

# **DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DAS PRINCIPAIS INFORMAÇÕES SOBRE PROJEÇÕES CLIMÁTICAS E SOCIOECONÔMICAS, IMPACTOS E VULNERABILIDADES DISPONÍVEIS EM TRABALHOS E PROJETOS DOS ATORES MAPEADOS**

**DEZEMBRO, 2013**

O presente documento é parte integrante do Produto 2 - Versão 1: Mapeamento do Estado da Arte no Tópico de Adaptação no Brasil, conforme previsto no Plano de Ação (Produto 1) do Contrato Administrativo Nº 001 /2012, Processo Nº 02000.001975/2011-41 do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

## **ESTUDO**

Diagnóstico preliminar das principais informações sobre projeções climáticas e socioeconômicas, impactos e vulnerabilidades disponíveis em trabalhos e projetos dos atores

## **APOIO**

Ministério do Meio Ambiente (MMA)

## **PROJETO**

Desenvolvimento de uma base de fatos para a componente adaptação do Plano Nacional sobre Mudança do Clima

## **ORGANIZAÇÃO RESPONSÁVEL**

Fundação Getulio Vargas (FGV)

Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces) da

Escola de Administração de Empresas de São Paulo (EAESP)

## **COORDENAÇÃO GERAL DO ESTUDO**

Mario Monzoni

## **COORDENAÇÃO EXECUTIVA DO ESTUDO**

Guarany Osório

## **COORDENAÇÃO TÉCNICA DO ESTUDO**

Alexandre Gross

## **EQUIPE GVces**

Edna Ferreira Peres

Fernanda Casagrande Rocha

Guilherme Borba Lefèvre

Inaiê Takaes Santos

Rodrigo A. Carneiro

Susian Martins

## **AGRADECIMENTO**

Agradecemos à equipe da Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente especialmente a Karen Silverwood-Cope, Nelcilândia P. de Oliveira, Daniel Couto Silva, Mariana Egler e Pedro Christ pelas relevantes contribuições durante a elaboração deste estudo.

# SUMÁRIO

<b>Introdução</b> .....	<b>12</b>
<b>1 Vulnerabilidade: diversidade de conceitos</b> .....	<b>14</b>
<b>2 Cenários Climáticos – Modelagem Climática</b> .....	<b>18</b>
2.1 <i>Incertezas das Mudanças Climáticas</i> .....	20
2.2 <i>Principais Modelos Climáticos e Projetos em Andamento com Modelagem Climática</i> .....	21
2.2.1 Brazilian Earth System Model – BESM.....	22
2.2.2 Modelos Componentes do Brazilian Earth System Model – BESM .....	23
2.2.3 HadGEM2-ES/INPE.....	25
2.2.4 Eta for Climate Change Simulations – Eta CCS.....	25
2.2.5 PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies).....	26
2.2.6 BRAMS (Brazilian developments on Regional Atmospheric Modeling System). .....	26
2.2.7 PIRATA - Brasil .....	27
2.3 <i>Principais Resultados Sobre Cenários Climáticos no Brasil</i> .....	28
2.3.1 Principais indicações do Sumário do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5) .....	33
2.4 <i>Principais Atores Envolvidos com Cenários Climáticos e Modelagem Climática</i> .....	35
2.5 <i>Lacunas identificadas</i> .....	35
<b>3 Cenários Socioeconômicos</b> .....	<b>37</b>
<b>4 Resultados de Avaliações de impactos, vulnerabilidades (indicadores e medidas de adaptação) por temas</b> .....	<b>41</b>
4.1 <i>Agropecuária</i> .....	41
4.1.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificadas .....	41
4.1.2 Principais indicadores identificados .....	49
4.1.3 Medidas de adaptação identificadas .....	50
4.1.4 Principais atores, projetos e modelos .....	54
4.1.5 Lacunas identificadas.....	56
4.1.6 Agricultura Familiar e Desenvolvimento Regional – sistemas socioecológicos.....	58
4.1.7 Sistematização das informações para o setor Agropecuário .....	59
4.2 <i>Água</i> .....	65
4.2.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados.....	65
4.2.2 Principais Indicadores Identificados .....	71
4.2.3 Medidas de Adaptação Identificadas .....	72
4.2.4 Principais Atores, Projetos e Modelos.....	74
4.2.5 Lacunas Identificadas.....	77
4.2.6 Sistematização das informações do tema Água .....	78
4.3 <i>Energia</i> .....	81
4.3.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados.....	81
4.3.2 Principais indicadores identificados .....	88
4.3.3 Medidas de adaptação identificadas .....	89
4.3.4 Principais atores, projetos e modelos .....	90
4.3.5 Lacunas identificadas.....	92
4.3.6 Sistematização das informações para setor Energia .....	93
4.4 <i>Biodiversidade</i> .....	96
4.4.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados.....	96
4.4.2 Principais indicadores identificados .....	101

