, (e) Santos, (f) Florianópolis e Vale do Itajaí.

## 7.1 Fortaleza, Ceará

No ano de 2004, dois eventos extremos de chuva foram registrados nos dias 29 de janeiro e 07 de março, respectivamente. O primeiro superou todos os outros eventos extremos diários verificados na cidade de Fortaleza, caracterizando-se até o presente momento, como o dia mais chuvoso na cidade, de acordo com a série histórica utilizada (1974 a 2012). Em 24h, foram verificados surpreendentes 250mm de chuva que afetaram as comunidades, principalmente aquelas localizadas às margens dos rios Cocó e Maranguapinho. Várias ocorrências foram registradas pela Defesa Civil, o trânsito ficou caótico em diversos pontos da cidade e até parte do calçadão da Av. Beira Mar (ponto de elevado potencial turístico da cidade) foi destruído (Figura 7.5).



**Figura 7.5** Capa da edição de 30 de janeiro de 2004 do Jornal Diário do Nordeste. Cerca de 72 mil pessoas foram atingidas em todo o Estado do Ceará pelas chuvas verificadas apenas no mês de janeiro de 2004. Todas as 92 áreas de risco na cidade, mapeadas até então pela Defesa Civil, ficaram alagadas. Mais de 1.700 casas foram danificadas e 2.577 famílias foram afetadas somente neste dia, totalizando mais de 19.000 famílias atingidas em todo o mês de janeiro (Fonte: Acervo do Diário do Nordeste).



No estudo das ressacas do mar em Fortaleza, na ausência de uma base de dados longa, optou-se pela análise de matérias jornalísticas. Dessa forma, para suprir a ausência dessas informações, adotou-se o método hemerográfico, que consiste na aquisição de dados e informações em hemerotecas. A mesma estratégia foi aplicada para Santos, SP. No caso de Fortaleza, utilizaram-se as bibliotecas dos jornais O Povo e Diário do Nordeste, recuperando-se todas as matérias sobre o tema, publicadas entre 1953 e 2010. Entre 1953 e 2010, foram registrados 162 eventos de ressaca do mar, isto é, cerca de três episódios por ano (figura 7.6). O registro das ressacas do mar em jornais ocorre em função do nível de ocupação do litoral e da repercussão dos dramas sociais. Isto foi observado no conjunto de dados obtidos, visto que mais de 95% dos eventos de ressaca foram registrados e publicados a partir da década de 1980, momento em que houve a intensificação da ocupação/urbanização do litoral de Fortaleza. Na lógica midiática, o importante é a notícia, e o que não é notícia (o que não afeta pessoas ou bens), evita-se ser publicado. Por exemplo, a erosão de uma duna não ocupada, durante um evento de ressaca, não tem aspectos de drama social e, conseqüentemente, não é comumente divulgada pelos meios de comunicação. Entretanto, quando se verificam danos físicos em edificações (como casas ameaçadas de desabamento, destruição de estradas e calçadões), existe interesse potencial dos leitores e, por consequência, os jornais noticiam o fato (Paula *et al.*, 2015). Os trechos costeiros mais vulneráveis do litoral de Fortaleza a um evento de ressaca do mar foram as praias de Pirambu, Formosa, Iracema, Meireles, Mucuripe e Titanzinho.

---

*Em Icaraí, Fortaleza, há anos o mar avança sobre a costa, causando erosão, destruindo o comércio e afetando a vida dos moradores de condomínios e casas que se instalaram à beira-mar, não só com a desvalorização dos imóveis, mas com o risco de perda das moradias.*

---



Em Icaraí, Fortaleza, há anos o mar avança sobre a costa, causando erosão, destruindo o comércio e afetando a vida dos moradores de condomínios e casas que se instalaram à beira-mar, não só com a desvalorização dos imóveis, mas com o risco de perda das moradias. O que acontece em Icaraí e em outras praias próximas é relacionado ao balanço sedimentar costeiro: se sai mais areia por retirada do mar do que entra, temos a erosão. Isso é relacionado também à questão dos eventos naturais, como o aumento do nível do mar e o vento. Mas também à ação do homem. A região tem perda de 7m a 8m de costa por ano, uma “taxa altíssima”, conforme afirmou o Prof. Luís Parente Maia, professor do Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará ([www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2017/03/1865738-avanco-do-mar-ameaca-condominios-e-lojas-em-praias-da-grande-fortaleza.shtml](http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2017/03/1865738-avanco-do-mar-ameaca-condominios-e-lojas-em-praias-da-grande-fortaleza.shtml)).

## 7.1 Fortaleza, Ceará

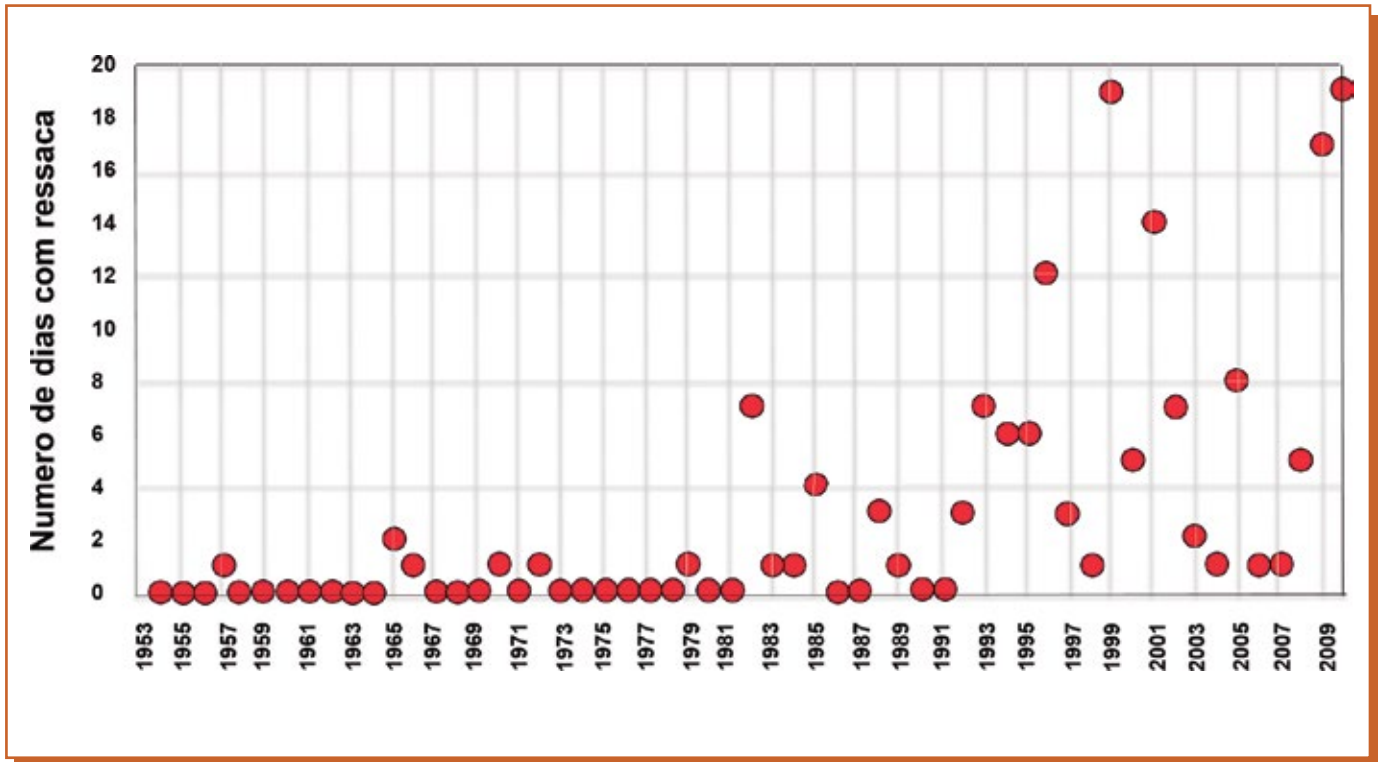
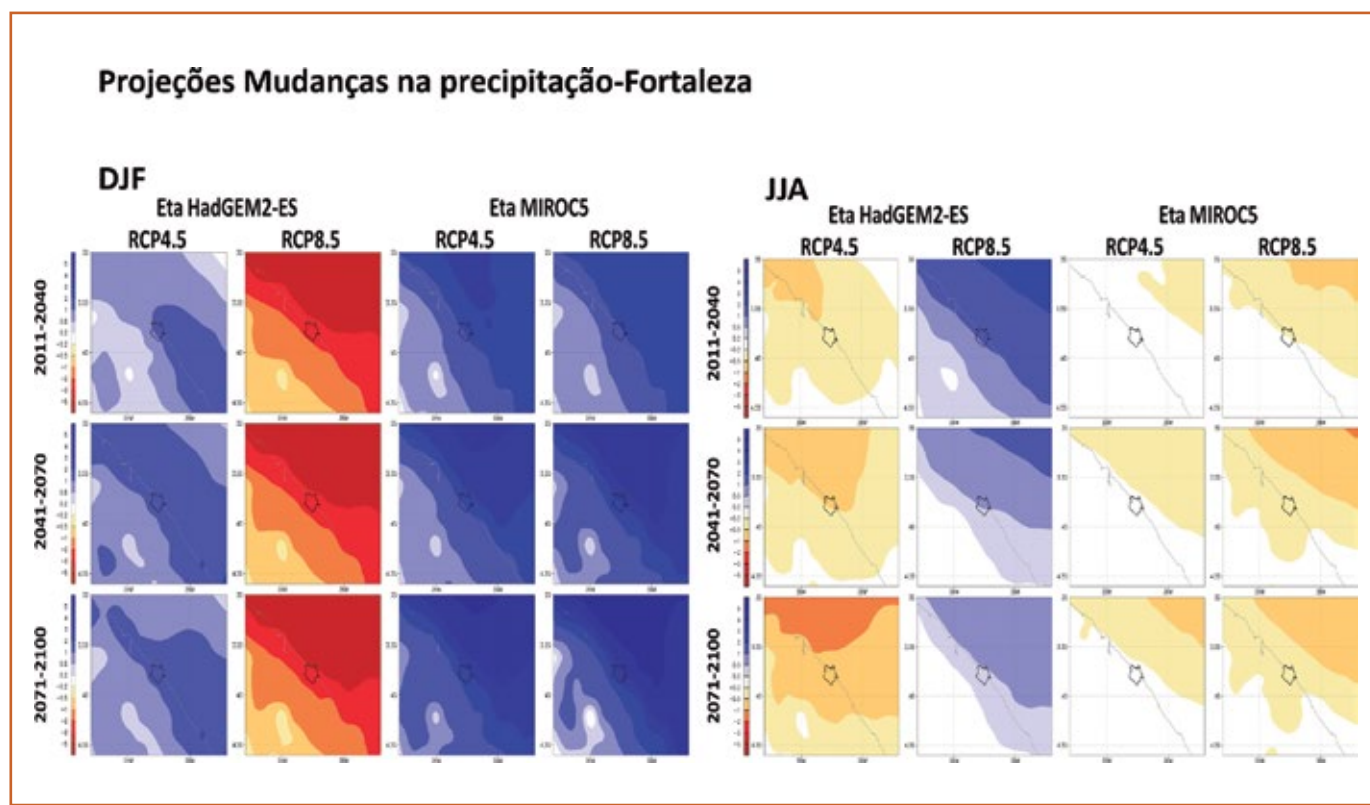


Figura 7.6 Distribuição anual de eventos de ressaca entre 1953 e 2010 em Fortaleza, CE (modificado de Paula et al., 2015)

As projeções das chuvas do Eta-HadGEM2-ES apresentam grande sensibilidade climática em Fortaleza com a mudança nas concentrações de GEE (figura 7.7). Em baixa concentração RCP4.5, as projeções do downscaling do HadGEM2-ES indicam aumento das chuvas no litoral de Fortaleza, enquanto que em alta concentração RCP8.5, as projeções indicam redução. Por outro lado, há pouca mudança no padrão ao longo do século XXI. As projeções do downscaling do MIROC5 indicam aumento das chuvas, que se tornam mais intensas com o passar dos anos no século XXI. No outono, Março-Abril-Maio (MAM), período das chuvas na parte norte do Nordeste brasileiro, as projeções do downscaling do HadGEM2-ES mostram redução das chuvas sobre o oceano adjacente, que atinge Fortaleza. Por outro lado, as projeções do downscaling do MIROC5 indicam redução das chuvas sobre o interior do continente, que afeta Fortaleza pelo sul. No inverno, Junho-Julho-Agosto (JJA), o padrão de mudanças das chuvas é oposto à estação de Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), isto é, as projeções, em geral, indicam pequena redução das chuvas de inverno, exceto o downscaling do Eta-HadGEM2. As projeções para a região de Fortaleza não indicam mudanças significativas para primavera, Setembro-Outubro-Novembro (SON).

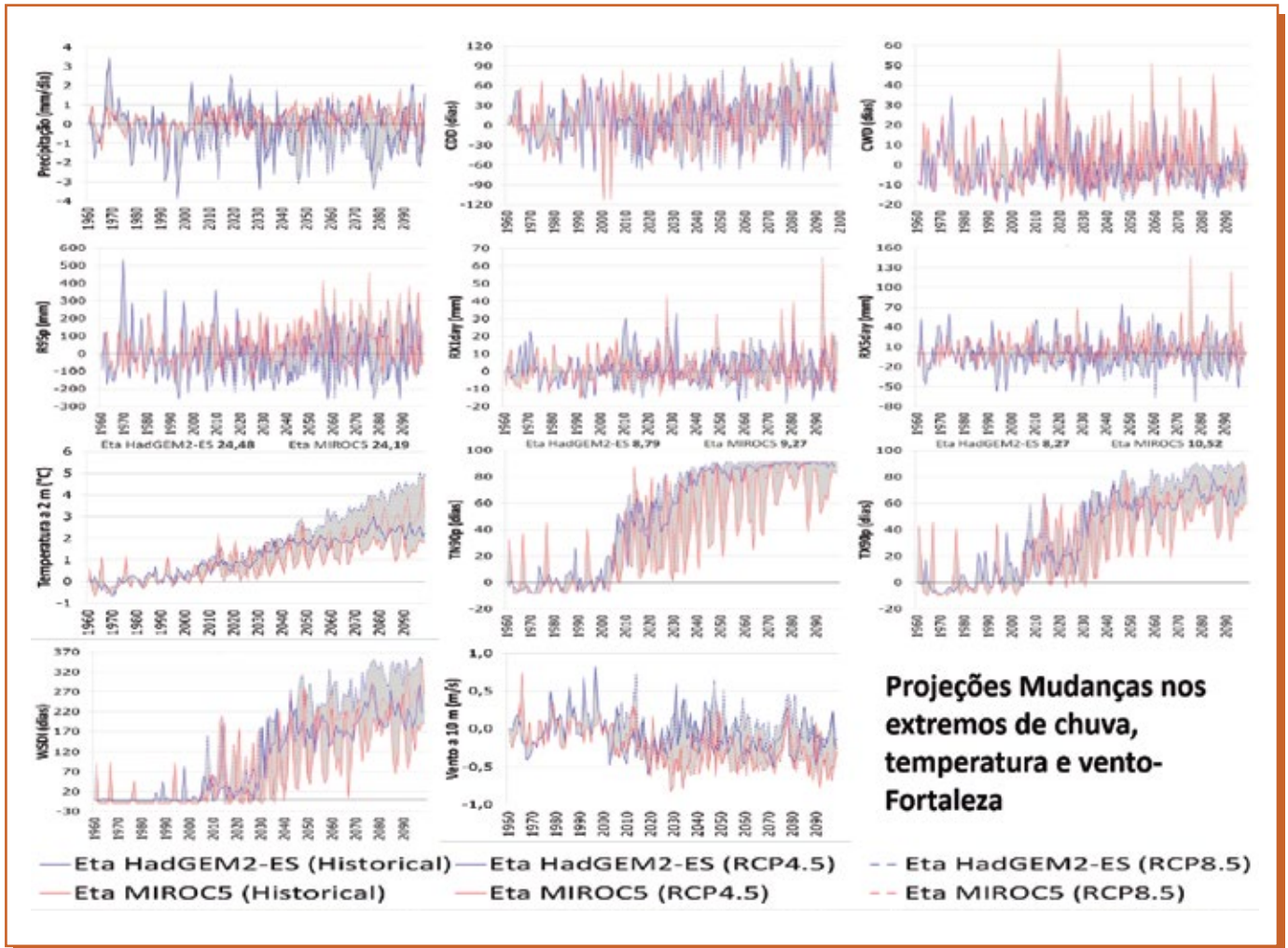
As projeções de extremos climáticos para Fortaleza mostram pouca mudança na média anual de precipitação ao longo do século XXI (figura 7.8). A duração dos dias consecutivos secos também demonstra pouca mudança, com valores extremos com duração semelhante a do clima presente, enquanto que a duração de dias consecutivos úmidos apresenta períodos de maior duração, mas sem tendência clara de mudança na média climatológica. Chuvas de intensidade extrema, R95P, apresentam pequena tendência a aumento, enquanto que os demais índices (RX1day e RX5Day) não apresentam nenhuma tendência clara de mudança ao longo do século XXI.

As projeções de mudança da temperatura em Fortaleza indicam maior aquecimento na estação JJA, produzido pelo downscaling do HadGEM2-ES no cenário RCP8.5, no último período do século XXI, com valores próximos de 4,5°C (figura 7.9). As projeções de menor aquecimento são produzidas pelas rodadas de Eta-MIROC5, no cenário RCP4.5. As temperaturas aumentam conforme se aumenta a concentração dos gases de efeito estufa ao longo do século XXI. As projeções dos extremos climáticos indicam aumento na frequência dos dias e das noites quentes. Este aumento é maior nos downscaling Eta-HadGEM no cenário RCP8.5, enquanto que o downscaling Eta-MIROC5 apresenta grande variabilidade interanual.



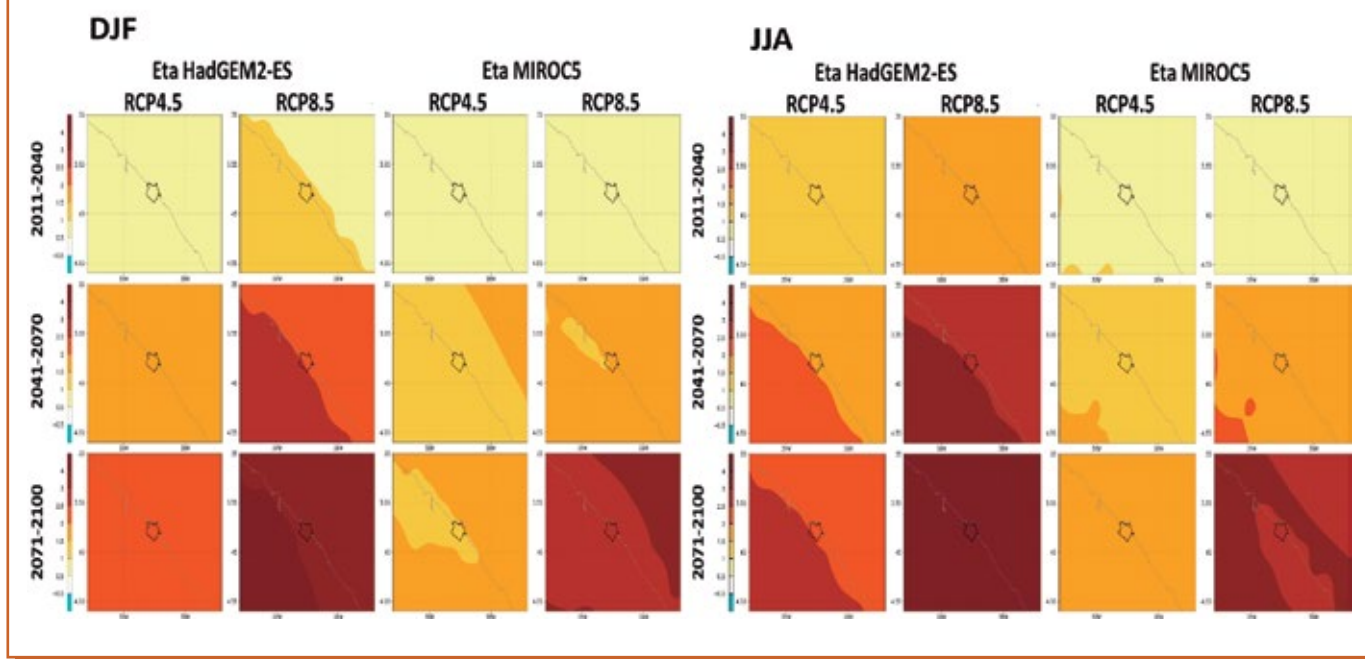
**Figura 7.7** Projeções de chuva para DJF e JJA para a região de Fortaleza. Projeções para 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 são relativas ao presente (1961-90), para os cenários RCP 4.5 e 8.5, derivados do downscaling dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5 usando o modelo regional Eta.

## 7.1 Fortaleza, Ceará



**Figura 7.8** Tendência de anomalia da precipitação (mm/dia), dos índices extremos CDD (dias), CWD (dias), R95p (mm), RX1DAY (mm), RX5DAY (mm), da temperatura a 2 metros (oC), e os índices de extremos TN90p (dias), TX90p (dias), WSDI (dias), e vento a 10m (m/s) em Fortaleza, CE. Os valores médios da linha de base, período de 1961 a 1990, estão indicados na parte superior de cada gráfico. As anomalias foram calculadas a partir da diferença entre os valores anuais e o valor médio da linha de base. As anomalias das simulações do Eta-HadGEM2-ES (azul) e do Eta-MIROC5 (vermelho) foram estimadas para os cenários futuros RCP4.5 (linha cheia) e RCP8.5 (linha tracejada). O intervalo de variação, entre os valores mínimos e máximos, está hachurado em cinza.

## Projeções Mudanças na temperatura do ar-Fortaleza



**Figura 7.9** Projeções de temperatura do ar para DJF e JJA para a região de Fortaleza. Projeções para 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 são relativas ao presente (1961-90), para os cenários RCP 4.5 e 8.5, derivados do downscaling dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5 usando o modelo regional Eta.

Os ventos simulados no clima presente apontam ligeiro aumento na intensidade, o que concorda com as observações de satélite (NESDIS). Entretanto, as projeções da intensidade dos ventos à superfície indicam ligeiro enfraquecimento ao longo do século XXI (figura 7.8).

## 7.2 Recife, Pernambuco

O litoral pernambucano é composto pela orla marítima de 13 municípios: São José da Coroa Grande, Barreiros, Tamandaré, Sirinhaém, Ipojuca, Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes, Recife, Olinda, Paulista, Ilha de Itamaracá, Igarassu e Goiana. O ambiente praial é naturalmente complexo, dinâmico e sensível; além disso, tem suportado uma forte pressão urbana, sendo a área de maior densidade demográfica do estado, concentrando 56% da população urbana de Pernambuco. A intensa urbanização em direção à linha de costa vem causando alterações no litoral de Pernambuco, sobretudo seu deslocamento sobre o ambiente praial (IBGE, 2010).

As chuvas de intensidade moderada também podem desencadear escorregamentos, mas principalmente pontos de alagamentos. Não houve ocorrência de danos associados à chuva fraca, porém, quando há registros de precipitação em dias consecutivos anteriores a um evento de chuva fraca, com acumulado superior a 30mm, podem ocorrer escorregamentos. Dias consecutivos com chuvas, anteriores a um evento de chuva muito forte ou moderada, contribuem ainda mais para a ocorrência de desastres.

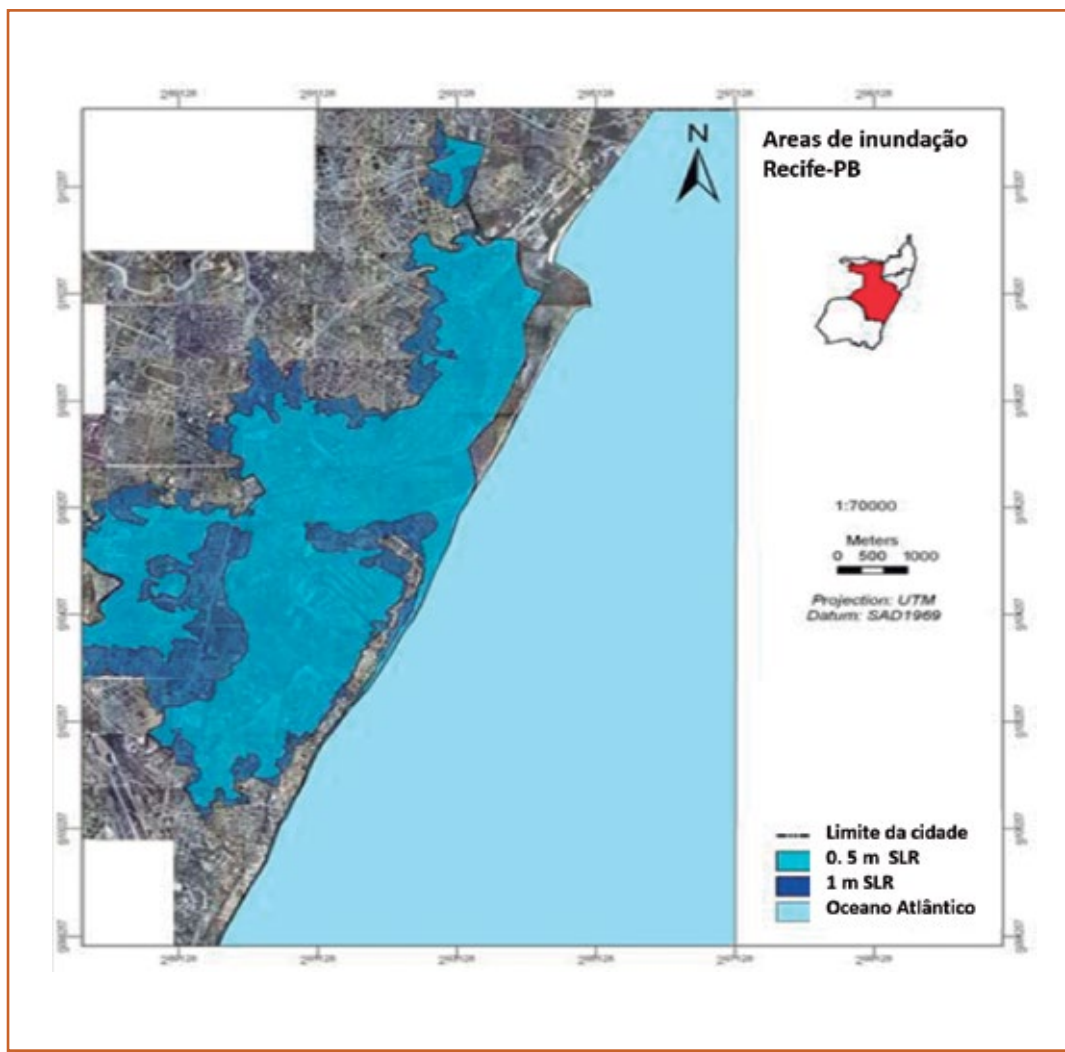


### 7.2 Recife, Pernambuco

Apesar dos eventos extremos de chuvas intensas serem observados principalmente entre os meses de março e julho, tais eventos podem ocorrer nas demais épocas do ano. Verificou-se que é frequente a ocorrência de escorregamentos e alagamentos decorrentes das chuvas, associada à falta de infraestrutura e aliada principalmente às condições sociais e econômicas da população. A primeira enchente oficialmente registrada no Recife aconteceu em 1632, com a perda de muitas casas e negócios estabelecidos às margens do Capibaribe. Quase 400 anos depois, a história se repete, e não há à vista uma solução definitiva para o problema. Ou seja, Recife deve continuar convivendo com os transtornos causados pela chuva nas próximas décadas (Diário de Pernambuco, 06/06/2016).

O estudo de Costa *et al.* (2010) para o Centro Metropolitano do Recife sugere que esta cidade aparece como uma das cidades mais vulneráveis ao aumento do NMM, devido às suas características físicas e aos diversos problemas referentes a inundações e erosão costeira. Baseada numa abordagem empírica, considerando as estimativas realizadas pelo IPCC sobre a elevação do nível do mar e os cenários extremos de maré astronômica, ressaca e sobrelevação devido à quebra das ondas (run up), os resultados indicam que diante de um aumento do nível do mar da ordem de 0,5m (cenário otimista), é esperado que pelo menos 39,32km<sup>2</sup> da área dos municípios analisados constituam zonas potencialmente inundadas. Num cenário crítico de elevação do nível do mar (1m), este valor aumentaria para 53,69km<sup>2</sup>. A análise da costa, como um todo, indica que os 81,8% das construções urbanas que estão a menos de 30m da linha de costa e em terrenos abaixo de 5m, deverão ser rapidamente atingidas pela mudança no nível do mar atual e que o litoral possui 45,7% de sua extensão sob zona de alta vulnerabilidade. Frente aos cenários simulados, aponta-se a necessidade de um planejamento público para mitigação dos futuros impactos.

Recife é localizada a 4m sobre o nível do mar, e como consequência, num cenário de elevação de 0,5m do NMM, produziria um estimado de área inundada de 25,38km<sup>2</sup>, enquanto uma elevação do NMM de 1m pode inundar uma área de 33,71km<sup>2</sup> de território suscetível a inundações (figura 7.10). A cidade de Olinda está localizada numa altitude maior (16m), assim, áreas afetadas por inundações ficariam limitadas às áreas próximas ao limite com Recife. Uma das áreas mais afetadas seria o Recife Antigo, que representa um dos mais importantes centros econômicos e administrativos da cidade, com grande valor histórico e cultural. Recife é a 16ª cidade do mundo mais vulnerável às mudanças climáticas (PBMC, 2014), e como consequência da elevação do NMM até 2100, a capital pode perder 33,7km<sup>2</sup> do seu território. Quando há registros de precipitação dentro das classes de chuva muito forte na cidade de Recife, sempre há escorregamentos e muitos pontos de alagamentos (Pereira *et al.*, 2012).



**Figura 7.10** Zonas potencialmente inundáveis em Recife, considerando cenários de 0,5 e 1m de elevação do NMM (Costa et al., 2010)

Os resultados encontrados por Pereira et al. (2012) mostram que a Região Metropolitana de Recife concentra as maiores vulnerabilidades, e que, nos outros trechos do litoral pernambucano, a vulnerabilidade atual média é menor. A diferença entre os setores se deve principalmente à influência dos fatores sociais na determinação da vulnerabilidade, uma vez que os demais indicadores variam em intervalos menores que os sociais. A situação atual de vulnerabilidade à erosão pode ser considerada preocupante para toda a Região Metropolitana, uma vez que ela apresenta uma alta densidade populacional, com urbanização predominantemente verticalizada, dificultando o planejamento para o deslocamento da população que vive nos primeiros metros da orla marítima. Para este setor, o mais indicado seria concentrar os esforços na conservação da praia remanescente, além de análises detalhadas para implantar obras de proteção costeira quando necessário, sobretudo leves, de engenharia não-rígida, priorizando a regeneração das praias arenosas de modo a restabelecer o equilíbrio do perfil de praia.

### 7.2 Recife, Pernambuco

As projeções de mudança de precipitação no clima futuro para as cidades de Recife (figura 7.11), João Pessoa e Natal são semelhantes por se localizarem ao longo da costa leste do Nordeste brasileiro e estarem sob a influência dos processos climáticos semelhantes. As projeções, a partir do downscaling do HadGEM2-ES, indicam entre pouca mudança nas chuvas de verão (DJF) no cenário RC4.5, à redução das chuvas ao longo do litoral leste, que inclui as cidades de Recife, João Pessoa e Natal. As projeções do downscaling do MIROC5 indicam aumento das chuvas sobre o oceano adjacente a essas cidades, no que discorda do downscaling do HadGEM2-ES, na zona litorânea, sobre o continente. Entretanto, as projeções dos downscaling dos dois modelos globais concordam entre si e indicam redução das chuvas de verão. No outono, sobre o oceano adjacente a estas cidades, o contraste entre os dois conjuntos de downscaling é evidente. Enquanto as projeções do Eta-HadGEM reduzem as chuvas, as do Eta-MIROC5 aumentam essas chuvas. Sobre o continente, as projeções do Eta-HadGEM2-ES indicam ligeira redução das chuvas ao longo do século XXI no cenário RCP4.5, mas aumento no RCP8.5; por outro lado, as projeções do Eta-MIROC5 reduzem as chuvas de outono ao longo do litoral nos períodos futuros. Esta redução das chuvas é mais clara no downscaling do MIROC5 no início do século XXI. As incertezas nas projeções de chuva continuam no inverno (JJA), quando as projeções do downscaling do Eta-HadGEM indicam aumento das chuvas ao longo do litoral no RCP8.5, enquanto que as demais projeções indicam redução das chuvas nestas cidades litorâneas. As chuvas do litoral leste ocorrem durante o inverno, JJA, como resultado da atividade das ondas de leste. Primavera é a estação do ano em que as três cidades praticamente não apresentam mudanças na precipitação.

---

*Em Icarai, Fortaleza, há anos o mar avança sobre a costa, causando erosão, destruindo o comércio e afetando a vida dos moradores de condomínios e casas que se instalaram à beira-mar, não só com a desvalorização dos imóveis, mas com o risco de perda das moradias.*

---

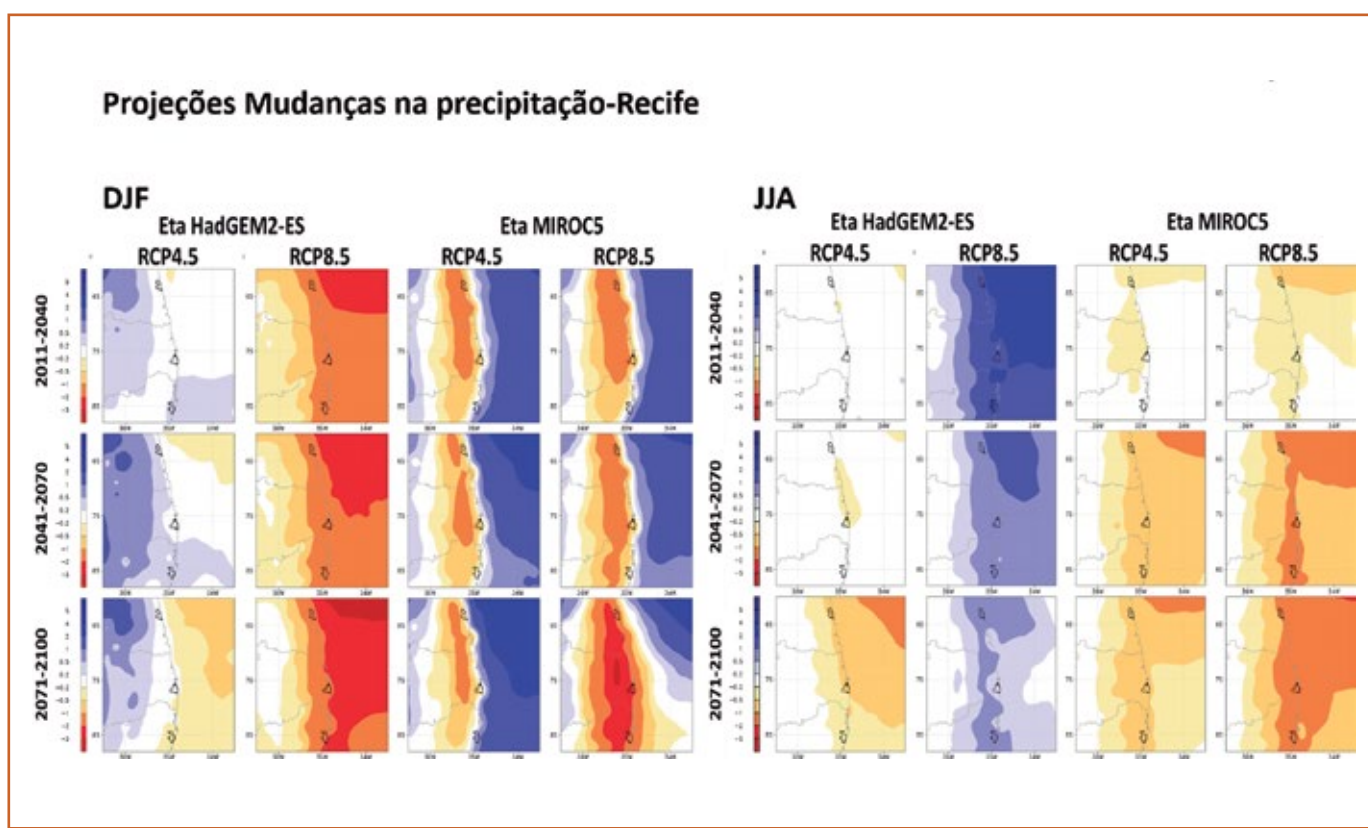


As projeções dos indicadores de extremos de chuva indicam aumento na duração de dias consecutivos secos nas cidades de Recife (figura 7.12), João Pessoa e Natal, ao longo do século XXI, enquanto que dias consecutivos úmidos apresentam pouca mudança na tendência, apesar de que se projetam acumulados anuais de chuva bem abaixo da média do clima presente. Chuvas intensas representadas por R95p, RX1Day e por RX5Day apresentam pequena tendência de aumento nessas cidades.



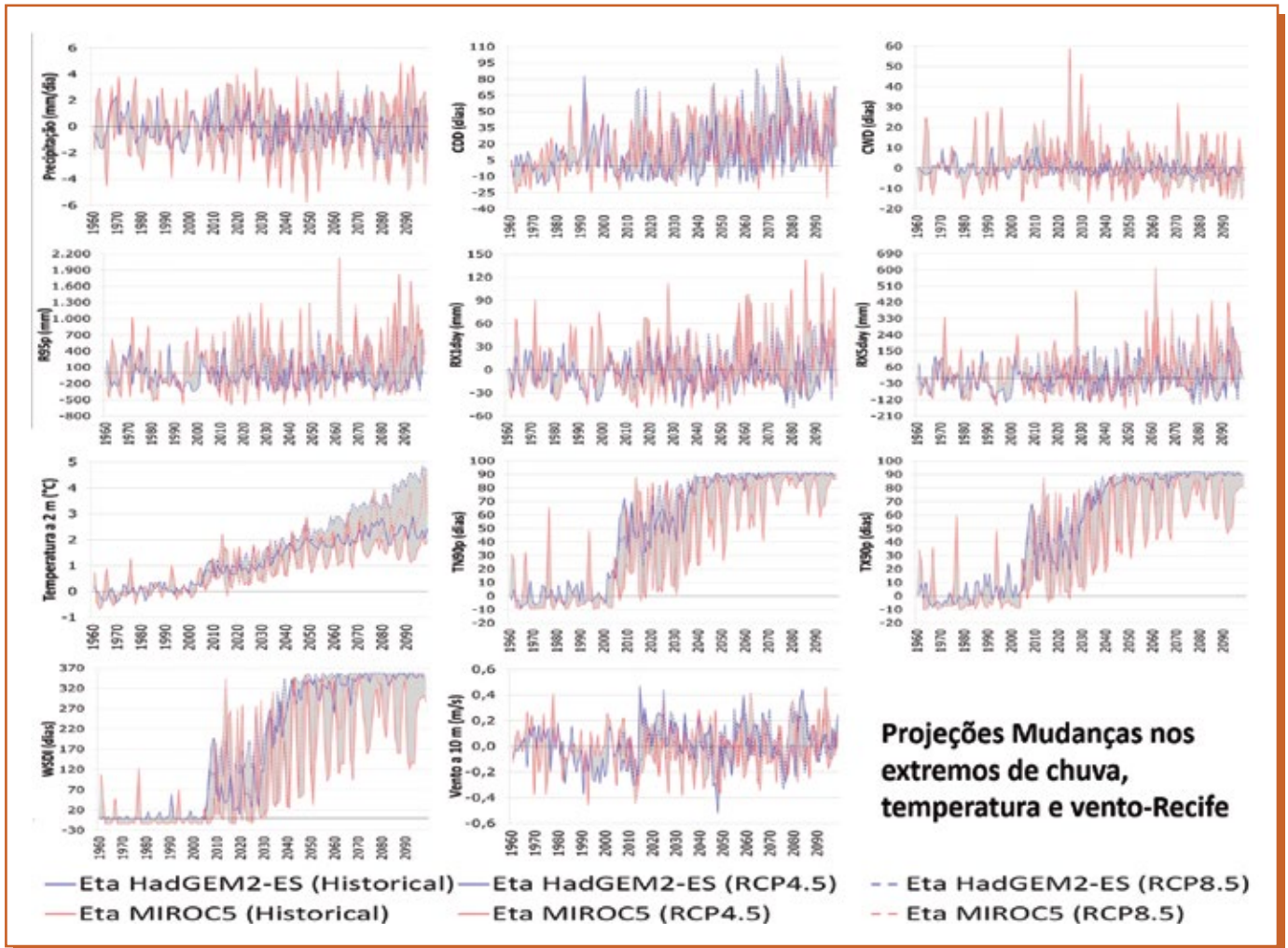
As projeções de temperatura do downscaling dos dois modelos globais são semelhantes, sendo que as projeções do Eta-HadGEM indicam maior aquecimento no final do século XXI. O maior aquecimento é projetado pelo Eta-HadGEM no inverno, enquanto que pelo Eta-MIROC, o maior aquecimento é projetado no verão. Este padrão de maior aquecimento se assemelha à mudança de temperatura de Salvador.

As projeções de mudanças de temperatura para Recife (figura 7.13), João Pessoa e Natal indicam aumento na frequência de temperaturas extremas durante o dia e à noite. A duração dos eventos de onda de calor aumenta mais rapidamente e com maior variabilidade em João Pessoa.



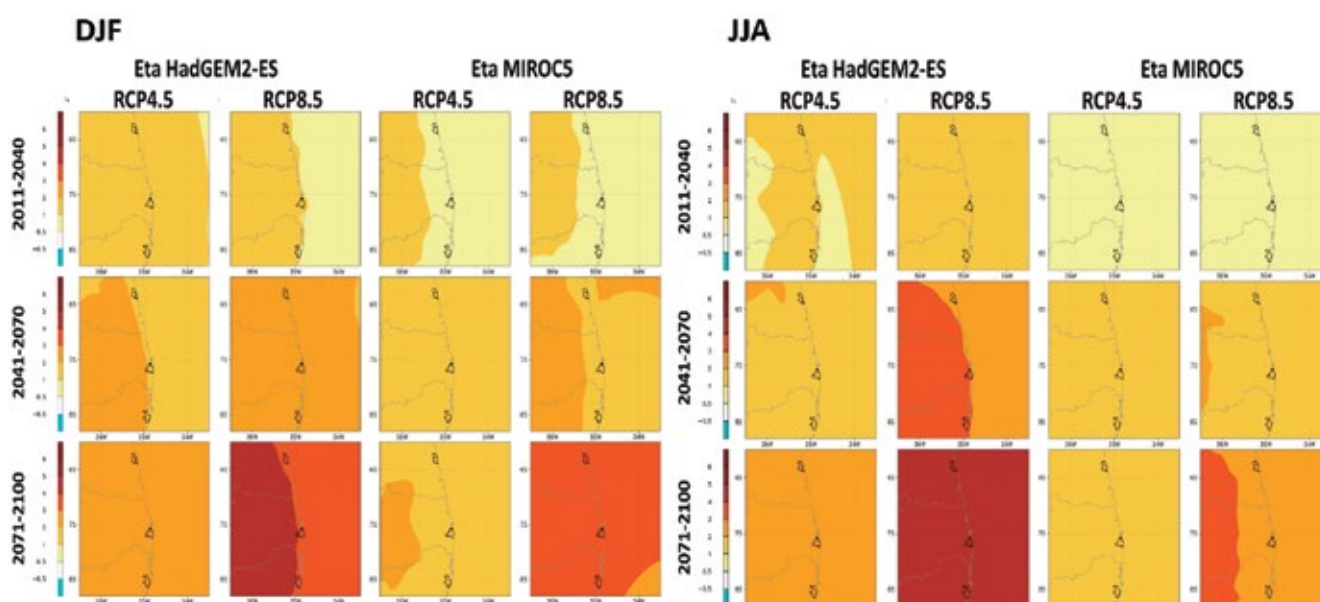
**Figura 7.11** Projeções de chuva para DJF e JJA para a região de Recife. Projeções para 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 são relativas ao presente (1961-90), para os cenários RCP 4.5 e 8.5, derivados do downscaling dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5 usando o modelo regional Eta.

### 7.2 Recife, Pernambuco



**Figura 7.12** Tendência de anomalia da precipitação (mm/dia), dos índices extremos CDD (dias), CWD (dias), R95p (mm), RX1DAY (mm), RX5DAY (mm), da temperatura a 2 metros (oC), e os índices de extremos TN90p (dias), TX90p (dias), WSDI (dias), e vento a 10m (m/s) no Recife, PE. Os valores médios da baseline, período de 1961 a 1990, estão indicados na parte superior de cada gráfico. As anomalias foram calculadas a partir da diferença entre os valores anuais e o valor médio da baseline. As anomalias das simulações do Eta-HadGEM2-ES (azul) e do Eta-MIROC5 (vermelho) foram estimadas para os cenários futuros RCP4.5 (linha cheia) e RCP8.5 (linha tracejada). O intervalo de variação, entre os valores mínimos e máximos está hachurado em cinza.

## Projeções Mudanças na temperatura do ar - Recife



**Figura 7.13** Projeções de temperatura do ar para DJF e JJA para a região de Recife. Projeções para 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 são relativas ao presente (1961-90), para os cenários RCP 4.5 e 8.5, derivados do downscaling dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5 usando o modelo regional Eta.

As simulações do clima apresentam alguma tendência de redução na intensidade dos ventos a 10m, entretanto, as projeções das mudanças do vento mostram tendências diferentes entre as três cidades. Enquanto o vento a 10m de Recife apresenta ligeira tendência a aumento na intensidade, em João Pessoa não há tendência clara ao longo do século XXI, e em Natal as projeções indicam pequena tendência à redução na intensidade dos ventos (Figura 7.12).

## 7.3 Salvador, Bahia

O crescimento desordenado e acelerado da cidade de Salvador, em conjunto com a falta de planejamento urbano e ambiental, propiciou o surgimento e ocupação de áreas vulneráveis à ocorrência de riscos e desastres naturais e sociais. Chuvas intensas e alagamentos são frequentes, deixando como saldo um número significativo de mortos e desabrigados, e no momento em que isto ocorre, a imprensa e órgãos governamentais voltam a atenção para o problema. Predominantemente, o processo começa nas áreas altas dos morros que compõem a paisagem natural, onde geralmente estão construídas as ruas e avenidas de cumeadas (Brandão *et al.*, 2016).