4.4.3	Medidas de adaptação identificadas .....	102
4.4.4	Principais Atores, Projetos e Modelos.....	103
4.4.5	Lacunas identificadas.....	105
4.4.6	Sistematização das informações para o tema Biodiversidade .....	106
4.5	<i>Cidades</i> .....	109
4.5.1	Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados.....	109
4.5.2	Principais indicadores identificados .....	116
4.5.3	Medidas de adaptação identificadas .....	118
4.5.4	Principais atores, projetos e modelos .....	121
4.5.5	Lacunas identificadas.....	122
4.5.6	Sistematização das informações para o tema Cidades.....	123
4.6	<i>Desastres Naturais</i> .....	127
4.6.1	Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados.....	127
4.6.2	Principais indicadores identificados .....	135
4.6.3	Medidas de adaptação identificadas .....	137
4.6.4	Principais atores e projetos .....	139
4.6.5	Lacunas identificadas.....	139
4.6.6	Sistematização das informações para o tema Desastres Naturais .....	141
4.7	<i>Indústria</i> .....	144
4.7.1	Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados.....	145
4.7.2	Principais indicadores identificados .....	148
4.7.3	Medidas de adaptação identificadas .....	148
4.7.4	Principais atores, projetos e modelos .....	149
4.7.5	Lacunas identificadas.....	150
4.7.6	Sistematização das informações para o setor Indústria .....	150
4.8	<i>Saúde</i> .....	153
4.8.1	Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados.....	155
4.8.2	Principais indicadores identificados .....	160
4.8.3	Medida de adaptação identificada .....	165
4.8.4	Principais atores, projetos e modelos .....	166
4.8.5	Lacunas identificadas.....	167
4.8.6	Sistematização das informações para o tema Saúde .....	168
4.9	<i>Transportes</i> .....	172
4.9.1	Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados.....	173
4.9.2	Principais indicadores identificados .....	176
4.9.3	Principais atores e projetos .....	178
4.9.4	Lacunas identificadas.....	178
4.9.5	Sistematização das informações para o setor de Transportes .....	179
4.10	<i>Zonas Costeiras</i> .....	182
4.10.1	Descrição dos Principais Impactos e Vulnerabilidades Identificados.....	182
4.10.2	Principais indicadores identificados.....	192
4.10.3	Medidas de adaptação identificadas .....	193
4.10.4	Principais atores e projetos.....	194
4.10.5	Lacunas identificadas .....	196
4.10.6	Sistematização das informações para o tema Zonas Costeiras.....	197
<b>5</b>	<b>Bibliografia</b> .....	<b>200</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.3.1 - Projeções Climáticas indicadas por Região (até 2040, 2041-2070, 2071-2100), pelo RAN 1 do PBMC .....	31
Tabela 4.1.1 - Redução prevista na área de cultivo de baixo risco para 2020, 2050 e 2070 e as consequentes perdas econômicas em 2050 .....	43
Tabela 4.1.2 - Comparação do impacto das mudanças climáticas nas áreas de baixo risco climático para a produção agrícola entre os trabalhos de Assad e Pinto (2008) e Assad et al (no prelo) .....	43
Tabela 4.1.3 - Percentual de mudança na área de baixo risco climático devido às mudanças climáticas (em %), em diferentes cenários de emissão de CO <sub>2</sub> eq. do IPCC .....	44
Tabela 4.1.4 - Terra destinada às pastagens, referente ao ano base 2009, e sua evolução para os anos 2020 e 2030 nos diferentes cenários .....	48
Tabela 4.1.5 - Terra destinada à lavoura (1000 ha) .....	48
Tabela 4.1.6 - Produção de carne bovina (mil toneladas) .....	48
Tabela 4.1.7- Classificação dos Desastres Naturais adotada pela COBRADE. ....	61
Tabela 4.2.1 - Demanda Hídrica Média Anual para o Abastecimento Urbano no Brasil (anos: 2005, 2015 e 2050).....	66
Tabela 4.2.2 - Disponibilidade Hídrica Superficial por Região Hidrográfica .....	66
Tabela 4.2.3 - Porcentagem dos excedentes hídricos gerados por modelos climáticos em oito bacias hidrográficas, para os cenários B2 e A2 do IPCC .....	70
Tabela 4.3.1 - Resumo dos Impactos das Mudanças Climáticas nos Sistemas Energéticos. ....	83
Tabela 4.3.2 - Impactos das Mudanças Climáticas projetadas até 2100 pelos Cenários A2-BR e B2-BR ...	84
Tabela 4.3.3 - Impactos da Temperatura e da Umidade no Sistema de Termelétricas a Gás Natural (GN) Projetado para 2030, Cenário A2 (SCHAEFFER et al., 2008).....	87
Tabela 4.4.1 - Classificação da vegetação segundo Dorman e Setters (1989) .....	104
Tabela 4.5.1 Taxa de urbanização do Brasil e regiões – 1940 – 2010 (IBGE) .....	109
Tabela 4.6.1 - Distribuição Regional dos Desastres Naturais no Brasil em 2012.....	132
Tabela 4.7.1 - exemplos de impactos das mudanças climáticas na agroindústria .....	146
Tabela 4.8.1 - Risco Relativo (RR) de internações hospitalares por doenças respiratórias (asma e bronquite) a partir da variação de Temperatura do ar. IC <sub>95%</sub> (+0,99 a -0,99) .....	156
Tabela 4.9.1 - Ranking em infraestrutura dos BRICS .....	172
Tabela 4.10.1 - Principais cidades com patrimônios ameaçados pelas mudanças climáticas.....	183
Tabela 4.10.2 - Estações maregráficas em operação no Brasil.....	195