**7.3 Salvador, Bahia**

Souza *et al.* (2015) estudaram a precipitação associada às condições climáticas em Salvador, tendo por base a série histórica de 1961 a 2011. Na análise anual, 1964 (1961) foi o ano mais expressivo dos eventos da classe “muito chuvosa” (“muito seca”). O maior número desses eventos extremos encontra-se nas décadas de 1960 e 1980. Na análise do quadrimestre chuvoso de abril até julho, o ano de 1971 (1980) é o mais significativo da classe “muito chuvosa” (“muito seca”). Os eventos “muito chuvosos” estão concentrados nas décadas de 1970 e 1980. A análise da tendência mostrou uma redução no volume de chuva em todas as escalas temporais. Cabe destacar ainda que algumas tendências nos extremos de clima possam não alcançar significância estatística, extremos de chuva podem gerar desastres naturais que podem afetar negativamente as populações.

Nos últimos anos, marés altas e ressacas também têm destruído barracas de praia e construções na Bahia, em cidades como Prado, Porto Seguro e Valença. Um exemplo foi a Igreja de Nossa Senhora do Loreto, na Ilha dos Frades, em Salvador. Em abril de 2015, a maré alcançou 3,30 metros de altura e quase atingiu a construção de 1617. Na época, o que salvou a construção histórica foi a construção de uma barreira pela proprietária da Fazenda Loreto (figura 7.14). Uma outra barreira de contenção também foi construída recentemente na ponta de Nossa Senhora de Guadalupe, um dos cartões postais da Ilha dos Frades, que obteve no ano passado a Bandeira Azul – selo internacional que garante o alto padrão das praias de todo o mundo. O problema é que o Ministério Público e o IBAMA questionam a obra, alegando suposto impacto ambiental. Vale lembrar que os dois órgãos também criticaram a construção que evitou a destruição da Igreja de Nossa Senhora do Loreto.



**Figura 7.14** Igreja de Nossa Senhora do Loreto, na Ilha dos Frades, em Salvador. Em abril de 2015, a maré alcançou 3,30 metros de altura e quase atingiu a construção de 1617. Na época, o que salvou a construção histórica foi a construção de uma barreira pela proprietária da Fazenda Loreto.

(Fonte: [www.bahianoticias.com.br/app/imprime.php?tabela=principalnoticiasecod=189576](http://www.bahianoticias.com.br/app/imprime.php?tabela=principalnoticiasecod=189576))

Bittencourt *et al.* (2008) analisaram uma série histórica de 14 anos (1990-2003), através de registros em jornais, sobre a ocorrência de eventos severos de erosão costeira em Salvador (com prejuízos econômicos), tendo sugerido uma correlação entre os mesmos e as denominadas ressacas marinhas, caracterizadas por fortes ventos e grandes ondas, associadas a chegada episódicas de frentes frias. Com base nos resultados de Dutra (2008), constatou-se que a penetração de frentes frias, bem como a atuação de centros de alta pressão acoplados a Cavados (centros de baixa pressão) nos baixos níveis, são importantes para explicar o desenvolvimento do processo erosivo nos focos de convergência de onda, quando associados à ocorrência de marés meteorológicas.

As projeções do modelo Eta indicam desde normalidade, à redução das chuvas de verão (DJF) em Salvador (figura 7.15). Este sinal de redução está presente principalmente no cenário de maior concentração dos gases de efeito estufa, RCP8.5, no downscaling de ambos modelos globais, HadGEM2-ES e MIROC5. No outono (MAM), as projeções do Eta-HadGEM2-ES mantém a redução das chuvas, entretanto, as projeções do Eta-MIROC5 iniciam o século XXI com aumento das chuvas; somente a partir do segundo período, de 2041-2070, passam para redução das chuvas até o final do século XXI. Essa redução das chuvas no outono é evidente nas projeções do Eta-MIROC5 no RCP8.5. No inverno (JJA), as projeções de mudanças variam de normalidade até pequena redução das chuvas. Na primavera (SON), as projeções do modelo Eta indicam redução das chuvas com padrão bastante semelhante entre as rodadas forçadas pelos dois modelos climáticos globais.

---

*As projeções indicam que os períodos de dias consecutivos sem chuva se tornarão mais longos, enquanto também indicam que os períodos de dias consecutivos com chuva se tornarão mais curtos. Por outro lado, os eventos extremos diários de chuva ocorrem com acumulados cada vez maiores.*

---



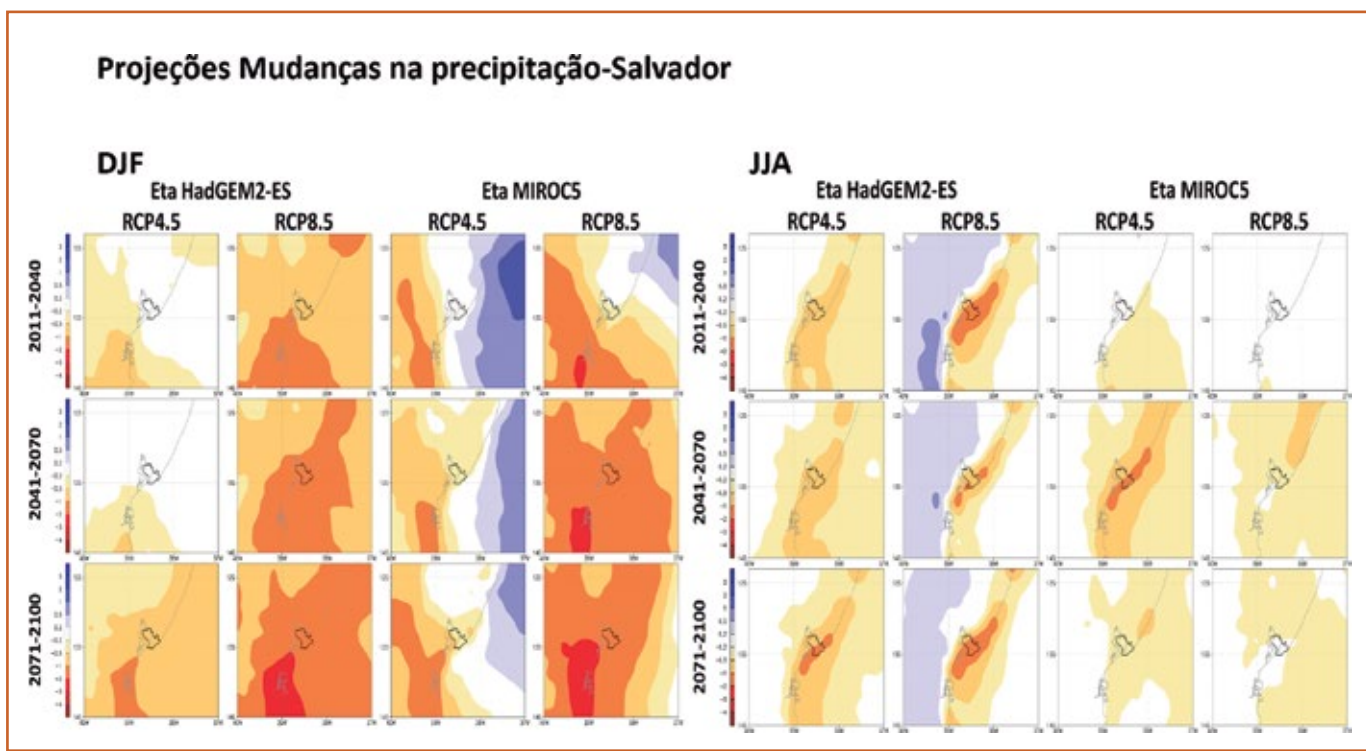
Consistente com o campo espacial na região do entorno de Salvador, a série temporal de Salvador simulada a partir do downscaling dos modelos globais HadGEM2-ES e MIROC5, mostra tendência de redução das chuvas na cidade (figura 7.16), com aumento na variabilidade interanual, portanto, projetam-se anos de excesso de chuva muito acima do normal atual e anos de déficit de chuva muito abaixo do normal. As projeções indicam que os períodos de dias consecutivos sem chuva se tornarão mais longos, enquanto também indicam que os períodos de dias consecutivos com chuva se tornarão mais curtos. Por outro lado, os eventos extremos diários de chuva ocorrem com acumulados cada vez maiores. As projeções de acumulados de 5 dias de chuvas indicam aumento ao longo do século XXI. Este aumento torna as áreas do plano alto da cidade, onde há encostas íngremes, vulneráveis a deslizamento de terra.

### 7.3 Salvador, Bahia

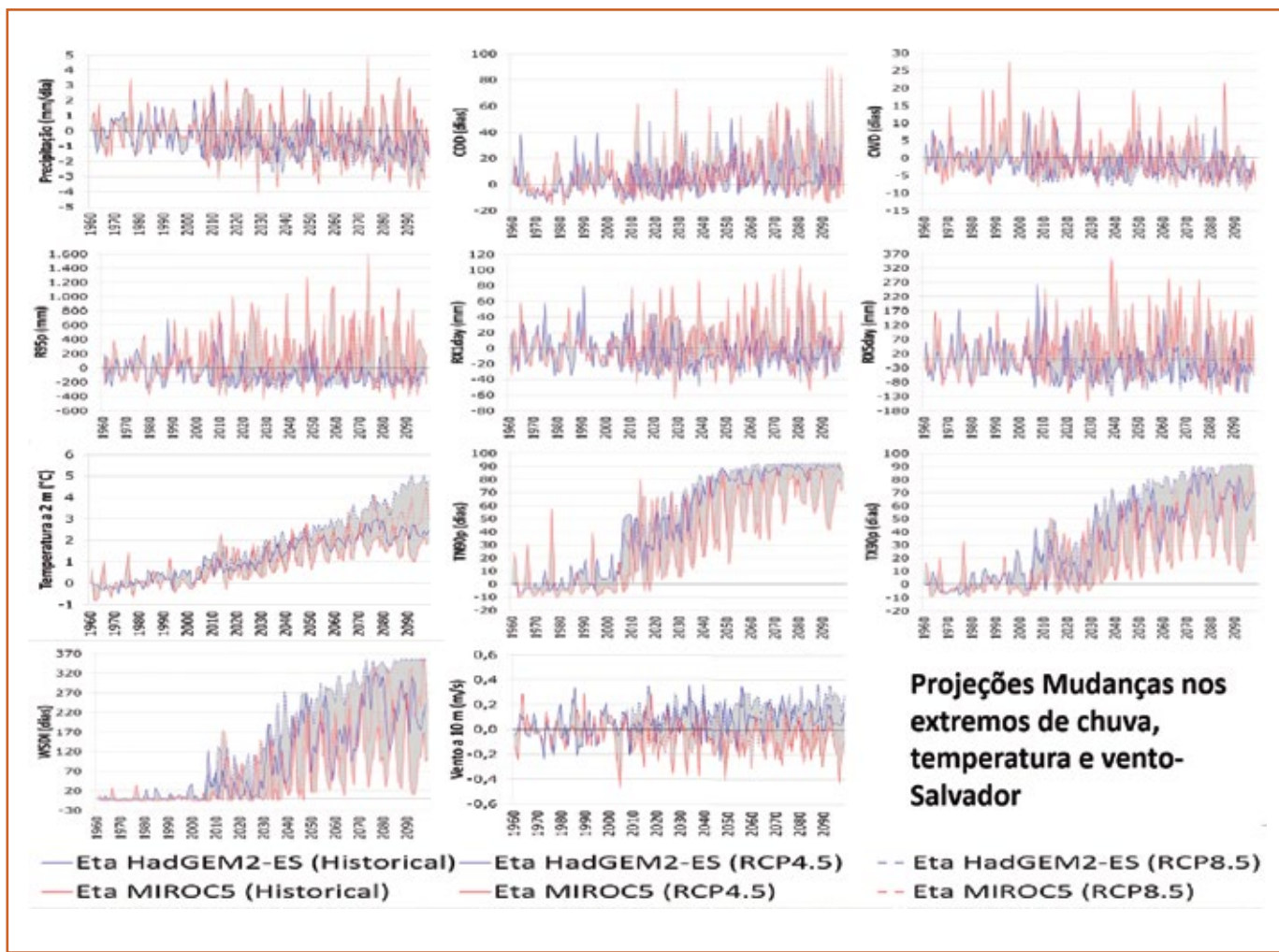
As projeções a partir do downscaling dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5 indicam pequeno aumento nas temperaturas de verão no início do século XXI. Com o passar dos anos, o aquecimento se acelera e atinge cerca de 3 a 4,5°C no final do século. O maior aquecimento é projetado a oeste da cidade, em direção ao interior do continente. No início de século, o aquecimento é de cerca de 1°C, sendo que o downscaling com o HadGEM2-ES se mostra mais sensível às mudanças climáticas. Por outro lado, no final do século XXI, as projeções do Eta-MIROC5 mostram maior aquecimento no verão (DJF), o Eta-HadGEM projeta maior aquecimento no inverno (JJA) (figura 7.17).

Em Salvador, a projeção do aumento da temperatura do ar a 2 metros, é em média de 1°C no primeiro período de 30 anos, de 2011-2040; aumenta cerca de 2°C no segundo período, de 2041-2070 e 3°C no último período, de 2071-2100, atingindo cerca de 4,5°C no final do século XXI. As projeções em Salvador indicam um aumento na frequência de noites quentes, semelhante ao aumento na frequência de dias quentes e ao aumento na duração das ondas de calor. A variabilidade interanual das temperaturas se amplifica ao longo do século XXI.

As projeções da intensidade do vento a 10 metros não mostram uma tendência clara de aumento ou redução, mas mostram aumento da variabilidade interanual, com anos de intensificação seguidos de anos de enfraquecimento dos ventos a 10m (figura 7.16).

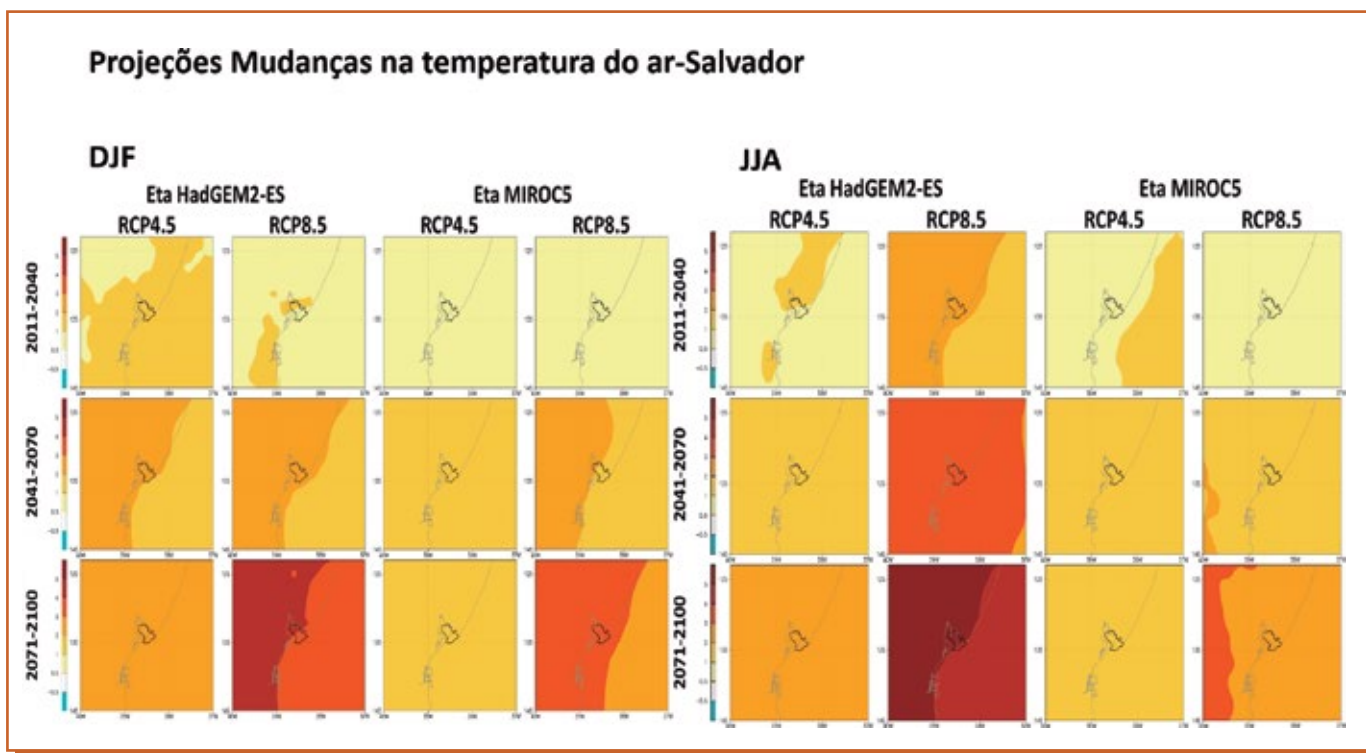


**Figura 7.15** Projeções de chuva para DJF e JJA para a região de Salvador. Projeções para 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 são relativas ao presente (1961-90), para os cenários RCP 4.5 e 8.5, derivados do downscaling dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5 usando o modelo regional Eta.



**Figura 7.16** Tendência de anomalia da precipitação (mm/dia), dos índices extremos CDD (dias), CWD (dias), R95p (mm), RX1DAY (mm), RX5DAY (mm), da temperatura a 2 metros (oC), e os índices de extremos TN90p (dias), TX90p (dias), WSDI (dias), e vento a 10m (m/s) em Salvador, BA. Os valores médios da linha de base, período de 1961 a 1990, estão indicados na parte superior de cada gráfico. As anomalias foram calculadas a partir da diferença entre os valores anuais e o valor médio da linha de base. As anomalias das simulações do Eta-HadGEM2-ES (azul) e do Eta MIROC5 (vermelho) foram estimadas para os cenários futuros RCP4.5 (linha cheia) e RCP8.5 (linha tracejada). O intervalo de variação, entre os valores mínimos e máximos está hachurado em cinza.

### 7.3 Salvador, Bahia



**Figura 7.17** Projeções de temperatura do ar para DJF e JJA para a região de Salvador. Projeções para 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 são relativas ao presente (1961-90), para os cenários RCP 4.5 e 8.5, derivados do downscaling dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5 usando o modelo regional Eta.

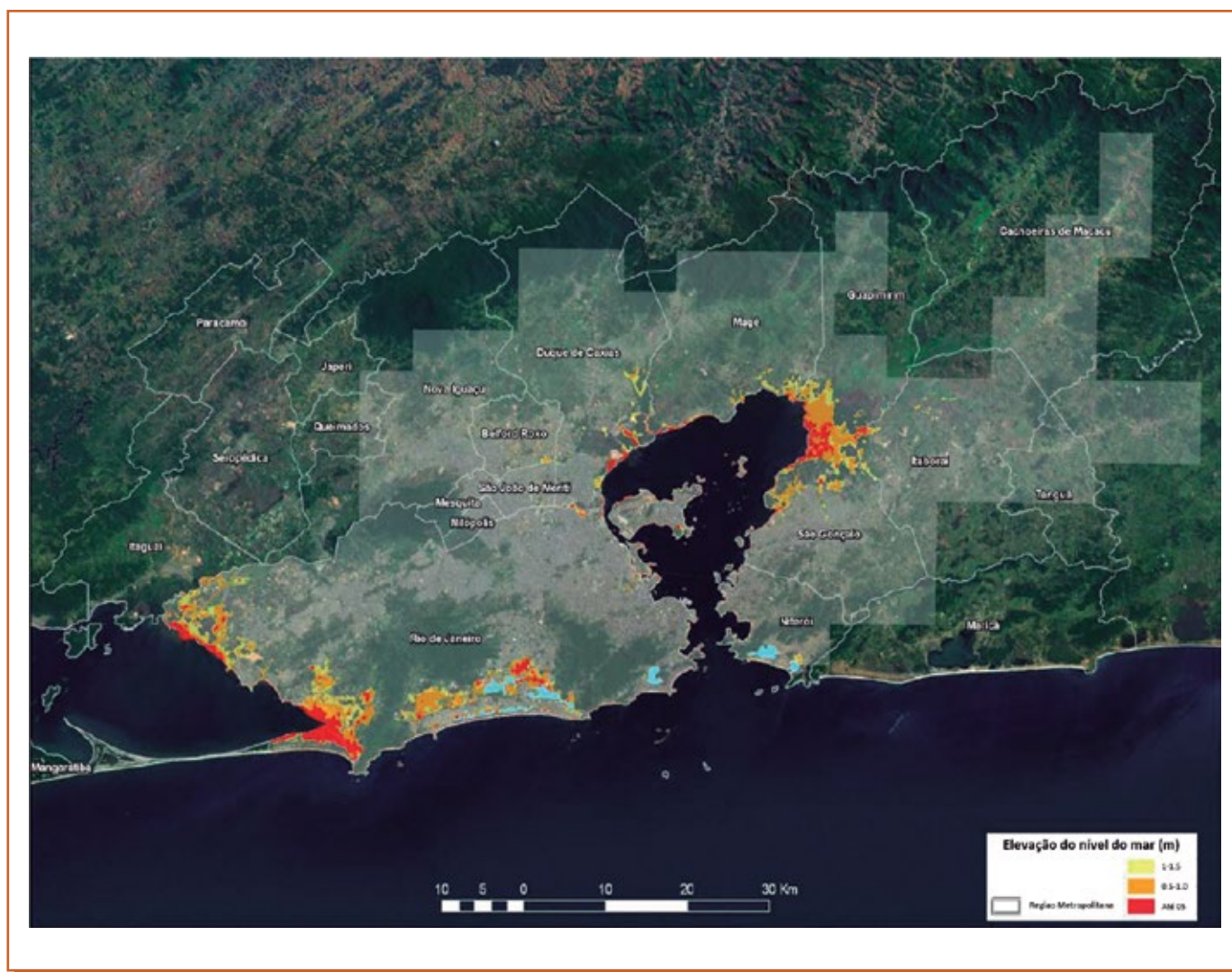
### 7.4 Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

No Brasil, estudos importantes vêm sendo realizados em áreas urbanas, sendo um exemplo fundamental o caso do Rio de Janeiro (Correa, 2008). Em 2007, através do seminário “Rio: próximos 100 anos”, com uma finalidade voltada para a formulação de políticas públicas, foram debatidos os principais aspectos das mudanças ambientais globais que podem afetar a cidade, considerando sua característica metropolitana. Os principais impactos previstos foram relativos às alterações na linha de costa, no microclima, nos extremos climáticos e na própria dinâmica costeira.

A cidade do Rio de Janeiro e sua região metropolitana (RMRJ) abrigam cerca de 11,7 milhões de habitantes e concentram cerca de 70% do PIB do Estado. O município e sua região metropolitana representam a maior e mais complexa aglomeração urbana da zona costeira Brasileira. O município é segundo, após São Paulo, em tamanho da população e em produção industrial no Brasil. A região metropolitana abriga o mais importante pólo petroquímico do Brasil, que inclui refinarias, unidades de produção, dutovias, portos e campos de produção de óleo e gás. Noventa por cento dos manguezais que cercam a Baía de Guanabara foram removidos, e a intensa sedimentação resultou na necessidade de dragagem para manter o transporte de areia. Recursos significativos também são gastos em alimentação (“engordamento”) da praia para controlar a erosão intensa (Muehe e Rosman, 2011).



O mapa na figura 7.18 mostra os possíveis efeitos da elevação do nível médio do mar para a linha de costa da RMRJ como consequência das mudanças climáticas. Em primeira análise é possível notar que três áreas se destacam como mais vulneráveis a alterações na linha de costa e outras de suas características ambientais. Estas são, no município do Rio de Janeiro, o litoral voltado para a Baía de Sepetiba, a Baixada e o Sistema Lagunar de Jacarepaguá, e porção nordeste da linha de costa da Baía de Guanabara, uma área que abrange os municípios de Guapimirim, Magé, Itaboraí e São Gonçalo, onde se localiza a Área de Proteção Ambiental de Guapimirim, conhecida pela sua extensa vegetação de mangue. É possível também notar que as praias, expostas ou abrigadas, se confirmam como o tipo de ambiente mais marcado no mapeamento como vulnerável à redefinição da linha de costa. Os motivos são conhecidos, já que tais ambientes estão diretamente conectados ao mar ou às baías de Guanabara ou Sepetiba, sofrendo diretamente os efeitos da elevação do NMM (Silva e Mandarino, 2011).



**Figura 7.18** Áreas vulneráveis a redefinição da linha de costa pela elevação do nível médio do mar (Silva e Mandarino, 2011)

### 7.4 Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

A RMRJ tem sido castigada, principalmente durante a estação chuvosa (de novembro a março), por eventos de chuvas intensas que geram grandes transtornos à população. Diante das análises anteriores, percebe-se que o clima no município do Rio de Janeiro está se tornando mais úmido. Com base em séries climáticas da RMRJ desde 1960, os totais pluviométricos anuais estão em elevação e eventos de chuvas intensas têm ocorrido com maior frequência. Esta diferença pode estar associada tanto com uma mudança na circulação em escala sinótica, quanto com a circulação local devido ao efeito de ilha de calor urbana. O aquecimento extra gerado pela ilha de calor no Rio de Janeiro, possivelmente altera a direção e intensidade das brisas marítima e terrestre, que por sua vez podem alterar os padrões de advecção de umidade no município (Silva e Dereczynski, 2010; Dereczynski *et al.*, 2013). Os dias e as noites quentes (frios) estão mais (menos) frequentes, consistentes com um cenário de aquecimento global. O recente trabalho de Ávila *et al.* (2016) mostra tendências positivas na chuva anual e sazonal na RMRJ entre 1978 e 2014, e os índices de extremos de chuva na região, o que pode indicar aumento na frequência e intensidade de enxurradas e deslizamentos de terra.

---

*Com base em séries climáticas da RMRJ desde 1960, os totais pluviométricos anuais estão em elevação e eventos de chuvas intensas têm ocorrido com maior frequência.*

---



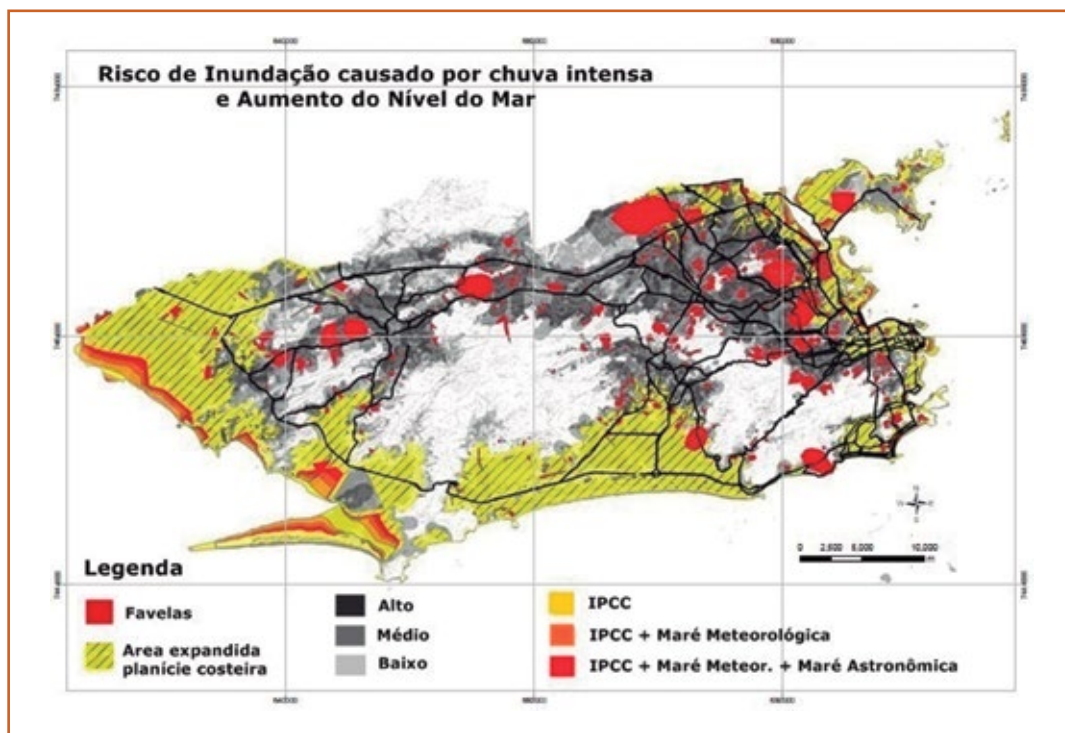
O Instituto Pereira Passos (IPP) foi responsável pela cartografia da cidade do Rio até 2008 e forneceu o mapeamento das curvas de nível, que foram interpoladas para elaboração de um modelo digital do terreno (MDT). Através do MDT gerado a partir de métodos de interpolação, foram identificadas as áreas mais baixas do município, que seriam mais suscetíveis ao aumento do nível do mar (figura 7.19); nesta figura, as áreas em vermelho e laranja seriam as mais afetadas e correspondem basicamente a localidades da zona leste, parte da zona sul e a zona oeste do município. As porções mais afetadas da zona leste seriam a região portuária e a Ilha do Governador. Na zona sul, o aterro do Flamengo aparece como a área mais afetada. Observa-se que nestas regiões encontram-se os aeroportos do Galeão e Santos Dumont, a Marina da Glória, bem como toda a enseada do Bairro Flamengo e Botafogo. Já a zona oeste da cidade congrega as regiões de Bangu, Campo Grande, Santa Cruz e Guaratiba (na Baía de Sepetiba) (Young e Hogan, 2010).



**Figura 7.19** Identificação das áreas afetadas pelo aumento do nível do mar. O mapa indica, em laranja claro, as áreas com cotas até 0,40m; em laranja escuro, aquelas com cotas entre 0,40m e 0,60m; e, em marrom, as áreas com cotas de 0,60m até 1,50m. Esta última representa as possíveis áreas atingidas pela elevação do nível do mar, considerando as oscilações da maré, que podem alcançar 0,80m. Deve-se notar que o quantitativo das áreas atingidas é cumulativo, isto é, a cota até 1,50m inclui a cota até 0,40m e 0,60m, assim como a cota até 0,60m inclui a cota até 0,40m. Fonte: IPP (2008).

Em relação aos diferentes tipos de processos de enchentes e inundações que podem afetar as comunidades e benfeitorias existentes na área do município do Rio de Janeiro, um dos cenários de risco que merece ser destacado é aquele decorrente de processos que atingem extensas áreas urbanizadas da planície costeira (figura 7.20). As estações ou períodos de cheias são fenômenos de origem natural e de alta relevância ambiental. Entretanto, a ocupação urbana interfere neste processo na medida em que provoca o seu agravamento e que sua ocorrência passa a constituir um risco para a população, suas benfeitorias e atividades econômicas. Existe certo consenso entre cientistas sobre a possibilidade de enchentes e precipitações intensas tornarem-se mais frequentes, imprevisíveis e de magnitude mais severa com as mudanças climáticas. (figura 7.20).

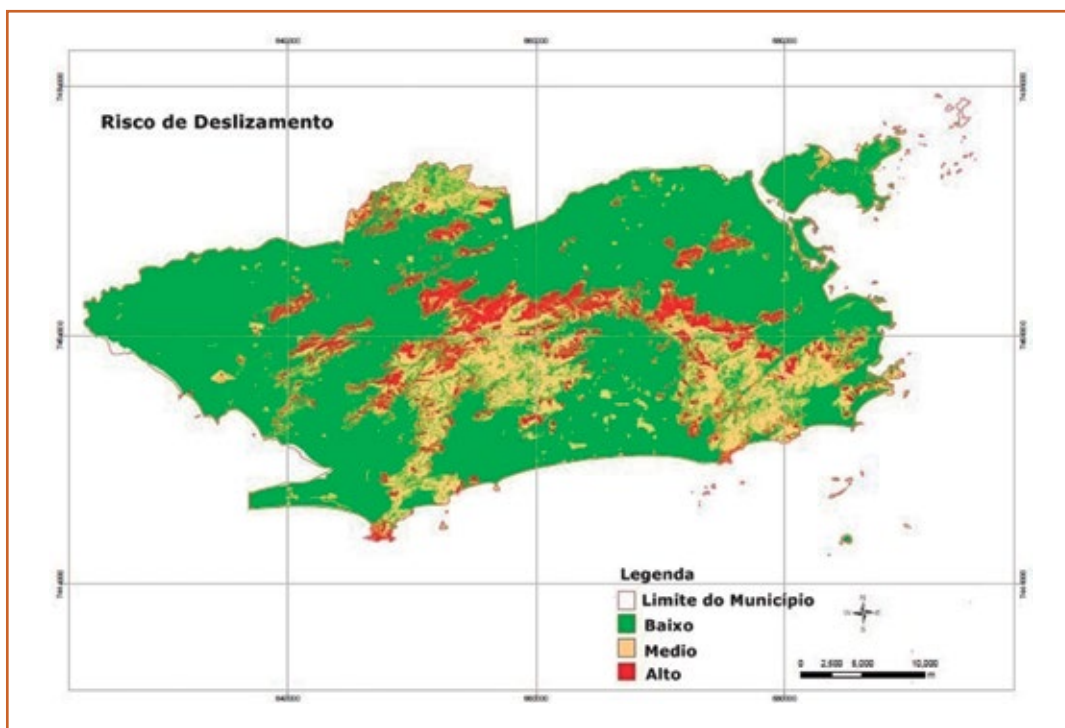
#### 7.4 Rio de Janeiro, Rio de Janeiro



**Figura 7.20** Mapeamento da vulnerabilidade a cheias e enchentes do município do Rio de Janeiro. Processado por Young e Santos (2010) com base nos dados fornecidos pelo IPP (Young e Hogan, 2010).

Analisando a figura 7.21 é possível observar o processo de ocupação das encostas do município do Rio de Janeiro. Os dados fornecidos pelo Instituto Pereira Passos permitiram a elaboração desse mapeamento com a identificação das áreas sujeitas a deslizamentos e escorregamentos.

Tendências observadas no presente de extremos de chuva e temperatura aparecem na figura 7.22. Estas são estatisticamente significativas para temperatura do ar, mas não para precipitação, com a exceção do índice de chuva extrema R95p no Alto da Boa Vista. As temperaturas da superfície do mar têm aumentado entre 1 a 1,5°C nas últimas décadas, e águas mais quentes tendem a evaporar mais intensamente, no que implica em a brisa levar mais chuva para a cidade. Magrin *et al.* (2014) mostram que extremos de precipitação tem aumentado no tempo no Sudeste da América do Sul, e as projeções dos cenários de clima futuro apontam para um aumento nos extremos de chuva, o que pode ter efeitos graves na RMRJ, particularmente na forma de enchentes urbanas, enxurradas e deslizamentos de terra. Este é o caso da tendência de chuvas extremas no Alto da Boa Vista, localizado numa área florestal. Em termos de temperatura, noites quentes/frias são mais/menos frequentes nas ultimas décadas, consistentes com uma tendência de aquecimento global (Dereczynski *et al.*, 2013).



**Figura 7.21** Mapeamento da vulnerabilidade nas encostas do município do Rio de Janeiro. Processado por Young e Santos (2010) com base nos dados fornecidos pelo IPP.

| Indicador | Definição e unidade  | Alto da Boa Vista | Santa Cruz       |
|-----------|--|-------------------|------------------|
| PRCPTOT   | Precipitação anual de dias úmidos (mm)   | ↗ +7.83 mm/ano    | ↗ +2.54 mm/ano   |
| R95P      | Precipitação anual de dias com chuva acima do percentil 95 th (mm)                         | ↗ +11.77 mm/ano   | Não trend        |
| R99P      | Precipitação anual de dias com chuva acima do percentil 99 th (mm)                         | ↗ +3.4 mm/ano     | Não trend        |
| R30 mm    | Numero de dias com chuva acima de 30 mm  | ↗ +0.77 dia/ano   | ↗ +0.03 dia/ano  |
| RX1 day   | Chuva máxima no periodo de 1 dia (mm)  | ↗ +1.04 mm/ano    | ↘ -0.86 mm/ano   |
| RX5 day   | Chuva máxima no periodo de 5 dias consecutivos num ano                                     | ↗ +1.54 mm/ano    | ↘ -0.47 mm/ano   |
| CDD       | Numero de dias secos consecutivos (dias)   | Não trend         | Não trend        |
| CWD       | Numero de dias úmidos consecutivos num ano (dias)  | Não trend         | Não trend        |
| SU25      | Numero de dias com Tmax acima de 35°C (dias)   | ↗ +1.42 dia/ano   | ↗ +0.44 dia/ano  |
| TMAXmean  | Temperatura máxima media anual (°C)  | ↗ +0.04 °C/ano    | ↗ +0.03 °C/ano   |
| TX90p     | Porcentagem do numero de dias quentes (%)  | ↗ +0.15% dia/ano  | ↗ +0.15% dia/ano |
| TX90p     | Porcentagem do numero de dias quentes (%)  | ↘ -0.20% dia/ano  | ↘ -0.11% dia/ano |
| WSDI      | Numero de dias no ano com pelo menos 6 dias consecutivos com TMAX acima do percentil 90 th | ↗ +0.17 dia/ano   | ↗ +0.20 dia/ano  |
| TMINmean  | Temperatura mínima media anual (°C)  | Não trend         | ↗ +0.01 °C/year  |
| TN90p     | Porcentagem do numero de noites quentes (%)  | ↗ +0.03% dia/ano  | ↗ +0.17% dia/ano |
| TN10p     | Porcentagem do numero de noites frias (%)  | ↘ -0.03% dia/ano  | ↘ -0.06% dia/ano |
| DTR       | Amplitude térmica (TMAX-TMIN) (°C)   | ↗ +0.05 °C/ano    | ↗ +0.01 °C/ano   |

**Figura 7.22** Tendências e magnitude de mudanças em extremos de chuva e temperatura observados no Alto da Boa Vista e no bairro de Santa Cruz. Os valores em negrito são considerados estatisticamente significativos com um nível de confiança de 95%. RR é a chuva diária. Dia úmido é definido como dia com  $RR \geq 1$ mm. Dia seco é definido como chuva com  $RR < 1$ mm. TX e TN são as temperaturas máxima e mínima, respectivamente (Dereczynski et al., 2013).

### 7.4 Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

O aumento da temperatura, somado à seca, põe pressão sobre o abastecimento de água potável do Rio de Janeiro. O Rio de Janeiro não tem diques ou outros artefatos que poderiam proteger a praia da elevação do NMM modesto ou mesmo de grandes tempestades. Para o Estado do Rio de Janeiro, o IBGE confirma que os registros de medição do nível do mar no município de Macaé, litoral norte fluminense, em um período de 5 anos (2002 a 2006), aumentou 15cm (variação relativa), tornando-se a situação mais grave do referido Estado. Na RMRJ, 1.202km<sup>2</sup> da sua área se enquadram como Zona Costeira de Baixa Elevação (ZCBE), representando pouco mais de 18% da área total. Desta forma, fica claro que o cenário de risco associado aos assentamentos urbanos localizados nestas áreas é muito relevante para a RMRJ, na qual é notório o processo de ocupação concentrado no litoral. Embora as favelas sempre sofram impacto durante a estação chuvosa, a pavimentação de calçadas e ruas tem o efeito de aumentar o escoamento para o ponto onde a água é muitas vezes concentrada entre as casas. O escoamento de comunidades em encostas íngremes, incluindo Petrópolis e favelas no Maciço da Tijuca, é canalizado para baixo via cursos de água canalizados para as planícies costeiras estreitas, onde se juntam canais cuja capacidade limitada provoca frequentes inundações. A disposição mais rebaixada da área do contorno interno da Baía de Guanabara, confere ainda maior risco de inundações no caso de marés excepcionais acompanhadas de precipitações intensas. Na Baía de Guanabara, somados os riscos sociais, naturais e tecnológicos expostos, calculou-se que a taxa de exposição populacional ao risco é de 78%, a maior do país (Nicolodi e Petermann, 2010). Como exemplo dos estragos que podem ser feitos, em maio de 2016 uma ressaca destruiu a ciclovia inaugurada em janeiro do mesmo ano, matando duas pessoas. Egler e Gusmão (2011) consideram os efeitos que possam vir a ter os pulsos de inundação provocados por eventos extremos sobre as áreas costeiras de baixa altitude nas orlas das baías de Sepetiba e Guanabara e no entorno das lagoas costeiras. Faz-se necessário não apenas estudos que modelem os efeitos de tais pulsos, como também a definição de modelos de gestão e planos de contingência em escala metropolitana, capazes de integrar de forma coordenada os órgãos de planejamento e de defesa civil das esferas federal, estadual e municipal.

---

*Na Baía de Guanabara, somados os riscos sociais, naturais e tecnológicos expostos, calculou-se que a taxa de exposição populacional ao risco é de 78%, a maior do país (Nicolodi e Petermann, 2010).*

---



As principais consequências na zona costeira em função do aumento dos extremos climáticos são: (a) com tempestades mais intensas no mar, as ondas ficam mais altas e as marés meteorológicas mais elevadas. Portanto, onde houver ruas e avenidas na retro-praia haverá sérios problemas de erosão e possível destruição de muros, ruas e avenidas devido à diminuição das faixas de areia. A vulnerabilidade física da zona costeira do município e RMRJ a uma elevação do nível do mar, se caracteriza pelos riscos de erosão costeira e principalmente pelos de inundação, intensificados pela recorrência de eventos extremos como ressacas, ventos fortes e chuvas intensas. (b) No que tange à erosão costeira, a vulnerabilidade aumenta com o grau de exposição às ondas. Pode-se afirmar que o simples aumento estático do nível do mar não provoca erosão e que esta é uma função da movimentação da água por ondas e correntes. (c) Assim, há necessidade de distinguir ambientes distintos de exposição. A orla, portanto, pode ser classificada como exposta, semi-exposta e abrigada (Muehe e Rosman, 2011).

De Sherbinin *et al.* (2007) conclui que o Rio de Janeiro sofre a partir de uma escala de vulnerabilidade significativa aos riscos climáticos, particularmente inundações, enxurradas e deslizamentos de terra. Populações das favelas e próximas a cursos de água são altamente vulneráveis, enquanto as classes mais altas habitam em áreas superiores, relativamente menos vulneráveis e pouco suscetíveis à inundação. Chuvas extremas e inundações, convergindo com uma elevação do NMM, podem aumentar as pressões, afetando a região portuária e industrial, bem com a economia baseada no turismo. Outros impactos das mudanças climáticas seriam um aumento de extremos climáticos, isto é, períodos de secas mais prolongados e eventos de tempestades com mais ventos e chuvas de maior intensidade.

Conforme relatado pela imprensa, em janeiro de 2011 a região serrana do estado do Rio de Janeiro foi devastada por chuvas intensas, ocasionadas pela chegada de um sistema frontal. Em apenas 12 horas, foram registrados 222mm de precipitação. De acordo com o banco de dados internacional de desastres, com sede na Bélgica, foi o desastre natural mais severo da história do país, com mais de 100 mortes (em Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto e Bom Jardim, sendo as duas primeiras as cidades com maior número de vítimas), mais de 9.000 desabrigados e mais de 11.000 desalojados. As fortes chuvas deflagraram movimentos de massa em encostas e enchentes que removeram solos, rochas e árvores, gerando um cenário de destruição nos locais afetados (Nobre *et al.*, 2011). Anteriormente, em janeiro de 2010, 63 pessoas morreram em consequência de chuvas intensas e deslizamentos de terra em Angra dos Reis, no Rio de Janeiro. Os maiores impactos se concentraram na Praia do Bananal, em Ilha Grande, e no Morro da Carioca, na região central de Angra (figura 7.23).

### 7.4 Rio de Janeiro, Rio de Janeiro



**Figura 7.23** Deslizamento no Morro da Carioca na região central de Angra dos Reis (RJ), em janeiro de 2010.

A cidade de Rio de Janeiro possui três características marcantes: (i) se trata do segundo maior pólo econômico do país, com frentes ligadas ao petróleo, logística, turismo, entre outros; (ii) sua geografia, entre o mar e as montanhas, torna vulnerável a mudanças climáticas as populações que vivem à beira-mar, nas baixadas e em encostas; e (iii) ao contrário da maioria de outros grandes centros urbanos, o Rio de Janeiro possui um cinturão verde de cerca de 90.000 hectares de áreas protegidas, que se expandem até 200.000 ha quando a área metropolitana é incluída. Esse cinturão protege áreas de Mata Atlântica, um hotspot de biodiversidade, e ecossistemas associados, como restingas, manguezais, além de sistemas de lagoas, mar e oceano (Egler e Gusmão, 2014; Scarano, 2014). Assim, se por um lado a cidade do Rio de Janeiro, sob o prisma da biodiversidade, foi classificada como pouco vulnerável a pressões antrópicas (Costa *et al.*, 2009), com altos índices de valor de conservação (a maior concentração de espécies ameaçadas e endêmicas dentre os municípios do estado; Rocha *et al.*, 2009), por outro lado apresenta-se vulnerável a mudanças climáticas quanto a elevação do nível do mar, deslizamento de encostas, suprimento de água e inundações (Egler e Gusmão, 2014).

Esta iniciativa da Prefeitura do Município do Rio de Janeiro foi iniciada em 1987 com o objetivo de reflorestar encostas e manguezais. Até 2007, essa iniciativa já havia restaurado 2.500 hectares em cerca de 100 comunidades carentes.





Essa combinação de características, portanto, sugere um grande potencial e oportunidade para a adaptação baseada em ecossistemas. Scarano (2014) lista uma série de práticas já em curso que podem ser caracterizadas como AbE, como, por exemplo, o Programa Mutirão Reflorestamento. Esta iniciativa da Prefeitura do Município do Rio de Janeiro foi iniciada em 1987 com o objetivo de reflorestar encostas e manguezais. Até 2007, essa iniciativa já havia restaurado 2.500 hectares em cerca de 100 comunidades carentes. Um dos elementos de inovação do projeto é a participação direta das comunidades beneficiadas na realização dos plantios, em regime de mutirão remunerado. A população favorecida é estimada em 300 mil e o total de mudas plantadas já supera os 4 milhões. Atualmente conta com 700 plantadores e tinha como objetivo, até o fim de 2013, plantar mais 1.500 hectares de florestas, especialmente na zona oeste da cidade. Cerca de 200 espécies nativas da Mata Atlântica são usadas no programa que, simultaneamente, gera empregos diretos e indiretos, reduzindo a pobreza, recompõe a biodiversidade, amplia a cobertura verde da cidade e controla a expansão das comunidades sobre as áreas de risco. Por outro lado, a cidade e sua região metropolitana ainda possui grandes desafios, como a despoluição de corpos hídricos, como a Baía de Guanabara, e sistemas lagunares. A tabela 7.3 apresenta uma análise de pontos fortes, fracos, oportunidades e riscos que a cidade e sua região metropolitana apresentam.



**Tabela 7.3.** Pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e riscos para a cidade do Rio de Janeiro e região metropolitana no que diz respeito ao potencial existente para adaptação às mudanças climáticas baseada em ecossistemas (adaptado de Scarano, 2014).

| PONTOS FORTES   | DEFICIÊNCIAS   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Infraestrutura verde:</b> a região metropolitana já dispõe de cinturão verde, grande proporção de áreas protegidas e parques urbanos, e longo histórico de experiências bem-sucedidas de restauração ecológica.</li> <li>✓ <b>Ciência, tecnologia e inovação:</b> o Rio de Janeiro é um dos principais centros do país.</li> <li>✓ <b>Turismo:</b> a cidade já possui grande apelo turístico, que tende a ser ampliado com os grandes eventos que foram realizados até 2016.</li> <li>✓ <b>Legislação:</b> o Rio de Janeiro é um dos poucos Estados brasileiros a já contar com uma legislação de Pagamentos de Serviços Ambientais.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Limites:</b> desconhecimento dos limites para a manutenção da biodiversidade e consequentes serviços ambientais.</li> <li>✓ <b>Acordos globais:</b> as convenções das Nações Unidas para a biodiversidade e o clima são acordos de alçada federal e o engajamento subnacional em busca do alcance das metas dos acordos é apenas voluntário.</li> <li>✓ <b>Poluição:</b> sistemas lagunares, rios, baías e algumas praias costeiras apresentam altos índices de poluição, que demandarão alto investimento para reverter o quadro.</li> <li>✓ <b>Planos de desenvolvimento:</b> que não integram os componentes socioeconômico e ambiental.</li> </ul> |
| OPORTUNIDADES   | RISCOS   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Bons modelos:</b> a região metropolitana já tem bons exemplos que podem ganhar escala com o devido investimento.</li> <li>✓ <b>Governança integrada:</b> tomada de decisão alinhada entre municípios da região metropolitana e outros, com base em serviços ambientais.</li> <li>✓ <b>Economia verde urbana:</b> a mudança para uma cultura de produção, distribuição e consumo sustentável pode vir a partir de exemplos dados por governo ou setor privado.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Desastres:</b> geomorfologia da cidade naturalmente impõe riscos de desastres naturais.</li> <li>✓ <b>Pobreza:</b> persistência de pobreza impõe constante ameaça aos recursos naturais.</li> <li>✓ <b>Economia:</b> ingresso em ciclo econômico de recessão pode gerar impressão a tomadores de decisão de que o investimento em ações adaptativas e de sustentabilidade não são prioritárias.</li> </ul>   |

### 7.4 Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

As projeções do Eta aninhado ao HadGEM2-ES indicam forte redução das chuvas de verão (DJF) para a cidade do Rio de Janeiro (figura 7.24), principalmente no primeiro período de 2011 a 2040 e no final do século XXI, quando as reduções atingem cerca de 5mm/dia. Essa redução das chuvas ocorre principalmente ao longo do litoral e em regiões de baixa altitude. No município do Rio de Janeiro, a redução mais intensa se localiza na zona oeste. O padrão de mudanças nas chuvas de verão projetadas pelo Eta aninhado ao MIROC5 é distinto ao longo do século XXI. A redução é pequena, em cerca de 0,5 a 1mm/dia. Outono, MAM, é a estação de menores mudanças nas chuvas em ambos cenários de emissão e em ambas projeções regionalizadas com modelos globais. No inverno, JJA, climatologicamente ocorrem poucas chuvas no Rio de Janeiro; enquanto as projeções usando HadGEM2-ES mostram mudanças na chuva entre pequena redução à normalidade, as projeções regionalizadas usando do MIROC5 mostram mudanças de neutralidade a aumento das chuvas de inverno até o final do século XXI. A primavera, SON, é a estação em que as projeções regionalizadas a partir dos dois modelos globais mostram mudanças de sinais opostos nas chuvas. Enquanto as projeções do Eta-HadGEM2-ES reduzem as chuvas no litoral, inclusive no Rio de Janeiro, as projeções do Eta-MIROC5 aumentam até o final do século. Estas mudanças são mais intensas no cenário RCP8.5. Portanto, as projeções de mudanças nas chuvas nesse município e região no entorno apresentam grandes incertezas, principalmente na primavera.

*As projeções dos extremos de intensidade de chuva diária ou acumulada indicam aumento na variabilidade interanual, mostrando anos de aumento seguidos de anos de redução de chuvas.*



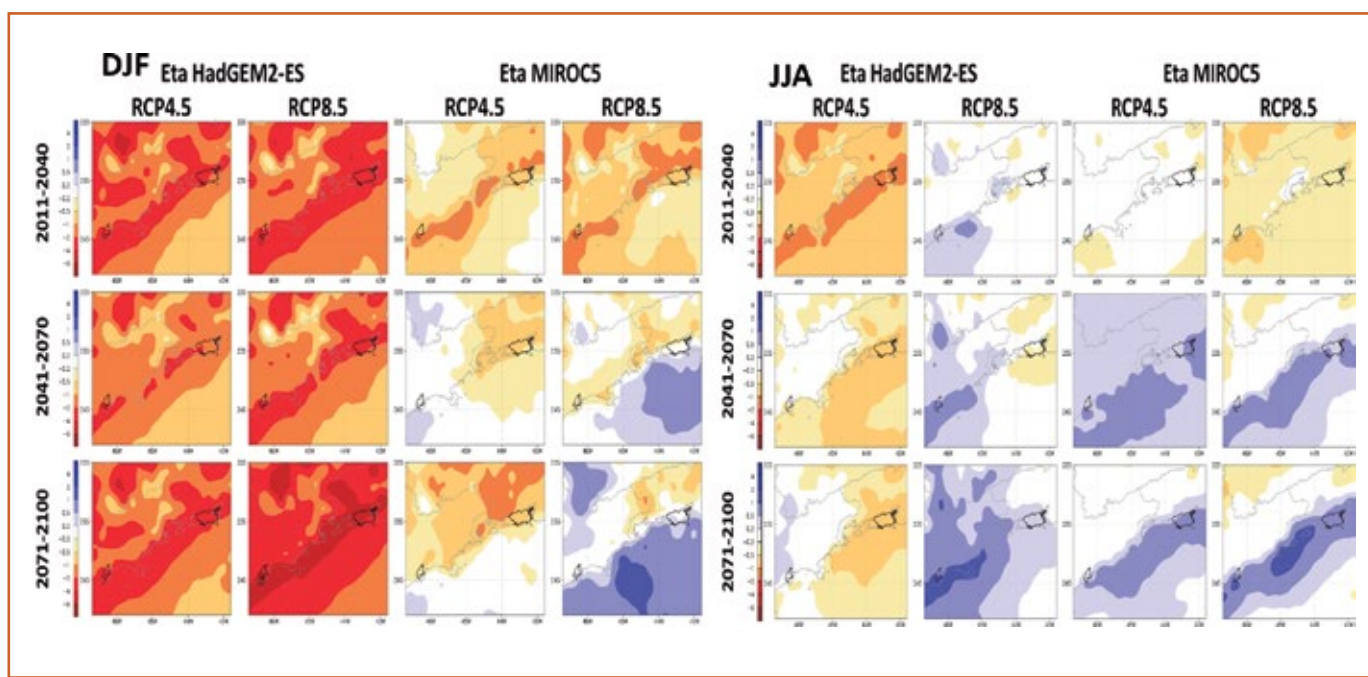
As projeções de extremos climáticos (figura 7.25) do Eta-HadGEM2-ES indicam aumento na duração dos dias consecutivos secos e analogamente diminuição dos dias consecutivos úmidos. Por outro lado, as projeções do Eta-MIROC5 discordam das projeções do Eta-HadGEM ao apresentar pouca mudança na duração dos dias consecutivos secos, mas um ligeiro aumento na duração dos dias consecutivos úmidos. As projeções dos extremos de intensidade de chuva diária ou acumulada indicam aumento na variabilidade interanual, mostrando anos de aumento seguidos de anos de redução de chuvas. As projeções do Eta-HadGEM tendem a produzir extremos negativos, enquanto as projeções do Eta-MIROC5 tendem a produzir extremos positivos das chuvas intensas.

O maior aquecimento no município é projetado para ocorrer no verão e primavera, DJF e SON, principalmente no interior do continente. Apesar do aquecimento ser mínimo ao longo do litoral, nota-se máximos secundários sobre o município do Rio de Janeiro (Dereczynski *et al.*, 2013). As projeções de extremos de temperatura indicam aumento na frequência de noites quentes e dias quentes, sendo que as projeções do Eta-HadGEM2-ES percorrem uma trajetória de maior aquecimento do que as projeções do Eta-MIROC5. Ambas projeções tendem a aumentar a variabilidade interanual com o passar dos anos até o final do século XXI (figura 7.26).

As projeções de extremos de temperatura indicam aumento na frequência de noites quentes e dias quentes, sendo que as projeções do Eta-HadGEM2-ES percorrem uma trajetória de maior aquecimento do que as projeções do Eta-MIROC5.

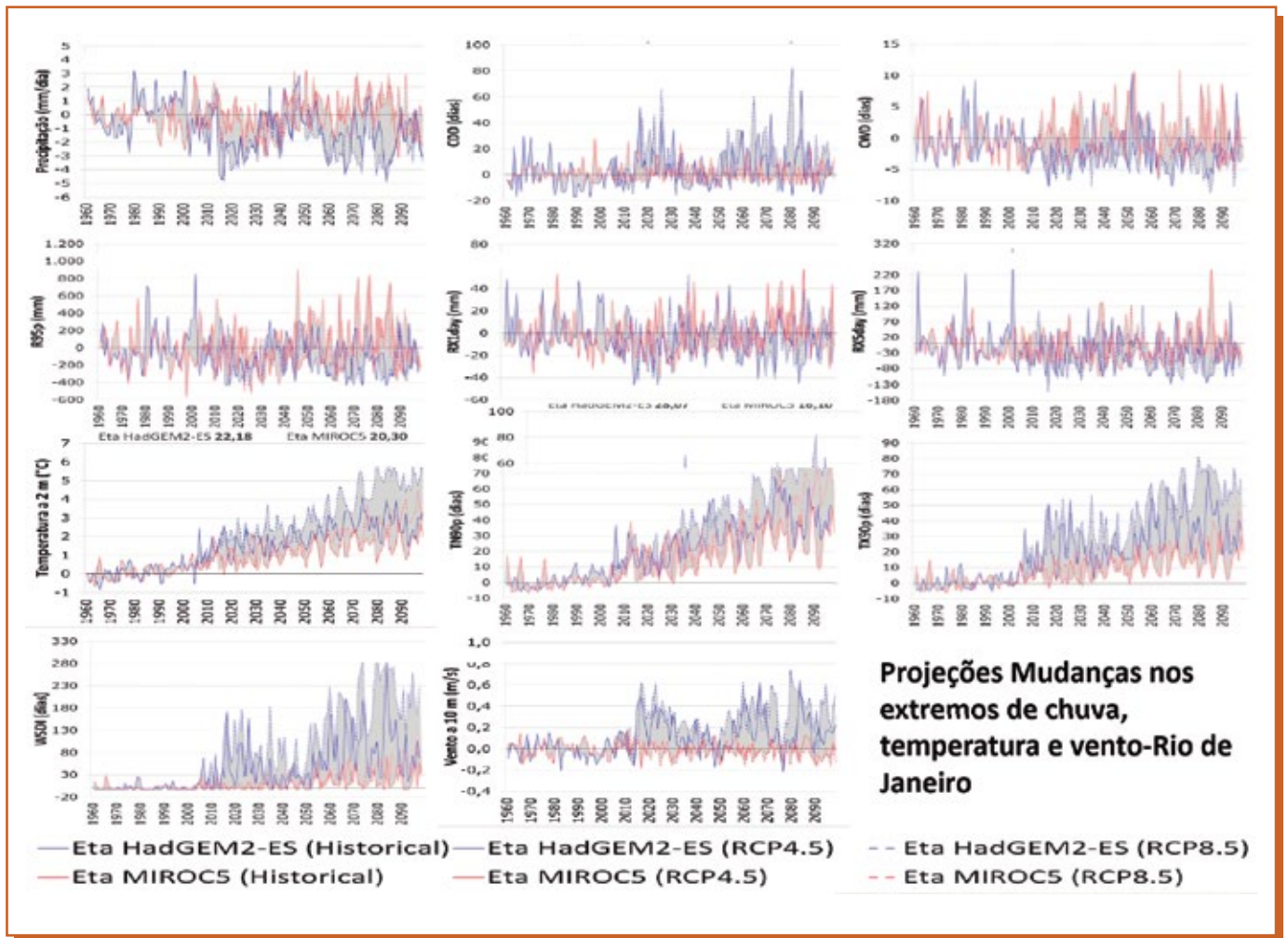


As projeções dos ventos a 10m produzidas pelo Eta-HadGEM2-ES indicam aumento na intensidade dos ventos ao longo do século XXI, enquanto que as projeções do Eta-MIROC5 indicam pouca variação na intensidade dos ventos até o final do século XXI. A intensificação pode alcançar em média, em alguns anos, cerca de 0.5m/s (figura 7.25).

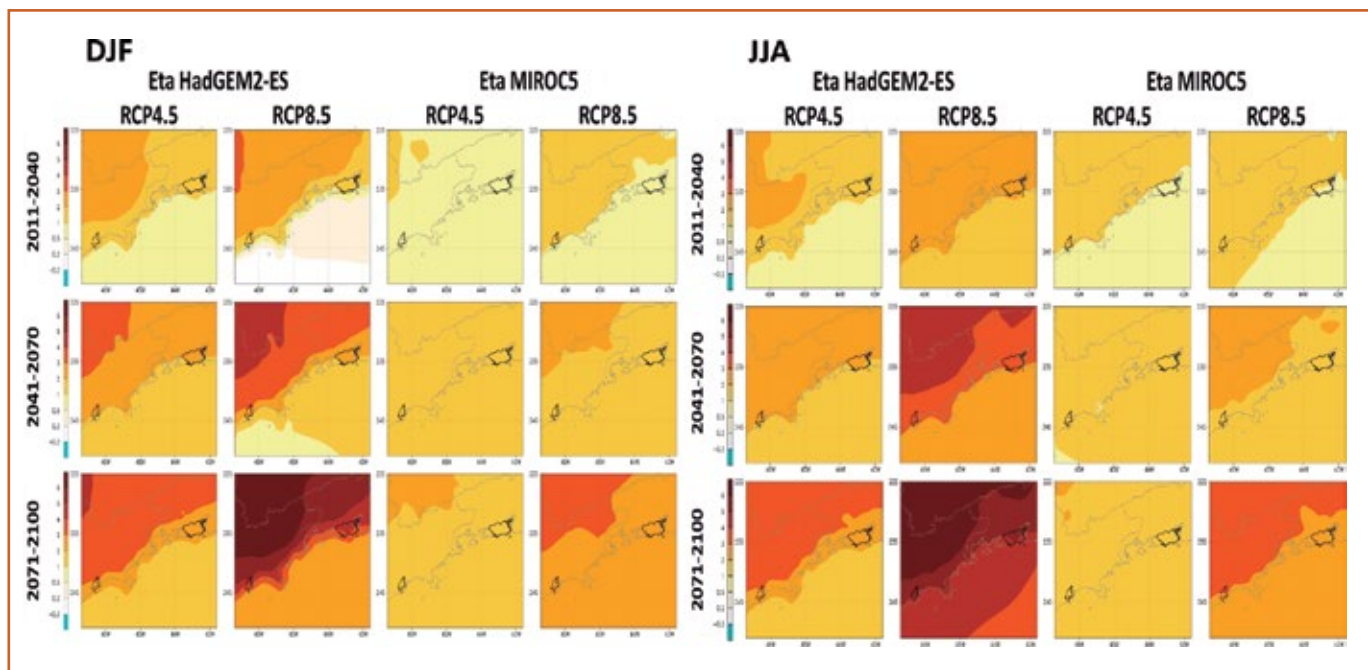


**Figura 7.24** Projeções de chuva para DJF e JJA para a região de Rio de Janeiro e Santos. Projeções para 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 são relativos ao presente (1961-90), para os cenários RCP 4.5 e 8.5, derivados do downscaling dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5 usando o modelo regional Eta.

## 7.4 Rio de Janeiro, Rio de Janeiro



**Figura 7.25** Tendência de anomalia da precipitação (mm/dia), dos índices extremos CDD (dias), CWD (dias), R95p (mm), RX1DAY (mm), RX5DAY (mm), da temperatura a 2m ( $C_o$ ), e os índices de extremos TN90p (dias), TX90p (dias), WSDI (dias), e vento a 10m (m/s) no Rio de Janeiro, RJ. Os valores médios da baseline, período de 1961 a 1990, estão indicados na parte superior de cada gráfico. As anomalias foram calculadas a partir da diferença entre os valores anuais e o valor médio da baseline. As anomalias das simulações do Eta-HadGEM2-ES (azul) e do Eta MIROC5 (vermelho) foram estimadas para os cenários futuros RCP4.5 (linha cheia) e RCP8.5 (linha tracejada). O intervalo de variação, entre os valores mínimos e máximos, está hachurado em cinza.



**Figura 7.26** Projeções de temperatura do ar para DJF e JJA para a região de Rio de Janeiro e Santos. Projeções para 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 são relativas a o presente (1961-90), para os cenários RCP 4.5 e 8.5, derivados do downscaling dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5 usando o modelo regional Eta.

## 7.5 Santos, São Paulo

O litoral paulista concentra ecossistemas e populações com grande exposição e suscetibilidade a riscos ambientais resultantes das (ou intensificados pelas) mudanças climáticas, como o aumento do nível do mar, tempestades, enchentes, deslizamentos de terra, escorregamento de encostas e proliferação de doenças por conta de vetores sensíveis à variação ou mudança climática. Tais efeitos deverão ser amplificados por eventos climáticos extremos ou por mudanças nos padrões de chuvas, por exemplo. Essa região é de alta vulnerabilidade às mudanças climáticas e demanda priorização para políticas sociais e ambientais que buscam formas de mitigação e adaptação ao problema (Hogan, 2009). Recentemente ganham destaque as novas problemáticas decorrentes das mudanças ambientais globais, com implicações importantes em termos de elevação do nível do mar e de mudanças nos eventos extremos.

Análises pluviométricas indicam variações, que nem sempre implicam em aumento da quantidade de chuvas ou das máximas diárias (Marques da Silva, 2009). Enquanto em São Vicente houve aumento das chuvas após a década de 1960 (principalmente durante os meses de verão), o oposto ocorreu no Guarujá, com as máximas pluviométricas obtidas entre 1941 e 1960, e em Santos as tendências dos padrões e níveis das chuvas foram bastante semelhantes para os três períodos, embora divergências existam.

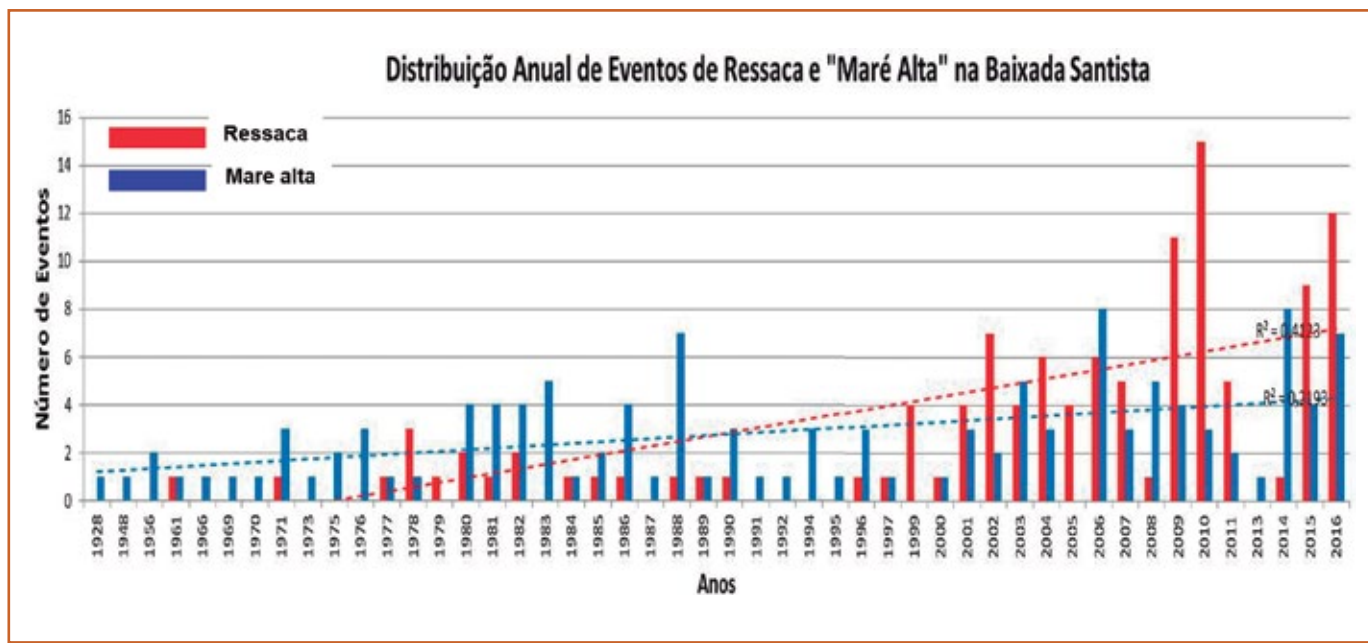
### 7.5 Santos, São Paulo

Com a subida do NMM no litoral paulista, pelo menos 20 praias estão suscetíveis a desaparecer em período de anos, tendo situações críticas tanto no sul quanto na parte norte da costa paulista. O nível do mar subiu 30cm no litoral paulista no século passado, superior a uma média de 10cm no mesmo período para as demais regiões do mundo (Souza, 2005). Também em Santos, em relação a ventos fortes e ressacas, mostram que em 88 anos analisados ocorreram 236 eventos, dos quais: 123 (52,1%) foram de “maré meteorológica alta” e 113 (47,9%) de ressacas (Souza, 2008; Novo Milênio, 2011). Em 19,7% dos registros (45 eventos) houve simultaneidade de ambos. A década com maior ocorrência de eventos foi a de 2000, com 83 eventos, sendo 49 de ressacas (59,1%) e 34 de “maré alta” (40,9%). As tendências sugerem aumento considerável do número de ambos os tipos de eventos, em especial de ressacas. Em relação à distribuição mensal dos eventos, 71,7% das ressacas (81 eventos) ocorreram entre abril e setembro (temporada de ressacas – outono/inverno), em particular nos meses de maio (19 eventos) e julho (16 eventos), enquanto 50,4% dos eventos de maré alta (62 eventos) ocorreram entre os meses de janeiro a abril, sendo março o mês com maior número (19 eventos). A década com maior ocorrência de eventos foi a de 2000, com 83 eventos, o que representa 73,5% do número total de eventos (figura 7.27). Destes, 49 foram de ressacas e 34 de “maré alta”. As décadas com menor número foram as de 1920 e 1940, com apenas 1 evento de “maré alta” em cada.

*A década com maior ocorrência de eventos foi a de 2000, com 83 eventos, sendo 49 de ressacas (59,1%) e 34 de “maré alta” (40,9%).*



As tendências ao longo dos 88 anos de amostragem sugerem aumento considerável do número de ambos os tipos de eventos, em especial das ressacas (figura 7.27). O termo popular “maré alta”, utilizado pela mídia jornalística na região de estudo, está relacionado ao processo de inundação costeira (Souza, 2005). Os eventos de “maré alta” ocorrem especialmente na zona noroeste, sendo os mais intensos, em geral, causados pela combinação entre fortes chuvas, marés meteorológicas e marés de sizígia. As ressacas atingem a região sudeste da orla, em especial a Ponta da Praia, e decorrem da passagem de ciclones extratropicais pela região. Os maiores prejuízos decorrentes desses eventos afetam o patrimônio público e privado, o turismo, os serviços, o comércio, o tráfego de veículos e caminhões, e várias atividades portuárias, entre elas a entrada/circulação/descarga/carga de navios, e o assoreamento intenso no Canal do Porto.



**Figura 7.27** Distribuição anual de eventos de ressaca e maré alta entre 1928 e 2016 em Santos, SP.

Variabilidades das chuvas e o NMM, em conjunto, podem corroborar para a ampliação de situações de risco a que estão expostas as populações litorâneas de Santos. A região da Baixada Santista, em São Paulo, também foi classificada com grau de vulnerabilidade elevado (Nicolodi e Petermann, 2010). Um dos principais fatores que levaram a tal classificação foi o fato de a região abrigar o maior porto marítimo do Brasil, além de complexos industriais localizados em planícies flúvio-marinhas. Ademais, entre os trechos de Santos (SP) e Macaé (RJ) estão localizados campos de extração, usinas de geração de energia térmica e nuclear, complexos químicos, e terminais de petróleo e gás. As características socioeconômicas somadas à significativa densidade demográfica da região, contribuíram para aumentar sua vulnerabilidade. Estima-se que mais de um milhão de pessoas estejam expostas ao risco social nos municípios de Santos, Cubatão, São Vicente e Guarujá (Nicolodi e Petermann, 2010). Somente em 2016, foram registrados dois casos graves de ressaca, que culminaram no fechamento do porto de Santos, perda de bens materiais e destruição de benfeitorias públicas.

*Estima-se que mais de um milhão de pessoas estejam expostas ao risco social nos municípios de Santos, Cubatão, São Vicente e Guarujá (Nicolodi e Peterman, 2010).*



### 7.5 Santos, São Paulo

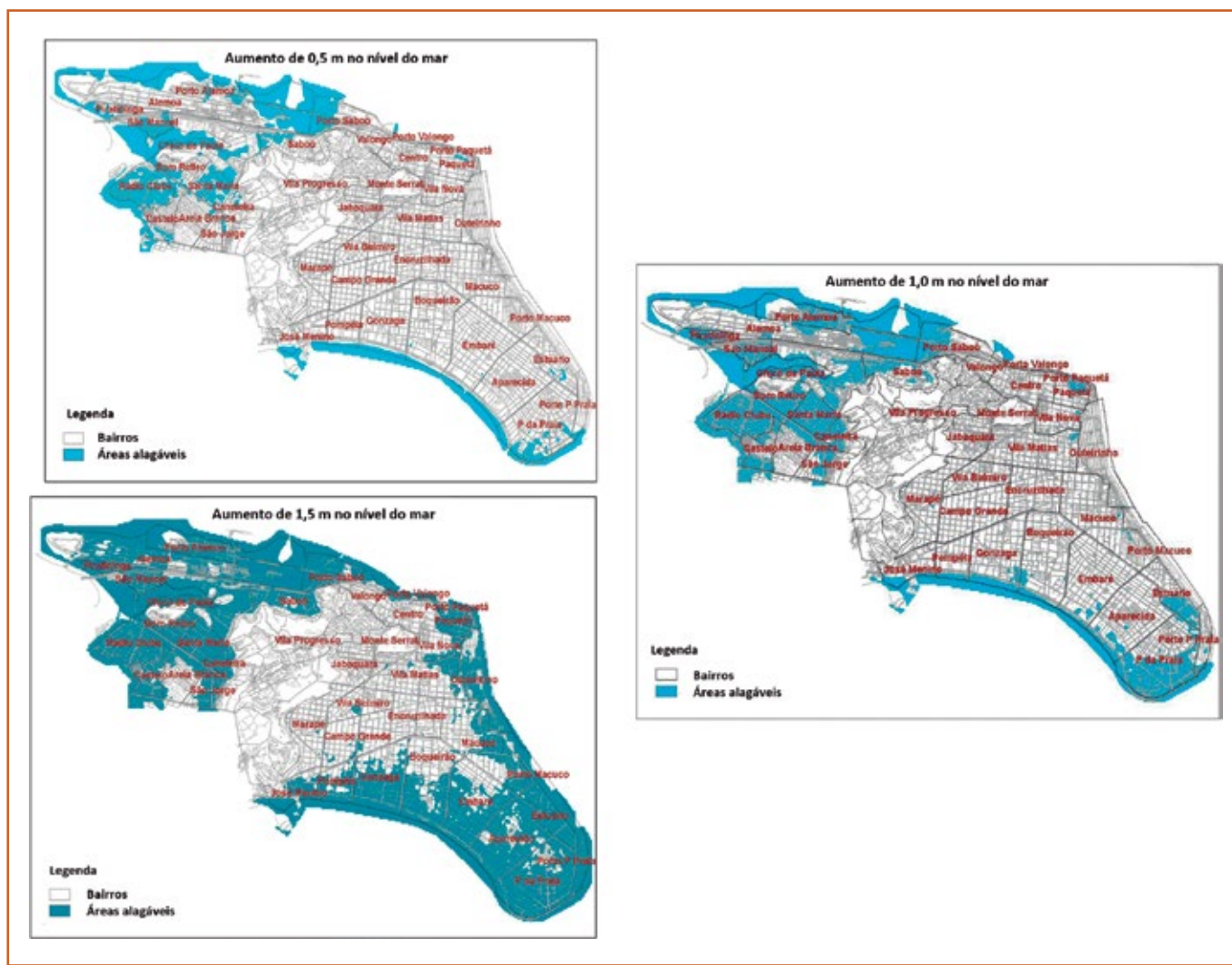
Atualmente, a região noroeste de Santos sofre inundações durante as marés de sizígia, o que é particularmente problemático durante a temporada de verão, quando as inundações são agravadas com a chuva. Já a região leste de Santos tem um complexo sistema de drenagem, construído no início de 1900, que permite o movimento da água das marés e da chuva pelos canais, protegendo contra inundações (ICF-GHK, 2012; Marengo *et al.*, 2016; Sousa e Green, 2016). No sudeste da ilha de Santos, a erosão observada inicialmente na Ponta da Praia está migrando em direção à Praia da Aparecida. Estes estudos mostram um possível agravamento nas inundações costeiras causadas por um aumento anormal do mar, e ressacas na costa geradas por tempestades oceânicas. A costa noroeste, a porção sudoeste e a costa sul poderão sofrer um aumento de inundação costeira devido ao maior número de ocorrências de tempestades. Os resultados em bairros vulneráveis a inundações e inundações costeiras, corroboram a informação anterior e mostram que a região sul de Santos poderá sofrer mais com o aumento na frequência de inundações (Marengo *et al.*, 2017). Em setembro de 2009, uma forte ressaca atingiu a orla costeira em Santos (figura 7.28). No dia 27 de outubro de 2016, outra ressaca atingiu várias cidades da Baixada Santista. Parte das tradicionais muretas de contenção da orla da praia de Santos, um dos cartões-postais da cidade, foi destruída pelas ondas.



**Figura 7.28** Episódio de inundação costeira associada à tempestade ocorrida em setembro de 2009, em Santos. A onda inundou a avenida em frente à praia na Ponta da Praia, o que causou a interdição temporária da avenida. Fotografia foi tomada do prédio do Canal 4, em Santos (fonte: Ernesto Kazuwo Tabuchi-Prefeitura de Santos/Defesa Civil de Santos).



Variabilidades das chuvas e o NMM, em conjunto, podem corroborar para a ampliação de situações de risco a que estão expostas as populações litorâneas de Santos. A região da Baixada Santista, em São Paulo, também foi classificada com grau de vulnerabilidade elevado (Nicolodi e Petermann, 2010). Um dos principais fatores que levaram a tal classificação foi o fato de a região abrigar o maior porto marítimo do Brasil, além de complexos industriais localizados em planícies flúvio-marinhas. Ademais, entre os trechos de Santos (SP) e Macaé (RJ) estão localizados campos de extração, usinas de geração de energia térmica e nuclear, complexos químicos e terminais de petróleo e gás. As características socioeconômicas somadas à significativa densidade demográfica da região, contribuíram para aumentar sua vulnerabilidade. Estima-se que mais de um milhão de pessoas estejam expostas ao risco social nos municípios de Santos, Cubatão, São Vicente e Guarujá (Nicolodi e Peterman, 2010). Somente em 2016, foram registrados dois casos graves de ressaca, que culminaram no fechamento do porto de Santos, perda de bens materiais e destruição de benfeitorias públicas.

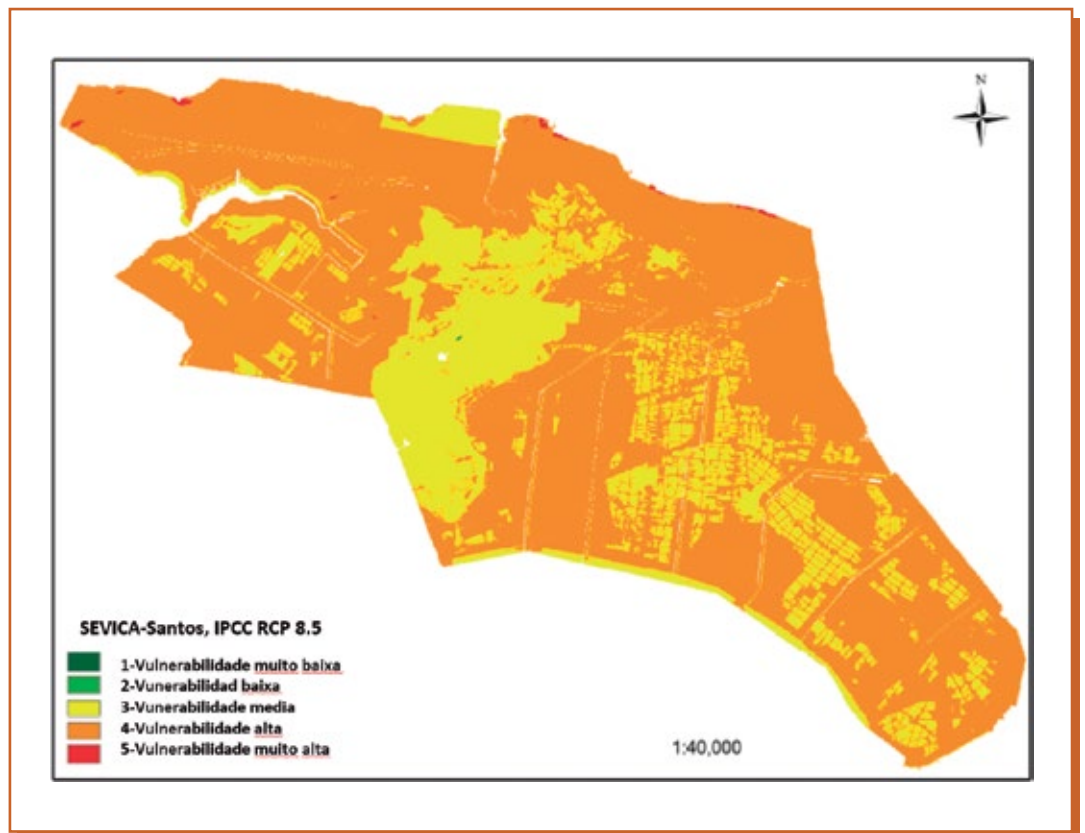


**Figura 7.29** Mapa de vulnerabilidade na região insular de Santos indicando as áreas suscetíveis a alagamento (Unisanta).



### 7.5 Santos, São Paulo

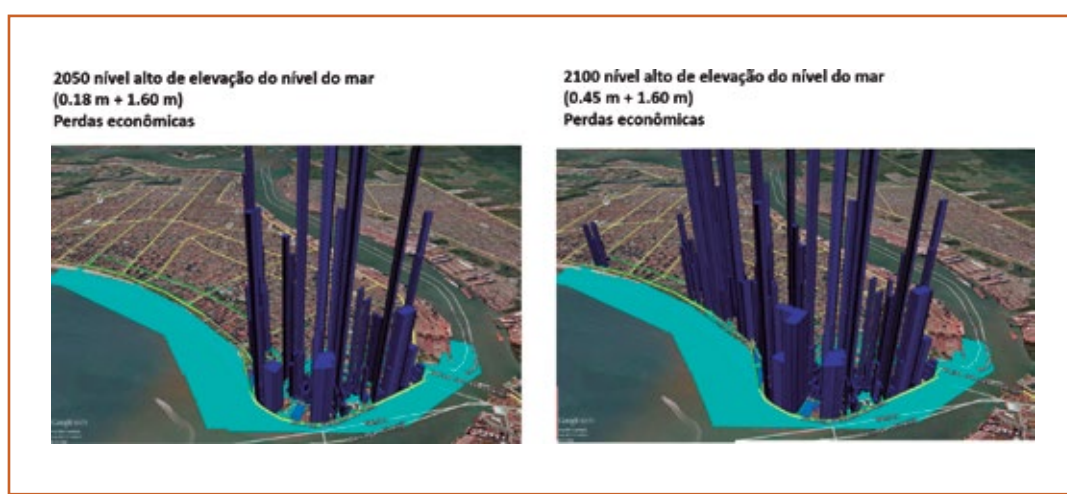
Zanetti *et al.* (2016) fez um mapeamento das vulnerabilidades à elevação do NMM em Santos, e de fato observou uma vulnerabilidade alta em quase toda a região sudeste e noroeste para um cenário RCP 8.5 do IPCC de altas emissões (o cenário mais extremo, com aquecimento variando entre 1,4–2,6°C e NMM de 0,38m, figura 7.30), sendo os resultados consistentes com as pesquisas da Unisanta e com ICF-GHK (2012).



**Figura 7.30** Vulnerabilidade de Santos para o cenário IPCC AR5 8.5 (0,30m de elevação do NMM) (Zanetti *et al.*, 2016).

Segundo Arasaki *et al.* (2008), no município de São Vicente, localizado na Região Metropolitana de Santos, além da perda de faixa de praias, haveria impacto nos mangues, no qual praticamente todos os bosques de mangues desapareceriam da região, devido ao fato de que eles não têm para onde se expandir. Para essa região o NMM deverá subir 1,5m e grandes áreas passarão a ser inundadas. Quanto aos deslizamentos de terra, as regiões sudeste, leste e noroeste de Santos são consideradas as mais suscetíveis à ocorrência deste evento.

No contexto do projeto internacional sobre vulnerabilidade costeira METROPOLE, desenvolvido em Santos (Marengo *et al.*, 2016), foram avaliadas a vulnerabilidade costeira a inundações devido a ressacas, tempestades intensas e elevação do NMM na região noroeste e na Ponta da Praia (sudeste). Foi usado um modelo de impactos para avaliar o custo das perdas no setor imobiliário com e sem medidas de adaptação. As estratégias de adaptação foram definidas pela população, que participou em duas oficinas que contaram com a presença da sociedade civil, cientistas, setores comercial e turístico e tomadores de decisões da prefeitura de Santos. Estes foram organizados para discutir possíveis medidas de adaptação ante vários cenários. Sem adaptação, o prejuízo econômico para 2100, na região sudeste, num cenário de baixa elevação do nível do mar (0-0,36m) para uma tempestade de 1 em 100 anos chegaria a R\$ 870.093.165, e para um cenário de altas elevação do nível do mar (0,36-0,45m) pode chegar a R\$ 1.043.498.249 na mesma região sudeste de Santos (Marengo *et al.*, 2017) (figura 7.31). As propostas de adaptação considerando estes cenários de impactos na região sudeste de Santos foram mais voltadas para a parte de infraestrutura. Para a região da Ponta da Praia, 66% dos participantes escolheram fortificação como a principal medida de adaptação, e 30% votaram pela acomodação. Na região noroeste de Santos, 50% decidiram pela fortificação e 43% por acomodação. Recolocação foi a menos votada, com 4% na Ponta da Praia com 7% no noroeste de Santos. As medidas de adaptação propostas pela população para as regiões noroeste e sudeste aparecem na figura 7.32, mostrando dragagem e recuperação, e restauração de manguezais na zona noroeste, e engordamento da praia e restauração de dunas, e reforçamento de diques já existentes na zona sudeste, todas elas medidas de fortificação.



**Figura 7.31** Cenários de inundações costeiras e perdas econômicas no setor imobiliário na zona sudeste de Santos projetado para 2050, para um cenário de alta elevação do nível do mar (0,23m+ 1,60m base line) e para 2100 (0,45m+ 1,66m baseline). Barras azuis mostram o estimado do prejuízo econômico da inundação devido a tempestade severa extrema com frequência de 1 em 100 anos. Área inundada aparece em cor azul claro (Marengo *et al.*, 2017).



### 7.5 Santos, São Paulo

Zanetti *et al.* (2016) fez um mapeamento das vulnerabilidades à elevação do NMM em Santos, e de fato observou uma vulnerabilidade alta em quase toda a região sudeste e noroeste para um cenário RCP 8.5 do IPCC de altas emissões (o cenário mais extremo, com aquecimento variando entre 1,4–2,6°C e NMM de 0,38m, figura 7.30), sendo os resultados consistentes com as pesquisas da Unisanta e com ICF-GHK (2012).



**Figura 7.32** Medidas de adaptação propostas pela população de Santos nas zonas noroeste e sudeste (Marengo *et al.*, 2017).

O fenômeno deve intensificar as inundações no Porto de Santos, levando à interrupção das operações portuárias e aumentando o desgaste da infraestrutura de costado e berços de atracação. A elevação do NMM também deverá afetar o transporte de sedimentos – com um maior volume de água em movimento, maior será a quantidade de sedimentos carregados. Como consequência, devem ser ampliados os processos erosivos e de assoreamento, afetando as condições de navegação nos canais portuários. Com isso, a demanda por serviços de dragagem deve crescer.

O gerenciamento de risco da elevação no NMM pode e deve ser apoiado por planejamento ambiental, planejamento do uso da terra urbana, fortalecimento de meio de sustento e melhora da vigilância sanitária, fornecimento de água, saneamento e sistemas de irrigação, assim como Zoneamento econômico e ecológico, plano diretor dos municípios. Tais abordagens integradas são visíveis em Santos, onde os esforços de adaptação urbana são voltados para apoiar estratégias existentes de gerenciamento de risco e extremos climáticos, e elevação no NMM. Isso aparece no Plano Municipal de Adaptação às Mudanças Climáticas que foi criado pela Prefeitura de Santos em novembro de 2015 (o decreto nº 7.293 de 30 de novembro de 2015 atribui a Comissão Municipal de Adaptação à Mudança do Clima a elaboração do Plano Municipal de Adaptação à Mudança do Clima), e que tem como objetivo (a) a definição dos cenários, impactos e vulnerabilidades em diferentes horizontes de tempo, até o ano de 2100, considerando o aumento de temperatura média global, regime de chuvas, eventos extremos e o aumento do nível do mar; (b) a definição das áreas estratégicas de atuação e intervenção, tais como, drenagem e alagamento, proteção a desastres naturais, proteção das praias, acesso a informações e aconselhamento técnico, planejamento da ocupação territorial, edificações resilientes e adaptadas, populações vulneráveis e política de habitação popular, segurança, mobilidade e transporte, atividade portuária, monitoramento-observação, e educação para adaptação. O plano considera também monitoramento ambiental e de risco, educação ambiental, e propicia a criação de um arranjo institucional que envolve a cidade, o governo estadual, a população, setores comerciais e produtivos e também o setor acadêmico e a sociedade civil organizada (Figura 7.33). Este plano, após finalizado deverá ser submetido para consulta pública.

---

*O gerenciamento de risco da elevação no NMM pode e deve ser apoiado por planejamento ambiental, planejamento do uso da terra urbana, fortalecimento de meio de sustento e melhora da vigilância sanitária, fornecimento de água, saneamento e sistemas de irrigação, assim como Zoneamento econômico e ecológico, plano diretor dos municípios.*

---



## 7.5 Santos, São Paulo

A4 | Diário Oficial de Santos

www.santos.sp.gov.br

2 de dezembro de 2015

# Comissão vai elaborar plano para enfrentar elevação do mar

Documento analisará cenários, impactos, áreas estratégicas e planejará programas e ações necessários



No prazo de um ano, Santos contará com plano para enfrentar as alterações climáticas como a elevação do nível do mar. O documento será elaborado pela Comissão Municipal de Adaptação à Mudança do Clima.

O grupo será coordenado pelo secretário de Desenvolvimento Urbano (Sedurb), Nelson Gonçalves, com representantes titulares e suplentes do Gabinete do Prefeito, da própria Sedurb e das

pastas de Comunicação e Resultados (Secor), Meio Ambiente (Semam), Serviços Públicos (Seserp), Infraestrutura e Edificações (Siedi), Assuntos Portuários e Marítimos (Seport), Segurança (Seseg), Desenvolvimento Econômico e Inovação (Sedes) e da Fundação Parque Tecnológico de Santos (FPTS).

#### INTEGRANTES

Os integrantes da comissão serão indicados pelas

secretarias e órgãos e, em seguida, nomeados pelo prefeito Paulo Alexandre Barbosa.

O documento, que deverá estar em consonância com o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) e o Plano Diretor de Desenvolvimento e Expansão Urbana de Santos, avaliará cenários, impactos, áreas estratégicas, além de planejar programas e ações, entre outras atribuições.

## Medidas previstas

#### ZONA NOROESTE:

dragagem, sistema de comportas e estações de bombeamento e recuperação de mangue

**Custo das intervenções:**  
R\$ 201,9 milhões  
**Prejuízo estimado se nada for feito (somente com imóveis/valor venal):**  
R\$ 236,4 milhões



#### ZONA SUDESTE (região da orla – Ponta da Praia-Embaré):

engordamento/alimentação artificial da praia, muro de proteção e sistema de bombeamento e melhoria de comporta dos canais

**Custo das intervenções:** R\$ 36,5 milhões  
**Prejuízo estimado se nada for feito (somente com imóveis/valor venal):** R\$ 1 bilhão

## Medidas de adaptação precisarão de investimento de R\$ 238 milhões

A Cidade precisa investir R\$ 238 milhões em medidas de adaptação para enfrentar a elevação do do mar – que deverá ser de até 45 cm em 2100. Os dados foram apresentados e debatidos ontem na Associação Comercial,

no segundo workshop do Projeto Metrópole, pesquisa internacional que Santos participa e que busca soluções contra as consequências das alterações climáticas.

As medidas foram sugeridas em encontro rea-

lizado em 30 de setembro, com representantes de vários setores da sociedade, e calculadas pelos cientistas por meio da plataforma Coast (Ferramenta para Adaptação Litorânea da Elevação do Nível do Mar, em inglês).

#### AUXÍLIO

"A Prefeitura sempre esteve junto com a gente. É impossível fazer este projeto sem este auxílio, porque precisamos de dados para alimentar a plataforma", explicou a professora doutora Luci Hidalgo Nu-

nes, do Instituto de Geociências da Unicamp.

Para o pesquisador e coordenador do projeto, José Antonio Marengo Orsin, do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, o resultado da ini-

ciativa, que terminará em setembro de 2016, irá auxiliar a Cidade na elaboração do seu plano de adaptação às mudanças climáticas. "Queremos deixar um legado para Santos enfrentar a elevação do nível do mar".