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1.1 - Exemplos de Lacunas Conceituais Frequentes .....	15
Quadro 2.1.2 - Exemplos da diversidade de pesquisas em vulnerabilidade .....	15
Quadro 2.2.1 - Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global .....	23
Quadro 2.5.1 - Modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) .....	39
Quadro 4.1.1 - Horizontes temporais .....	42
Quadro 4.1.2 - Impactos econômicos .....	42
Quadro 4.1.3 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema agropecuária .....	49
Quadro 4.1.4 - Indicadores dos impactos das mudanças climáticas para o setor agropecuário .....	50
Quadro 4.1.5 - Indicadores relacionados a medidas de adaptação para o setor agropecuário .....	50
Quadro 4.1.6 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o setor Agropecuário .....	62
Quadro 4.2.1 - Horizontes Espaciais e Temporais .....	67
Quadro 4.2.2 - Impacto Socioeconômico .....	70
Quadro 4.2.3 - Principais Informações Compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o Tema Recursos Hídricos .....	71
Quadro 4.2.4 - Indicadores dos impactos das mudanças climáticas para o setor de recursos hídricos .....	71
Quadro 4.2.5 - Indicadores Relacionados a Medidas de Adaptação para o Setor de Recursos Hídricos .....	72
Quadro 4.2.6 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o tema Água .....	78
Quadro 4.3.1 - Horizontes Temporais Utilizados .....	82
Quadro 4.3.2 - Vulnerabilidade do Sistema Hidroelétrico às Mudanças Climáticas .....	84
Quadro 4.3.3 - Variações na Energia Firme Produzida nas Maiores Bacias Hidrográficas Brasileiras .....	85
Quadro 4.3.4 - Impactos na Demanda de Energia .....	87
Quadro 4.3.5 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema Energia .....	87
Quadro 4.3.6 - Indicadores relacionados aos impactos das mudanças climáticas e vulnerabilidades para o setor energético .....	88
Quadro 4.3.7 - Indicadores relacionados a medidas de adaptação para o setor energético .....	89
Quadro 4.3.8 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o setor Energia .....	93
Quadro 4.4.1 - Horizontes Temporais Utilizados .....	97
Quadro 4.4.2 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema biodiversidade .....	100
Quadro 4.4.3 - Indicadores dos impactos das mudanças climáticas para a biodiversidade .....	101
Quadro 4.4.4 - Indicadores relacionados a medidas de adaptação para a biodiversidade .....	101
Quadro 4.4.5 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o tema Biodiversidade .....	106
Quadro 4.5.1 - Horizontes temporais utilizados .....	110
Quadro 4.5.2 - Clima e Poluição nos centros urbanos .....	110
Quadro 4.5.3 - Vulnerabilidades nas Regiões Metropolitanas do Brasil .....	111
Quadro 4.5.4 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema áreas urbanas .....	116
Quadro 4.5.5 - Indicadores utilizados para a composição do IVSE .....	117
Quadro 4.5.6 - Indicadores de impactos as mudanças climáticas nas cidades. ....	117
Quadro 4.5.7 - Indicadores de medidas de adaptação às mudanças climáticas nas cidades .....	118
Quadro 4.5.8 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o tema Cidades .....	123
Quadro 4.6.1 - Como o Governo Federal Define Desastre? .....	127
Quadro 4.6.2 - Horizontes Temporais Utilizados .....	128
Quadro 4.6.3 - Desastres Naturais e as Mudanças Climáticas .....	128
Quadro 4.6.4 - Pessoas Afetadas por Desastres Naturais .....	130
Quadro 4.6.5 - Principais Desastres Naturais e Vulnerabilidades .....	131
Quadro 4.6.6 - Perdas Econômicas dos Desastres Naturais .....	131
Quadro 4.6.7 - Seca e Estiagem no Nordeste .....	134
Quadro 4.6.8 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema desastres naturais .....	135
Quadro 4.6.9 - Indicadores para Avaliar os Impactos dos Desastres Naturais .....	136
Quadro 4.6.10 - Indicadores Relacionados a Medidas de Adaptação aos Desastres Naturais .....	137
Quadro 4.6.11 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o tema Desastres Naturais .....	141
Quadro 4.7.1 - Exemplo de impactos que podem afetar direta ou indiretamente o setor industrial brasileiro (processo migratório no nordeste: cenários A2 e B2 do IPCC) .....	146