Figura 7.33 Nota do Diário Oficial de Santos (www.santos.sp.gov.br) de 2 de dezembro de 2015, indicando a criação do plano para enfrentar a elevação do NMM.

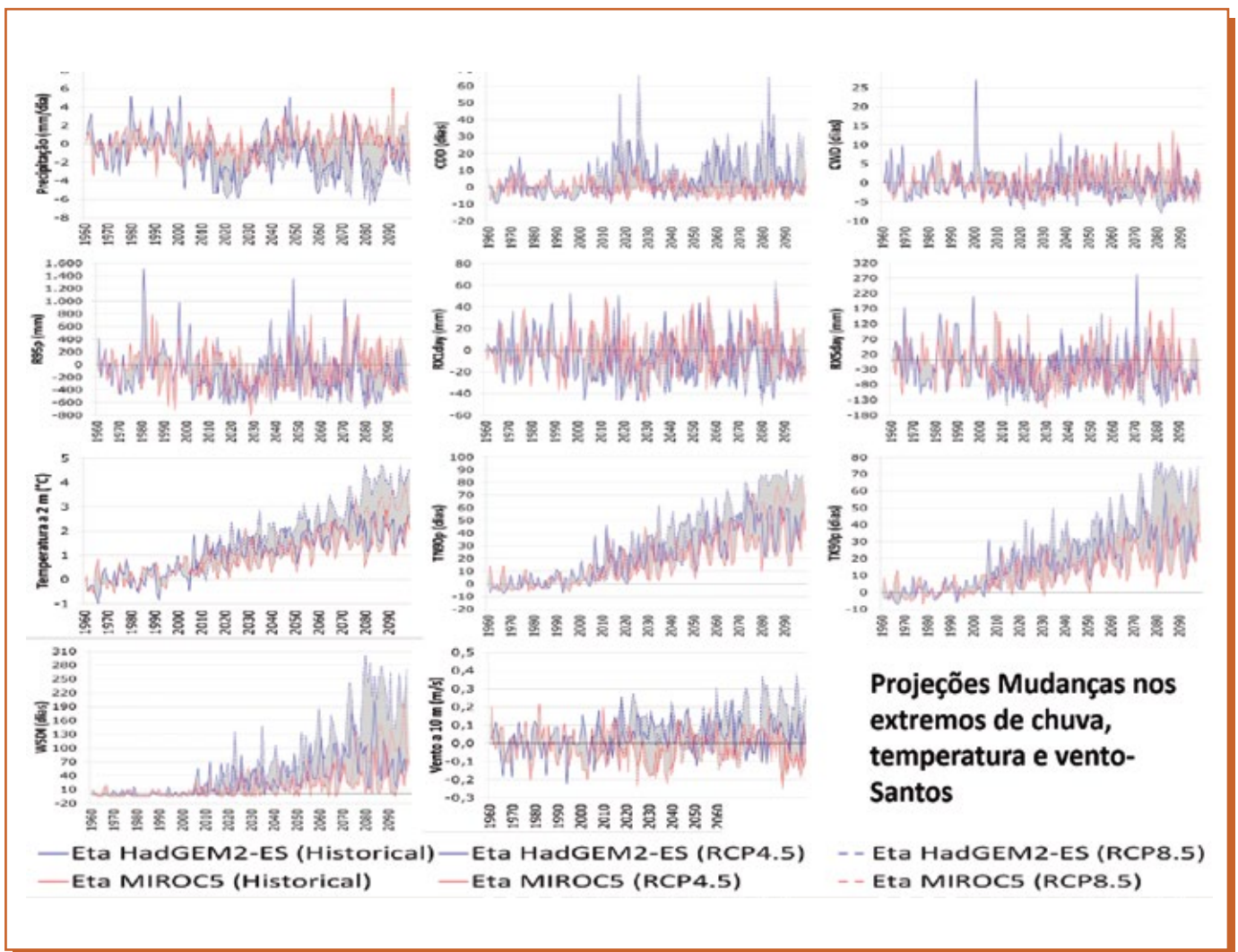
As projeções de mudança na precipitação para Santos, SP, no verão (DJF), indicam redução no primeiro período, de 2011-2040 (figura 7.24). Todos os quatro downscalings, seja com HadGEM2-ES ou com MIROC5, seja nos cenários RCP4.5 ou RCP8.5, indicam redução das chuvas, com mais intensidade nas projeções do Eta aninhado ao HadGEM2-ES no cenário RCP8.5. Entretanto, há uma mudança na tendência no segundo período, de 2041-2070, principalmente no Eta aninhado ao MIROC, que passa para neutralidade. No final do século, há grande discordância entre as projeções regionalizadas do HadGEM2-ES e aquelas regionalizadas do MIROC5. Enquanto as primeiras projeções mantêm o sinal de redução das chuvas no litoral de Santos, as projeções regionalizadas do MIROC5 tendem a um ligeiro aumento das chuvas. No outono, em MAM, todas as quatro projeções indicam redução das chuvas. No inverno, que é o período mais seco de Santos, as projeções mostram pouca mudança nas chuvas, com sinais mistos entre redução e aumento. Com o passar dos anos, no inverno, as chuvas tendem a aumentar no segundo e último período, nas versões de downscaling utilizando HadGEM2-ES ou MIROC5. Finalmente, na primavera, SON, as projeções do downscaling do HadGEM2-ES apresentam discordância com o downscaling com MIROC5. Enquanto as primeiras indicam redução das chuvas em todos os períodos futuros, as projeções do Eta com MIROC5 indicam forte aumento das chuvas, que se intensificam no final do século. Estas mudanças de precipitação mencionadas estão concentradas ao longo do litoral da região de Santos.

As projeções de totais anuais de chuva indicam maior número de eventos de anomalia negativa em relação ao período presente em Santos (figura 7.25). Há vários eventos de chuva acima do normal, mas há predomínio de eventos de anomalia negativa de chuva. As projeções do índice de dias consecutivos sem chuva (CDD) indicam aumento na duração de dias secos, o que pode ter causado a redução do total de chuva anual com o passar dos anos e com o aumento da concentração dos gases de efeito estufa. Os dias consecutivos chuvosos (CWD), em geral, se tornam mais curtos. O índice RX5day indica o máximo de chuva acumulada em 5 dias para cada ano. As projeções desse índice indicam aumento da variabilidade nos climas futuros. Nota-se valores de RX5day maiores nos períodos futuros do que no clima presente.

Diferente das projeções de precipitação, as projeções de temperatura do ar a 2m indicam aumento mais intenso sobre o continente, com valores maiores de aquecimento em direção ao interior e para o norte. Este aumento da temperatura se intensifica conforme se aumenta a concentração de CO<sub>2</sub> do cenário em questão, e atinge cerca de 5°C no final do século. Todas as quatro projeções mostram maior aquecimento nas estações de verão (DJF) e primavera (SON), enquanto que no outono e inverno o aquecimento é menos intenso. As projeções do Eta aninhado ao HadGEM2-ES apresentam maior sensibilidade climática, isto é, respondem com maior aquecimento ao aumento da concentração dos gases de efeito estufa do que as projeções do Eta aninhado ao MIROC5 para Santos (figura 7.26).

## 7.5 Santos, São Paulo

As projeções de aumento da temperatura para a cidade de Santos mostram valores que atingem entre cerca de 2°C a 4,5°C no final do século XXI, com aumento da amplitude da variação da temperatura. As noites quentes aumentam a frequência de ocorrência entre cerca de 40% a 80% dos dias do ano no final do século. As projeções do vento no litoral de Santos indicam leve aumento ao longo do século XXI. Esta intensificação do vento pode estar associada à mudança na intensidade das ressacas que atingem a cidade (figura 7.34).

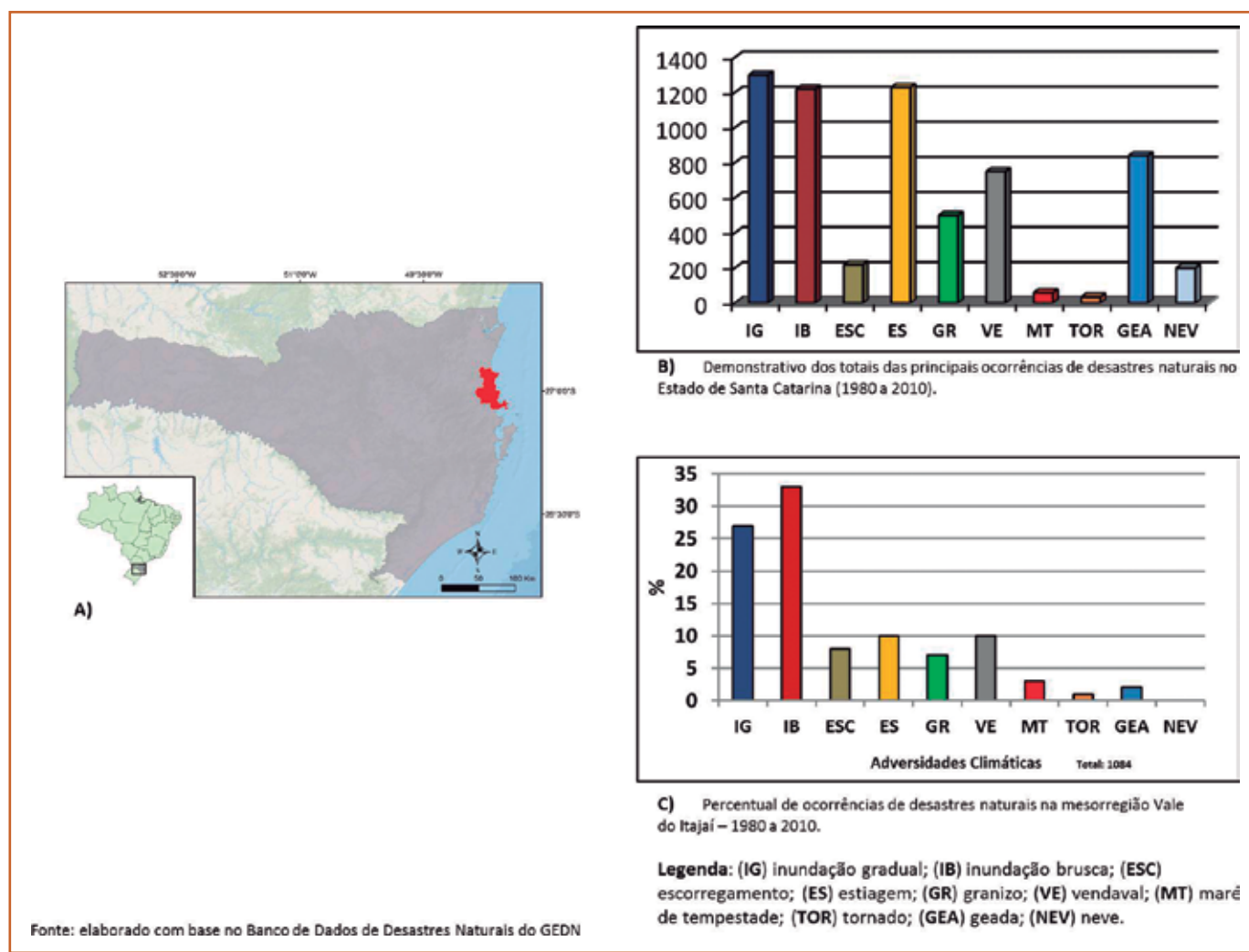


**Figura 7.34** Tendência de anomalia da precipitação (mm/dia), dos índices extremos CDD (dias), CWD (dias), R95p (mm), RX1DAY (mm), RX5DAY (mm), da temperatura a 2 m (°C), e os índices de extremos TN90p (dias), TX90p (dias), WSDI (dias), e vento a 10 m (m/s) em Santos, SP. Os valores médios do baseline, período de 1961 a 1990, estão indicados na parte superior de cada gráfico. As anomalias foram calculadas a partir da diferença entre os valores anuais e o valor médio da baseline. As anomalias das simulações do Eta-HadGEM2-ES (azul) e do Eta MIROC5 (vermelho) foram estimadas para os cenários futuros RCP4.5 (linha cheia) e RCP8.5 (linha tracejada). O intervalo de variação, entre os valores mínimos e máximos está hachurado em cinza.



## 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina

A mesorregião do Vale do Itajaí, e em especial aos municípios costeiros da microrregião de Itajaí (Região Metropolitana da Foz do Rio Itajaí - lei complementar estadual nº 495 de 2010, figura 7.35) é composta por cinco municípios (Balneário Camboriú, Camboriú, Itajaí, Navegantes e Penha), que formam o núcleo metropolitano, além da área de expansão metropolitana composta por quatro municípios (Bombinhas, Itapema, Balneário Piçarras e Porto Belo). Possui uma área de 1.005,832km<sup>2</sup>, uma população estimada em 608.177 hab (IBGE 2014), uma densidade média de 604,65 HAB/Km<sup>2</sup>, um IDH de 0,812 (muito alto), um PIB de R\$ 13.713.306,365 mil e PIB per capita de R\$ 29.422,33. As principais atividades econômicas da região apoiam-se no comércio sustentado pelo turismo. Nessa região, o fluxo de turistas pode superar a marca de 1,5 milhão, alcançada na alta temporada do verão, principalmente no município de Balneário Camboriú. Outra importante atividade econômica é a construção civil, que alavanca o setor imobiliário da região e o setor portuário (Porto de Itajaí e de Navegantes) e aeroportuária (Navegantes) (IBGE 2014, 2010).



**Figura 7.35** a) Localização da mesorregião do Vale do Itajaí e da Região Metropolitana da Foz do Rio Itajaí; b) Demonstrativo dos totais das principais ocorrências de desastres naturais no Estado de Santa Catarina (1980 a 2010), de acordo com Herrmann e Alves, (2014a). c) Percentual de ocorrência de desastres naturais na mesorregião do Vale do Itajaí (1980 a 2010). Fonte: Herrmann e Alves (2014).

### 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina

O Estado de Santa Catarina apresentou entre 1980 e 2010 as mais diversas manifestações de adversidades (perigos) atmosféricas, que causaram desastres em centenas de municípios catarinenses (Herrmann e Alves, 2014). Estes autores reportaram ainda que ao longo do período analisado (1980 a 2010) todos os desastres tiveram aumento significativo, especialmente entre 2000 a 2010. Contudo, os maiores percentuais se referem às estiagens, com 76,43% e inundações bruscas com 74,46%. Porém, as inundações graduais tendem a diminuir. Os autores salientam ainda que durante esses anos ocorreram muitos episódios excepcionais que proporcionaram aumentos percentuais diferenciados (figura 7.36).

**Tabela 20.2 - Aumento dos desastres naturais em Santa Catarina nos períodos: 1980 a 2000, 2003, 2007 e 2010**

|   | 1980-2000 | 1980-2003 | %    | 1980-2007 | %    | 1980-2010 | %    |
|---|-----------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| <b>Inundação brusca</b>                   | 321       | 555       | 42,1 | 719       | 22,8 | 1257      | 42,8 |
| <b>Inundação gradual</b>                  | 1232      | 1299      | 5,1  | 1336      | 2,7  | 1.344     | 0,5  |
| <b>Escorregamento</b>                     | 118       | 140       | 15,7 | 144       | 2,7  | 222       | 35,1 |
| <b>Granizo</b>                            | 260       | 342       | 23,9 | 102       | 22,9 | 507       | 12,4 |
| <b>Vendaval</b>                           | 363       | 502       | 27,6 | 602       | 16,6 | 776       | 22,4 |
| <b>Estiagem (a partir 1987)</b>           | 362       | 492       | 26,4 | 1165      | 57,7 | 1536      | 24,1 |
| <b>Maré de tempestade (a partir 1998)</b> | 8         | 26        | 69,2 | 33        | 21,2 | 46        | 28,2 |
| <b>Geadas</b>                             | 643       | 725       | 11,3 | 808       | 10,2 | 876       | 7,7  |
| <b>Neve</b>                               | 156       | 206       | 8,2  | 216       | 5,5  | 227       | 3,9  |
| <b>Tornado (a partir 1995)</b>            | 23        | 43        | 46,5 | 46        | 6,5  | 52        | 11,5 |

Fonte: elaborado com base no Banco de Dados de Desastres Naturais do GEDN.

**Figura 7.36** Ameaças ou perigos naturais ou desastres naturais em Santa Catarina. Fonte: GEDN - Grupo de Estudos de Desastres Naturais. Banco de dados de desastres naturais de 1980-2010. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências, Florianópolis.

De acordo com Herrmann e Alves (2014) na Mesorregião IV - Vale do Itajaí, o número total de desastres naturais registrados foi de 1084, sendo que as inundações representaram a maior proporção de ocorrências (651 registros) (figura 7.35, 7.36). Dessas, 295 (27,2%) foram de inundações graduais e 356 (32,8%) de inundações bruscas. No estado, a bacia do Itajaí costumeiramente é a mais afetada pelas inundações, sendo que os municípios de Blumenau e Itajaí apresentaram 34 e 23 registros respectivamente. Todos os municípios da mesorregião apresentaram pelo menos 2 registros de inundações durante o período 1980 a 2010: escorregamentos com 8,0% e estiagens com 9,9%. Com frequência proporcionalmente menor, registrou-se ainda 27 ocorrências de maré de tempestade (com destaque para os municípios de Itajaí, Navegantes, com quatro ocorrências cada). Nessa mesorregião, somando todos os desastres naturais, Itajaí apresentou 36 registros.

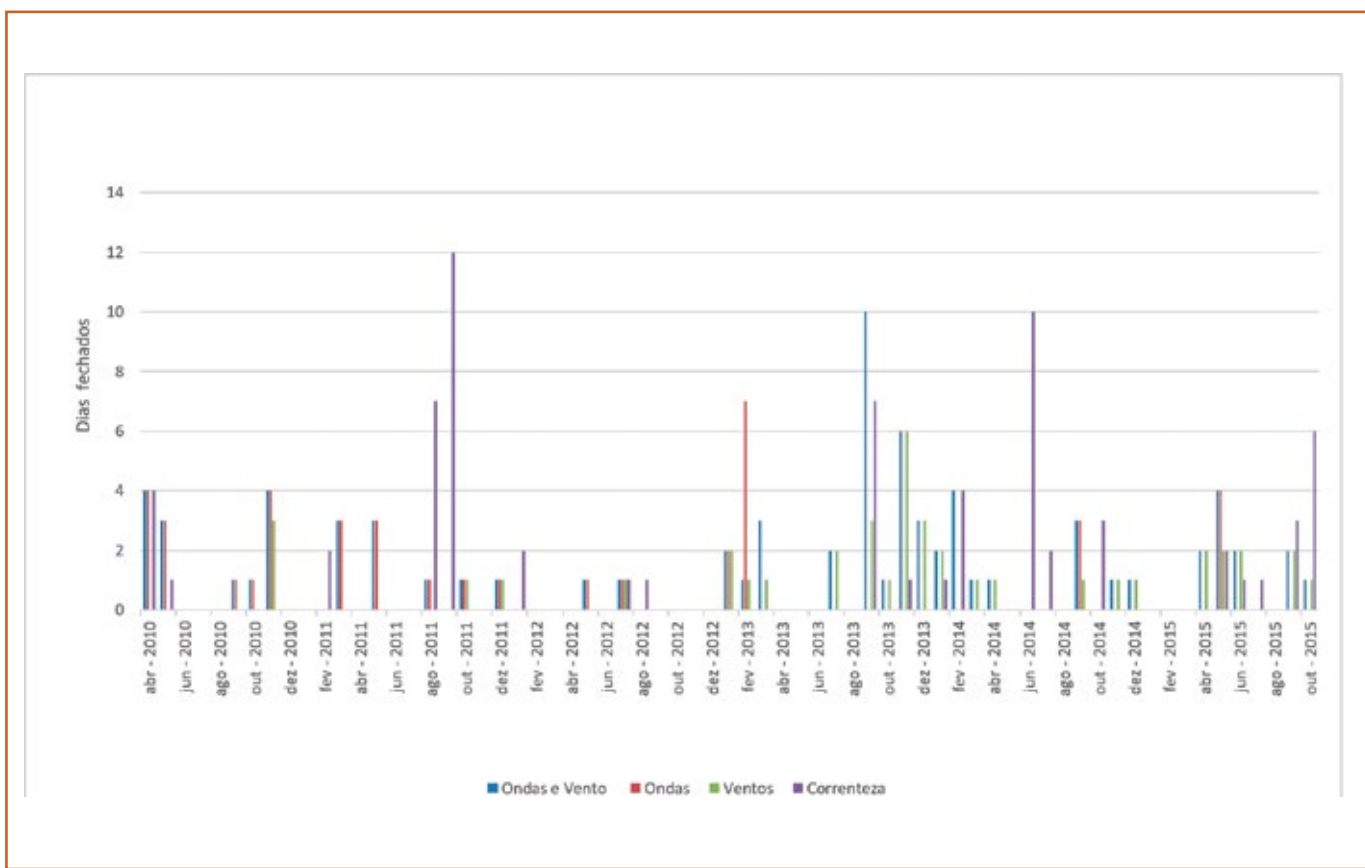
A construção de bases de dados de ventos, ondas, e nível do mar (perigos naturais) entre 1979 e 2010 e cenários futuros (previsões) foram gerados para os casos do IPCC - RCPC4.5 e RCP8.5, no projeto "Generación e Integración de Bases de Datos Climáticas Históricas y de Proyecciones de Cambio Climático para la Gestión de Riesgos Costeros en el Estado de Santa Catarina, Brasil" (CEPAL, 2015). A partir da reconstrução histórica dos campos de vento, validados e calibrados, durante o período de 1979-2010 (32 anos), com resolução temporal horária a aproximadamente cada 3km (Seawind), foi estimada uma climatologia robusta ao largo da região costeira e marinha do estado de Santa Catarina (CEPAL, 2015). Foi reportado, em geral, ventos de menor intensidade sobre terra, a exceção de certas acelerações devido a acidentes orográficos destacados no estado de Santa Catarina, como Serra Geral (sul) e Serra do Mar (norte). Na região marinha e costeira foi reportada uma importante zonação, com menores intensidades de vento na metade norte do estado, por exemplo, ao norte de Itajaí - Blumenau, com intensidades médias abaixo de 5m/s. Os ventos mais intensos se encontram afastados da costa (offshore), ao sul do estado de Santa Catarina, com velocidades médias de até 8m/s. A análise dos valores médios mensais evidencia que os ventos de componente leste são dominantes, exceto durante o inverno (JJA, meses de junho, julho e agosto) e a zonação sul-norte anteriormente descrita se mantém (CEPAL, 2015). Quanto à velocidade do vento, há uma intensificação dos ventos nos meses SON (setembro, outubro e novembro), sendo a estação em que velocidades mais altas são registradas (CEPAL, 2015). As maiores intensidades de vento, a partir da série reconstruída de 32 anos, chegam a quase 12m/s nas proximidades da Foz do Rio Itajaí (CEPAL, 2015). Apesar de uma baixa probabilidade de ocorrência de vendavais, a região do Vale do Itajaí e sua Foz apresenta potencial mediano (de 3 a 6 entre 1980 e 2010) (Marcelino *et al.* 2014 a, b), cujas velocidades variam de 89 a 102km/h (24,7m/s a 28,22m/s), força 10 na escala de Beaufort.

Em CEPAL (2015) foi apresentada uma reconstrução histórica regional da dinâmica de ondas ao largo do estado de Santa Catarina, que gerou a base de dados ROW-StaCatarina. Esta base contém informações históricas entre fevereiro de 1979 e dezembro de 2010, com resolução temporal horária e resolução espacial de, ao menos, 1km. A base de dados contém nove parâmetros descritivos do estado de mar horário em todos os pontos de malha desenvolvidos, bem como projeções regionais de ondas com base em cenários de mudanças climáticas globais (RCP4.5 e RCP 8.5) e o modelo de downscaling estatístico de ondas, utilizado para construção das bases de dados. Os resultados apresentados demonstram que a altura de onda média varia na ordem dos 2,0m em águas profundas a 1,5m nas proximidades da costa, com valores similares ao longo desta (CEPAL, 2015). Na parte norte do estado de SC, onde encontra-se a Foz do Rio Itajaí, as ondas incidem com uma direção média de leste. Em relação à altura de onda máxima, foram reportados valores na ordem de 6,0m até profundidades próximas à costa, reduzindo-se até os 4,0m para profundidades inferiores aos 40,0m. Enquanto o período médio anual, se observa da ordem de 5s, com valores de período de pico da ordem de 8s no norte. Uma sazonalidade do clima de ondas é verificada, sendo o verão (dezembro, janeiro, fevereiro, DJF) a estação menos energética, com valores de altura de onda na ordem de 1,4-1,8m. Os meses de setembro, outubro e novembro (SON) são os mais energéticos, com valores médios de altura de onda na ordem de 2,2m em águas profundas e valores da ordem de 1,8m em profundidades próximas à costa, conforme discutido e apresentado já por outros autores (CEPAL, 2015).

### 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina

Ainda neste relatório, foi apresentada uma caracterização climática local do vento e de ondas, em formato de fichas climáticas, para uma série de localizações ao largo da costa do estado de Santa Catarina. Nos **APÊNDICES I e II**, apresentam-se exemplos destas localizadas na costa de Itajaí. Demais fichas estão disponíveis em CEPAL (2015).

Uma compilação de dias em que a barra de Itajaí esteve fechada para entrada de Navio, em função dos ventos, ondas e correntezas é apresentada na Figura 7.37. De acordo com NPCP (<https://www.mar.mil.br/cpsc/npcp/npcp.pdf>, consultado em 18.01.2017) a “impraticabilidade” da Barra do Rio Itajaí (Porto Itajaí e Navegantes) é estabelecida pela autoridade marítima quando as condições ambientais apresentarem entre outros parâmetros uma intensidade do vento de 10m/s (18 nós) (escala de Beaufort força 5) e/ou uma altura de onda maior que 2,0m, ambos frequentes na região da Foz do Itajaí. Num cenário de alteração climática com maior probabilidade de ocorrência destes eventos, prejuízos para região ocorreram.



**Figura 7.37** Porto de Itajaí fechado por ação dos ventos, ondas e correntezas. Fonte: Porto de Itajaí

O Apêndice III mostra as projeções futuras do clima de ondas com base nos Cenários RCP4.5 e RCP8.5 apresentadas no relatório CEPAL (2015). Um aumento da altura significativa média ( $H_s$ ) das ondas em todo o estado de Santa Catarina foi reportado. O comportamento para todos os cenários é muito similar, sendo que os maiores aumentos ocorrem em longo prazo e para o cenário RCP8.5, alcançando valores da ordem de 2,0 cm na região norte do estado de Santa Catarina, onde encontra-se a Foz do Rio Itajaí (CEPAL, 2015). A Figura do APÊNDICE IV mostra as alterações no período médio ( $T_m$ ). Um aumento no  $T_m$  é esperado para praticamente todo o estado de Santa Catarina (CEPAL, 2015). A magnitude destas alterações é muito pequena, da ordem de 0,01 s e valores máximo de 0,02 s ao norte do estado para o longo prazo (2081-2099) e RCP8.5. Quanto ao fluxo médio de energia (FE), Figura do APÊNDICE V, sendo uma variável agregada, combinação do quadrado de  $H_s$  e  $T_m$ , as mudanças são consistentes com o observado em  $H_s$  e  $T_m$ . De acordo com CEPAL (2015) as alterações detectadas nas ondas refletem as mudanças nos tipos de padrão de circulação atmosférico. Um aumento de situações sinóticas de alta pressão e uma diminuição de centros de baixa pressão ao sul do Atlântico Sul tem por resposta um aumento de  $H_s$ ,  $T_m$  e FE, sendo mais pronunciada ao norte do estado de Santa Catarina.

Dalinghaus (2016) reanalisando a base de dados da CEPAL (2011) contida no SMC-Brasil, verificou uma tendência de aumento de 0,26 cm/ano em condições médias de ondas ( $H_s$ ) e 0,84 cm/ano em condições extremas ( $H_{s12}$ ), para os 60 anos (1948 a 2008) de dados de retroanálise do clima de ondas para Santa Catarina. Valores semelhantes foram apresentados no relatório de CEPAL (2015). Este último, já discutido, utilizou-se de uma downscaling retroanálise de 32 anos (1978-2010) e projeta um aumento médio anual de 0,2cm/ano na costa catarinense neste período. A tendência de 0,26 cm/ano resulta em um incremento de 0,16 m (16,10 cm) ao final de 60 anos. Valores maiores de aumento de  $H_{s12}$  médio também foram verificados por CEPAL (2015), no entanto em tal trabalho os valores de 140 tendência de  $H_{s12}$  encontrados para a zona de Santa Catarina ficaram ao redor de 1,1cm/ano, valor próximo ao encontrado no trabalho de Dalinghaus (2016) e CEPAL (2011) (0,84 cm/ano). Ao considerar um incremento de 0,84 cm/ano pode-se esperar dentro de 60 anos um aumento nos valores médios anuais de  $H_{s12}$  de 0,5m. Mesmo padrão de aumento gradual nos valores de  $H_s$  foi apontado por diversos outros autores ao redor do globo (Bacon e Carter, 1991; Alan e Komar, 2000; Woolf et al., 2002; Young et al., 2011), sendo que Young et al. (2011) também destaca que esse aumento é ainda maior quando se fala em dados de eventos extremos (e.g.  $H_{s12}$ ), corroborando com o que está descrito no trabalho de Dalinghaus (2016). O mesmo pode ser observado para os valores de  $T_p$  médio anual e  $T_p$  associado a  $H_{s12}$  (Dalinghaus, 2016). Com um aumento de 0,0076 s/ano em condições médias e 0,0253 s/ano em condições extremas, ao longo de 60 anos, o aumento total destes dois parâmetros foi de 0,54s e 1,54s, respectivamente. Valores próximos foram encontrados por Dodet et al. (2010), sendo que os autores também encontraram um maior incremento de  $T_p$  associados às maiores  $H_s$  (de inverno). Por fim, quanto à tendência na variação do fluxo de energia direcional (FE), se verificou um aumento nos valores de direção de 0,1533 o/ano, ou seja, uma tendência de rotação na direção de fluxo médio de energia para o Sul. O mesmo padrão foi verificado em CEPAL (2011, 2015). De acordo com os autores, a ondas na costa sul do Brasil tem sofrido uma rotação positiva na direção do fluxo médio de energia e apresentam valores de tendência próximos aos encontrados no presente trabalho (0,1688 o/ano) para a costa catarinense.

## 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina

Assumindo a tendência de incremento encontrada neste trabalho, de 0,1533°/ano, conclui-se que em 60 anos, a rotação no fluxo de energia direcional foi de 9,35°. Harley *et al.* (2010) também encontraram um aumento na direção média (0m) de 0,2°/ano em direção Sul durante um período de 45 anos (1957-2002) para a Austrália. Estes resultados podem indicar uma mudança global padrão, que está relacionada a mudanças nos padrões de ventos nas zonas de gerações de ondas. Entender a variabilidade da altura das ondas, período e direção é necessário para muitos estudos de engenharia costeira e oceânica. Compreender as mudanças no clima de ondas é crítico para determinar as diretrizes de segurança durante as fases de pré-concepção de projetos costeiros e análise preliminar de perigos num cenário de adaptação às mudanças climáticas.

---

*Entender a variabilidade da altura das ondas, período e direção é necessário para muitos estudos de engenharia costeira e oceânica.*

---



Dalinghaus (2016) ainda apresenta uma análise de correlação entre os dados de clima de ondas ( $H_s$ ,  $H_{s12}$ ,  $T_p$  FE e FE direcional) e os índices climáticos: Antarctic Oscillation (AAO), Pacific Decadal Oscillation (PDO), Southern Oscillation Index (SOI), Multivariate Enso Index (MEI) e Oceanic Niño Index (ONI), por serem índices comumente estudados no Sul do Brasil. Os índices cobrem o período de 58 anos (1950 – 2008) com exceção do índice Antarctic Oscillation (AAO) que inicia em 1979 (30 anos). Dentre todos, o PDO demonstrou maior correspondência ao que se vem observando até o momento. Este índice apresentou, assim como as análises anteriores, um aumento na tendência da série de dados, onde até 1976 o PDO está em sua fase negativa, já partir de 1977 a sua fase positiva está em evidência (Mantua e Hare, 2002) até o ano 2000, onde ele volta a ficar na fase negativa. Esta divisão dos dados em 3 fases é correspondente a divisão dos dados de  $H_s$ , onde a partir de 1972 há também um aumento na  $H_s$ , mas a partir dos anos 2000 esse aumento é ainda mais evidente. A PDO está relacionada a eventos gerados por ciclones, e demonstra uma correlação positiva entre ambos, ou seja, o número de ciclones é maior em fases positivas da PDO (fases onde a água do Pacífico Leste é mais quente – El Niño).

A partir destas análises, pode-se verificar que eventos de El Niño possuem correlação inversa com dados de FE Direcional, ou seja, quanto mais quente a água do mar no Pacífico (anos de El Niño), menores os valores de direção (mais de leste) e também menor o FE. O oposto acontece em anos de La Niña. Estes resultados corroboram com as análises anteriores, pois são nos meses de verão que chegam a costa maiores ocorrências de ondas de leste, e também menores valores de  $H_s$ . Ainda de acordo com Pereira e Klumb-Oliveira (2015), essa redução na altura significativa das ondas pode ser atribuída à intensificação da alta subtropical do Atlântico Sul e, conseqüentemente, ao aumento na ocorrência de jatos subtropicais nos períodos de El Niño, visto que esta alteração meteorológica causa o bloqueio de frentes frias na região Sul do Brasil, e, assim, a redução da porcentagem de ondas do quadrante sul.

Estes estudos indicam que compreender e prever transformações no clima de ondas como uma resposta a mudanças na circulação zonal na atmosfera, especialmente quando tais mudanças climáticas estão ligadas aos impactos sociais e econômicos (Harley *et al.*, 2010), faz-se necessário para quaisquer estratégias de adaptação.

A tendência histórica do nível do mar em Santa Catarina foi estudada utilizando-se a base de dados regional de nível médio do mar, desenvolvida por IHCantabria (CEPAL, 2015). A reconstrução cobre o período de 1950 a 2010 e proporciona o nível médio do mar em escala mensal regional e com uma resolução espacial de 1 grau em longitude e latitude. A figura 7.38 apresenta a série mensal histórica de nível médio do mar na coordenada 48°W e 28°S. Observa-se uma tendência histórica linear na região de SC, e estima-se uma variação positiva de 2,11mm/ano, o que implica em um incremento de 4,6cm durante os últimos 22 anos e superior aos 10cm para os últimos 50 anos.

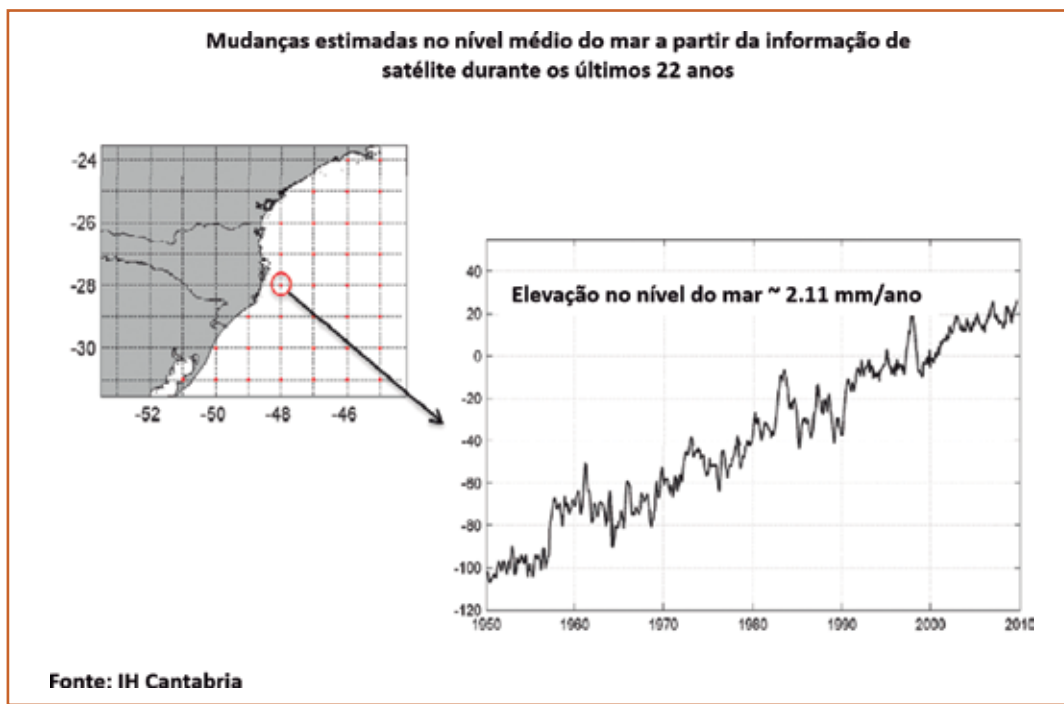
---

*A tendência histórica do nível do mar em Santa Catarina foi estudada utilizando-se a base de dados regional de nível médio do mar, desenvolvida por IHCantabria (CEPAL, 2015).*

---



### 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina



**Figura 7.38** Variações do nível médio do mar a partir de informações procedentes de satélites para 22 anos (1950 a 2010). Fonte: CEPAL (2015).

No relatório da CEPAL (2015) ainda foram apresentados os resultados das simulações de dinâmica global, para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, a partir das condições de contorno e iniciais fornecidas pelo 21 GCMs dentro do CMIP5. As mudanças estimadas para o estado de Santa Catarina estão próximas de 0,5 metros para o RCP4.5, e acima de 0,72 metros para o cenário RCP8.5. A partir do banco de dados foi apresentado uma caracterização climática de alterações no nível do mar (CEPAL, 2015). Um exemplo de uma ficha de clima local do nível do mar é apresentado no **APÊNDICE VI**. Demais fichas estão disponíveis na CEPAL (2015).

As mudanças do nível da maré meteorológica apresentada em CEPAL(2015)foramestimadas.Asmudançasemcurto(2016-2035),médio(2046-2065) e longo prazo (2081-2099) foram calculadas com respeito ao período de referência (1986-2005). Segundo o relatório, é possível observar que não há um comportamento consistente nos diferentes períodos de tempo e cenários. A magnitude das mudanças/variações é muito pequena, da ordem de 5cm, com diferentes sinais (+ e -).



Rudorff *et al.* (2014) identificaram, no período de 1997 a 2010, 46 registros de marés de tempestade (ressacas), que causaram danos significativos nos municípios da costa catarinense. Entre 2000 e 2010, estas deixaram treze municípios em estado de emergência, um em estado de calamidade pública, 93 desabrigados, 389 desalojados e 17.054 afetados. O ano de 2010 foi o com mais ocorrências, com um total de 13, que na época representaram um prejuízo de R\$ 27.719.526,00. A média anual dos registros de marés de tempestades (ressacas) que causaram danos significativos ao longo do período analisado é de 3,28.

Em 2001 foi constatado um primeiro pico total de ocorrências na frequência anual, conforme a figura 7.39, que esteve relacionado à ocorrência de um ciclone extratropical muito intenso em condição de maré de sizígia entre os dias 5 e 8 de maio. Nesta ocasião, onze municípios foram atingidos, deixando, por exemplo, os municípios de Balneário Camboriú, Bombinhas, Itapema e Navegantes em estado de emergência. Os prejuízos somaram R\$ 11.355.632,00. Entre 2005 e 2009 houve um período de pouca manifestação do fenômeno, registrando-se apenas 3 ocorrências no ano de 2006, todas no município de Itajaí, resultando em prejuízos de R\$1.737.000,00. No ano de 2010, revelou-se mais um pico de ocorrências do fenômeno, com o total de 13, que resultou em inúmeros prejuízos para a população afetada, sobretudo na porção insular do município de Florianópolis. Estes autores, fazendo uma avaliação da distribuição espacial dos registros, mostraram ainda que a área da Foz do Rio Itajaí tem uma alta incidência do fenômeno. Dentre os 10 municípios mais afetados, com frequência alta, entre 3 e 4 registros, se destacam os municípios de Itajaí, Navegantes, Balneário Camboriú e Bombinhas; com frequência média, 1 a 2 episódios, correspondem os municípios de Itapema, na área de estudo. Muitos desses municípios apresentam grandes concentrações urbanas na orla marítima, expondo casas, prédios, estradas, infraestrutura urbana e de lazer a estas adversidades.

---

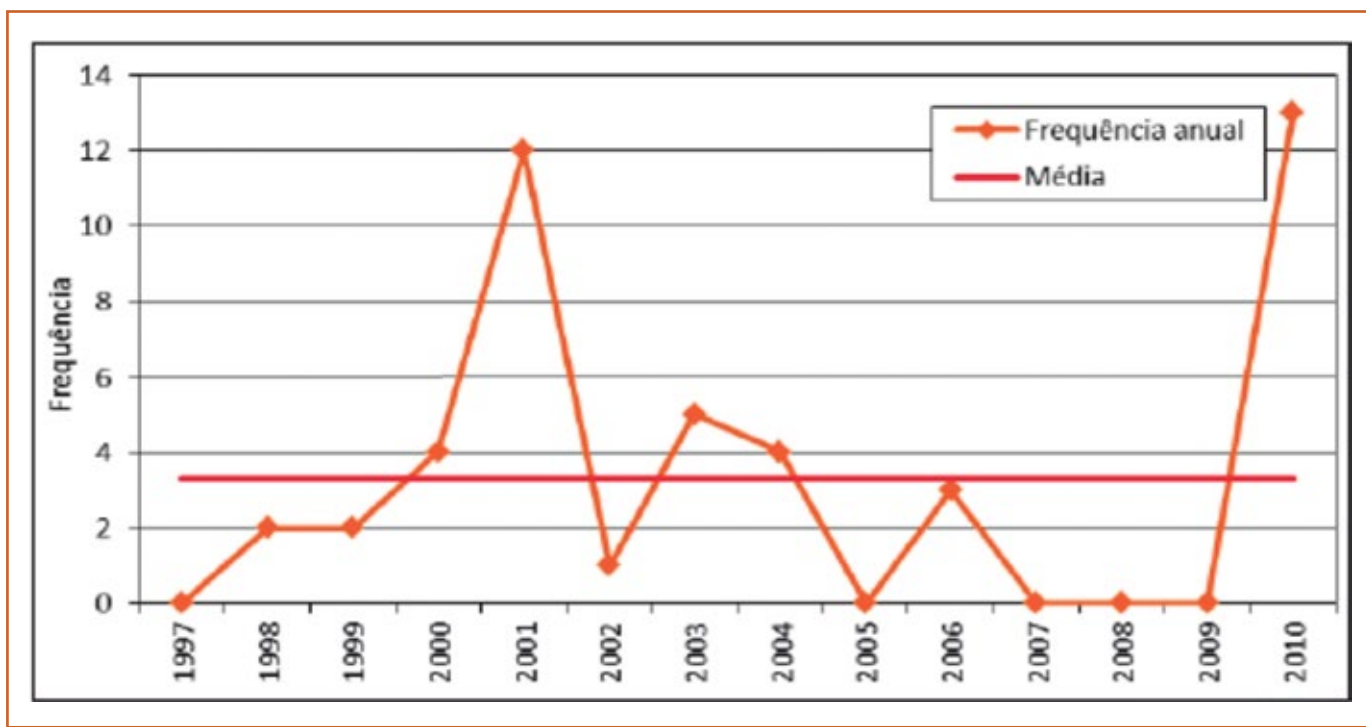
*Dentre os 10 municípios mais afetados, com frequência alta, entre 3 e 4 registros, se destacam os municípios de Itajaí, Navegantes, Balneário Camboriú e Bombinhas.*

---



Durante o período (1997 a 2010) analisado por Rudorff *et al.* (2014), foi possível verificar que as marés de tempestade (ressacas) foram mais frequentes e severas entre maio e setembro, concordando com o período de maior ocorrência de tempestades costeiras (maiores alturas significativas de ondas), conforme também observado por BARLETTA (2000).

### 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina



**Figura 7.39** Frequência anual de marés de tempestade (1997 – 2010). Fonte: Rudorff et al. (2014). Atlas de desastres SC.

Algumas previsões relacionadas aos efeitos das mudanças climáticas globais indicam que a intensidade das tempestades costeiras deverá aumentar nos próximos anos (EISMA, 1995), apesar das previsões apresentadas aqui não indicarem isso quando se considera apenas o nível d'água (maré meteorológica), mas corrobora quando se considera as ondas (maré de tempestades ou ressacas). Além disso, todos os cenários projetados e apresentados neste, bem como pelo IPCC, apontam para um aumento do nível do mar neste século XXI (McCarty et al., 2001). Destaca-se que, em virtude do aumento da concentração populacional na zona costeira, espera-se também um aumento da vulnerabilidade dessas comunidades às marés de tempestade (ressacas). Como exemplo, cita-se o caso ocorrido recentemente entre os dias 28 e 31 de outubro de 2016, quando uma maré de tempestade (ressaca) atingiu 32 cidades da costa catarinense, segundo registro da Defesa Civil de Santa Catarina. As cidades mais atingidas foram na Grande Florianópolis e no litoral norte do estado. O fenômeno se deu pelo deslocamento de um ciclone extratropical em direção ao mar aliado a uma alta pressão, trazendo ventos provenientes do quadrante sul e, por consequência, maré meteorológica positiva, associada à maré de sizígia (lua nova). Em Balneário Camboriú, o mar invadiu a Avenida Atlântica, atingindo também as ruas transversais e imóveis à beira-mar, depositando cerca de 2 a 4 mil m<sup>3</sup> de areia sobre a avenida (figura 7.40). A estação meteorológica INMET registrou rajadas de até 53,2km/h (14,8m/s) na cidade de Itajaí nos dias do evento, enquanto que, segundo a praticagem do Porto de Itajaí, o nível do mar ultrapassou os 2m, resultando no fechamento temporário do Ferry Boat, que faz a travessia entre Itajaí. A maré alta causou o represamento do Rio Itajaí-Açu, fazendo com que as águas invadissem a Avenida Beira-Rio (figura 7.41), na cidade de Itajaí. Nas partes mais baixas da cidade, nos bairros Imaruá, Murta e Cordeiros algumas casas foram inundadas.



**Figura 7.40** A - Mar invadiu a Avenida Atlântica em Balneário Camboriú. Foto: Marco Moreira. B - Areia depositada sobre a Avenida Atlântica. Foto: Virgínia Cardoso/Secretária de obras. C - Remoção da areia com auxílio de caçambas e retroescavadeiras. Foto: Luiz Carlos Souza/RBS TV. D - Operários removeram areia Avenida Atlântica. Foto: Luiz Carlos Souza/RBS TV.

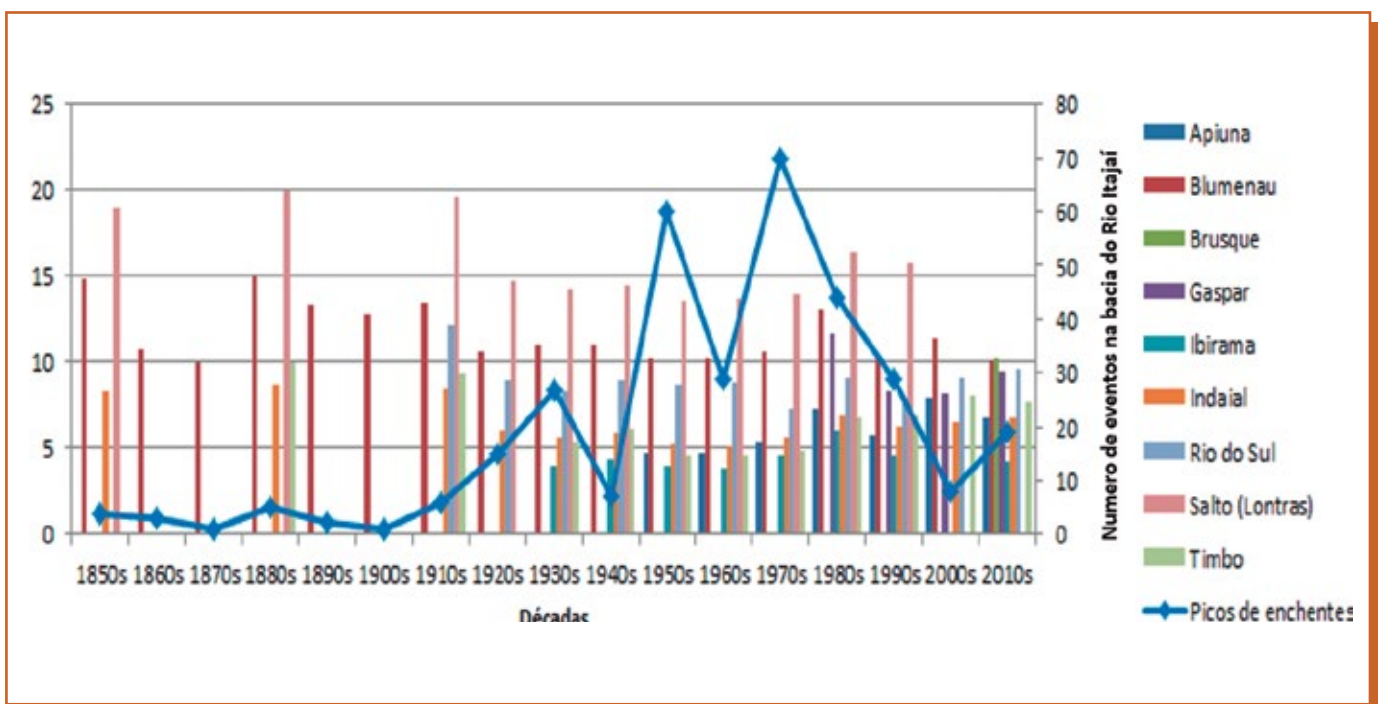


**Figura 7.41** Inundação na Avenida Beira Rio em Itajaí. Foto: Luiz Carlos Souza / RBS TV.

### 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina

Os maiores prejuízos decorrentes da maré de tempestade (ressaca) foram evidenciados na orla da cidade de Navegantes, Praia do Gravatá, onde, após o evento, a Prefeitura Municipal decretou situação de emergência, onde o deck de madeira e a estrutura de sustentação foram destruídos pela força do mar. Estudos pretéritos relatam uma repetição deste fenômeno, e uma acentuada erosão praial nesta área da Praia de Navegantes (Klein *et al.*, 1999; CTTMar 1999; Menezes e Klein, 2002; Menezes *et al.*, 2002a), com retração da linha de costa na ordem de 1,5m/ano e perda de cerca de 15.000m<sup>2</sup> de praia entre 1993 e 2002.

Apesar das inundações costeiras advindas de condições oceânicas, os maiores desastres naturais em Santa Catarina advêm das inundações fluviais. A figura 7.42 apresenta as cotas de inundação fluvial e o número de picos destas entre 1850-2015 no Vale do Itajaí. Verifica-se que, nos primeiros 100 anos, houve poucos registros de inundações e poucas cidades foram atingidas. A partir da década de 50 parece ter aumentado o registro de ocorrência de inundações. Sendo que a partir dos anos 80 começaram a atingir um maior número de cidade. Os maiores valores registrados são do final do século 19 e início do 20.



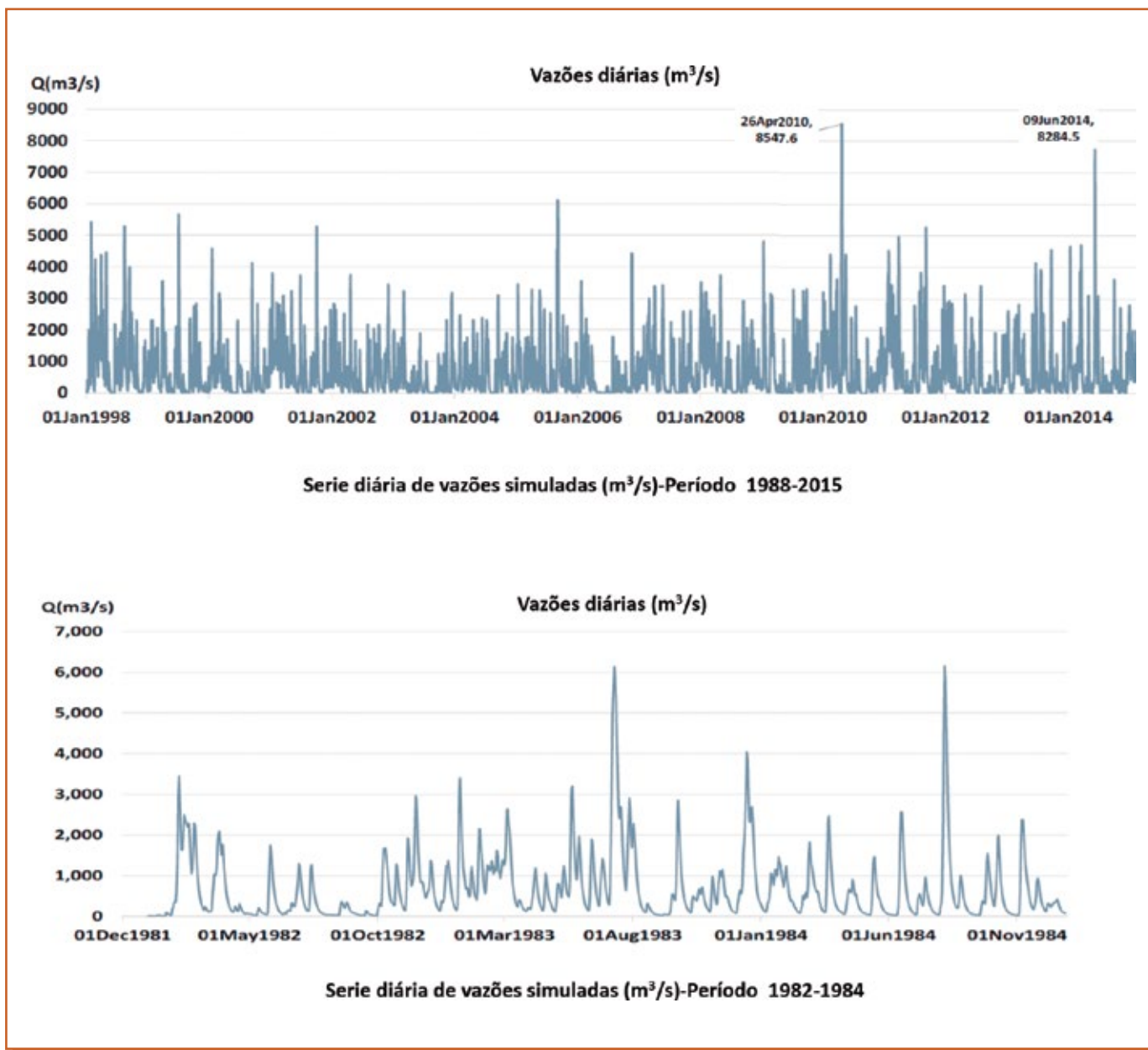
**Figura 7.42** Picos de inundações fluviais registradas na Bacia do Rio Itajaí-Açú. Fonte: Centro de Operações do Sistema de Alerta do Vale do Itajaí - <http://ceops.furb.br/index.php/sistema-de-alerta/picos-de-enchentes>

De acordo com dados sintetizados por Herrmann *et al.* (2014) e Marcelino *et al.* (2014 a, b) para todo o estado de Santa Catarina, apresentado no Atlas de Desastres Naturais de SC (Herrmann, 2014), há um comportamento inverso no tempo e no espaço da ocorrência de eventos de inundações graduais e bruscas. Os picos de inundações graduais estão diretamente relacionados com os anos de El Niño, considerados fortes e moderados, ou seja, associados aos eventos ocorridos em 1983, 1987, 1990, 1992 e 1997 (Herrmann *et al.* 2014). A exceção foi para os anos de 1984, 1996 e 2001, que correspondem à fase negativa do El Niño, chamada de La Niña (Herrmann *et al.* 2014). Neste ano, as inundações ocorreram principalmente na primavera e estiveram associadas às passagens consecutivas de sistemas frontais (Herrman *et al.*, 2001). Durante o período de 2004 a 2007, considerado de El Niño de fraca intensidade, não houve episódio significativo de inundações. Durante os anos de 2009 e 2010, considerados como período de El Niño de moderado a forte, ocorreram vários episódios de inundações, porém, apenas 4 registros de inundações graduais (figura do **APÊNDICE VII**) (Herrmann *et al.*, 2014). Por outro lado, Marcelino *et al.* (2014 a, b) reportam que as ocorrências de inundações bruscas, ao longo dos 30 anos analisados, vêm aumentando principalmente a partir da década de 90, quando os índices de ocorrências anuais ultrapassaram frequentemente a média (40,5 casos/ano) para o Estado de Santa Catarina. Estes autores salientam os altos números de ocorrência nos anos de 2001, 2008, 2009 e 2010, com totais respectivos de 120, 177, 163 e 198 ocorrências registradas. O aumento gradativo de ocorrências parece influenciado, em grande parte, pelo crescente processo de urbanização dos municípios, que conseqüentemente resulta num processo de impermeabilização do solo, como por exemplo, calçamento e asfaltamento de ruas e estradas, construção de áreas de lazer, adensamento de edificações e, principalmente, em função da ocupação desordenada das planícies de inundação dos rios (Marcelino *et al.*, 2014 a, b), bem como os desmatamentos em encostas e o assoreamento dos cursos d'água (Marcelino *et al.*, 2014 a, b). Assim, mesmo para índices de precipitação não tão severos ou anômalos, que normalmente não causaria inundação em uma determinada área, acaba resultando em inundações devido a este processo de intensa antropização.

No relatório da CEPAL (2015) foram apresentados alguns estudos de caso mais significativos de inundação fluvial gradual e brusca ocorridas no Vale e Foz do Rio Itajaí, bem como deslizamentos. Salienta-se que na Foz do Rio Itajaí, a cota de inundação é sempre maior quando da ocorrência da situação de preamar associada a ressacas, ou seja, com um nível d'água no mar maior, se tem o efeito de represamento da água junto aos municípios da Foz do Rio Itajaí, como já descrito no estudo de caso de de 27/10/2016. Alterações na probabilidade de ocorrência conjunta de eventos de inundação fluvial com marés de tempestades podem agravar a situação dos municípios da Foz do Vale do Itajaí, com respeito a inundações fluviais e costeiras.

## 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina

Uma reconstrução histórica associada a alguns eventos de inundação fluvial e costeira (marinha) dos fluxos de água (descarga fluvial) gerados nas bacias hidrográficas da Foz do Rio Itajaí como resultado de eventos de precipitação, também está descrita em CEPAL (2015). As descargas fluviais simuladas para Foz do Rio Itajaí (ponto de controle) se apresenta na figura 7.43, onde observa-se vários exemplos de descargas extremas ocorridas entre 1998-2015 e 1982-1984, respectivamente.



**Figura 7.43** Série de descarga fluvial diária na Bacia do Rio Itajaí. Período 1998-2015 (a). Séries diárias de descarga fluvial período de 1982 -1984 (b). Fonte: CEPAL (2015).

Para estudar adequadamente o impacto das inundações devido às alterações climáticas no litoral de Santa Catarina, foram definidos cenários que correspondem às mudanças nos padrões de precipitação, traduzidos em variações no fluxo de escoamento da chuva e subida do nível médio do mar (MSL) CEPAL (2015). Sendo estes:

**Cenário 1.** Aumento de 20% do escoamento em virtude do fluxo de precipitação (descarga fluvial): cenário de inundação que considera um aumento de 20% no escoamento devido ao fluxo de precipitação (descarga fluvial), mas não inclui mudanças no NMM. O valor de 20% foi escolhido por representar um valor maior que os associados aos maiores escoamentos registrados.

**Cenário 2.** Aumento do NMM em 0,70m: cenário de inundação permanente de 0,70m de subida do NMM no final do século (RCP8.5 regionalizada). Ignora variações no regime de precipitação.

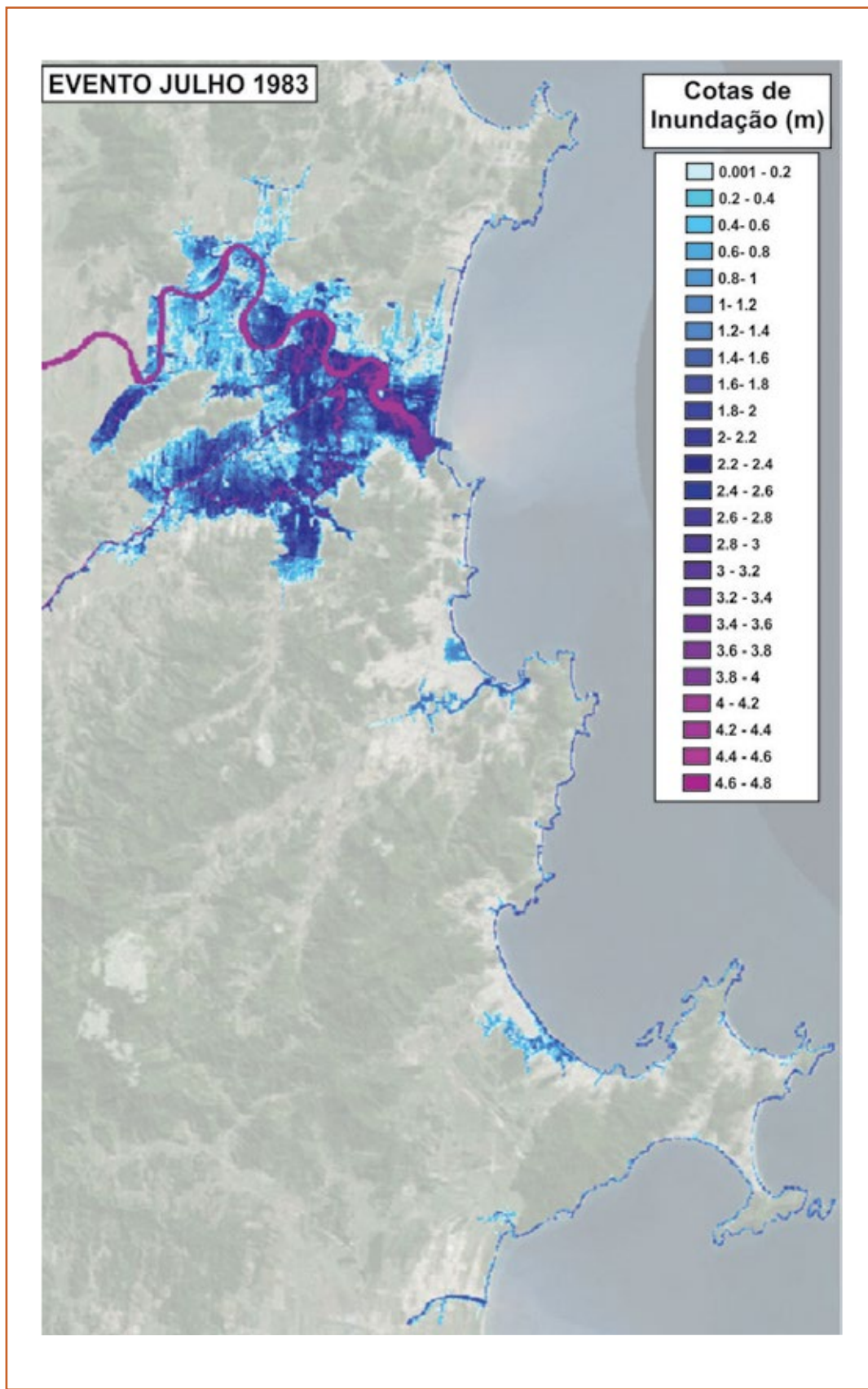
**Cenário 3.** Aumento do NMM em 1m: cenário de inundação permanente de 1m de subida do NMM ao final do século (limite superior do intervalo de confiança RCP8.5). Este ignora as alterações nos padrões de precipitação.

**Cenário 4.** Aumento de 20% no escoamento devido ao fluxo de precipitação (descarga fluvial) combinado com o aumento da NMM de 1m: cenário de inundação considerando um aumento de 20% no escoamento por obra do fluxo de precipitação (descarga fluvial) e um aumento de 1m no NMM ao final do século (limite superior do intervalo de confiança RCP8.5).

Os cenários propostos foram testados assumindo como condições base as dinâmicas marinha e continental que caracterizam os eventos históricos de julho 1983 e junho de 2006 (CEPAL, 2015). As inundações apresentadas na figura 7.44 são devidas, quase inteiramente, ao fluxo de escoamento da chuva (descarga fluvial) ocorrida de 5 a 8 de julho de 1983 (inundação fluvial gradual). Observa-se uma maior extensão da inundação na região sul do Rio Itajaí-Açu, junto a sua foz. No entanto, ao norte, as águas alcançam o aeroporto de Navegantes, o que não foi verificado in situ (vide apêndice VIII). Foram atingidos máximos de 4m acima do nível médio dos rios Itajaí-Açu e Itajaí-Mirim. Na cidade de Itajaí, a lâmina d'água chegou a 3m em ambas as margens do rio. Também se observam inundações em cotas baixas na costa de Piçarras, área central do Balneário Camboriú e próxima a Porto Belo. Salienta-se aqui que os registros de erosão da praia de Piçarras coincidem com este evento de 1983 (Klein *et al.*, 2004).



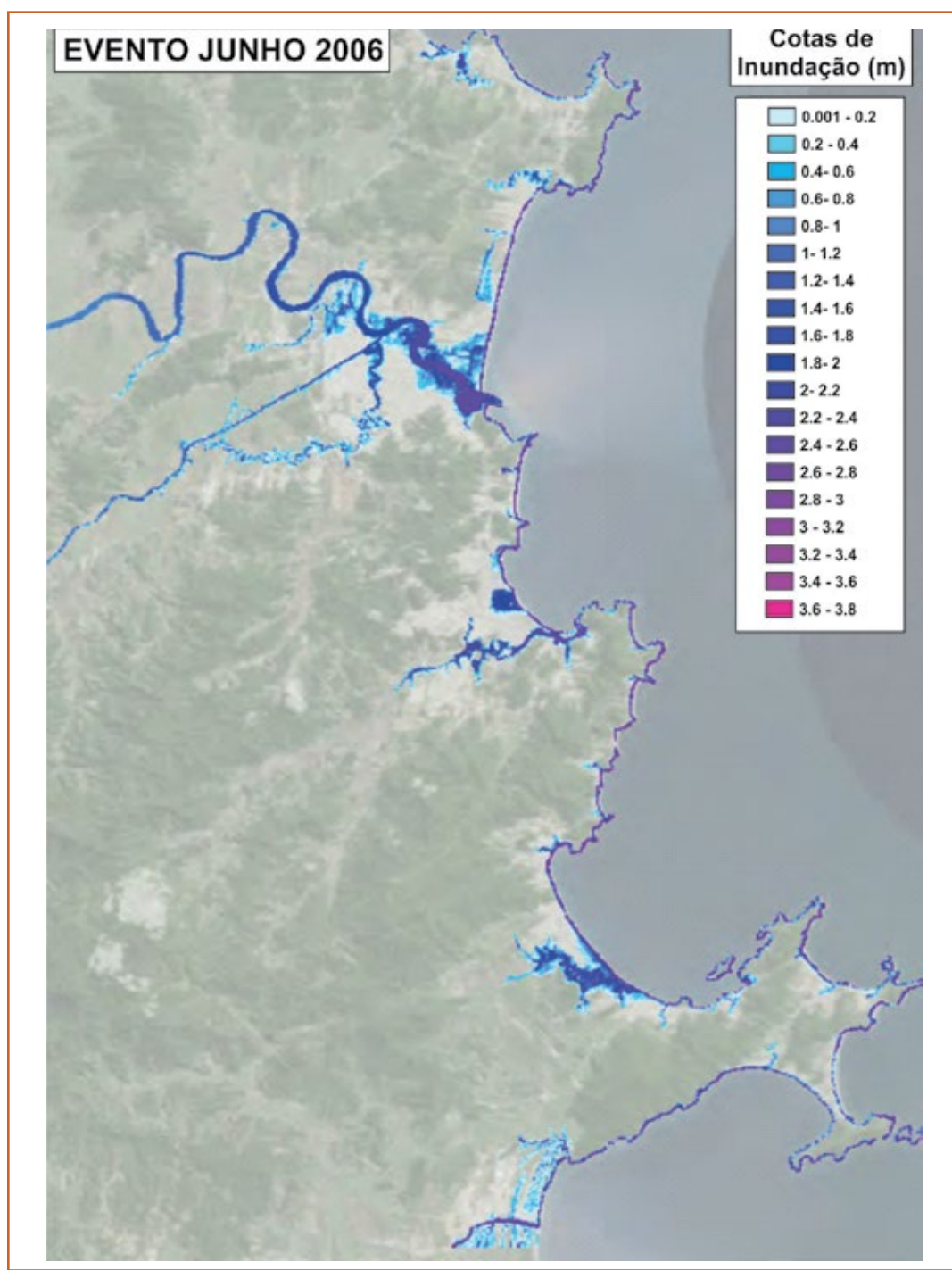
## 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina



**Figura 7.44** Mapa de inundação máxima do evento de julho de 1983. Fonte: CEPAL (2015).



A figura 7.45 mostra uma inundação cuja principal contribuição é a dinâmica marinha. Na desembocadura do rio Itajaí-Açu e na costa de Navegantes, grandes níveis de inundação foram atingidos. Na área costeira central do Balneário Camboriú e na região entre Itapema e Porto Belo, a lâmina de inundação chegou a 1m de altura acima do nível médio do mar (CEPAL, 2015).



**Figura 7.45** Mapa de inundação máxima do evento de junho de 2006. Fonte: CEPAL (2015).

Segundo as projeções de clima dos modelos globais do IPCC AR5 (IPCC, 2013) e dos experimentos derivados de downscaling de alguns modelos do IPCC (Chou *et al.*, 2014a; b), é possível que extremos de chuva e chuva total aumentem na região Sul do Brasil nas próximas décadas, e isso poderia afetar áreas vulneráveis a enchentes e deslizamentos de terra, fazendo que sejam mais frequentes e intensos no futuro, e impactando negativamente os sistemas naturais e humanos na região, como é o Porto de Itajaí.

### 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina

As projeções de mudança de precipitação de verão (DJF, Dezembro-Janeiro-Fevereiro) na região do Vale do Itajaí e na cidade de Florianópolis, mostram sinais opostos entre as projeções do Eta-HadGEM2 e as do Eta-MIROC5 (figura 7.46). Por exemplo, enquanto as projeções dos dois cenários RCP do Eta-HadGEM2-ES indicam redução das chuvas nestas duas regiões, as projeções do Eta-MIROC5 indicam aumento das chuvas na faixa litorânea. Estes sinais de aumento ou redução se intensificam com o aumento do nível de concentração dos gases de efeito estufa ao longo do século 21, em especial no cenário RCP8.5. No outono (MAM, Março-Abril-Maio), os sinais de mudança de precipitação são fracos, quando as projeções apresentam neutralidade ou um pequeno aumento. No inverno (JJA, Junho-Julho-Agosto), as projeções do downscaling dos dois modelos globais entram em concordância e ambas indicam aumento das chuvas para as duas regiões, com maior intensidade no cenário RCP8.5 e com o aumento na concentração dos gases de efeito estufa. Por outro lado, na primavera (SON, Setembro-Outubro-Novembro), as duas projeções voltam a apresentar discordância sobre as mudanças de precipitação ao longo do litoral: enquanto Eta-HadGEM2-ES reduz as chuvas, Eta-MIROC5 aumenta as chuvas. Entretanto, no interior, a região do Vale do Itajaí apresenta, nas duas projeções, aumento das chuvas, que se intensifica até o final do século 21.

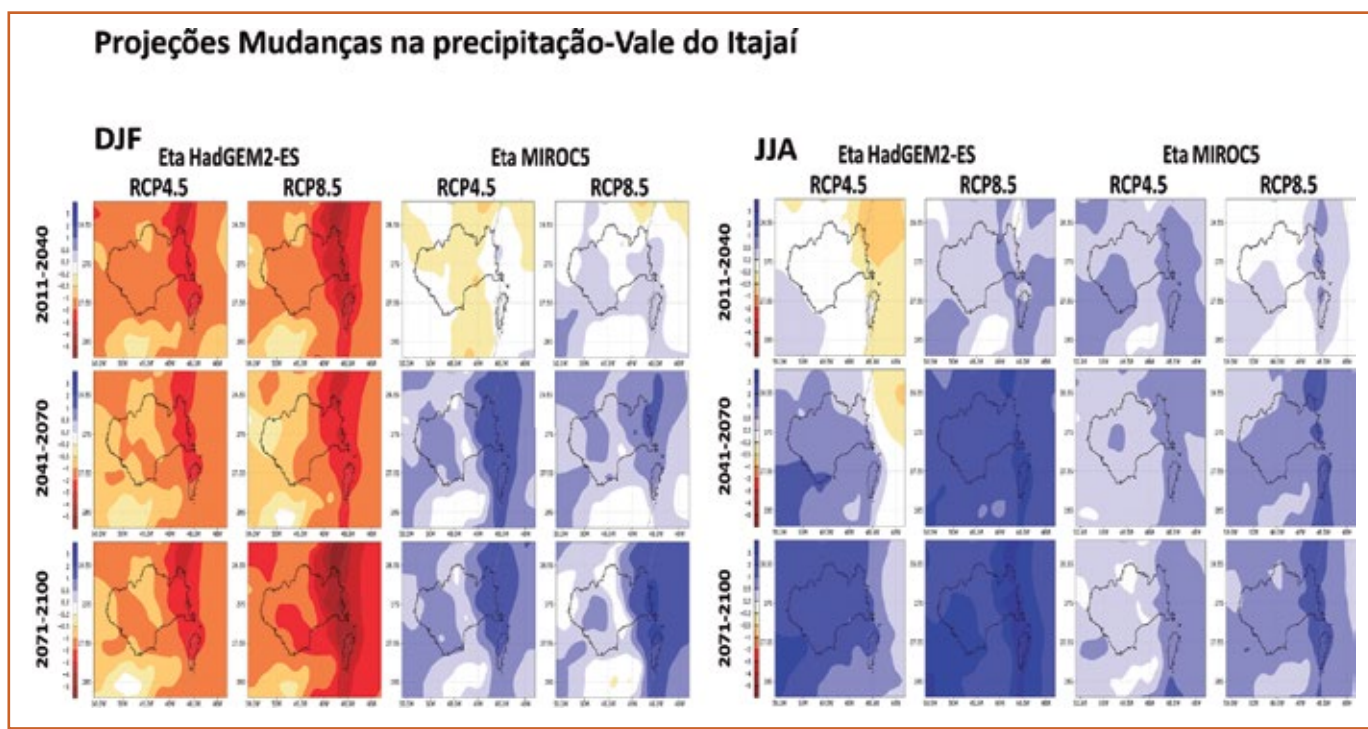
*As projeções de mudança de temperatura no Vale do Itajaí e em Florianópolis indicam aumento da temperatura em todas estações do ano.*



Os gráficos de tendência das mudanças já agregam ambas projeções, do Eta-HadGEM2 e Eta-MIROC5. As mudanças de precipitação anual no Vale do Itajaí apresentam variabilidade interanual bastante semelhante às de Florianópolis (figura 7.46). O intervalo de mudanças da precipitação se torna mais ampla à medida em que se aproxima do final do século. Eventos de anomalia negativa de chuva apresentam-se bastante frequente, o que se reflete no índice de extremo climático de dias consecutivos secos, que são mais frequentes nas projeções futuras do que no período presente (clima atual). Apesar dos frequentes eventos de anomalia negativa de chuva e do aumento dos dias consecutivos sem chuva, os extremos diários de chuva medidos pelo percentil 95, e os extremos de chuva acumulados em 5 dias, ambos índices mostram tendência de aumento com o aumento do nível de concentração dos gases de efeito estufa e aumento da variabilidade interanual.

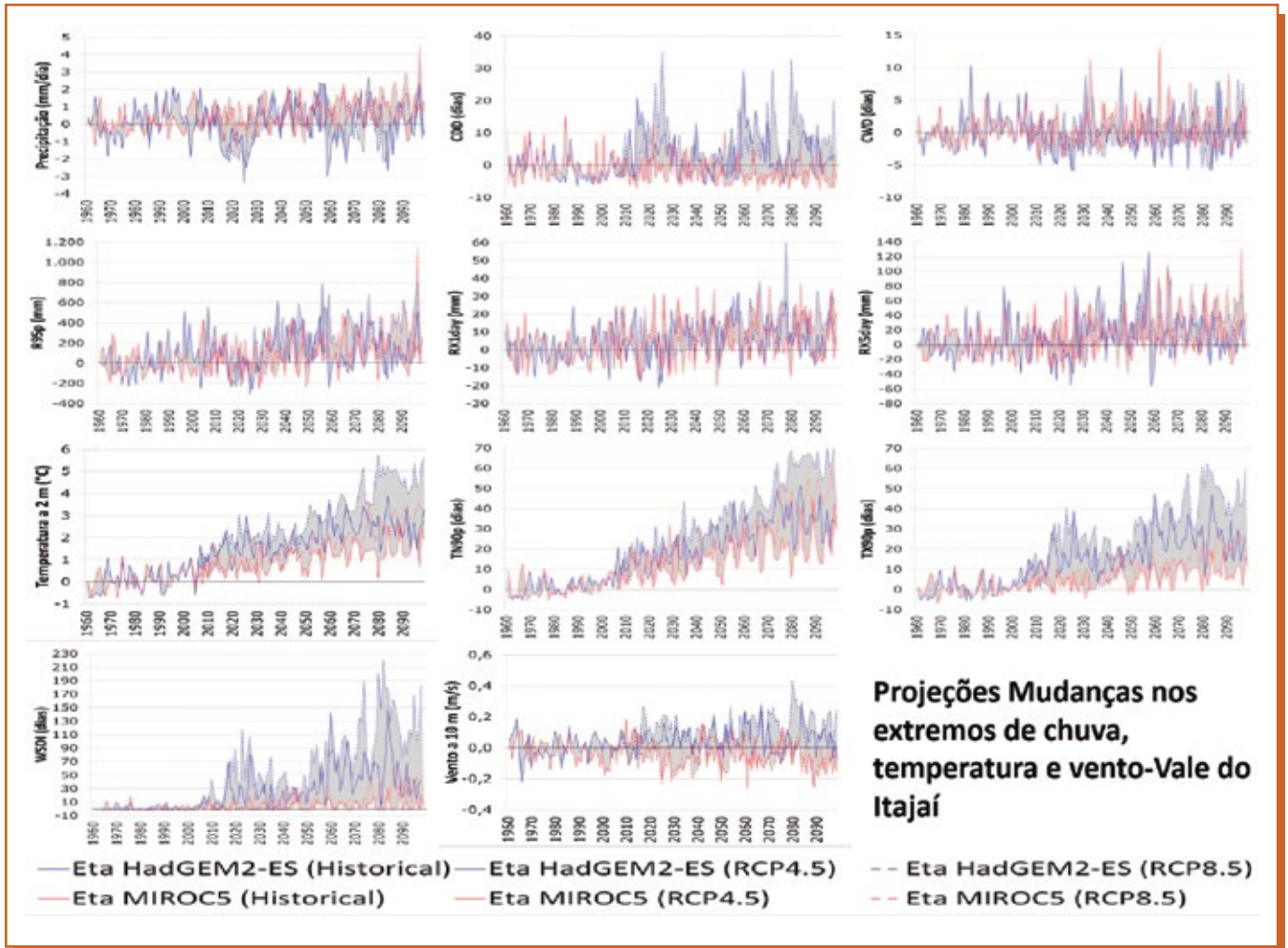
As projeções de mudança de temperatura no Vale do Itajaí e em Florianópolis indicam aumento da temperatura em todas estações do ano. Este aquecimento é mais intenso nas projeções do Eta-HadGEM2-ES do que Eta-MIROC5, e se intensifica com o aumento do nível de concentração dos gases de efeito estufa no final do século 21. O aquecimento é menor ao longo do litoral, portanto, se projeta menor aquecimento em Florianópolis do que no Vale do Itajaí. Outono é a estação que apresenta maior aquecimento, chegando a atingir aumento de cerca de 2.5°C no Eta-MIROC5 e de 5° C no Eta-HadGEM2-ES, no final do século (figura 7.47). Os gráficos de tendência de temperatura mostram aumento ao longo do século 21; as projeções do Eta-HadGEM2-ES apresentam maior sensibilidade climática do que o Eta-MIROC5; o aumento médio da temperatura do ar a 2 metros no Vale do Itajaí alcança valores médios de 3°C no final do século. Enquanto isso, em dias quentes, em que as temperaturas máximas excedem o percentil 90, aumentam em frequência e em média em cerca de 30% dos dias do ano. Da mesma forma, as noites quentes, representadas pelo percentil 90 das temperaturas mínimas, TN90p, tendem a ocorrer mais frequentemente, com aumento de cerca de 50% dos dias do ano. A variabilidade da temperatura se amplifica com o aumento da concentração dos gases de efeito estufa até o final do século. As ondas de calor se tornarão mais prolongadas, visto que o percentil 95 das temperaturas do clima presente é frequentemente excedido nos climas futuros (figura 7.48).

No clima presente, os ventos não apresentam tendência clara de mudança como mostrado nas observações estimadas por satélite (figura 7.48). Os ventos a 10 metros de altura não apresentam, em média, uma clara tendência de aumento com o passar dos anos. Por outro lado, a variabilidade interanual se amplifica de forma que nas projeções ocorrem ventos médios mais fortes, mas também há anos de ventos mais fracos em média.



**Figura 7.46** Projeções de chuva para DJF e JJA para a região do Vale do Itajaí. Projeções para 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 são relativas ao presente (1961-90), para os cenários RCP 4.5 e 8.5, derivados do downscaling dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5 usando o modelo regional Eta.

### 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina

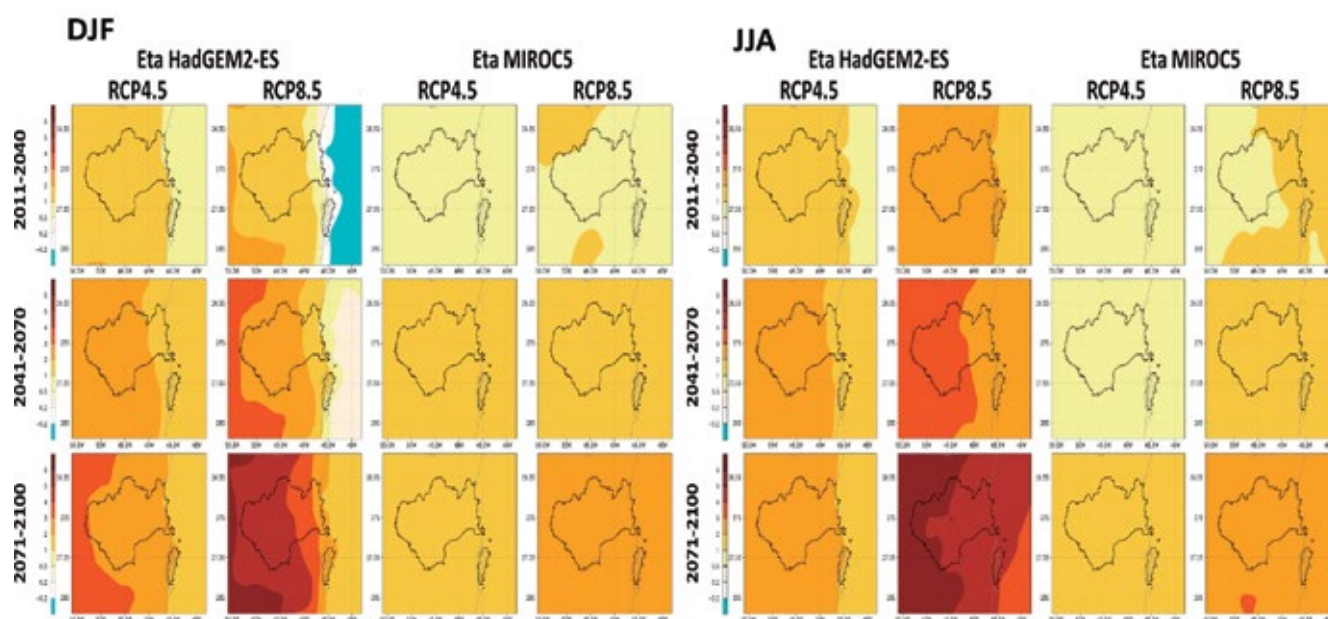


**Figura 7.47** Tendência de anomalia da precipitação (mm/dia), dos índices extremos CDD (dias), CWD (dias), R95p (mm), RX1DAY (mm), RX5DAY (mm), da temperatura a 2m (oC), e os índices de extremos TN90p (dias), TX90p (dias), WSDI (dias), e vento a 10m (m/s) no Vale do Itajaí. Os valores médios da baseline, período de 1961 a 1990, estão indicados na parte superior de cada gráfico. As anomalias foram calculadas a partir da diferença entre os valores anuais e o valor médio da baseline. As anomalias das simulações do Eta-HadGEM2-ES (azul) e do Eta MIROC5 (vermelho) foram estimadas para os cenários futuros RCP4.5 (linha cheia) e RCP8.5 (linha tracejada). O intervalo de variação, entre os valores mínimos e máximos está hachurado em cinza.

Considerando as projeções de clima e os possíveis impactos na região, no organograma administrativo do estado de Santa Catarina, há uma Diretoria de Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável ligada à Secretaria do Estado para Desenvolvimento Sustentável (SDS-SC) e em estreita colaboração com a Secretaria de Defesa Civil.



## Projeções Mudanças na temperatura do ar-Vale do Itajaí



**Figura 7.48** Projeções de temperatura do ar para DJF e JJA para a região do Vale do Itajaí. Projeções para 2011-40, 2041-70 e 2071-2100 são relativas ao presente (1961-90), para os cenários RCP 4,5 e 8,5, derivados do downscaling dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5 usando o modelo regional Eta.

Considerando as projeções de clima e os possíveis impactos na região, no organograma administrativo do estado de Santa Catarina, há uma Diretoria de Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável ligada à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS-SC) e em estreita colaboração com a Secretaria de Defesa Civil. Recentemente, em novembro de 2016, uma iniciativa que faz parte do projeto Fortalecimento do Planejamento Orçamentário e Administração Fiscal de Mudanças Climáticas no Brasil, foi apresentada pela Secretaria do Planejamento, Secretaria da Fazenda e Secretaria de Defesa Civil com apoio do Banco Interamericano de Desenvolvimento e dos ministérios do Planejamento e da Fazenda do Brasil. O projeto intitulado “Qualidade dos gastos públicos em mudança do clima em SC” apresentou um sistema integrado, baseado em uma metodologia para análise de gestão, planejamento e inserção nas leis orçamentárias de recursos associados a ações para prevenção e controle de crises em casos de ocorrências resultantes de mudanças climáticas. Este ainda apresenta um índice de vulnerabilidade à mudança do clima, com ênfase na qualificação do gasto público de ações contidas no plano plurianual (PPA).



### 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina

A LEI Nº 14.829, de 11 de agosto de 2009, instituiu a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina. Esta insere o Estado no combate ao aquecimento global, iniciado com a criação da Política, seguida pela instalação do Fórum Estadual de Mudanças Climáticas Globais e pela elaboração do Plano Estadual de Mudanças Climáticas Globais e das medidas decorrentes, com vistas a contribuir com a redução das concentrações de GEE na atmosfera. Esta lei ainda previu a realização de certificações através do “selo protetor do clima” e “selo protetor do clima gold”: o primeiro relacionado a pessoa física ou jurídica que exerce suas atividades em conformidade com os objetivos da lei; o segundo, pessoa física ou jurídica que se enquadre no primeiro caso e que contribua para o Fundo Catarinense de Mudanças Climáticas.

Dentro das iniciativas de adaptação considera-se que a mais importante é a que terá impacto a longo prazo, foi a publicação da Lei Nº 16.418 de 24/06/2014 (DOE em 25 jun 2014) que dispõe sobre o Fundo Estadual de Proteção e Defesa Civil (FUNPDEC) e organiza a Defesa Civil no estado.

O FUNPED fica vinculado à Secretaria de Estado da Defesa Civil e será gerido pelo Secretário de Estado da Defesa Civil. As atribuições do FUNPDEC estão descritas no seu Art. 2º: o FUNPDEC destina-se a captar, controlar e aplicar recursos financeiros com vistas a cobrir as despesas administrativas e operacionais, correntes e de capital, destinadas à execução das ações preventivas, de socorro e assistência emergenciais, de recuperação e reconstrução às populações atingidas por desastres e de fortalecimento e apoio institucional ao Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil (SIEPDEC). § 1º As ações preventivas compreendem: I – projetos educativos e de divulgação; II – capacitação de recursos humanos; III – elaboração de trabalhos técnicos, estudos e pesquisas; IV – identificação e proteção de áreas de risco; V – aquisição e manutenção de materiais, serviços e equipamentos destinados a ações de defesa civil; VI – equipamento e reequipamento dos órgãos e entidades que compõem o SIEPDEC; VII – execução de obras e contratação de serviços de caráter preventivo; e VIII – modernização e ampliação do Sistema Estadual de Monitoramento, Alerta e Alarme contra Desastres. § 2º As ações de socorro e assistência emergenciais compreendem as despesas de custeio operacional e apoio financeiro às Coordenadorias Municipais de Defesa Civil e aos organismos de resposta a desastres componentes do SIEPDEC.

A partir da publicação desta lei, uma série de ações foram executadas. Na tabela 7.1 são apresentadas as ações desenvolvidas pela Defesa Civil do estado de Santa Catarina como formas de adaptações aos eventos extremos e mudanças climáticas (Fonte: <http://www.defesacivil.sc.gov.br/index.php/institucional/acoes-de-defesa-civil.html>. Publicado em 05 junho de 2013. Download em 03-01-2016).



**Tabela 7.4.** Ações desenvolvidas pela Defesa Civil do Estado de Santa Catarina como formas de adaptações aos eventos extremos e mudanças climáticas.

| AÇÕES DESENVOLVIDAS   | LOCAL  | OBJETIVO  | FONTE DO RECURSO   | SITUAÇÃO  | DATA DE INÍCIO | DATA FINAL        | INVESTIMENTO       |
|---|--|---|--|---|----------------|-------------------|--------------------|
| 1 Sobre-elevação de barragens de contenção de cheias em Taió e Ituporanga | Taió e Ituporanga  | A primeira ampliou a capacidade de 83 milhões de metros cúbicos para 99 e, a segunda, de 93 para 110 milhões de metros cúbicos. | PAC Ministério da Integração Nacional                          | Projeto pronto  | Julho de 2013  | Julho de 2015     | R\$ 60.000.000,00  |
| 2 Aquisição e instalação de um radar meteorológico em Lontras             | Lontras  | A primeira ampliou a capacidade de 83 milhões de metros cúbicos para 99 e, a segunda, de 93 para 110 milhões de metros cúbicos. | O projeto deu cobertura a 77% do território de Santa Catarina. | Projeto pronto  | Mai de 2013    | Fevereiro de 2014 | R\$ 8.000.000,00   |
| 3 Melhoramento fluvial  | Rio Itajaí-Mirim   | Englobou questões como dragagem do rio, alargamento, desapropriações e instalação de duas comportas no Rio Itajaí-Mirim.        | PAC Ministério da Integração Nacional                          | Projeto pronto  | Abril de 2014  | Março de 2016     | R\$ 90.000.000,00  |
| 4 Construção de quatro pequenas barragens no Rio Taió                     | Rio Trombudo (duas) e Rio das Pombas (duas), no Vale do Itajaí | Construção de barragens   | PAC Financiamento Banco do Brasil                              | Projeto pronto  | Abril de 2014  | Março de 2016     | R\$ 122.400.000,00 |
| 5 Construção de três pequenas barragens no Rio Taió                       | Rio Perimbó / Rio Braço do Trombudo / Vale do Itajaí           | Construção de barragens   | PAC Financiamento Banco do Brasil                              | Projeto pronto  | Abril de 2013  | Março de 2016     | R\$ 87.900.000,00  |
| 6 Construção de uma barragem de médio-porte                               | Rio Itajaí-Mirim, em Botuverá                                  | Construção de barragens   | PAC Financiamento Banco do Brasil                              | Projeto pronto  | Abril de 2014  | Março de 2016     | R\$ 95.000.000,00  |
| 7 Melhoramento de rios e construção de cerca de cinco pontes              | Nas cidades de Taió, Timbó e Rio do Sul                        |   | PAC Financiamento Banco do Brasil                              | Termo de referência pronto, sendo precificado para posterior autorização do Ministério da Integração Nacional | Abril de 2013  | Março de 2016     | R\$ 114.000.000,00 |

### 7.6 Cidades da Foz do Vale do Itajaí, Santa Catarina

Continuação **Tabela 7.4.**

| AÇÕES DESENVOLVIDAS  | LOCAL                    | OBJETIVO   | FONTE DO RECURSO                      | SITUAÇÃO  | DATA DE INÍCIO | DATA FINAL    | INVESTIMENTO      |
|--|--------------------------|--|---------------------------------------|---|----------------|---------------|-------------------|
| 8 Implantação do sistema de monitoramento de alerta e alarme do Estado | SC                       | Capaz de alertar os municípios a respeito de previsões climáticas preocupantes | PAC Ministério da Integração Nacional | Termo de referência em fase de conclusão  | Abril de 2013  | Julho de 2015 | R\$ 25.000.000,00 |
| 9 Realização de estudos ambientais e socioambientais                   | Taió, Timbó e Rio do Sul | Para melhoramento fluvial em Taió, Timbó e Rio do Sul                          | PAC Ministério da Integração Nacional | Termo de referência pronto, sendo precificado para posterior autorização do Ministério da Integração Nacional | Abril de 2013  | Março de 2016 | R\$ 2.500.000,00  |

Fonte: <http://www.defesacivil.sc.gov.br/index.php/institucional/acoes-de-defesa-civil.html>. Publicado em 05 de Junho de 2013. Download em 03-01-2016.