Quadro 4.7.2 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema indústria .....	148
Quadro 4.7.3 - Indicadores relacionados aos impactos das mudanças climáticas e vulnerabilidades para a indústria.....	148
Quadro 4.7.4 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o setor Indústria .....	151
Quadro 4.8.1 - Mudanças climáticas e poluição atmosférica.....	154
Quadro 4.8.2 - Horizontes temporais utilizados.....	155
Quadro 4.8.3 - Vulnerabilidades do Nordeste .....	160
Quadro 4.8.4 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema saúde .....	160
Quadro 4.8.5 - Indicadores de Água .....	161
Quadro 4.8.6 - Indicadores de ar .....	162
Quadro 4.8.7 - Indicadores de Vetores .....	163
Quadro 4.8.8 - Indicadores de Eventos Extremos: atingidos .....	163
Quadro 4.8.9 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o setor Saúde.....	168
Quadro 4.9.1 - Horizontes temporais utilizados.....	173
Quadro 4.9.2 - Vulnerabilidades e riscos identificados no RAN 1 do PBMC para o setor de transporte .	175
Quadro 4.9.3 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema transportes.....	176
Quadro 4.9.4 - Indicadores de impactos das mudanças climáticas para o setor de transportes.....	176
Quadro 4.9.5 - Indicadores de medidas de adaptação às mudanças climáticas para o setor de transportes .....	176
Quadro 4.9.6 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o setor Transportes ....	179
Quadro 4.10.1 - Horizontes temporais utilizados.....	182
Quadro 4.10.2 - Principais conclusões inerentes à elevação do nível dos oceanos (IPCC, 2007) .....	192
Quadro 4.10.3 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema zonas costeiras .	192
Quadro 4.10.4 – Indicadores dos impactos das mudanças climáticas nas Zonas Costeiras.....	193
Quadro 4.10.5 - Indicadores de vulnerabilidades nas Zonas Costeiras .....	193
Quadro 4.10.6 - Possíveis ações para combater às mudanças climáticas nas zonas costeiras segundo o IPCC .....	194
Quadro 4.10.7 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o tema Zonas Costeiras .....	197