Zenatti e Sousa (2010) fazem um relato de como funcionou e foi organizada a comunicação em desastres após os eventos ocorridos no ano de 2008, e como se deu a atuação da imprensa e o papel da assessoria governamental antes, durante e após o evento. As autoras reportam que a partir do Plano de Comunicação Social da Defesa Civil, diversas ações foram propostas e realizadas, com o objetivo de promover a prevenção e a preparação da população catarinense frente aos desastres. Destacam-se as seguintes: a) Folder explicativo para todos os funcionários da instituição ("Quais informações são importantes para a imprensa?"; "Como falar para os diferentes veículos?"); b) Identificação e preparação de profissionais para falar com a imprensa; c) Contato periódico com a imprensa; d) Identificação e cadastro de grupos estratégicos; e) Atualização do site institucional; f) Participação e promoção de eventos; g) Ações Sociais (projeto educativo Percepção de Risco, a Descoberta de um Novo Olhar- [www.percepcaoderisco.sc.gov.br](http://www.percepcaoderisco.sc.gov.br)); h) Cartilhas educativas e atividades nas escolas; i) divulgação de ações, recomendações e alertas; contato com instituições parceiras; e participação em capacitações.

Zenatti e Sousa (2010) ainda salientam que em Agosto de 2008, antes da inundação ocorrida no Vale do Itajaí, houve um f orum voltado para a imprensa com o objetivo de criar uma Rede Cooperativa de Comunica o de Desastres, organizado pelo governo estadual. Era uma oportunidade de aprofundar a discussão sobre o papel da imprensa no contexto das mudanças climáticas. Mais de 160 profissionais do setor e de outras áreas participaram do evento.



# Considerações finais e recomendações

## 8.1 Principais conclusões

- As cidades costeiras são particularmente vulneráveis aos impactos decorrentes das mudanças climáticas e suas consequências, como o aumento do nível do mar, as ondas de calor, inundações e secas. No caso de cidades costeiras brasileiras, deficiências na infraestrutura urbana e concentração de moradores pobres em situação de risco, acentuam essa vulnerabilidade.
- Cidades e regiões metropolitanas costeiras, no Brasil e em outras partes do mundo, assim como são vulneráveis às mudanças climáticas, são também significativos emissores de gases estufa.
- No Brasil, já foi detectado um aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos e consequentes desastres naturais, especialmente em áreas urbanas.
- Há uma tendência de aumento no NMM nas regiões costeiras do Brasil. As projeções existentes apontam para impactos de grande dimensão sobre sistemas naturais (ex. manguezais e restingas) e sistemas humanos, especialmente cidades costeiras.
- Impactos de mudanças climáticas hoje já observados incluem o aumento na intensidade de chuvas que provocam instabilidades nas áreas costeiras, inclusive cidades, que sofrem com inundações e deslizamentos. Em longo prazo, esse fenômeno, associados ao aumento das tempestades e ventos, pode resultar em maior intensidade de ressacas, gerando efeitos negativos para a estrutura de linha das praias.
- Nas cidades, em geral, alagamentos, inundações e enxurradas, ressacas e tempestades acontecem em circunstâncias diversas e geram impactos distintos. Medidas adaptativas em setores como o de transportes (ex., integração intermodal, ampliação do alcance, abrangência dos sistemas de média e alta capacidade) por exemplo, se justificam também pelos co-benefícios que geram, tanto para mitigação como para adaptação. Apesar do cálculo de custos de adaptação às mudanças climáticas dos sistemas de transporte ser ainda extremamente complexo, os custos de inação serão mais elevados que os de ação adaptativa.



### 8.1 Principais conclusões

- A vulnerabilidade das cidades costeiras a inundações decorre também do aumento da população, principalmente da acumulação de deficiências no planejamento e gestão da cidade, aspectos que só poderão ser superados a médio e longo prazo, embora demandem desde o presente momento uma série de ações efetivas tendo como suporte os estudos já realizados.
- O PNA e o Plano Municipal de Adaptação à Mudança de Clima da cidade de Santos são exemplos de planos de ação para adaptação às mudanças de clima e os seus impactos nas cidades. Nos poucos estudos disponíveis sobre mudanças de clima em cidades costeiras, sejam associadas às mudanças do clima e extremos climáticos e tempestades, ou a elevação do NMM, a adaptação foi considerada enfatizada em termos de potenciais custos na zona costeira (custos de proteção), mas sem uma explícita discussão das vulnerabilidades sociais.
- Medidas de mitigação são necessárias para reduzir o risco de mudanças nos extremos climáticos e de elevação do NMM e os seus impactos na população em geral, através de redução de vulnerabilidade e medidas de adaptação. Manter o aquecimento global menos de 2°C e levar este aquecimento até 1,5°C para 2100 é tecnicamente e economicamente factível, mas precisa de intensas estratégias de mitigação no curto prazo. O IPCC sugere (a) ações imediatas de mitigação, (b) implementação de um portfólio de várias tecnologias de mitigação, e (c) desenvolvimento de trajetórias com demandas menores de energia contribuirá para mais perdas por desastres em áreas urbanas e rurais.

### 8.2 Principais lacunas

- A ausência de registros históricos contínuos e confiáveis sobre o NMM dificulta uma maior precisão na análise da elevação do NMM ao longo da costa brasileira, bem como os poucos estudos de modelagem de projeções de elevação do NMM.

- As evidências sobre a magnitude e frequência dos eventos climáticos ainda carecem de precisão devido à qualidade dos registros. Isso inclui coleta de dados a partir de estações meteorológicas deficientes, ausência de padrão nas medições atmosféricas, dificuldades para a análise da erosão costeira e do aumento do nível do mar no território nacional. Existem muitos problemas relativos à falta de monitoramento e à escassez de informação de âmbito local.
- Comparativamente a outros países com a mesma extensão de linha de costa ou com a mesma exposição marinha, o Brasil ainda possui insuficiência nas observações de nível do mar, ainda que vários atores tenham se envolvido nesse processo (ex. Marinha do Brasil, Instituto Nacional de Pesquisas Hidrográficas, IOUSP, IBGE, Eletronuclear e Petrobras). A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha revela que apenas 20% das informações disponíveis haviam sido coletadas há menos de 15 anos e cerca de 75% dos registros possuíam duração inferior a 40 dias.
- Quando se trata de observações e previsões sobre nível do mar, ondas (ressacas) e interação destes com descarga fluvial gerando inundações, a lacuna também é significativa. Há pouco investimento do Estado para este fim e, conseqüentemente, poucos especialistas têm se dedicado ao assunto. A maior parte das previsões são de pesquisadores ou grupos estrangeiros. A rede de monitoramento é de curto prazo, quando existe. Além disso, um grande problema para definir as áreas de inundação é a falta de uma relação entre os datuns verticais do IBGE e do DHN. Muitas vezes o degrau entre as cartas é equivalente a uma inundação prevista para os próximos 50 ou 100 anos. Adicionalmente, os cenários que estão sendo feitos pouco trazem sobre os erros e as incertezas.
- Situação similar acontece com dados climáticos em alta resolução temporal, em séries longas de tempo, particularmente em cidades nas regiões Nordeste e Norte. Dados climáticos são coletados pelo INMET, assim como pelo CPTEC, CEMADEN e pelos órgãos estaduais de meteorologia. Estudos de tendências de extremos de chuva e tempestades na maioria das cidades costeiras são escassos devido à existência de poucos registros climáticos em séries homogêneas completas de dados diários de chuvas ou de vento, necessários para poder construir climatologia de extremos de chuva e tempestades no presente.



## 8.2 Principais lacunas

- Há uma discrepância na análise da variabilidade temporal do clima de ondas no Brasil. Retroanálises evidenciam uma tendência de aumento da altura média anual da onda (em torno de 6 mm/ano), principalmente no Sul do Brasil. Para a altura significativa de onda, indicador dos extremos anuais, as tendências foram maiores, com valores máximos também no Sul do Brasil (cerca de 3cm/ano). Por outro lado, uma análise por estação do ano, usando dados de reanálise apenas entre 1980 e 2008, encontraram a tendência oposta, com um decréscimo significativo, para a região Norte do Brasil. Essa discrepância justifica que sejam fomentadas novas análises para melhorar a compreensão e estabelecer cenários futuros mais confiáveis.
- Tais lacunas de conhecimento e ferramentas de análise tornam as cidades costeiras brasileiras ainda mais vulneráveis às mudanças globais ou locais de nível do mar, de extremos de chuvas e tempestades, pela baixa capacidade de se antecipar aos riscos. Esta situação é mais notória nas cidades do Nordeste e Norte, do que no Sudeste e Sul.

## 8.3 Recomendações

- Realizar novas avaliações de risco de desastres associados e aumento na frequência de extremos de clima e de elevação do NMM em cidades costeiras, particularmente em cidades do Norte e Nordeste, que levem em conta a mudança climática. Em geral, a realização destes estudos pode permitir reavaliação sobre níveis de riscos aceitáveis para cidades e populações. Isso já está acontecendo, por exemplo, em Santos (SP).
- Conforme apontado pelo último relatório de avaliação do IPCC, a melhor forma de se adaptar às mudanças climáticas é se desenvolver de maneira sustentável. Assim, medidas simples e de baixo custo podem ser implementadas no curto prazo, e ter um efeito de longo prazo. Dentre essas iniciativas de baixo custo, aquelas baseadas em ecossistemas (planejamento do uso da terra, incluindo conservação de ecossistemas costeiras e geração de renda a partir desses) representam uma grande oportunidade para o Brasil, como em algum grau já se verifica no Rio de Janeiro (RJ). No futuro, cidades devem considerar uma adaptação transformativa, como seria a relocação de pessoas e infraestrutura junto com restauração de ecossistemas. A implementação de respostas integrativas de adaptação precisa de uma robusta cooperação em termos de gerenciamento costeiro. Isso deve ser pensado nos níveis de governança local, regional e nacional, e incluir uma participação dos tomadores de decisões.

- Familiaridade com os riscos de desastres relacionados às mudanças do clima se faz necessário não só para gestores do setor ambiental, mas também para os ligados aos setores produtivos e desenvolvimento. Soluções de governança e políticas para os problemas das mudanças climáticas terão caráter integrado e não setorial.
- À luz do Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas (MMA, 2015a), as cidades costeiras brasileiras irão se beneficiar de planos municipais ou metropolitanos de adaptação às mudanças climáticas, que incluam ações de curto, médio e longo prazo (ex. contemplando a vulnerabilidade à erosão, a gestão dos riscos costeiros com base em estudos, priorização das intervenções, quantificação de investimento, monitoramento e avaliação, etc.). Entre essas ações, aquelas baseadas em infraestrutura e aquelas baseada em ecossistemas devem ser levadas em consideração e planejadas de forma a reduzir a vulnerabilidade de sistemas naturais e humanos (ex., projetos de intervenção e requalificação abrangendo as zonas de risco, de modo a garantir a segurança da população e a proteção do patrimônio construído e/ou natural, com vista à redução do grau de vulnerabilidade, eliminação e redução ou controle do risco frente à erosão costeira e das intervenções de manutenção e reabilitação de obras de proteção costeira, bem como projetos de requalificação de áreas urbanas degradadas e de áreas naturais degradadas).



# Referências

Alan, JC, Komar, PD (2000) Are ocean waves increasing in the Eastern north Pacific? *EOS*, v.81, n.47, 2000.

Alcantara-Ayala, I (2002) Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47, 107–124.

Aledo, A, Sulaiman, S (2014) La incuestionabilidad del riesgo. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, XVII (4): 9-16 n out.-dez. 2014

Alfredini, P, Arasaki, E, Amaral, RFA (2008) Mean sea-level rise impacts on Santos Bay, Southeastern Brazil - physical modelling study. *Environ Monit Assess*. 144: 377-387. Amsterdam: Springer. DOI 10.007/s10661-007-0001-z

Alfredini, P, Arasaki, E, Pezzoli, A, Fournierm, CP (2013) Impact of climate changes on the Santos Harbor, São Paulo State (Brazil), *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 7(4), DOI: 10.12716/1001.07.04.17

Alfredini, P, Arasaki, E, Pezzoli, A, Arcorace, M, Cristofori, E, Cabral de Sousa Jr, W (2014). Exposure of Santos Harbor Metropolitan Area (Brazil) to Wave and Storm Surge Climate Changes, *Water Qual Expo Health*, DOI 10.1007/s12403-014-0109-7.

Almeida, LQ, Welle T, Birkmann J (2016) Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the world risk index, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 17, 251–272.

Arasaki, E, Alfredini, P, Amaral, RF, Lamparelli, CC (2008) Os efeitos no ambiente marinho da elevação do nível do mar em regiões da Baixada Santista, Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 13: 165-175, 2008.

Araos, M, Berrang-Ford, L, Ford, JD, Austin, SE, Biesbroek, R, Lesnikowski, A, (2016) Climate change adaptation planning in large cities: A systematic global Assessment. *Environmental Science and Policy* (in press).

Araújo, M (2009). Vulnerabilidade e Impactos a Elevação do Nível do Mar do Centro Metropolitano de Recife. Universidade Federal de Pernambuco UFPE Centro de Tecnologia e Geociências - CTG, Departamento de Oceanografia - DOCEAN, Centro de Estudos e Ensaio em Risco e Modelagem Ambiental - CEERMA. Recife, PE, 169 p.

Aubrey, DG, Emery, KO, Uchupi, E (1988) Changing Coastal levels of South America in the Caribbean region from tide-gauge records. *Tectonophysics*, 154:269-284.

Ávila, A, Barbosa, FJ, Wilson, A, Bromwich, D, Amorim, M (2016) Recent precipitation trends, flash floods and landslides in southern Brazil, *Environ. Res. Lett.* 11 (2016) 114029 doi:10.1088/1748-9326/11/11/114029.

Bacon, S, Carter, DJT (1991) Wave climate changes in the North Atlantic and North Sea. *International Journal of Climatology*, v.11, p.545-558, 1991.

Barbier, E (2015) Hurricane Katrina's lessons for the world, *Nature*, 524: 285-287.

Barletta, RC (2000) Efeito da interação oceano-atmosfera sobre a morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande do Sul, Brasil. 134 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química, Física e Geológica) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2000.

Belém, AL (2007) Impactos das mudanças climáticas globais no risco de inundações em zonas costeiras. *Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas*. Brasil, 13p.

Bittencourt, ACSP, Medeiros, KOP, Dominguez, JML, Guimaraes, JK, Dutra, FRLS (2008) Severe Coastal Erosion Hotspots in the City of Salvador, Bahia, Brazil, *Shore e Beach*, 76:8-14.

Boruff, BJ, Emrich, C, Cutter, SL (2005) Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. *Journal of Coastal Research*, 21(5), 932-942. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.

Brandao, AM (2001) Clima Urbano e Enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In: *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pg. 47-1-2.

Brandao, T, Santos, RL, Carelli, L (2016) Eventos Hidrológicos Extremos na Cidade de Salvador-BA: Análise Espacial de Ocorrências de Alagamentos, *Investig. Geogr. Chile*, 51: 115-137 (2016)

Brink, E, Aalders, T, Ádám, D, Feller, R, Henselek, Y, Hoffmann, A, Ibe, K, Matthey-Doret A, Meyer, M, Negrut, NL, Rau A-L, Riewerts, B, von Schuckmann, L, Törnros, S, von Wehrden, H, Abson, DJ, Wamsler, C (2016) Cascades of green: A review of ecosystem-based adaptation in urban areas. *Global Environmental Change*, 36: 111-123

Camarinha, PIM, Debortoli, NS (2015) A Brazilian vulnerability index to natural disasters of drought in the context of climate change. San Francisco: American Geophysical Union, 2015. Disponível em: <http://goo.gl/DreT>

Cardona, OD (2003) The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. In: Bankoff et al. (eds): Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People, Earthscan Publishers, London.

CEPAL (2011) Generación e integración de bases de datos climáticas históricas y de proyecciones de cambio climático para la gestión de riesgos costeros en el estado de Santa Catarina, Brasil. Nações Unidas, Santiago, p. 1126. 2015.

CEPAL (2012) Estudio de los Efectos del Cambio Climático en la costa de América Latina y el Caribe. (<http://www.c3a.ihcantabria.com/>; <http://www.cepal.org/es/efectos-cambio-climatico-la-costa-america-latina-caribe>)

CEPAL (2015) Generación e integración de bases de datos climáticas históricas y de proyecciones de cambio climático para la gestión de riesgos costeros en el estado de Santa Catarina, Brasil. Nações Unidas, Santiago, p. 1126. 2015.

Chou, SC, Lyra, A, Mourao, CV, Dereczynski, C, Pilotto, I, Gomes, J, Bustamante, J, Tavares, P, Silva, A, Rodrigues, D, Campos, D, Chagas, D, Sueiro, G, Siqueira, G, Marengo, JA (2014a) Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. American Journal of Climate Change, 3:512 - 527.

Chou, SC, Lyra A, Mourao, CV, Dereczynski, C, Pilotto, I, Gomes, J, Bustamante, J, Tavares, P, Silva, A, Rodrigues D, Campos, D, Chagas D, Sueiro G, Siqueira G., Marengo JA (2014b) Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. American Journal of Climate Change, 3: 438 – 454.

Collins, M, Knutti, R, Arblaster, J, Dufresne, JL, Fichet, T, Friedlingstein, P, Gao, X, Gutowski, WJ, Johns, T, Krinner, G, Shongwe, M, Tebaldi, C, Weaver, AJ, e Wehner, M (2013) Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.



Correa, A (2008). Rio Próximos 100 Anos. O aquecimento Global e a cidade. Rio de Janeiro: Instituto Pereira Passos, 2008.

Costa, MBSF et al. (2009) Região Urbano-Industrial. In Bergallo, H.G. et al. (eds.). Estratégias e ações para a conservação da biodiversidade no Estado do Rio de Janeiro, Instituto Biomas, Rio de Janeiro, p. 327-338.

Costa, MBSF, Mallmann, DLB, Pontes, PM, Araujo, M (2010). Vulnerability and impacts related to the rising sea level in the Metropolitan Center of Recife, Northeast Brazil. Pan-American Journal of Aquatic Sciences 5(2): 341-349.

CTTMar (1999) Projeto de Recuperação da Praia de Gravatá, Município de Navegantes (SC). Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTMar, p. 75, 1999.

Dalinghaus, C (2016) Análise da estabilidade da forma em planta e perfil nas praias da Barra da Lagoa, Moçambique e Ingleses, Florianópolis - SC: aplicações em análise de perigos costeiros. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, p. 200. 2016.

De Sherbinin, A, Schiller, A, Pulsipher, A (2007) The vulnerability of global cities to climate hazards, Environment and Urbanization, 19(1), 39-63.

Debortoli, NS, Camarinha P, Marengo, JA, Rodrigues, R (2016) An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. Natural Hazards, No prelo.

Dereczynski, C, Silva, WL, Marengo, JA (2013) Detection and Projections of Climate Change in Rio de Janeiro, Brazil, American Journal of Climate Change, 2:25-33.

Dodet G, Bertin X, Taborda, R (2010) Wave climate variability in the North – East Atlantic ocean over the last six decades. Ocean Modelling, 31: 120-131

Duguma, LA, Wambugua, SW, Minang, PA, van Noordwijk, M (2014) A systematic analysis of enabling conditions for synergy between climate change mitigation and adaptation measures in developing countries. Environmental Science and Policy 42: 138-148.

Dutra, FRLS (2008) Marés Meteorológicas e Episódios de Erosão Costeira Severa no Litoral de Salvador/BA. Dissertação de Mestrado – Pós-Graduação em Geologia. Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 166 pp.

ECLAC (2011) Efectos del Cambio Climático en la Costa de América Latina y el Caribe: Dinámicas, Tendencias y Variabilidad Climática [Effects of Climate Change on the Coast of Latin America and the Caribbean: Dynamics, Trends and Climate Variability]. LC/W.447, the Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), the Spanish Climate Change Office under the Ministry of Agriculture, Food and Environment of the Government of Spain, and the Environmental Hydraulics Institute of Cantabria University, ECLAC, Santiago de Chile, Chile, 263 pp

Egler, CAG (2005) As Cartas de Risco Ambiental, Social e Tecnológico do Novo Macrodiagnóstico da Zona Costeira. In: I Encontro Temático: Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas e da Zona Costeira. Ministério do Meio Ambiente. Itajaí, SC, Brasil. CD-ROOM.

Egler, CAG, Gusmão P (2011) Tendências de uso e ocupação do Território e Gestão Metropolitana face as Mudanças Climáticas. Relatório Megacidades, Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de Rio de Janeiro. Projetos Megacidades, Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas, Rio de Janeiro, 125 pp.

Egler, CAG, Gusmão P (2014) Gestão costeira e adaptação às mudanças climáticas: o caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Brasil. Coastal management and climate change adaptation: the case of Rio de Janeiro Metropolitan Region, Brazil, Revista da Gestão Costeira Integrada 14(1):65-80 (2014), Journal of Integrated Coastal Zone Management 14(1):65-80 (2014)

Eisma, D (1995) Climate Change Impact on Coastal Habitation. Texel, Netherlands: Lewis Publisher, p. 260.

FBPN/ICLEI (2015) Adaptação Baseada em Ecossistemas: oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas. Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, ICLEI-Governos Locais pela Sustentabilidade, Curitiba, 48 p.

Ferreira, LC (2001) Local Policies and Global Environmental Change, in D.J. Hogan & M. Tomalsquim (eds), Human Dimensions of Global Environmental Change. Brazilian Perspectives. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, 2001.

Fragkias, M, Güneralp, B, Seto, KC, Goodness, J (2012) A Synthesis of Global Urbanization Projections. Pp. 409-435 in Elmqvist T, Fragkias M, Goodness J, Güneralp B, Marcotullio PJ, McDonald RI, Parnell S, Schewenius M, Sendstad M, Seto KC, Wilkinson C (eds.). Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. Springer, Dordrecht.

Franca, CAS (2000) Contribuição ao Estudo da Variabilidade do Nível do Mar na Região Tropical Atlântica por Altimetria por Satélite TOPEX/POSEIDON e Modelagem Numérica. Ph. Thesis, São Paulo, 274 p.

Gasper, R, Blohm, A, Ruth, M, (2011) Social and economic impacts of climate change on the urban environment. Elsevier. Disponível em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) [Consult. 19 janeiro 2011].

Gonzales, M, Medina, R (2001) On the application of static equilibrium bay formulations to natural and man-made beaches. *Coastal Engineering*, 43: 209-225.

Gornitz, VM, Daniels, RC, White TW, and Birdwell KR (1994) The development of a Coastal Vulnerability Assessment Database: Vulnerability to sea-level rise in the U.S. Southeast: *Journal of Coastal Research*, 12:327-338.

Holthuijsen, LH (2007) *Waves in Oceanic and Coastal Waters*: Cambridge University Press, Cambridge, 2007. 387p.

Hallegatte, S, Green, C, Nicholls RJ, Corfee-Morlot, J (2013) Future flood losses in major coastal cities, *Nature Climate Change*, Published online: 18 AUGUST 2013 | DOI: 10.1038/NCLIMATE1979.

Hanson, S et al. (2011) A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. *Climatic Change*, 104: 89-111.

Harari, J, Camargo, R (1994) Tides and Mean Sea Level in Recife (PE): 8o33' S, 34o 51.9' W: 1946 to 1988. *Boletim do Instituto Oceanográfico, IO-USP, Sao Paulo*.

Harari, J, Camargo, R (1995) Tides and mean sea level variabilities in Santos (SP), 1944 to 1989. Internal Report of the Oceanographic Institute of the University of Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil, nº 36, 15 p.

Harari, J, França, CAS, Camargo, R (2007) Variabilidade de longo termo de componentes de maré e do nível médio do mar na costa brasileira. *Afro-America Gloss News Edição 11(1)* (<http://www.mares.io.usp.br/aagn/aagn11/ressimgfversao2008.pdf>)

Harari, J, França, CAS, e Camargo, R (2008) Climatology and hidrography of Santos Estuary. *Perspective on Integrated Coastal Zone Management in South America*, IST Press, Portugal.

Hardoy, J, Pandiella, G, (2009) Urban poverty and vulnerability to climate change in Latin America, *Environment and Urbanization*, 21: 203-224.

Harley, MD, Turner, IL, Shorts, AD, Ranasainghe, R (2010) Interannual variability and controls of the Sydney wave climate. *International Journal of Climatology*, 30:1322-1335.

Hartmann, DL, Klein Tank, AMG, Rusticucci, M, Alexander, LV, Brannimann, S, Charabi, Y, Dentener, FJ, Dlugokencky, EJ, Easterling, DR, Kaplan, A, Soden, BJ, Thorne, PW, Wild M e Zhai, PM(2013) Observations: Atmosphere and Surface. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Herrmann, MLP (2014) Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010. 2. Ed. IHGSC/Cadernos Geográficos, Florianópolis, p. 238. ISBN 978-85-67768-00-7. 2014.

Herrmann, MLP, Alves, DB (2014) As principais consequências negativas provocadas pelas adversidades atmosféricas no Estado de Santa Catarina. In: HERRMANN, M. L. P. Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010. 2. Ed. IHGSC/Cadernos Geográficos, Florianópolis, p. 83-116. ISBN 978-85-67768-00-7. 2014

Herrmann, MLP, Marimon, MPC, Lopes, PS, Machado, SM, Zobot, C, Cerew, TH, Cristo, SSV, (2001) Desastres naturais no Estado de Santa Catarina - BR associados ao fenômeno climático global El Niño durante o período 1980-2000. In: ENCUESTRO DE GEOGRAFOS DE AMERICA LATINA, 8, 2001, Santiago de Chile. Anais. Santiago de Chile: Universidad de Chile /2001) Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2001.

Herrmann, MLP, Kobiyama, F, Marcelino, EV (2014) Inundação Gradual. In: HERRMANN, M. L. P. Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010. 2. Ed. IHGSC/Cadernos Geográficos, Florianópolis, p. 83-116. ISBN 978-85-67768-00-7. 2014.

Highland, LM, Bobrowsky, P (2008) The landslide handbook – A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325,

Hill, K (2015) Coastal infrastructure: a typology for the next century of adaptation to sea-level rise, *Front Ecol Environ* 2015; 13(9): 468–476, doi:10.1890/150088

Hinkel, J, Nicholls, RJ, Vafeidis, AT, Tol, RSJ, Avagianou, T (2010) Assessing risk of and adaptation to sea-level rise in the European Union: an application of DIVA. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. 15:703–719

Hogan, DJ (2009) População e mudanças ambientais globais, in D.J. Hogan e E. Marandola Jr, *População e mudança climática: Dimensões humanas das mudanças ambientais globais*. Campinas, Ed. UNICAMP, 2009.

Hummell, BM, Cutter, S, Emrich, C, (2016) Social Vulnerability to Natural Hazards in Brazil, *Int J Disaster Risk Sci*, 7:111–122, DOI 10.1007/s13753-016-0090-9

IBGE (2010) Base cartográfica contínua do Brasil ao Milionésimo - BCIM: 3a versão. Rio de Janeiro. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/basecontinuaaomilionesimo/>. Acesso em: setembro de 2014.

IBGE (2014) Perfil dos Municípios Brasileiros 2013, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Rio de Janeiro, 2014, 282 pp.

ICF-GHK (2012) Climate Change Adaptation Planning in Latin American and Caribbean Cities. Complete Report: Santos, Brazil, London EC1R 5BL

IOC (2009) Intergovernmental Oceanographic Commission (2009) Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Manuals and Guides No 50, ICAM Dossier No 5, 141p., Paris, França. Disponível em [http://ioc-unesco.org/index.php?option=com\\_content&task=viewDocumentRecord&docID=3947](http://ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&task=viewDocumentRecord&docID=3947)

IPCC (2007) Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007 Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2012) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, e P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova York, NY, Estados Unidos da América, 582 págs.

IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2014) Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

IPT (2004) Material de Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações. Ministério das Cidades, 2004.

Izaguirre, C, Mendez, FJ, Esperjo, A, Losada, I, Reguero, B (2013) Extreme wave climate changes in Central-South America, *Climatic Change*, 119:277-290, DOI 10.1007/s10584-013-0712-9

Jacobi, P (2006) Cidade e meio ambiente: percepções e práticas em São Paulo. São Paulo, 2ª edição, Ed. Annablume, 2006.

Klein, AHF, Short, D (2016) Brazilian Beach Systems: Introduction, In *Brazilian Beach Systems*, A.D. Short, A.H.d.F. Klein (Eds.), Pages 1-35, Series: Coastal Research Library, Vol. 17, 1st ed. 2016, XXI, 611 p. 367

Klein, AHF (2004) Morphodynamics of Headland Bay Beaches. 2004. 450 p. Tese de Doutorado (Ciências do Mar) – Universidade do Algarve, Faro, Portugal. 2004.

Klein, AHF, Menezes, JT, Abreu, JGN (1999) Morfodinâmica das praias do litoral centro-norte de Santa Catarina. Anais: VII Congresso da ABEQUA. Porto Seguro. 1999.

Klein, AHF, Prado, MFV, Dalinghasu C, De Camargo, JM (2016) Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação das zonas costeiras: litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno. ISBN: 978-85-7738-266-8. p. 252, 2016.

King, D, Bird, D, Haynes, K, Boon, H, Cottrell, A, Millar, J, Okada, T, Box, P, Keogh, D, Thomas, M (2014) Voluntary relocation as an adaptation strategy to extreme weather event, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 8: 83-90.

Kulp, S and Strauss, BH (2016) Global DEM Errors Underpredict Coastal Vulnerability to Sea Level Rise and Flooding. *Front. Earth Sci.* 4:36. doi: 10.3389/feart.2016.00036.

Lentz, EE, Thieler, ER, Plant, NG, Stippa, SR, Horton, RM, and Gesch, DB (2016) Evaluation of dynamic coastal response to sea-level rise modifies inundation likelihood. *Nature Clim. Change*, 6: 696-700, doi:10.1038/nclimate2957.

Lindquist, E (2007) Climate Change and Adaptive Strategies in Sub-national Transportation Planning Agencies in the United States. Prepared for presentation at the 2007 Amsterdam Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, Amsterdam, Netherlands, Vrije Universiteit, May, 24-26, 8 pp.

Losada, IJ, Reguero, BG, Méndez, FJ, Castanedo, S, Abascal, AJ, and Mínguez, R (2013) Long-term changes in sea-level components in Latin America and the Caribbean. *Global and Planetary Change*, 104:34-50. doi: 10.1016/j.gloplacha.2013.02.006.

McGranahan, G, Balk, D, Anderson, B (2007) The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment e Urbanization* Copyright © International Institute for Environment and Development (IIED). 19(1):17-37.

Magrin, GO, Marengo, JA, Boulanger JP, Buckeridge, MS, Castellanos, E, Poveda, G, Scarano, FR, e Vicuña, S (2014) Central and South America. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566.

Mantua, NJ, Hare, SR (2002) The Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Oceanography*, 58: 35-44.

Marcelina, IPVO, Goerl, RF, Parizoto, DGV, Oliveira, CAF, Murara, PG (2014a) Inundação brusca. In: Herrmann, M. L. P. *Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010*. 2. Ed. IHGSC/Cadernos Geográficos, Florianópolis, p. 143-146. ISBN 978-85-67768-00-7.

Marcelino, IPVO, Marcelino, EV, Oliveira, CAF, Alves, DB (2014b) Vendaval. In: Herrmann, M. L. P. Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010. 2. Ed. IHGSC/Cadernos Geográficos, Florianópolis, p. 143-146. ISBN 978-85-67768-00-7. 2014b.

Marengo, JA, Valverde, MC, Obregon, GO (2013) Observed and projected changes in rainfall extremes in the metropolitan area of São Paulo. *Climate Research*, 57: 61-72.

Marengo, JA, Nunes, LH, Souza, CRG, Harari, J, Muller-Karger, F, Greco, R, Hosokawa, E, Tabuchi, EK, Merrill, SB, Reynolds, CJ, Pelling, M, Alves, LM, Aragao, LE, Chou, SC, Moreira, F, Paterson, S, Lockman, JT, Gray, AG (2017) A Globally-Deployable Strategy for Co-Development of Adaptation Preferences to Sea-Level Rise: The Public Participation Case of Santos, Brazil, *Natural Hazards*, , DOI 10.1007/s11069-017-2855-x

Marques da Silva, CA (2009) Mudanças ambientais e população litorânea: O caso de Santos, Guarujá e São Vicente. XIII Encontro da Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano Regional. Florianópolis, SC. 25 a 29 de maio de 2009.

Martine, G, Ojima, R, Marandola Jr, E (2015) Dinâmica populacional e a Agenda Ambiental brasileira: distribuição espacial, desastres naturais e política de adaptação. Brasília: UNFPA, 2015.

McCarty, JJ, Canzaiani, OF, Leary, NA, Dojjen DJ, White, KS (2001) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, p.1050.

MCTI (2016) Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção- Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima: sumário executivo. Brasília: MCTI, 2016.

Menezes, JT, Klein, AHF, Abreu JGN, Diehl, FL (2002a) Caracterização morfológica e sedimentar para um projeto de alimentação na Praia de Navegantes/ Gravatá, SC. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. p. 1-4,



Menezes, JT, Klein, AHF (2002) Método de Análise da Vulnerabilidade Costeira à Erosão. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. 2002.

Mesquita, AR (2003) Sea Level Variations Along the Brazilian Coast: A Short Review. *Journal of Coastal Research*, 35:21-31.

Meyer, MD, (2008) Design Standards for U.S. Transportation Infrastructure: The Implications of Climate Change. Georgia Institute of Technology, Atlanta, 30 pp. Transportation Research Board of the National Academies, TRB Publications Index. Disponível em <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Meyer.pdf> Acessado em 28/09/2010.

Mishra, V, Ganguly, AR, Nijssen, B, Lettenmaier, DP (2015) Changes in observed climate extremes in global urban areas, *Environ. Res. Lett.* 10 (2015) 024005 doi:10.1088/1748-9326/10/2/024005.

MMA (2015a) Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, Volume 1, Grupo Executivo do Comitê Interministerial de Mudança do Clima – GEx-CIM. Ministério do Meio Ambiente, Brasília 2015, DF, 325 pp.

MMA (2015b) Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, Volume 2, Grupo Executivo do Comitê Interministerial de Mudança do Clima – GEx-CIM. Ministério do Meio Ambiente, Brasília 2015, DF, 376 pp – no prelo.

Moita, D, Wainer, I (2005) Estudo da Variação do Nível do Mar na Região do Atlântico Sudoeste. *Anais do Congresso Brasileiro de Oceanografia: Congresso Brasileiro de Oceanografia*, Vitória, p.inicial 0, p.final 0, Meio digital. 2005.

Muehe, D (Org.), (2006) Erosão e progradação do litoral brasileiro. Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM). Brasília, DF: MMA/ PGGM, 476 pp.

Muehe, D, Rosman, PCC (2011) A Orla Costeira da Região Metropolitana do Rio de Janeiro: Impactos das Mudanças Climáticas sobre o Meio Físico. Relatório Megacidades, Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de Rio de Janeiro. Projetos Megacidades, Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas, Rio de Janeiro, 125 pp.

Neves, CF, Muehe, D (1995) Potential impacts of sea level rise on the metropolitan region of Recife, Brazil, *Journal of Coastal Research*, 14:116-131.

Neves, C, e Muehe, D, (2008a) Mudanças do clima e zonas costeiras brasileiras. Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação. Parcerias Estratégicas. Número 27. Brasília-DF.

Neves, C, e Muehe, D (2008b) Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. (Vulnerability, Impacts, and Adaptation to Climate Change: The Coastal Zone) CGEE Strategic partnerships. 27, 217-296.

New, M, Lister, D, Hulme, M, Makin, I (2002) A high-resolution data set of surface climate over global land areas, *Clim Res*, 21: 1-25.

Nicholls, RJ (2006) Storm Surges in Coastal Areas. In: M. Arnold et al. (eds.) *Natural Disaster Hotspots - Case Studies*. Disaster Risk Management Series nº 6. The World Bank Hazard Management Unit. Washington, D.C., p. 79-108.

Nicholls, RJ, Marinova, N, Lowe, JA, Brown, S, Vellinga, P, de Gusmão, D, Hinkel J, Tol, RSJ (2011) Sea-level rise and its possible impacts given a 'beyond 4°C world' in the twenty-first century. *Phil. Trans. R. Soc. A*. 369:161-181.

Nicolodi, JL, Petermann, RM (2010) Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos *Climate Changes and Vulnerability of the Brazilian Coastal Zone in its Environmental, Social, and Technological Aspects*, *Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 10(2):151-177.

Nicolodi, JL & Zamboni, A (2008) *Gestão Costeira*. In: Ademilson Zamboni & Joao Luiz Nicolodi (org.), *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*, pp.213-241, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Brasília. DF, Brasil. ISBN: 9788577381128.

Noble, IR, Huq, S, Anokhin, YA, Carmin, J, Goudou, D, Lansigan, FP, Osman-Elasha, B, and Villamizar, A (2014) Adaptation needs and options. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 833-868.

Nobre, CA, Young AD, Saldiva, PHN, Marengo JA, Nobre AD, Ogura A, Thomaz, O, Obregon, GO, da Silva, GCM, Valverde, M, Silveira, AC, e Rodrigues GOD (2011) Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo, Relatório Final. Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brazil and Núcleo de Estudos de População (NEPO), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brazil, 179 pp.

Novo Milenio (2011) Marés inundações e brejos do século XX. Disponível em: <<http://www.novomilenio.inf.br/santos/fotos111.htm>>. Acesso em 19/06/2016.

Ojea, E. (2015) Challenges for mainstreaming Ecosystem-based Adaptation into the international climate agenda. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14: 41-48.

ONU-Habitat (2012) Estado de las Ciudades de America Latina y el Caribe 2012: Rumbo a una nueva transición urbana, Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, Recife, Brasil, 196 p.

Paula, DP, Morais, JO, Ferreira, Ó, Dias, JA (2015) Análise histórica das ressacas do mar de Fortaleza (Ceara, Brasil); Origem, características e impactos. Em: Davis Pereira de Paula e J. Alveirinho Dias (orgs.), *Ressacas do Mar / Temporais e Gestão Costeira*, pp.173-201, Editora Premium, Fortaleza, CE, Brasil. ISBN: 978-85-7924-440-7

Pereira, PA, Martins, KA, Neto, AVN, Menezes, AF, Gonçalves, RM, Araújo, TCM (2012) Identificação e mapeamento das áreas vulneráveis da zona costeira de PE e os riscos potenciais decorrentes das alterações as mudanças climáticas, UFPE. Recife, 12 pp.

Pereira, NES, Klumb- Oliveira LA (2015) Analysis of the influence of ENSO phenomena on wave climate on the central coastal zone of Rio de Janeiro (Brazil). *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 2015.

PBMC (2014) Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp.

PBMC (2016) Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

Pirazolli, PA (1986) Secular trend of relative sea level (RSL) changes indicated by tide-gauge reconst, *J Coast Res SI*: 1, 1-26.

PROVIA (2013) Global Programme of Research on Climate Change Vulnerability, Impacts and Adaptation- PROVIA Guidance on Assessing Vulnerability, Impacts and Adaptation to Climate Change – Consultation document. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme, 2013. 198 p.

Priori Junior, L (2013) Mudanças climáticas e possíveis impactos nas cidades costeiras do nordeste brasileiro. *Anais dos Encontros Nacionais da ANPUR*, 15, 342-367.

Puppim de Oliveira, JÁ, Balaban, O, Doll, CNH, Moreno-Peñaranda, R, Gasparatos A, Iossifova, D, Suwa A (2011) Cities and biodiversity: Perspectives and governance challenges for implementing the convention on biological diversity (CBD) at the city level. *Biological Conservation* 144: 1302–1313.

Reed, A, Mann, M, Emanuel, K, Lin, N, Horton, B, Kemp, A, Donnelly, JP (2015) Increased threat of tropical cyclones and coastal flooding to New York City during the anthropogenic era, *PNAS*, October 13, 2015, 112, 12610–12615, [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1513127112](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1513127112)

Reguero, BG, Losada, IJ, Díaz-Simal, P, Méndez, FJ, Beck, MW (2015) Effects of Climate Change on Exposure to Coastal Flooding in Latin America and the Caribbean. *PLoS ONE* 10(7): e0133409. doi:10.1371/journal.pone.0133409

Reis, DS, Silva, JC, Brant TC (2015). Cidades e mudanças climáticas: planejamento urbano e governança local no Brasil. In: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação em Pesquisa em Planejamento (ENANPUR), 16., 2015, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: Anpur, 2015.

Revi, A, Satterthwaite, DE, Aragón-Durand, F, Corfee-Morlot, J, Kiunsi, RBR, Pelling, M., Roberts, DC, Solecki, W (2014) Urban areas. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 535-612.

Ribeiro, W (2008) Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil, *Parcerias Estrategicas*, 27: 297-321, Brasilia DF.

Richards, J, Nicholls, RJ (2009) Impacts of climate change in coastal systems in Europe. PESETA-Coastal Systems study. JRC Scientific and Technical Reports EUR 24130 EN, 124 pp. <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2979>

Rocha, CFD et al. (2009) Análise da distribuição da diversidade da fauna do Estado do Rio de Janeiro. In: *Estrategias e ações para a conservação da biodiversidade no Estado do Rio de Janeiro* (Bergallo, H.G. et al., eds.). Instituto Biomas, Rio de Janeiro, p.111-126.

Rosenzweig, C. et al., (2011) Responding to Climate Change in New York State: The ClimAID Integrated Assessment for Effective Climate Change Adaptation in New York State, Final Report. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1244, 2-649, doi:10.1111/j.1749-6632.2011.06331.x.

Rosenzweig, C, Solecki, W, Romero-Lankao, P, Mehrotra, S, Dhakal, S, Bowman, T, and Ali Ibrahim, S (2015) ARC3.2 Summary for City Leaders. Urban Climate Change Research Network. Columbia University. New York. 28p.

Rosman, PCC, Neves, CF, Muehe, DE, Valentini, M (2007) Estudo de Vulnerabilidades no Litoral do Estado do Rio de Janeiro devido às Mudanças Climáticas. Relatório PENO-9501. Fundação Coppetec. Rio de Janeiro, Dezembro, 2007.

Rossini-Penteado, D, e Ferreira, CJ (2015) Mapeamento da vulnerabilidade para análise de riscos associados a processos geodinâmicos. In: Freitas et al. (eds.) *Vulnerabilidades e Riscos: Reflexões e Aplicações na Análise do Território*. Publisher: UNESP-ICGE-CEAPLA. pp.77-94. DOI: 10.13140/RG.2.1.2218.0725.

Rudorff, FM, Bonetti Filho, J, Moreno, DA, Oliveira, CAF, Murara, PG (2014) Maré de tempestade. In: Herrmann, M. L. P. *Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010*. 2. Ed. IHGSC/Cadernos Geográficos, Florianópolis, p. 151-154. [ISBN 978-85-67768-00-7.2014].

SAE (2015) BRASIL 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima, Presidência da Republica, Secretaria de Assuntos Estratégicos, Brasília 2015, 58 p.

Santos, RF (2012) Mudanças climáticas e a zona costeira: uma análise do impacto da subida do nível do mar nos recursos hídricos – o caso do Canal de São Francisco – Baía de Sepetiba – RJ, Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Planejamento Energético, 2012. 112 p

Scarano, FR (2014) Mata Atlântica: uma História do Futuro. Edições de Janeiro, Rio de Janeiro.

Scarano, FR (2017) Ecosystem-based adaptation to climate change: concept, scalability and a role for conservation science. *Perspectives in Ecology and Conservation* (in press)

Secretaria Municipal de Saúde de Santos (2010). Onda de calor provocou a morte de 32 idosos em Santos, em SP, diz prefeitura. Disponível em O Globo: <<http://oglobo.globo.com/brasil/onda-de-calor-provocou-morte-de-32-idosos-em-santos-em-sp-diz-prefeitura-3054640#ixzz4fl3WB1rp>>.

Seto, KC, Parnell, S, Elmqvist, T (2012) A Global Outlook on Urbanization. In Pp. 1-12, Elmqvist T, Fragkias M, Goodness J, Güneralp B, Marcotullio PJ, McDonald RI, Parnell S, Schewenius M, Sendstad M, Seto KC, Wilkinson C (eds.). *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*. Springer, Dordrecht.

Sillmann, J, Kharin, VV, Zhang, X, Zwiers, FW, e Bronaugh D (2013a) Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate, *J. Geophys. Res. Atmos*, 118:1716–1733, doi:10.1002/jgrd.50203.

Sillmann, J, Kharin, VV, Zwiers, FW, Zhang, X e Bronaugh D (2013b), Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections, *J. Geophys. Res. Atmos*: 118, 2473–2493, doi:10.1002/jgrd.50188.

Silva, GN (1992) Variação de longo período do nível medio do mar: causas, consequências e metodologia de análise. Tese Mestrado, programa de Engenharia Oceânica. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

Silva, LRA e Mandarin, FC (2011) Elevação do Nível do Mar e Redefinição da Linha de Costa na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Relatório Megacidades, Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de Rio de Janeiro. Projetos Megacidades, Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas, Rio de Janeiro, 125 pp.

Silva, WL, e Dereczynski, CP (2010) Tendências observadas nos índices extremos diários de temperatura do ar e precipitação na Cidade do Rio de Janeiro. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, Brasil, 2010. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia. CD-ROM.

Slovic, P (1987) Perception of Risk, *Science*, 236: 280-285

Souza, CRG (2005) Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 6, nº 1, p. 45-62.

Souza, CRG (2008) Erosão na Praia do Gonzaguinha-Milionários (São Vicente, SP): Causas e Projeções. VII Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO) e II Encontro Latino-americano de Geomorfologia, Belo Horizonte (MG), 01-08/agosto/2008. Anais, CD-ROM (trabalho completo).

Souza, CRG (2009) A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada, Journal of Integrated Coastal Management*, 9(1): 17-37. ISBN: 1677-4841 (também disponível em <http://www.aprh.pt/rgci/revista9f1.html>).

Souza, CRG (2010a) Brazilian scientific programs in natural disasters. In: IDRC Davos 2010 - International Disaster and Risk Conference, Davos (Suíça), 30/05 a 03/06/2010, Extended Abstracts (e-book), p.697-700.

Souza, CRG (2010b) Impactos das mudanças climáticas no litoral do Estado de São Paulo (Sudeste do Brasil). In: VI Seminário Latino Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, Coimbra (Portugal), 26-30/05/2010, Actas, <http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema4/celiaregina>, p.1-17.

Souza, CRG (2011) Os ecossistemas costeiros frente às mudanças climáticas no Brasil: efeitos da elevação do nível do mar. XIV Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - COLACMAR, Balneário Camboriú (SC). Boletim de Resumos Expandidos (CD-ROM)

Souza, CRG (2012) Praias arenosas oceânicas do Estado de São Paulo (Brasil): Síntese dos conhecimentos sobre morfodinâmica, sedimentologia, transporte costeiro e erosão costeira. Revista do Departamento de Geografia-USP, n. 2012, Volume Especial 30 anos, p. 308-371. ISSN 2236-2878. DOI: 10.7154/RDG.2012.0112.0015 (disponível em: <http://citrus.uspnet.usp.br/rdg/ojs/index.php/rdg/article/view/394>).

Souza, CRG, Souza Filho, PWM, Esteves, SL, Vital, H, Dillemburg, SR, Patchineelam, SM, Addad, JE (2005) Sandy beaches and coastal erosion. In: C.R. de G. Souza et al. (eds.). Quaternário do Brasil. Holos, Editora, Ribeirão Preto (SP). p. 130-152.

Souza Pereira, P (2015) Atlas de vulnerabilidade à erosão costeira e mudanças climáticas em Pernambuco Recife, Editora Universitária UFPE, 98 p.

Sousa, D, Green V (2016) Avaliação de estudos de vulnerabilidade e adaptação a mudança do clima nas cidades brasileiras. Capítulo 10 em Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais Mudança do Clima no Brasil (Eds. M. Rojas, J. Marengo, B. Teixeira). . Ministerio da Ciencia, Tecnologia e Inovacao. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenacao-Geral de Mudancas Globais de Clima. Brasilia, Ministerio da Ciencia, Tecnologia e Inovacao, 2016. 590 p P. 511-590.

Strauss, B, Kulp, S, Levermann, A (2015) Carbon choices determine US cities committed to futures below sea level, PNAS, 112(44): 13508–13513.

Tonbin, GA (2004) Natural Hazards: explanation and integration. Nova Iorque, The Guilford Press. 388p.

UFSC-CEPED (2013) Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012. / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis, SC, Brasil, Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres.



UFSC-CEPED (2016) Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995 – 2014. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Banco Mundial [Organização Rafael Schadeck] - Florianópolis: CEPED UFSC, 2016. 230 p.

UN-HABITAT (2011) Climate change mitigation responses in urban areas. In: Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements 2011. United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), Earthscan, London, UK and Washington, DC, USA, pp. 91-128.

UNISDR (2015a). Proposed Updated Terminology on Disaster Risk Reduction: A Technical Review, Facilitated by The United Nations Office for Disaster Risk Reduction ([www.preventionweb.net/files/45462backgroundpaperonterminologyaugust20.pdf](http://www.preventionweb.net/files/45462backgroundpaperonterminologyaugust20.pdf))

UNISDR (2015b). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030 (Disponível em <http://www.unisdr.org/files/43291spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf>. Acesso em janeiro/2017).

USACE (US ARMY CORPS OF ENGINEERS) (2002) Water Wave Mechanics. In: USACE. Coastal Engineering Manual – Chapter 1, Part II. Vicksburg, Mississippi: EM 1110-2-1100, 121p.

Valencio, N, Siena, M, Marchezini, V, Gonçalves, JC (org) (2009) Sociologia dos Desastres. Construção, Interfaces e Perspectivas no Brasil. São Carlos: RiMa Editora, 280 p.

Varnes, DJ (1984) Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice. Paris, UNESCO Press. 56p.

Wamsler, C, e Pauleit, S (2016) Making headway in climate policy mainstreaming and ecosystem-based adaptation: two pioneering countries, different pathways, one goal. Climatic Change DOI 10.1007/s10584-016-1660-y

Welle, T, e Birkmann, J (2015) The world risk index: an approach to assess risk and vulnerability on a global scale. J. Extreme Events 2:34 (<http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2345737615500037>).

Wisner, B, Blaikie, P, Cannon, T, Davis, I (2004) At Risk, Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. Routledge, London, UK.

Wong, PP, Losada, IJ, Gattuso, JP, Hinkel, J, Khattabi, A, McInnes, KL, Saito, Y, e Sallenger, A (2014) Coastalsystems and low-lying areas. In: Climate Change (2014) Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 361-409.

World Bank (2005). Natural Disaster Hotspots - A Global Risk Analysis. Center for Hazards and Risk Research, Columbia University ([www.ldeo.columbia.edu/chrr/research/hotspots](http://www.ldeo.columbia.edu/chrr/research/hotspots))

World Bank-United Nations (2010) Natural hazards, Unnatural Disasters: The Economics of Effective Prevention / The World Bank and The United Nations ([www.gfdr.org/sites/gfdr/files/publication/NHUD-ReportFull.pdf](http://www.gfdr.org/sites/gfdr/files/publication/NHUD-ReportFull.pdf)).

World Bank (2014) Turn Down the Heat: Confronting the New Climate Normal. Washington, DC: World Bank. 320 pp.

Young AF, Hogan DJ (2010) Vulnerabilidades as mudanças climáticas: efeitos da elevação do nível do mar e precipitação intensa nas planícies e encostas da cidade do Rio de Janeiro. Trabalho apresentado no XVII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, realizado em Caxambú – MG Brasil, de 20 a 24 de setembro de 2010

Young, AF, Santos, M, dos (2010) Elaboração dos mapeamentos referentes as vulnerabilidades no município do Rio de Janeiro com base nas informações fornecidas pelo IPP e através do uso de Sistemas de Informações Geográficas. Relatório Megacidades. 2010.

Young, IR, Zieger, S, Babanin, AV (2011) Global trends in wind speed and wave height. *Science*, 332: 451-455.

Woolf, DK, Challenor, PG, Cottin, PD (2002) Variability and predictability of the north Atlantic wave climate. *Journal of Geophysical Research*, 107:C10.

Zanetti, V, Cabral de Sousa Junior W, De Freitas D (2016) A Climate Change Vulnerability Index and Case Study in a Brazilian Coastal City, *Sustainability* 2016, 8, 811; doi:10.3390/su8080811

Zenatti, AP, Sousa, SYC (2010) Comunicação em Desastres: a Atuação da Imprensa e o Papel da Assessoria Governamental. Florianópolis – Governo do Estado de SC – SJC/DEDC – UFSC/CEPED, 2010.

Zee, DMW (2008) Elevação do nível do mar e adaptação em grandes cidades costeiras do Brasil, e eventos extremos no Brasil, FBDS-Lloyds, Rio de Janeiro, RJ, p. 53-76.

Zhang, HM, Bates, JJ, and Reynolds, RW (2006) Assessment of composite global sampling: Sea surface wind speed, *Geophysical Research Letters*, 33, L17714, <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL027086>



# Glossário

**Adaptabilidade:** capacidade ou grau de ajuste em práticas, processos ou estruturas dos sistemas naturais e/ou grupos humanos como resposta às alterações negativas decorrentes de modificações no ambiente, bem como suas capacidades em tirar vantagem/vislumbrar oportunidades e enfrentar as consequências.

**Adaptação às mudanças climáticas:** ações de resistência da sociedade aos impactos da mudança do clima, para minimizar danos. Envolve a redução de riscos e vulnerabilidades, a busca de oportunidades e a construção da capacidade de nações, regiões, cidades, setores privados, comunidades, indivíduos e sistemas naturais para enfrentar os impactos climáticos, tal como a mobilização dessa capacidade para implementação de decisões e ações (Noble *et al.*, 2014).

**Adaptação baseada em ecossistemas:** o conjunto de práticas que são multi-setoriais, multi-escalares e baseadas na premissa de que serviços ambientais reduzem a vulnerabilidade da sociedade às mudanças climáticas. É o uso da biodiversidade e dos serviços ambientais como parte de uma estratégia de adaptação completa para ajudar pessoas a se adaptarem aos efeitos adversos das mudanças climáticas.

**Alagamento:** acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem. Quando ocorre em centros urbanos, normalmente é decorrente da deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais (chuvas intensas), podendo ou não estar associado com os processos de natureza fluvial (IPT, 2004).

**Altura significativa de onda ( $H_s$ ):** é definida como a média de um terço das maiores ondas. É comumente utilizado por se tratar de um valor medido próximo ao visualmente estimado.

**Altura significativa de onda extrema ( $H_{s12}$ ):** é definida como a altura significativa de onda excedida 12 horas ao ano ou 0,14% das maiores ondas de um registro.

**Biodiversidade:** termo cunhado pelo cientista norte-americano Edward O. Wilson (1929-...) para se referir à diversidade biológica em três níveis: diversidade genética, diversidade de espécies e diversidade de ecossistemas. Entretanto, o uso do termo se popularizou como sinônimo de "diversidade de espécies".

**Capacidade de adaptação:** a capacidade dos sistemas, instituições, seres humanos e outros organismos para se ajustar a potenciais danos, para aproveitar oportunidades, para responder a consequências de uma determinada mudança ou para enfrentar suas consequências.

**Cidade:** sistema sócio-ecológico complexo, que inclui mais que uma dada densidade populacional ou área coberta por estruturas criadas pelo homem. O crescimento de cidades é uma combinação de quatro forças: crescimento natural, migração rural-urbana, migração em massa devido a eventos extremos e redefinição de limites administrativos.

**Clima:** clima, em strito sensu, é definido como a “média das condições do tempo” ou como a descrição estatística em termos de média e variabilidade de quantidades relevantes sobre o período de tempo numa distância de meses a milhares de anos. O período clássico é de 30 anos (ou melhor, de 3 períodos de 10 anos consecutivos), como definido pela World Meteorological Organization (WMO). Estas quantidades são, em sua maioria, variáveis de superfícies tais como: temperatura do ar, precipitação e ventos. Em um senso mais amplo, clima é um estado, acrescentando uma descrição estatística do sistema climático incluindo extremos.

**Clima-Avaliação de Impacto:** prática de identificar e avaliar as consequências benéficas e danosas à mudança de clima nos sistemas naturais e humanos;

**Clima-Impactos:** consequências da mudança de clima nos sistemas naturais e humanos. Dependendo da consideração de adaptação, pode ser distinguido entre os impactos potenciais e residuais.

**Impactos potenciais:** todos os impactos que ocorram, dado uma mudança projetada no clima, sem considerar adaptação.

**Impactos residuais:** os impactos de mudança de clima que ocorreriam após a adaptação.

**Convenção Marco das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (CMNUCC ou UNFCCC em inglês):** A convenção foi adotada em Nova York, no dia 9 de maio de 1992, e rubricada nesse mesmo ano na 2ª Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, conhecida como Rio 92, acontecida no Rio de Janeiro, com participação da Comunidade Européia e mais de 150 países. Seu último objetivo é “a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que impeça interferências antropogênicas perigosas no sistema climático”. Contêm cláusulas que comprometem todas as Partes. Em virtude da Convenção, as Partes, incluídas no Anexo I (todos os países da OCDE e países de economia em transição), pretendiam, para o ano 2000, ter os níveis de emissão de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal que existia em 1990. A Convenção entrou em vigor em março de 1994. Em 1997, a CMNUCC incorporou o Protocolo de Kyoto.

**Desastre Natural:** o resultado de eventos naturais intensos ou extremos que atingem qualquer sistema social que não seja capaz de refleti-los, absorvê-los e/ou amortecê-los, causando impactos significativos para a conservação do equilíbrio social, econômico, físico, psicológico ou ambiental, sendo difícil a recuperação para a condição existente antes da ocorrência do tal evento (Tonbin, 2004). Mais simplesmente, desastre é o efeito (mortes e danos) de um perigo natural (ex. tempestades, enchentes, escorregamentos, secas, terremotos etc.) sobre uma sociedade, como resultado da combinação de sua exposição e vulnerabilidade (UNISDR, 2015); b) a capacidade de recuperação a estes impactos é refletida pela resiliência dos sistemas (humanos e/ou naturais) que foram atingidos. Outras definições estabelecem limites mínimos de prejuízos financeiros que devem ser causados e/ou uma quantidade mínima de pessoas atingidas para que os impactos de um evento extremo caracterizem um desastre. Esta definição é em parte relativa aos diferentes níveis de preparo e estruturação das sociedades. Em geral, nações e certas parcelas mais ricas da sociedade apresentam uma robustez maior para responder rapidamente e sem maiores dificuldades aos prejuízos financeiros ou humanos, enquanto outras nações mais fragilizadas podem demorar anos ou décadas, podendo até mesmo entrar em colapso, especialmente quando os desastres são recorrentes. Desastres são fenômenos sócio-naturais, em cuja produção também atuam fatores sócio-históricos, e que seus efeitos se distribuem de forma desigual entre a população (Aledo e Sulaiman, 2014). A combinação entre eventos extremos e a exposição da sociedade em questão ao perigo (ou ameaça) natural é que determinará se um fenômeno natural pode desencadear um desastre ou não (Welle e Birkmann, 2015). A sociedade, portanto, constrói o risco a partir de sua interação com o mundo físico, transformando o evento natural em perigos de diferentes intensidades e magnitudes (Valencio *et al.*, 2009). Uma vez que não há possibilidade de modificar ou interferir nos processos naturais perigosos, resta às sociedades modificar as condições de vulnerabilidade dos elementos expostos (Cardona, 2003).

**Deslizamentos:** termo usado genericamente para descrever o processo geológico-geotécnico correspondente ao movimento de descida do solo, de rochas, detritos e/ou material orgânico sob o efeito da gravidade, normalmente quando o material está saturado. Também se refere à formação geológica resultante de tal movimento, composta pelo material deslocado e remanescente. Embora os deslizamentos possam ser deflagrados por diferentes fatores (ex: abalos sísmicos, tremores de terra próximo a barragens), neste documento, a terminologia utilizada se refere àqueles que são desencadeados pela água precipitada que se infiltra no solo. Existem outros termos que são usados alternativamente ao termo “deslizamento”, que incluem movimento de massa, ruptura do talude, “queda de barreira” (popularmente), etc. É comum ouvi-los aplicados a todos os tipos e tamanhos de deslizamentos. O fenômeno é caracterizado pelo movimento de descida de rocha, solo - ou ambos -, em declive, que ocorre na ruptura de uma superfície na qual a maior parte do material move-se como uma massa coerente ou semicoerente, com pequena deformação interna. Quando esta ruptura é curva, recebe o nome de escorregamento rotacional; e quando plana, de escorregamento translacional. Deve-se observar que, em alguns casos, os deslizamentos podem envolver outros tipos de movimentos, tanto no desencadeamento da ruptura ou posterior a ele, se as propriedades são alteradas durante o movimento do material (Highland e Bobrowsky, 2008).

**Enchente:** enchente - ou “cheia” - é, geralmente, uma situação natural de transbordamento de água do seu leito natural, qual seja córregos, arroios, lagos, rios ou ribeirões, provocadas geralmente por chuvas intensas e contínuas. Em mares e oceanos, os alagamentos, devido a ressacas, também são denominados de enchentes, como os já ocorridos na Holanda. A ocorrência de enchentes é mais frequente em áreas mais ocupadas, quando os sistemas de drenagem, se não forem recalculados ou devidamente adaptados tecnicamente, passam a ter menor eficiência com o tempo. É comum o aumento das destruições, devido sobretudo ao adensamento populacional de determinadas áreas sujeitas tradicionalmente a cheias cíclicas.

**Enxurrada:** processo hidrológico em que o escoamento superficial é concentrado e com alta energia de transporte. Quando ocorre em centros urbanos, normalmente é decorrente da deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais (chuvas intensas), podendo ou não estar associado aos processos de natureza fluvial (IPT, 2004).

**Escorregamentos:** é um tipo de movimento de uma massa (deslizamento) de solo ou rocha, em declive, que ocorre sobre superfícies em ruptura ou sobre zonas relativamente finas com intensa deformação por cisalhamento. O movimento não ocorre, inicialmente, de maneira simultânea por toda área que vem a se tornar a superfície da ruptura; o volume de material deslocado aumenta a partir de uma área no local da ruptura. Podem ser classificados como: i) escorregamento rotacional, quando a superfície da ruptura é curvada no sentido superior (em forma de colher) e o movimento da queda de barreira é mais ou menos rotatório em torno de um eixo paralelo ao contorno do talude; ou ii) translacional, quando a massa de um escorregamento translacional se move para fora, ou para baixo e para fora, ao longo de uma superfície relativamente plana, com pequeno movimento rotacional ou inclinação para trás. Este último tipo de deslizamento pode progredir por distâncias consideráveis, se a superfície da ruptura estiver suficientemente inclinada, ao contrário dos escorregamentos rotacionais, que tendem a restaurar o equilíbrio do deslizamento. (Highland e Bobrowsky, 2008).

**Evento extremo de tempo e clima:** é um acontecimento raro em um determinado local e num dado momento do ano. As definições de raro variam, mas um evento de tempo extremo seria normalmente tão ou mais raro do que o 10º ou 90º percentil de uma função de densidade de probabilidade estimada a partir de observações. Por definição, as características do que é chamado de “tempo extremo” podem variar de local para local, em um senso absoluto. Quando o padrão de tempo extremo persiste por algum tempo, como uma estação sazonal, ele pode ser classificado como um evento climático extremo, especialmente se ele produz uma média ou um total que é, em si, um extremo (isso é, seca ou chuvas fortes ao longo de uma estação).

**Fluxo de energia de onda:** é uma taxa de transferência de energia emitida na direção de propagação das ondas através de um plano vertical perpendicular ao avanço da direção de onda e estendido por toda a profundidade de coluna de água (USACE, 2002). Unidade: Joule/m.s

**Hot spot:** uma área geográfica caracterizada por alta vulnerabilidade e exposição da população às mudanças do clima.

**Inundação:** transbordamento acima dos limites normais de um rio ou outro corpo de água, ou a acumulação de água acima das zonas que normalmente não estão submergidas. Os diferentes tipos de inundações compreendem as fluviais, repentinas, urbanas, pluviais, de águas residuais, costeiras e de transbordamento de lagos glaciais. Processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais, quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio.

**IPCC:** o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é o organismo internacional que lidera a avaliação das mudanças climáticas, um corpo científico que conta com milhares de contribuições de todo o mundo. Foi criado pelo United Nations Environmental Programme (UNEP) e a World Meteorological Organization (WMO) em 1988 para fornecer uma visão científica clara sobre o estado atual do conhecimento em mudanças climáticas e seus potenciais impactos ambientais e socioeconômicos.



**Maré meteorológica:** (meteorological tide) a maré meteorológica ocorre quando ventos fortes empurram a água do mar em direção à praia devido ao efeito de Coriolis, aumentando, dessa forma, o nível do mar. Se acompanhado aos fortes ventos tivermos grandes ondas, a possibilidade de inundações costeiras e destruição de propriedades é bem maior. Sobre-elevação do nível do mar causada por efeitos meteorológicos (vento, pressão atmosférica). A designação de maré é, neste caso, imprópria ([www.aprh.pt/rgci/glossario](http://www.aprh.pt/rgci/glossario)).

**Movimento de massa:** também denominado como deslizamento, escorregamento, ruptura de talude, queda de barreiras, entre outros, se refere aos movimentos de descida de solos e rochas sob o efeito da gravidade, geralmente potencializado pela ação da água.

**Perigo (ameaça ou Hazard):** o potencial de ocorrência de um evento físico, ou de um evento ou tendência induzido(a) pela ação humana, ou impacto físico, que pode causar perda de vida humana, feridos ou outros impactos na saúde, assim como danos e perdas de propriedade, infraestrutura, meios de subsistência, prestação de serviços e de recursos. São os fenômenos capazes de gerar perigo e/ou ameaça na interação entre os seres humanos com seus locais de vivência. São ocorrências naturais sendo, portanto, componentes da dinâmica evolutiva planetária. Têm como característica comum a alta concentração de energia, o que faz com que eles tenham potencial para afetar fortemente os locais atingidos. Perigo natural está associado a um evento ou fenômeno natural potencialmente danoso que pode causar perdas de vidas e bens, danos a propriedades, interrupção de serviços e de atividades socioeconômicas ou degradação ambiental (UNISDR, 2015a,b).

**Resiliência:** a capacidade de um sistema socioeconômico ou ecológico de lidar com um evento perigoso, tendência ou distúrbio, e de responder ou de se reorganizar de modo a manter sua função essencial, identidade e estrutura, e, ao mesmo tempo, a capacidade de adaptação, aprendizado e transformação. Ainda, é o nível de mudança que um sistema pode suportar sem alterar seu estado, revelando a capacidade de um sistema se restabelecer e melhorar sua reatividade após uma catástrofe. Pode também ser definido como a capacidade de um sistema socioecológico de enfrentar um evento ou perturbação perigosa, respondendo ou reorganizando-se para manter sua função essencial, sua identidade e sua estrutura, conservando ao mesmo tempo a capacidade de adaptação, aprendizagem e transformação. Também é definido como a capacidade de um sistema e seus componentes em antecipar, absorver, acomodar ou se recuperar dos efeitos de um perigo natural de uma maneira oportuna e eficiente, garantindo designadamente a preservação, restauração e reorganização ou melhoria de suas estruturas essenciais, bem como suas funções básicas que mantêm o sistema em equilíbrio (IPCC, 2012). Este termo também aparece na literatura como o oposto da vulnerabilidade, com a diferença de que a resiliência está ligada diretamente com a capacidade de recuperação e da perpetuação dos sistemas atingidos e, principalmente, de haver recombinações das estruturas e processos envolvidos nos desastres e a renovação do sistema a partir das novas oportunidades criadas após os impactos. Neste sentido, a resiliência está diretamente relacionada com a capacidade adaptativa e permite um desenvolvimento contínuo que deve interagir com as mudanças observadas.

**Ressaca:** é o aumento da atividade marítima costeira em decorrência da atuação de Campos de Vento em alto mar. Dentro das alterações observadas, podemos destacar o aumento das ondas, tanto em tamanho quanto força, que costumam avançar sobre a faixa de areia, não raramente adentrando áreas urbanizadas, causando prejuízos e a elevação da maré. Ressacas podem causar mortes, geralmente quando desavisados sobem nas pedras para observar o mar e são levados por ondas mais fortes. O conjunto de características das ressacas variam muito de acordo com a morfologia do litoral, praia ou estuário. Muitas vezes o mar pode avançar centenas de metros sobre a orla. As ressacas são períodos de agitação marítima causada pela atuação de ventos em mesoescala, ou seja: em uma vasta área, com milhares de km<sup>2</sup>. Os ventos promovem a formação de grandes vagas em alto mar, que originam ondas de tamanhos anormais na orla.

**Risco:** é o potencial para consequências onde algum valor humano (incluindo os próprios seres humanos) está ameaçado e onde o resultado é incerto; é geralmente representado como a probabilidade de ocorrência de eventos perigosos, multiplicada pelas consequências da ocorrência desses eventos (IPCC, 2014). É a combinação da probabilidade de ocorrência de um evento perigoso e suas consequências, as quais resultam da interação entre a ameaça (perigo), a vulnerabilidade, a exposição e a capacidade de resposta (Varnes, 1984; UNISDR, 2015a).

**Serviços ambientais:** incluem todas as funções e processos ecossistêmicos que a sociedade em geral se beneficia, seja para sua qualidade de vida, seja em termos econômicos. Se tais serviços são demandados ou gerados por cidades e áreas urbanas, são chamados "serviços ambientais urbanos". Tais serviços incluem suprimento de água, clima estável, polinização, valores estéticos ou recreacionais, etc.

**Sobreelevação do nível do mar:** elevação do nível marinho - acima do que é imposto pela maré - causado por baixas pressões atmosféricas ([www.aprh.pt/rgci/glossário](http://www.aprh.pt/rgci/glossário)), portanto relacionado a maré meteorológica positiva.

**Sustentabilidade/Desenvolvimento sustentável:** desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades.

**Urbanização:** processo multidimensional que se manifesta através de uma rápida mudança na população humana e da paisagem.

**Vulnerabilidade:** é a propensão ou predisposição de um sistema para ser adversamente afetado, em função do caráter, magnitude e taxa da variação climática à qual o sistema está exposto, bem como da sua sensibilidade e capacidade de adaptação (resiliência) (Noble *et al.*, 2014). São reconhecidos diferentes tipos, que aparecem no texto.

**Vulnerabilidade ambiental:** o patamar entre a estabilidade dos processos biofísicos e situações instáveis onde existem perdas substantivas de produtividade primária (Egler, 2005).

**Vulnerabilidade natural:** a suscetibilidade de uma região ser atingida por um determinado evento extremo natural; ligada à localização geográfica. É necessário haver uma sobreposição entre a vulnerabilidade natural e a humana para se estabelecer a condição para ocorrência de desastres naturais (Alcántara-Ayala, 2002).

**Vulnerabilidade costeira:** tipo de vulnerabilidade natural associada à suscetibilidade do sistema costeiro para se adaptar naturalmente a mudanças nas condições ambientais provocadas por perigos costeiros (em especial elevação do NMM e ressacas do mar) (Gornitz *et al.*, 1994).

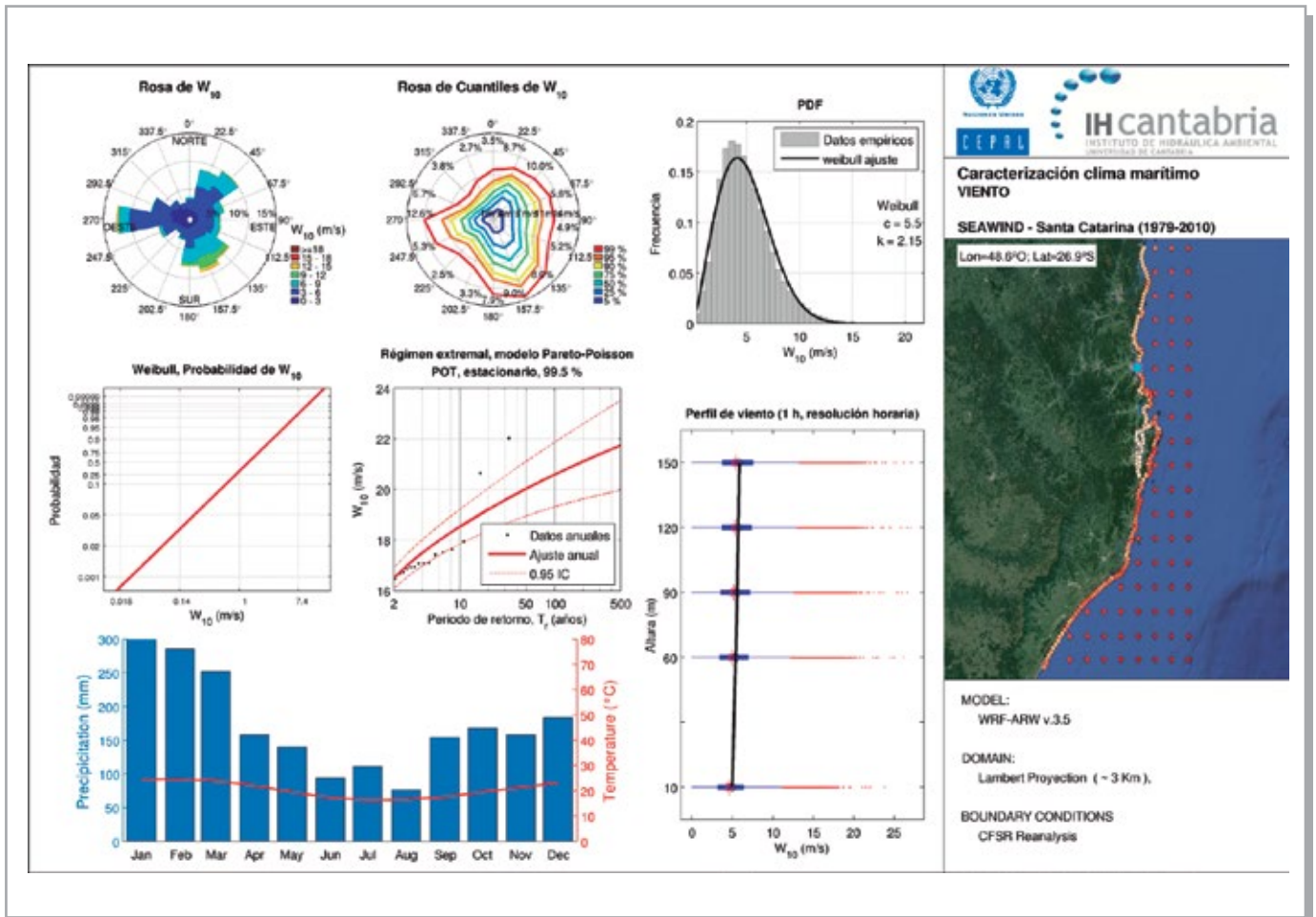
**Vulnerabilidade climática:** o grau de suscetibilidade ou incapacidade de um sistema responder aos efeitos adversos da mudança climática, incluindo a variabilidade e os extremos do clima; é uma função do caráter, magnitude e rapidez da mudança climática e da variação a que o sistema está exposto, sua sensibilidade e sua capacidade de adaptação (IPCC, 2012).

**Vulnerabilidade social:** uma variável socioambiental, a qual se baseia tanto na perspectiva da probabilidade da ocorrência de impacto ambiental a um determinado espaço geográfico, como também às respostas da sociedade ali localizada a esses danos (Boruff *et al.*, 2005); é a manifestação da construção social do risco, sendo a dimensão humana dos desastres (Valencio *et al.*, 2009).

O conceito de vulnerabilidade está intrinsecamente atrelado ao contexto dos desastres naturais e riscos associados. Ela expressa o grau de suscetibilidade e predisposição ao dano de um elemento ou grupo de elementos expostos à manifestação de um fenômeno perigoso (Rossini-Penteado e Ferreira, 2015), sendo que os elementos expostos incluem tanto o contexto social e material, representado pelas pessoas e por seus recursos e serviços (atividades humanas), quanto os sistemas realizados pelo homem, como edifícios, infraestrutura, centros de produção e utilidades (Cardona, 2003). Em outras palavras, a vulnerabilidade se refere à capacidade de uma pessoa ou grupo social de antecipar, lidar, resistir e responder aos efeitos adversos de um evento físico (Wisner *et al.*, 2004). Compreende, portanto, o conjunto de condições determinadas por fatores físicos (construções frágeis e indivíduos fracos), sociais (desintegração de padrões sociais, falta de consciência pública), econômicos (falta de acesso a recursos/materiais), políticos (acesso limitado ao poder e representação, corrupção), institucionais (falta de um Estado forte e estruturas institucionais), culturais (crenças e costumes) e ambientais, que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto de um perigo, envolvendo a habilidade de pessoas, organizações e sistemas de gerenciar as condições adversas, riscos ou desastres, utilizando instrumentos e recursos e capacidades disponíveis (UNISDR, 2015a). Os estudos de vulnerabilidade são desenvolvidos com diferentes abordagens analíticas, envolvendo diferentes contextos teóricos e metodológicos e escalas de análise (Rossini-Penteado e Ferreira, 2015).

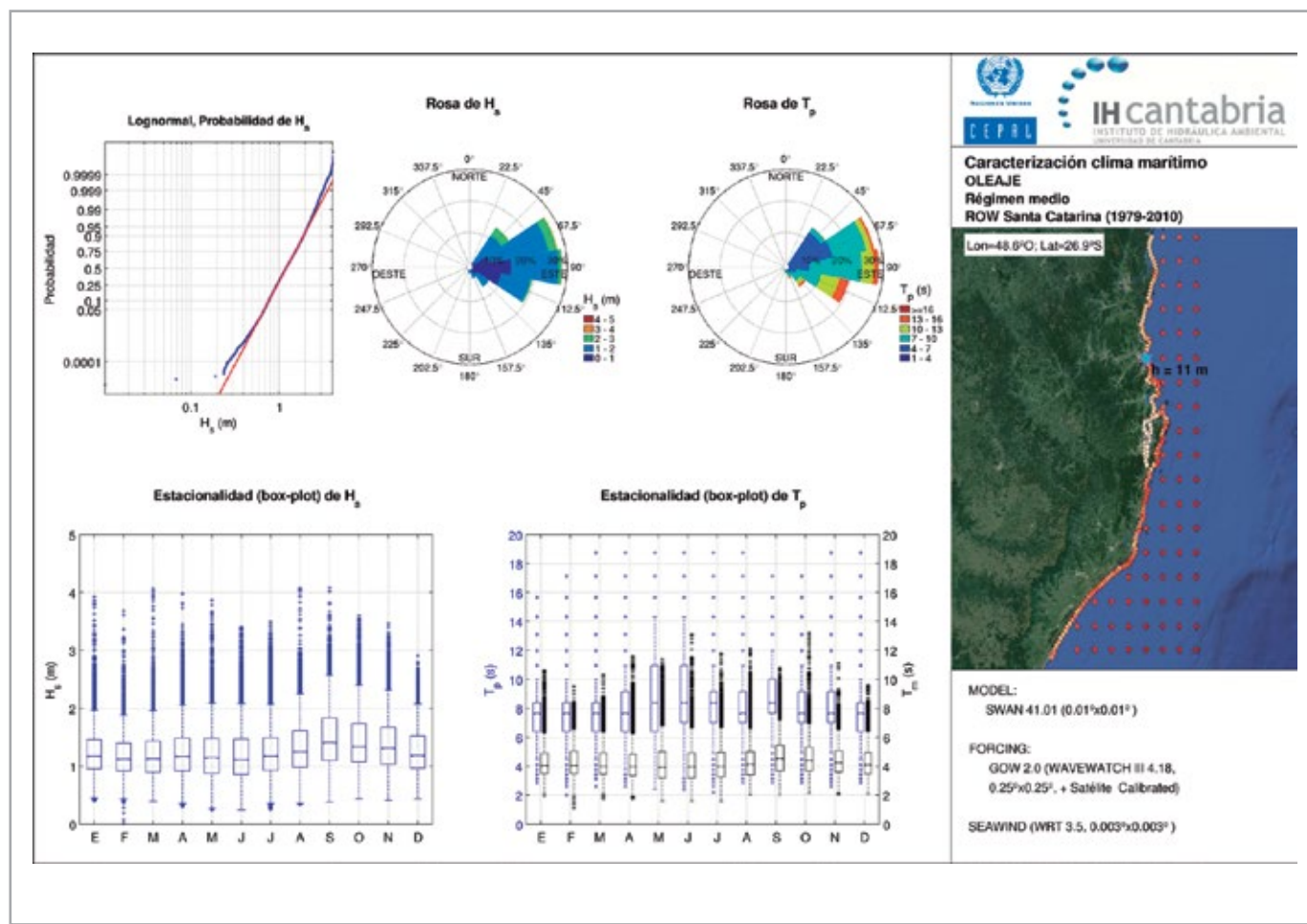
# Apêndices

## Apêndice I

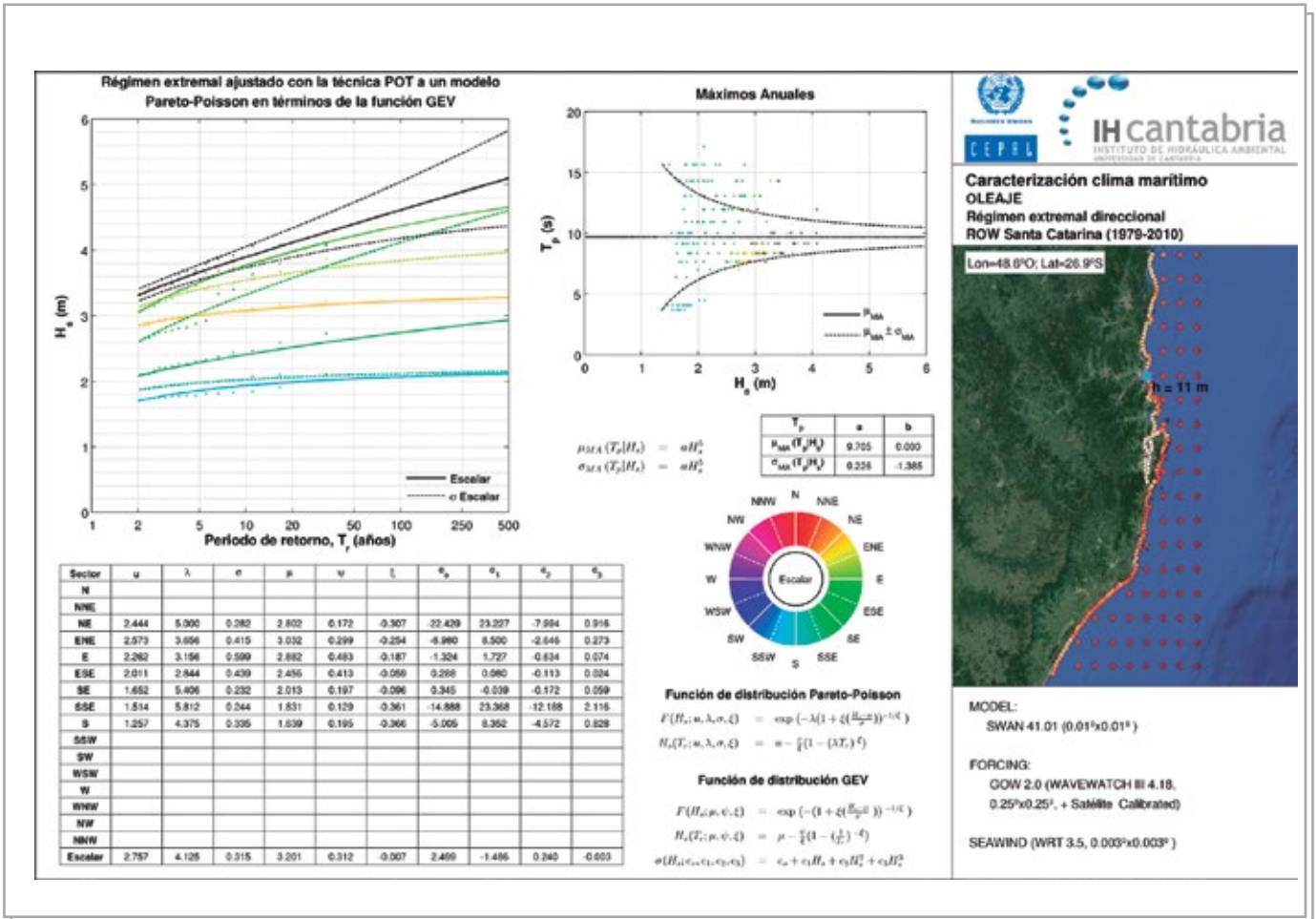


**Figura 1** Exemplo de uma ficha de clima local do vento apresentando resultados das simulações de dinâmica globais, para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, a partir das condições de contorno e iniciais fornecidas pelo 21 GCMs dentro do cmIP5. Fonte: CEPAL, 2015.

## Apêndice II

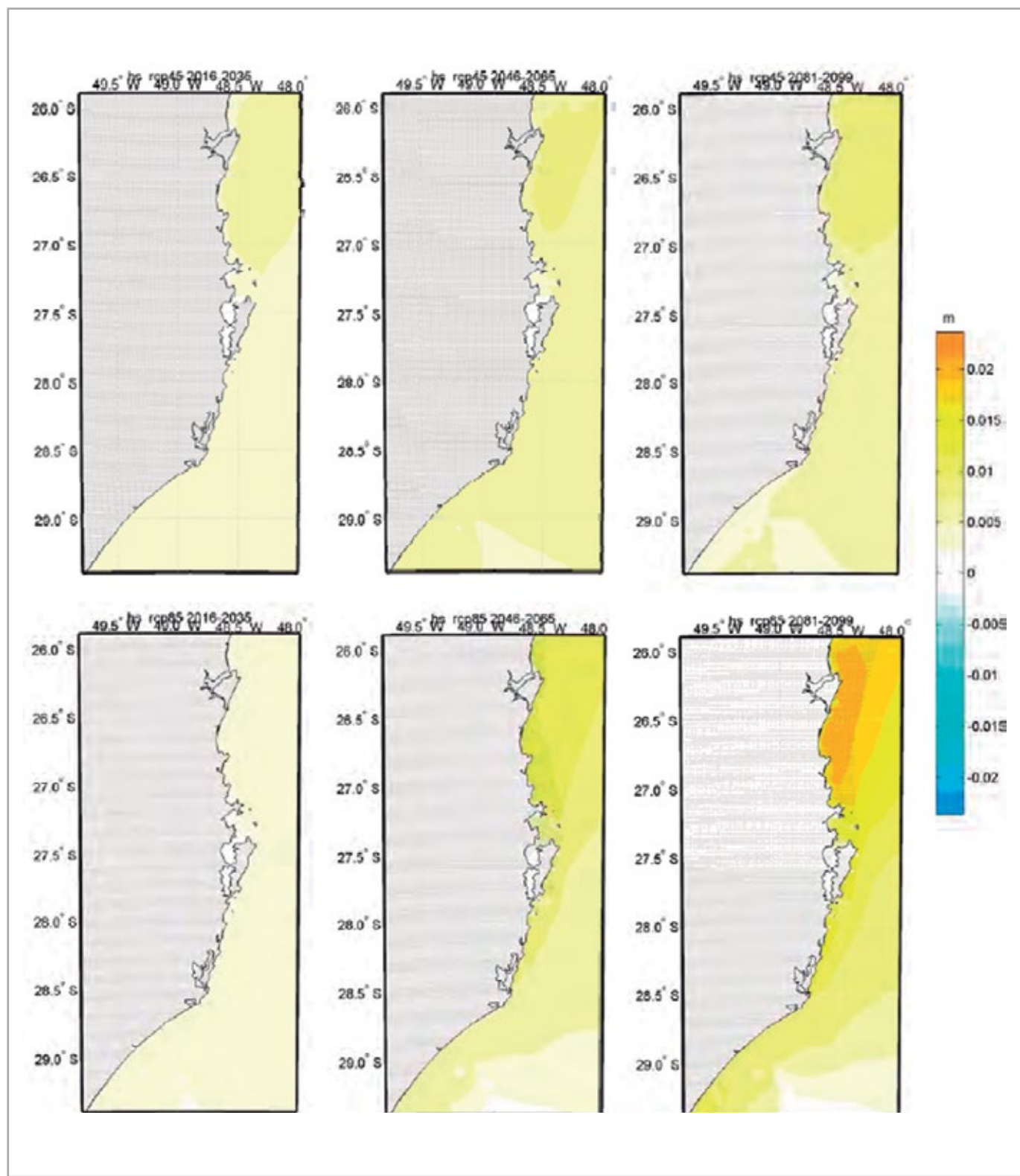


**Figura 2** Exemplo de uma ficha de clima local de ondas apresentando resultados das simulações de dinâmica globais (da esquerda para a direita acima: Probabilidade de  $H_s$ , Rosa de  $H_s$  e Rosa de  $T_p$ ; abaixo: Estacionalidade de  $H_s$  e Estacionalidade de  $T_p$ ), para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, a partir das condições de contorno e iniciais fornecidas pelo 21 GCMs dentro do CMIP5. Fonte: CEPAL, 2015.



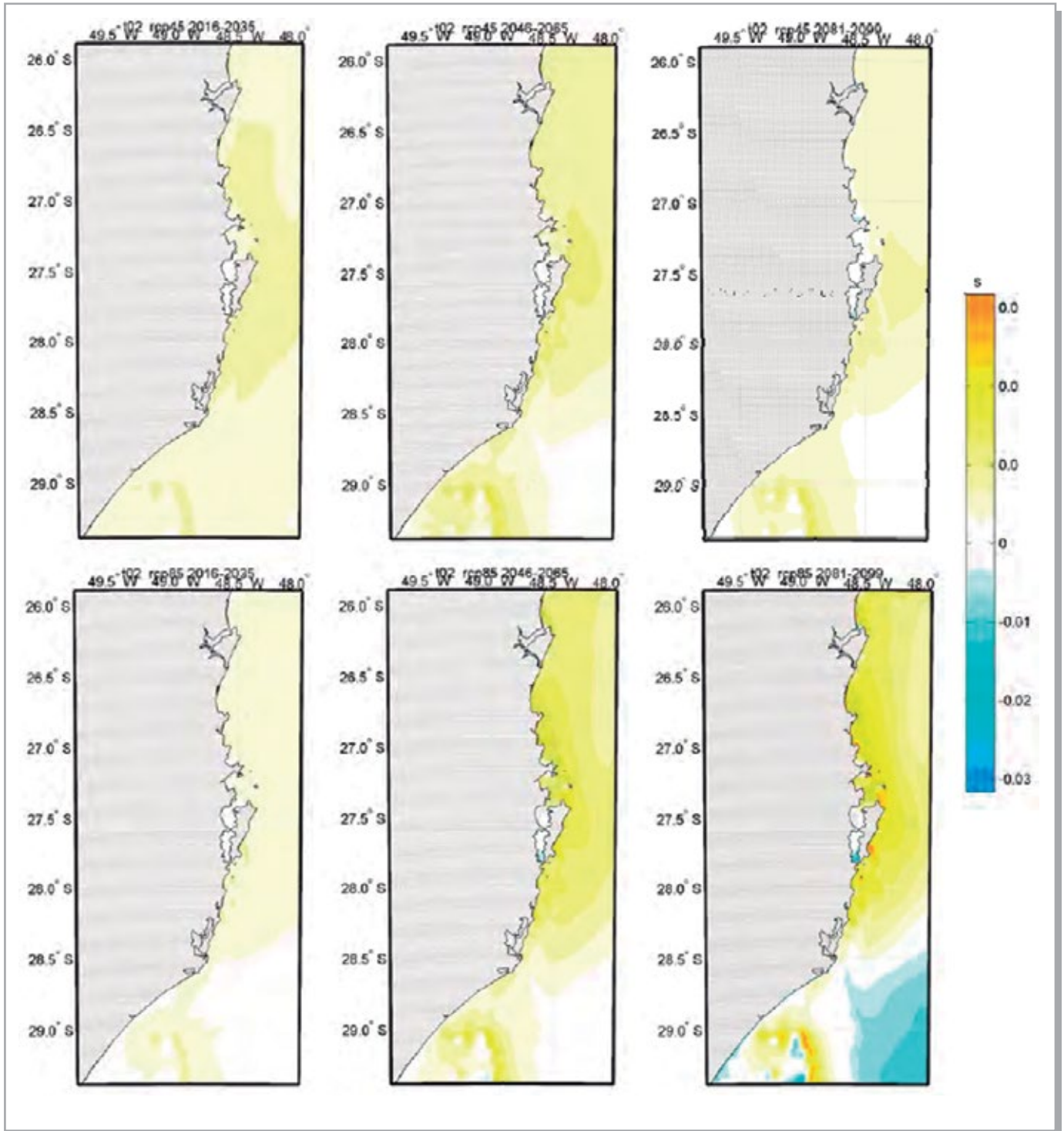
**Figura 3** Exemplo de uma ficha de clima local de ondas apresentando resultados das simulações de dinâmica globais (da esquerda para a direita acima: Regime extremo ajustado com a técnica POT a um modelo Pareto-Poisson em termos de função GEC, Máximos anuais; abaixo: Período de retorno  $T_r$  (anos) para diferentes direções, Função de Distribuição Pareto-Poisson e Função de Distribuição GEV), para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, a partir das condições de contorno e iniciais fornecidas pelo 21 GCMs dentro do CMIP5. Fonte: CEPAL, 2015.