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Sistema Climático Global .....	19
Figura 2.2 - Modelos componentes do BESM e suas interações .....	24
Figura 2.3 - Mapa de uso da terra do BRAMS para a análise dos resultados da simulação do modelo .....	27
Figura 2.4 - Posição das boias usadas no projeto Pirata .....	28
Figura 2.5 - Projeções climáticas para o Brasil até 2100 divulgadas no RAN 1 do PBMC .....	32
Figura 2.6 - Mudança observada na temperatura da superfície – período 1901 – 2012 .....	35
Figura 3.1 - Modelagem dos impactos das MCG sobre a economia brasileira (FEA, 2010) .....	40
Figura 4.1 - Exemplo de áreas de baixo e alto risco para plantação de milho no Brasil, considerando os primeiros dez dias de janeiro como o período da semeadura, com base em um cenário pessimista. ....	55
Figura 4.2 - Previsão de disponibilidade Hídrica (m <sup>3</sup> /seg.) nas principais bacias hidrográficas do Nordeste .....	69
Figura 4.3 - Vazões médias mensais projetadas na Bacia do Rio Madeira, estação Fazenda Vista Alegre, utilizando projeções climáticas de diferentes modelos atmosféricos.....	75
Figura 4.4 - Vazões máximas, para diferentes tempos de retorno, projetadas na Bacia do Rio Madeira, estação Fazenda Vista Alegre, utilizando projeções climáticas de diferentes modelos atmosféricos. ....	76
Figura 4.5 - Variações na energia firme produzida nas maiores bacias hidrográficas brasileiras de acordo com diferentes cenários de emissão .....	85
Figura 4.6 - Áreas mais suscetíveis às alterações do clima no Brasil .....	112
Figura 4.7 - Modelo conceitual do projeto de vulnerabilidade para os municípios do Estado do Rio de Janeiro .....	122
Figura 4.8 - Aumento de Registro de Ocorrências de Desastres Naturais no Brasil entre as Décadas de 1990 e 2000 .....	129
Figura 4.9 - Mortos por Tipo de Desastre .....	130
Figura 4.10 - Pessoas afetadas por tipo de desastre .....	130
Figura 4.11 - PIB da economia brasileira em 2012 .....	144
Figura 4.12 - Impactos das mudanças climáticas sobre a indústria .....	147
Figura 4.13 - Possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre as condições de saúde .....	154
Figura 4.14 - Vulnerabilidade da Costa Norte Brasileira .....	185
Figura 4.15 - Vulnerabilidade da Costa Nordeste Brasileira. Estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte .....	186
Figura 4.16 - Vulnerabilidade da Costa Nordeste Brasileira. estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe.....	186
Figura 4.17 - Vulnerabilidade da Costa Nordeste Brasileira no estado da Bahia .....	187
Figura 4.18 - Região metropolitana de Salvador. Altos índices de vulnerabilidade associados a um cenário de alto risco tecnológico .....	187
Figura 4.19 - Região Sudeste, estado do Espírito Santo .....	188
Figura 4.20 - Região Sudeste, estado do Rio de Janeiro .....	189
Figura 4.21 - Região Sul, estado de Santa Catarina .....	189
Figura 4.22 - Mapa de distribuição de setores de acordo com a vulnerabilidade social, segundo o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS) .....	190
Figura 4.23 - Mapa de distribuição de vulnerabilidade socioambiental (Índice de Vulnerabilidade Socioambiental - IVSA) .....	191