## Apêndice III



**Figura 4** Alterações em  $H_s$  média no litoral de Santa Catarina, em metros, para diferentes cenários (RCP4.5 superior e RCP8.5 inferior) e período de tempo (2016-2035 esquerda, 2046-2065 centro e 2081-2099 direita) referente ao período de referência (1986-2005). As áreas sem sombreamento indicam que mais de 80% dos modelos coincidem no sinal da mudança.

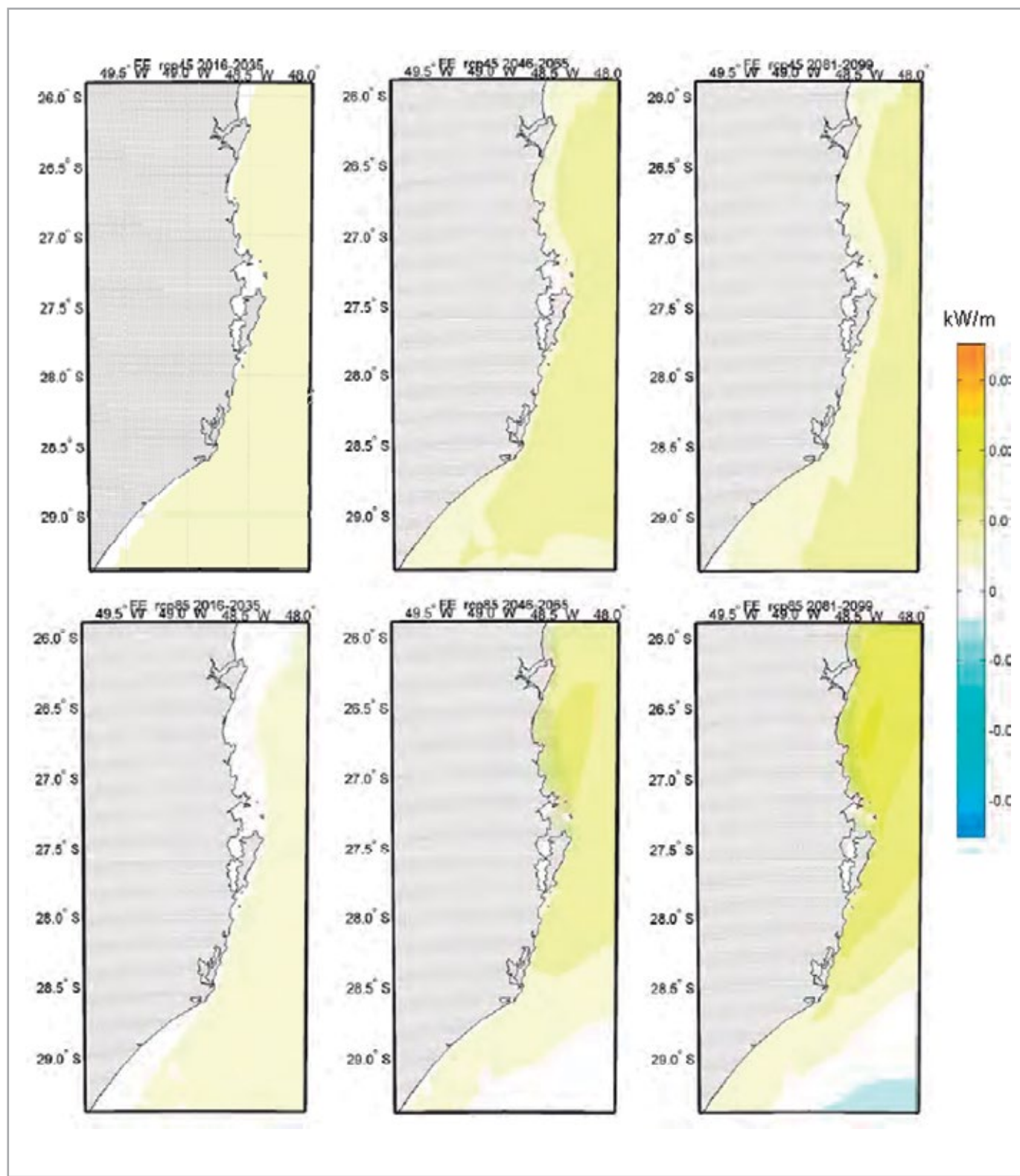
## Apêndice IV



**Figura 5** Alterações em  $T_{02}$  médio no litoral de Santa Catarina, em segundos, para diferentes cenários (RCP4.5 superior e RCP8.5 inferior) e período de tempo (2016-2035 esquerda, 2046-2065 centro e 2081-2099 direita) referente ao período de referência (1986-2005). As áreas sem sombreamento indicam que mais de 80% dos modelos coincidem no sinal da mudança.

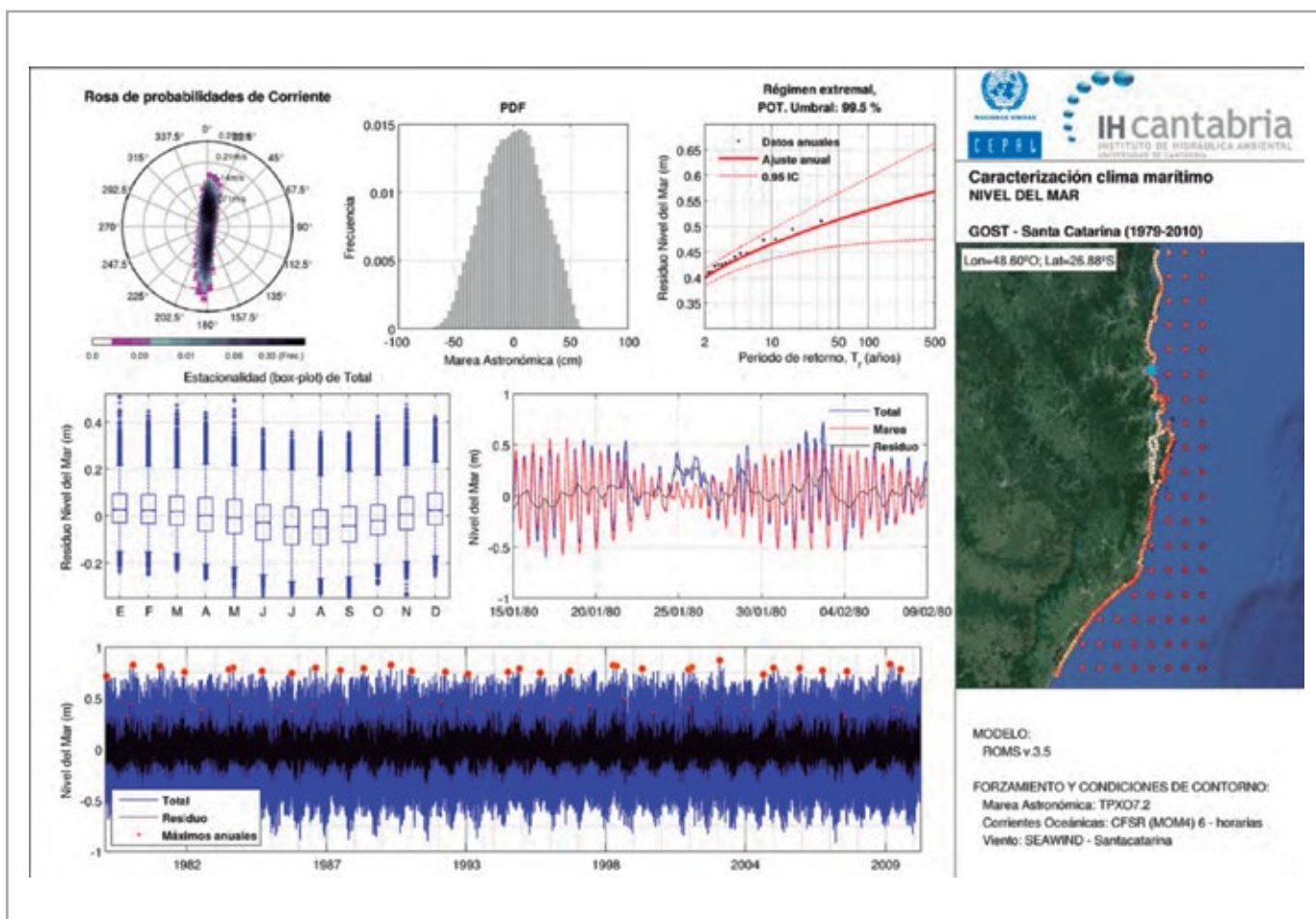


## Apêndice V



**Figura 6** Alterações no fluxo médio de energia no litoral de Santa Catarina, em kW/m, para diferentes cenários (RCP4.5 superior e RCP8.5 inferior) e período de tempo (2016-2035 esquerda, 2046-2065 centro e 2081-2099 direita) referente ao período de referência (1986-2005). As áreas sem sombreamento indicam que mais de 80% dos modelos coincidem no sinal da mudança.

## Apêndice VI



**Figura 7** Exemplo de uma ficha de clima local do nível do mar apresentando resultados das simulações de dinâmica globais, utilizando a metodologia proposta por Salgen (2014), para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, a partir das condições de contorno e iniciais fornecidas pelo 21 GCMs dentro do CMIP5. Fonte: CEPAL, 2015.

## Apêndice VII

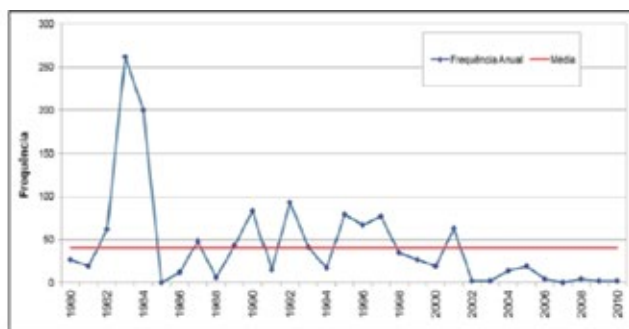


Figura 5.1 – Frequência anual de inundações graduais ocorridas (1980 – 2010).  
Fonte: elaborado com base no Banco de Dados de Desastres Naturais do GEDN.

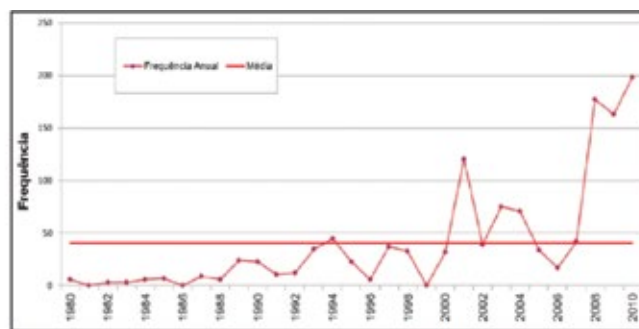


Figura 6.1 – Frequência anual de inundações bruscas (1980 – 2010).  
Fonte: elaborado com base no Banco de Dados de Desastres Naturais do GEDN.

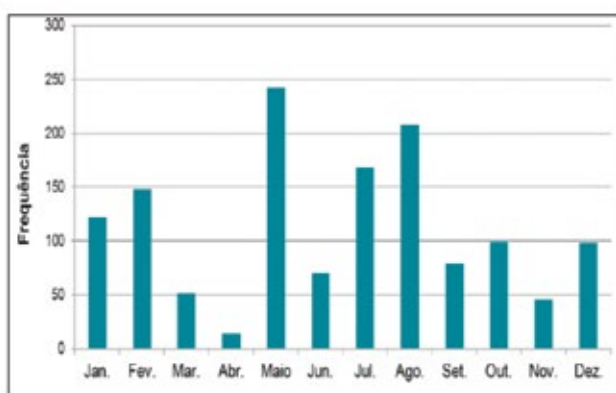


Figura 5.2 – Frequência mensal de inundações graduais (1980 – 2010).  
Fonte: elaborado com base no Banco de Dados de Desastres Naturais do GEDN.

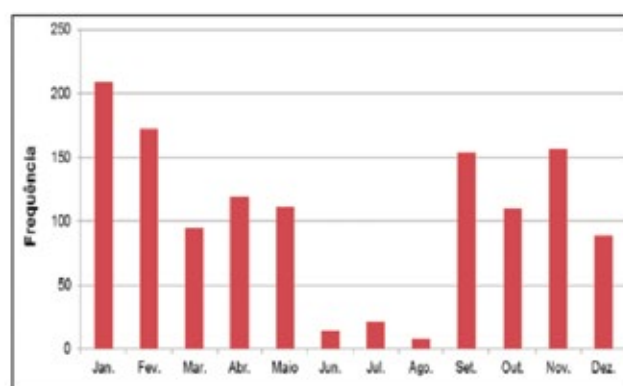


Figura 6.2 – Frequência mensal de inundações bruscas (1980 – 2010).  
Fonte: elaborado com base no Banco de Dados de Desastres Naturais do GEDN.

**Figura 8** Frequência anual de inundações fluviais graduais (a) e bruscas (b). Frequência mensal de inundações fluviais graduais (c) e bruscas (d). Fonte: Marcelino et al. (2014 a, b).

## Apêndice VIII

## Estudos de caso no Vale de Itajaí:

## a) Inundação gradual 1983/84

Em 5 de julho de 1983 iniciaram as chuvas torrenciais no Vale do Itajaí. No dia 09 de julho, o Rio Itajaí-Açu atingiu o seu nível máximo de 15,34m. A inundação na cidade de Blumenau perdurou por 32 dias, deixando a cidade isolada e os moradores ilhados em suas casas. 197.790 pessoas ficaram desabrigadas e 49 morreram nos 135 municípios atingidos pelas chuvas. Sendo Itajaí, Rio do Sul e Blumenau as cidades mais atingidas. É de suma importância destacar que, meses antes, o estado já passava por chuva acima da média. Em junho de 83, os volumes chegaram a ficar entre 50 e 100mm acima do normal. Em maio, foram 100mm a mais que o padrão. Em julho de 83 em SC, superou os 600mm em uma semana (Reprodução/Cptec/Inpe). O padrão de precipitação acima da média em pleno inverno de 1983 foi consequência da atuação do fenômeno El Niño. A figura 9 apresenta um infográfico mostrando as cidades mais atingidas e os números da inundação fluvial.

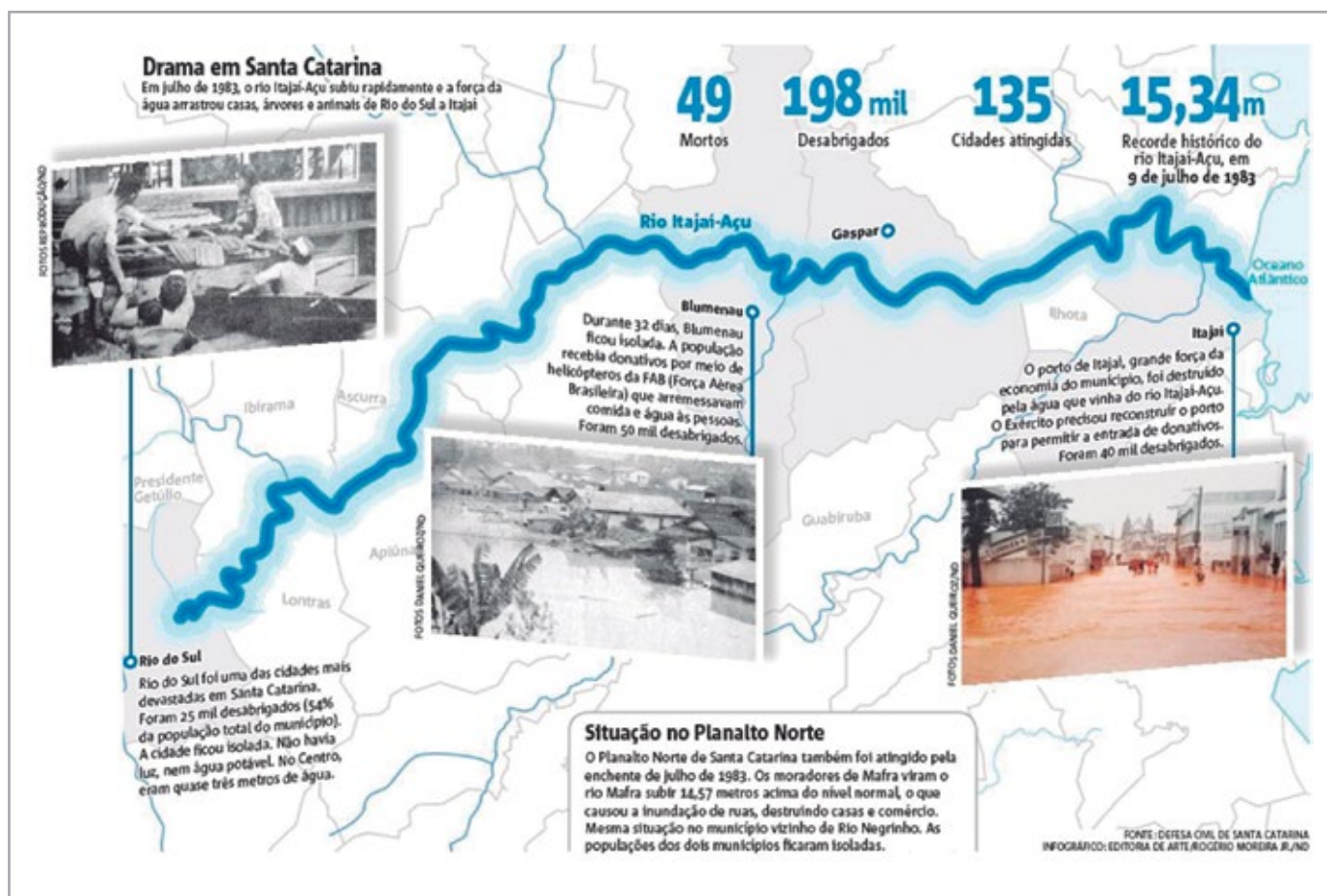
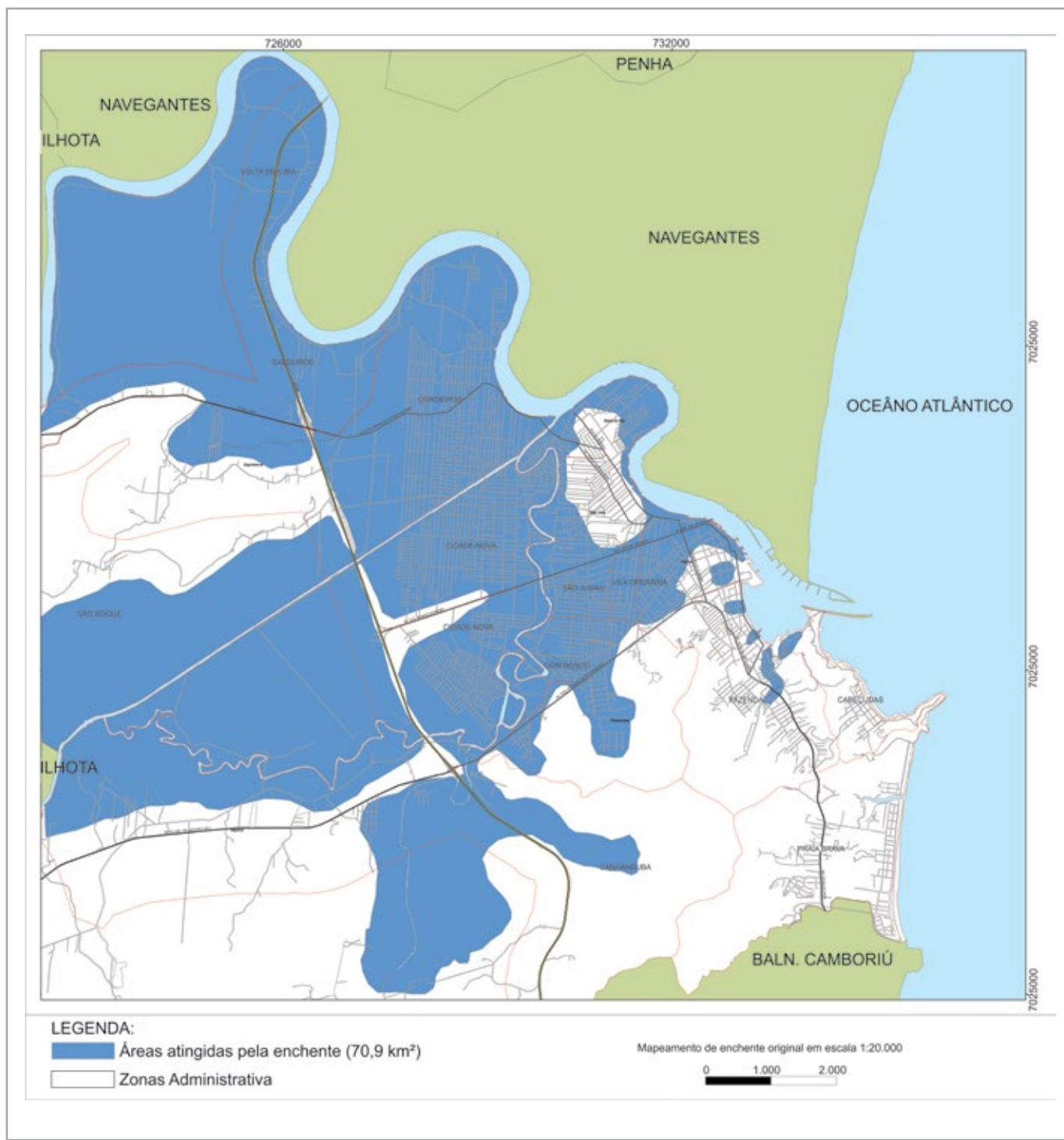


Figura 9 Infográfico reproduzindo a enchente de 1983 e seus números. Fonte: Notícias do Dia (em 7 de julho de 2013).

O porto de Itajaí foi severamente afetado pela enchente de 1983. Parte do cais foi destruída pela força da água (chegou a 22km/h) que vinha do Rio Itajaí-Açu. Na época, toda a estrutura teve que ser reconstruída pelo Exército. Ao total, cerca de 40 mil pessoas ficaram desabrigadas, o que representa 42,3% da população da cidade na época. A figura seguinte apresenta o mapa de inundação para cidade de Itajaí em 1983, quando cerca de um quarto da área total do município ficou inundado.

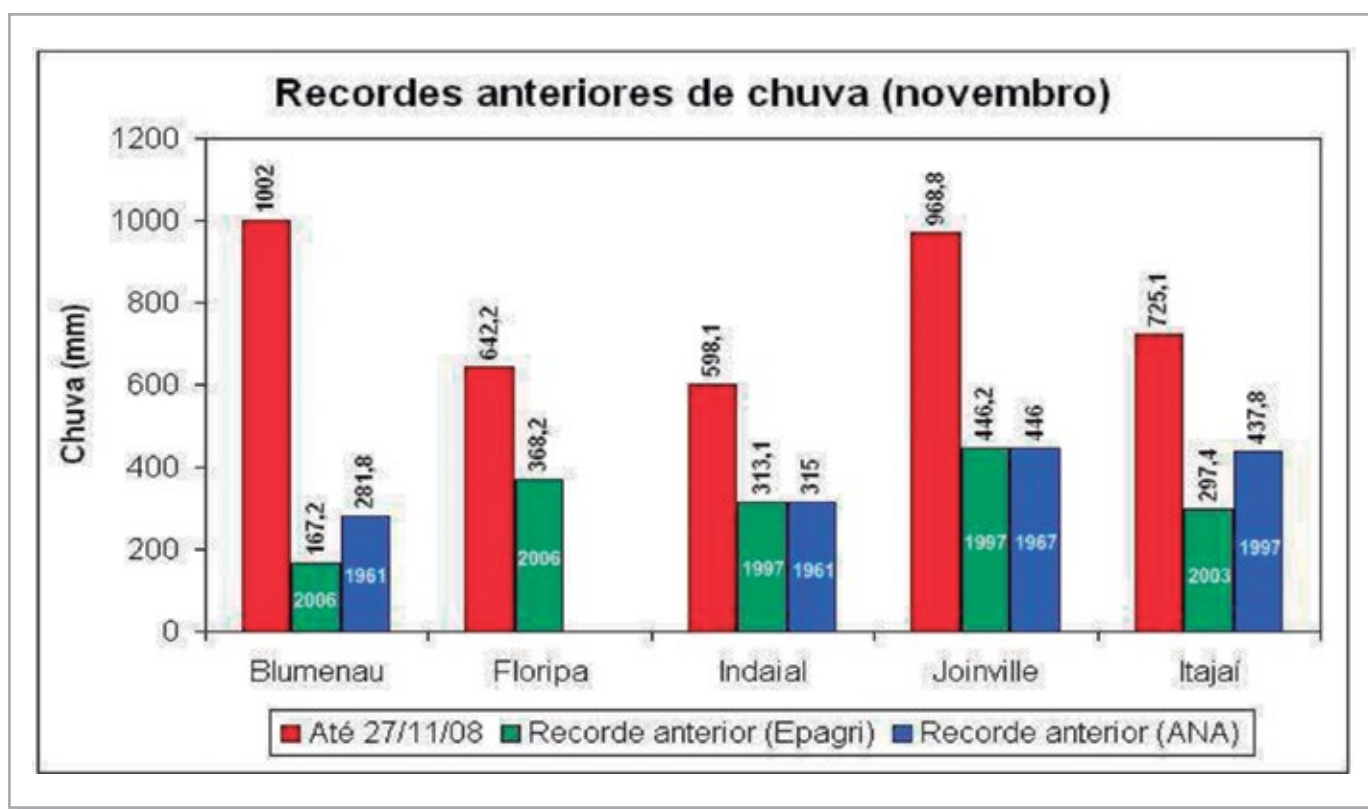


**Figura 10** Mapa de inundação da enchente de 1983 em Itajaí. Fonte: Defesa Civil de Itajaí.

## Apêndice VIII

**b) Inundação brusca de novembro de 2008**

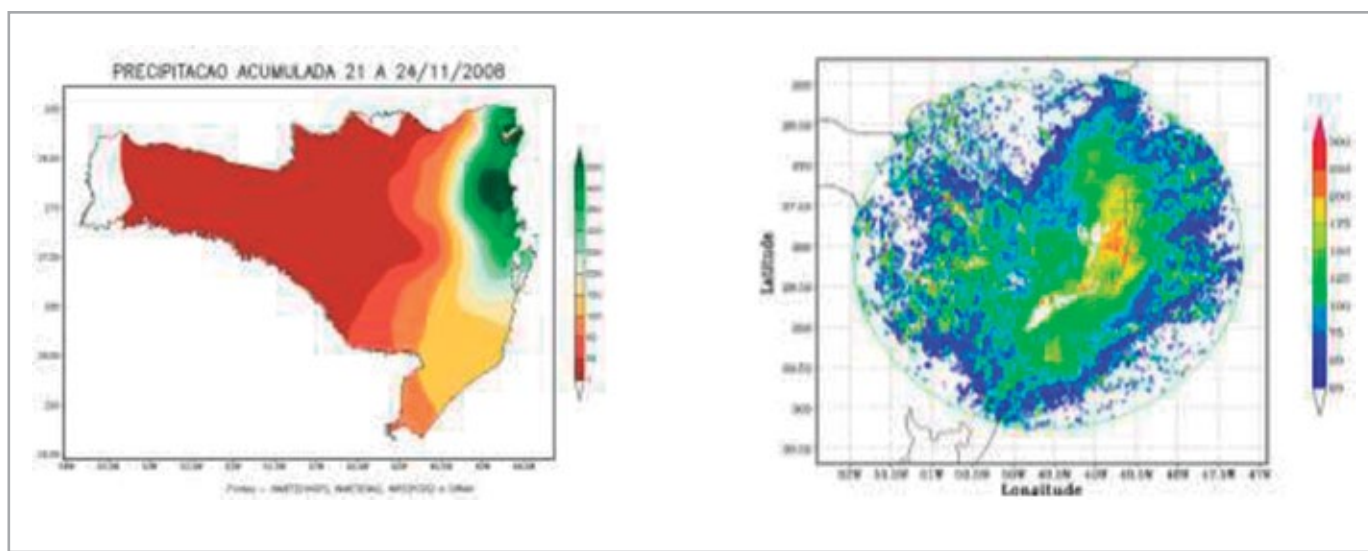
Após 25 anos da inundação de 1983/84, o Vale do Itajaí foi novamente castigado com fortes chuvas em novembro de 2008, que resultaram em 63 cidades em situação de emergência, 14 em estado de calamidade pública, 135 vítimas fatais e 1,5 milhão de pessoas atingidas, segundo dados da Defesa Civil/SC. Não há registros na história de uma precipitação tão grande nas regiões do Vale do Itajaí e Litoral Norte para o mês de novembro quanto a que ocorreu em 2008, como mostra a figura 11. A cidade de Blumenau apresentou precipitação mensal total em torno de 1002mm, e Itajaí em torno de 725,1mm, sendo a média para este mês de 150mm.



**Figura 11** Recorde de precipitação para o mês de novembro em alguma das cidades atingidas pela enchente de 2008.

Fonte: EPAGRI e ANA - Agência Nacional de Águas.

O acumulado das precipitações, observado através de dados da rede pluviométrica (dados do INMET, CIRAM e INPE) para o período entre 21 e 24 de novembro, onde se pode observar uma alta precipitação sobre a região do Vale do Itajaí, com precipitação acumulada atingindo 600mm. Também se apresenta o acumulado da precipitação (mm) no nível de 3km para o mesmo período obtido pelo radar meteorológico do Morro da Igreja. É possível observar com maior detalhe a distribuição espacial do campo de precipitação concentrada próximo a costa da Região do Vale do Itajaí. Dados de distribuição espacial das precipitações diárias no Estado de Santa Catarina, mostraram que as cidades que apresentaram os maiores totais foram aquelas localizadas próximo ao litoral Norte, principalmente no Vale do Itajaí. Nos dias 21 e 22, a precipitação acumulada alcançou o valor de 100mm, no dia seguinte 150mm e nos dias 22 e 23 os registros mostram a ocorrência de até 300mm no Vale do Itajaí; no dia 24 a intensidade decresceu, mas chegou a acumular 150mm.



**Figura 12** (a) Precipitação acumulada observada por estações de superfície (dados do INMET, CIRAM e INPE) e (b) pelo radar (DECEA, Morro da Igreja).

As causas da elevada precipitação, do ponto de vista meteorológico, se devem a combinação de sistemas de diferentes escalas espaciais e temporais. Os meses de setembro a dezembro foram caracterizados pela presença de fortes anomalias de pressão atmosférica de sinal alternado. Tais fenômenos foram observados em escala global. As causas da ocorrência destas anomalias se devem, principalmente, ao fenômeno La Niña. Ainda segundo os autores, áreas de pressão atmosférica acima do normal são também denominados de “anticiclone de bloqueio”, ou seja, áreas de alta pressão muito intensas e estáveis, que perduram por vários dias, bloqueando o deslocamento de sistemas meteorológicos como as frentes frias, que são responsáveis pelas variações das condições de tempo. Devido ao bloqueio atmosférico, não há variações nas condições do tempo, o qual persiste até que o sistema se desfaça.

## Apêndice VIII

O bloqueio atmosférico tornou-se especialmente intenso a partir do dia 19 de novembro. Nesta semana, o centro do anticiclone se localizou próximo dos 40º de latitude, determinando o aumento dos ventos de leste que atingiram de forma praticamente perpendicular à costa catarinense, incrementando a intensidade das chuvas orográficas. Neste mesmo dia, a situação meteorológica se agravou com a combinação com um sistema de baixa pressão nos altos níveis da atmosfera, conhecido como vórtice ciclônico de altos níveis, provocando os altos índices de precipitação. Aliada às altas precipitações entre os dias 20 e 24 de novembro, a alta saturação do solo, devido às constantes chuvas dos meses de setembro, outubro e início de novembro, contribuiu para que ocorressem diversos desmoronamentos generalizados, os quais foram responsáveis pela maioria dos óbitos.

Em Itajaí, o rio Itajaí-Açu chegou a subir 11 metros no período de 23-24 novembro. Este rio transbordou as barragens de contenção e, em poucas horas, elevou-se 12 metros acima de seu nível normal. A figura 13 apresenta o mapa das áreas inundadas na cidade Itajaí, assim como os pontos de deslizamento de encostas.

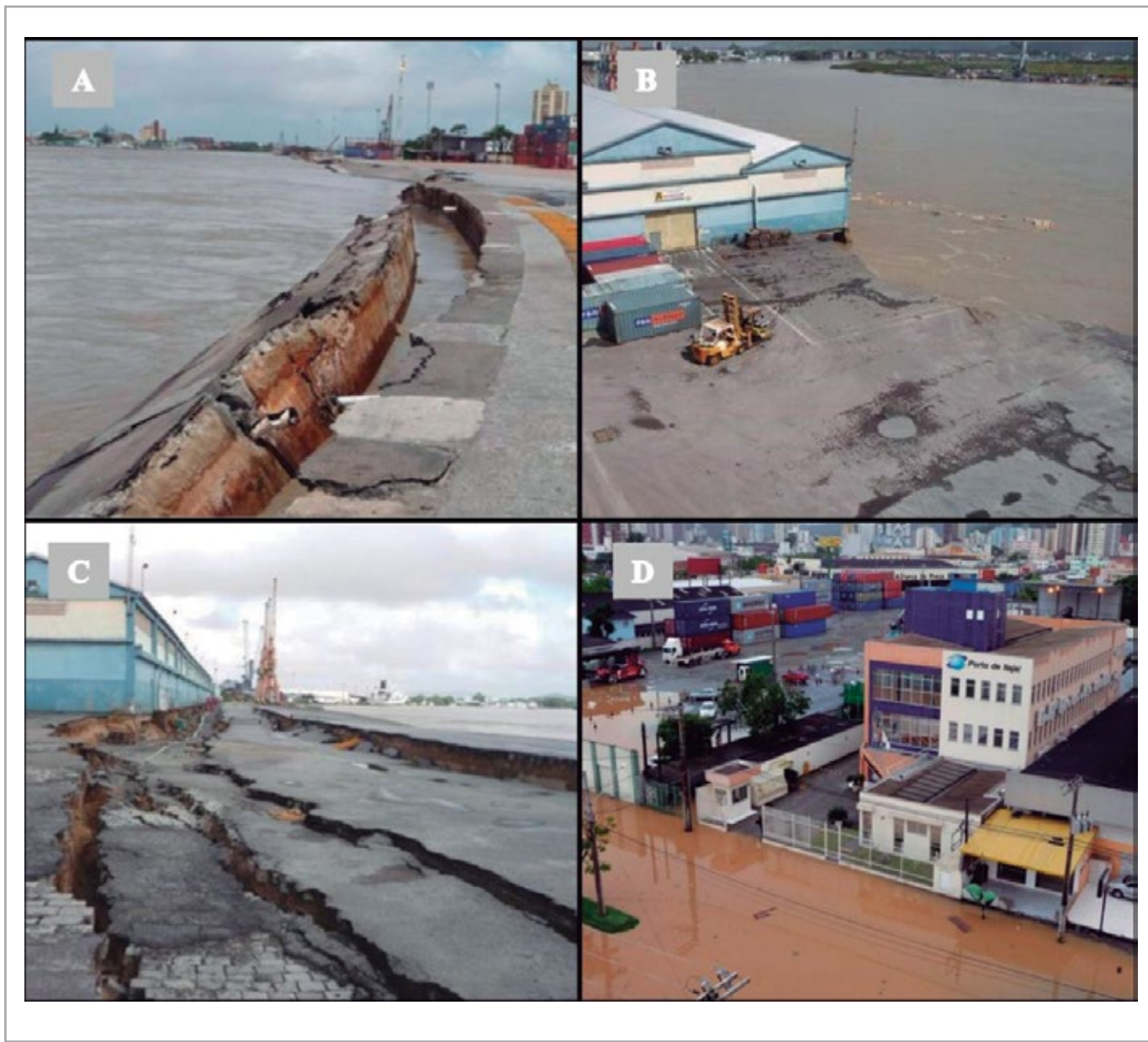




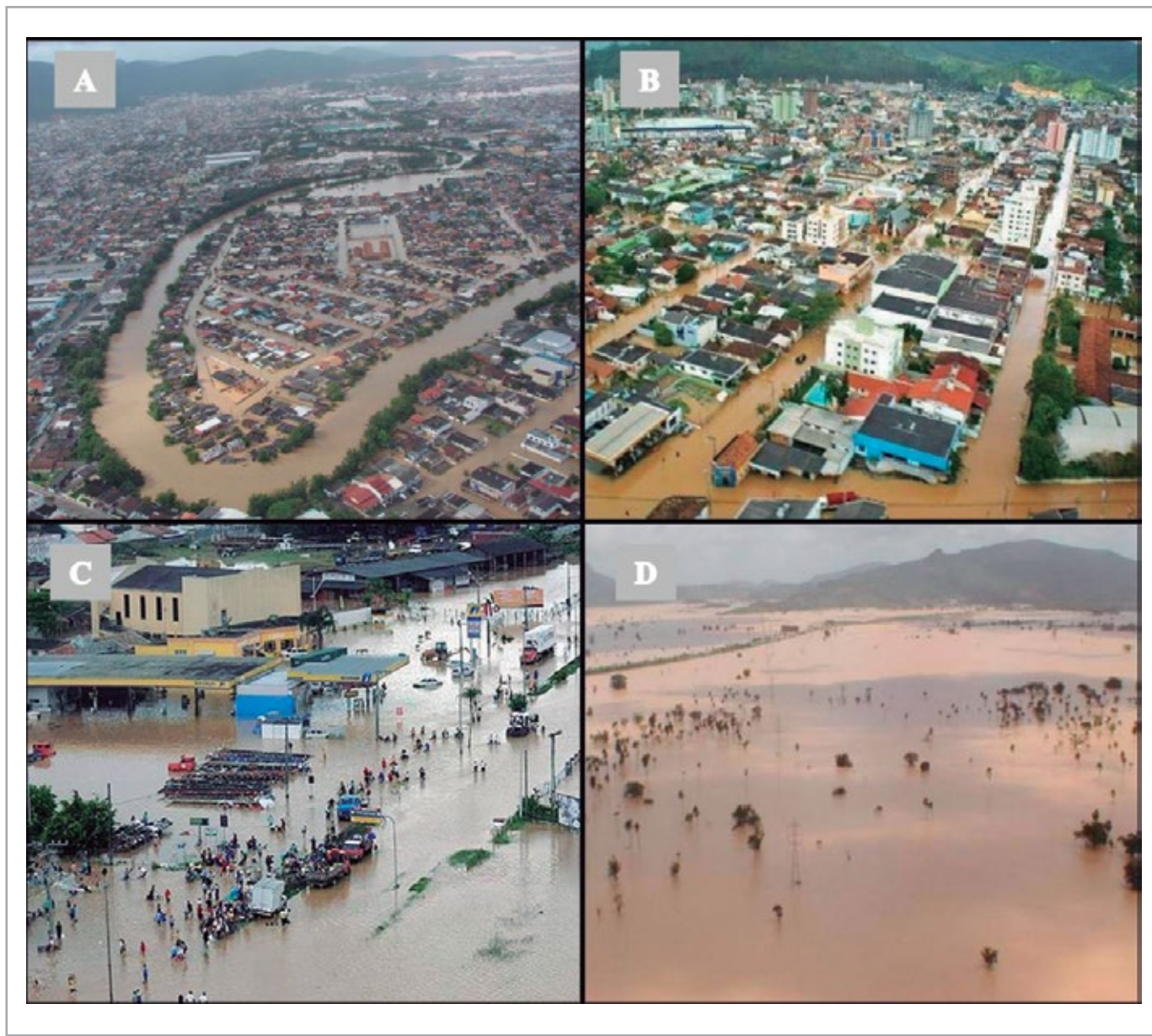
**Figura 13** Mapa das áreas alagadas na enchente de novembro de 2008. Fonte: Defesa Civil de Itajaí.

Mais da metade das cidades litorâneas do estado de Santa Catarina foram atingidas, de Florianópolis a Joinville, pelos estragos causados pelas chuvas. No entanto, os maiores prejuízos financeiros foram contabilizados na cidade de Itajaí, onde o porto municipal teve seus berços de atracação arrancados pela força da enxurrada (figura 14) e depositados no leito do Rio Itajaí-Açu, que necessitou ser desassoreado. O mesmo só pôde ser reaberto em regime de emergência, quando apenas navios do tipo “feeder” de menor calado podem adentrar ao porto, no dia 7 de dezembro. De acordo com a superintendência do Porto de Itajaí, a perda para a economia nacional é de cerca US\$35 milhões por dia de inatividade do porto. Os prejuízos com a enchente, estimados pelo município, chegaram a R\$700 milhões, aproximadamente 80% do município ficou submersa e, em consequência disso, foram interrompidos os abastecimentos de água, energia elétrica, serviços de telecomunicações e transportes.

## Apêndice VIII



**Figura 14** Berços de atracação do Porto de Itajaí são arrancados pela forte correnteza decorrente das fortes chuvas. D – Frente do Porto de Itajaí inundado. Fotos: Divulgação Porto de Itajaí.



**Figura 15** Aproximadamente 80% do Município de Itajaí ficou inundado após as fortes chuvas de novembro de 2008. Fotos: A, B e C - Defesa Civil de Santa Catarina. D - James Tavares/Folha de São Paulo.

Na região do Morro do Baú, na cidade de Ilhota, ocorreram os piores deslizamentos de terra. Na madrugada do dia 23 de novembro de 2008, 3 grandes deslizamentos de terra no Complexo do Baú destruíram casas, empresas, estradas, pontes e prédios públicos. A região ficou isolada. Trinta e duas pessoas morreram e um corpo não foi encontrado. Além das chuvas fortes que encharcaram o solo, contribuíram para o deslizamento a ocupação inadequada de trechos do complexo, com plantação de pinus e bananeiras, e ainda a explosão na tubulação do gasoduto que corta a região, provocada pela movimentação da terra.

## Apêndice VIII



**Figura 16** Deslizamentos de terra em locais de plantação de bananeira. B e C – Casas soterradas pela lama no complexo do Morro do Baú. D – Soldados procuram por vítimas nos destroços de uma casa. Fotos: Defesa civil de Santa Catarina.

### c) Inundação gradual de 2011

Após 3 anos da inundação de 2008, o Vale do Itajaí mais uma vez se viu diante de mais uma catástrofe. O alto volume de chuva, em apenas 72 horas, superou a média esperada para todo mês. Segundo o Centro de previsão de tempo e estudos climáticos (Cptec), em 5 dias choveu 202 milímetros no Estado. O montante chega a 75% acima da média mensal do mês de setembro. Em Itajaí, cerca de 80% (96km<sup>2</sup>) da zona rural e 30% (15km<sup>2</sup>) da zona urbana do município ficaram inundados.

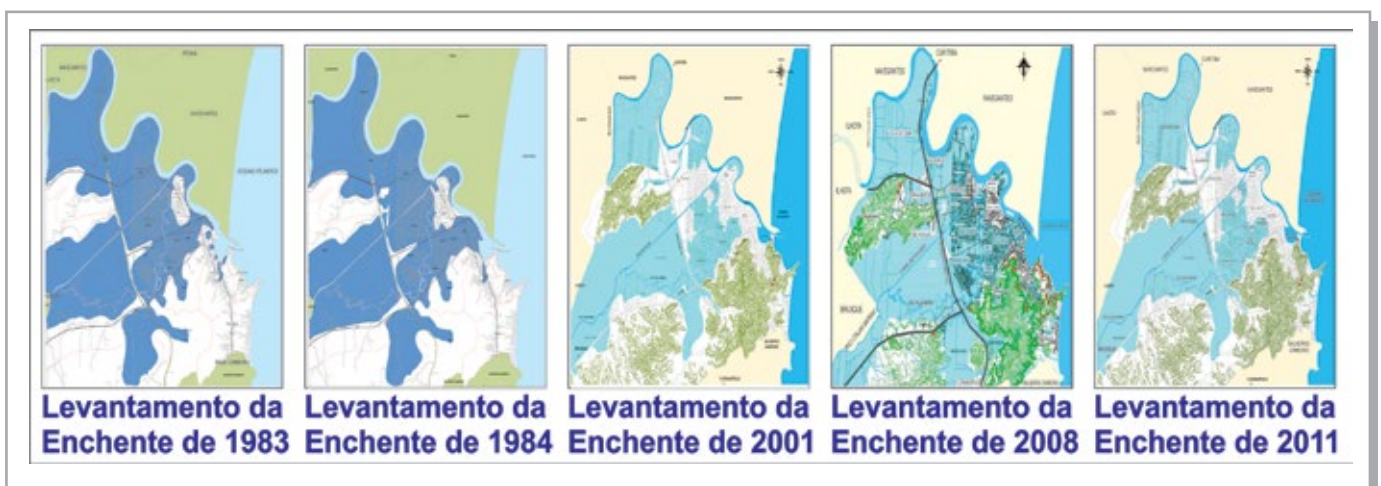


**Figura 17** Mapa da enchente de 2011 na cidade de Itajaí. Fonte: Defesa Civil de Itajaí.

## Apêndice VIII



**Figura 18** Cidade de Itajaí registrou alagamentos em diversas ruas, ao total 80 da zona rural e 30 da zona urbana do município ficaram inundadas. Fotos: A e B – Diarinho Online/Divulgação. C e D – Divulgação/internet.



**Figura 19** Mapas das áreas que foram alagadas durante as enchentes de 1983, 1984, 2001, 2008 e 2011. Fonte: Defesa Civil de Itajaí.

# Agradecimentos

A publicação deste relatório contou com o apoio do Ministério do Meio Ambiente, com recursos oriundos de Emenda Parlamentar proposta pelo então Deputado Alfredo Sirkis, atualmente Secretário Executivo do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas e foi parcialmente financiada com recursos do projeto FAPESP-2012/51876-0 - Belmont Forum-G8 *Initiative Collaborative Research: METROPOLE: An Integrated Framework to Analyze Local Decision Making and Adaptive Capacity to Large-Scale Environmental Change.*





Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-285-0344-9



9 788528 503449