## LISTA DE SIGLAS

ANA = Agência Nacional de Águas  
APPs = Áreas de Proteção Permanente  
ASA = Articulação Semiárido Brasileiro  
ANTAQ = Agência Nacional de Transportes Aquaviários  
ATER = Assistência Técnica e Extensão Rural  
AVAI = Afecções das Vias Aéreas Inferiores  
AVAS = Afecções das Vias Aérea Superiores  
BESM = *Brazilian Earth System Model*  
BLUM = Modelo de uso da terra para Agricultura brasileira  
BPAs = Boas Práticas Agrícolas  
BRAMS = *Brazilian developments on Regional Atmospheric Modeling System*  
CCATT-BRAMS = *Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*  
CCST = Centro de Ciência do Sistema Terrestre  
CDC = Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação  
CDS/UNB = Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília  
CEDEPLAR = Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional de Minas Gerais  
CEMADEN = Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais  
CENAD = Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres  
CEPED/UFSC = Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina  
CEPRAGI = Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura  
CERESAN = Centro de Referência em Segurança Alimentar e Nutricional  
CGEE = Centro de Gestão e Estudos Estratégicos  
CHM = Centro de Hidrografia da Marinha  
CMCG = Cenários com Mudanças Climáticas Globais  
CMIP5 = *Coupled Model Intercomparison Project*  
CNRH = Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
CNT = Confederação Nacional dos Transportes  
COEP = Comitê de Entidades no Combate à Fome e pela Vida  
CONABIO = Comissão Nacional de Biodiversidade  
COPPE = Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia  
CPTEC/INPE = Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos  
DATASUS = Banco de Dados do Sistemas Único de Saúde  
DNAEE/ANEEL = Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica  
EFES = *Economic Forecasting Equilibrium System*  
EGC = Equilíbrio Geral Computável  
EGD = Equilíbrio Geral Dinâmico  
EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EMCB = Estudo das Mudanças do Clima no Brasil  
EPAGRI/CIRAM = Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina  
FAPESC = Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina  
FAPESP = Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo  
FBDS = Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável  
FBMC = Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas  
FEA = Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo  
FIOCRUZ = Fundação Oswaldo Cruz  
FIPE = Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas  
FNMA = Fundo Nacional de Meio Ambiente  
F-SUS = Força Nacional do Sistema Único de Saúde  
FUNCEME = Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos  
FUNDURB = Fundo de Desenvolvimento Urbano

FURB = Universidade de Blumenau  
GBIF = Sistema Global de Informação sobre a Biodiversidade  
GCMs = Modelos Climáticos Globais  
GEE = Gases de Efeito Estufa  
Gex = Grupo de Trabalho Executivo  
GFDL = *Geophysical Fluid Dynamical Laboratory*  
GIS = *Geographic Information System*  
GN = Gás Natural  
GOOS = Sistema Global de Observação dos Oceanos  
GT = Grupo de Trabalho  
GTS = *Global Transit System*  
HadGEM2 = *Hadley Centre's Global Environmental Model version two*  
HAND = *Height Above the Nearest Drainage*  
IB = Índice de Breteau  
IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICB = Indicador de Conservação da Biodiversidade  
ICV = Indicador de Cobertura Vegetal  
IDH = Índice de Desenvolvimento Humano  
IGV = Índice Geral de Vulnerabilidade  
ILP = Integração Lavoura Pecuária  
INCT-MC = Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas  
INPE = Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
InVCF = Índice de Vulnerabilidade associado ao Capital Financeiro  
InVCFN = Índice de Vulnerabilidade associado ao Capital Físico  
InVCH = Índice de Vulnerabilidade associado ao Capital Humano  
InVCS = Índice de Vulnerabilidade associado ao Capital Social  
IO/USP = Instituto Oceanográfico da USP  
IPA = Índice Parasitário Anual  
IPCC = Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas  
IPTU = Imposto Predial Territorial Urbano  
IPVS = Índice Paulista de Vulnerabilidade Social  
IVC = Índice de Vulnerabilidade de Custo do Sistema Único de Saúde  
IVD = Índice de Vulnerabilidade à Desertificação  
IVED = Índice de Vulnerabilidade Econômico-Demográfico  
IVG = Índice de Vulnerabilidade Geral  
IVS = Índice de Vulnerabilidade de Saúde  
IVSE = Índice de Vulnerabilidade Socioecológica  
JBRJ = Jardim Botânico do Rio de Janeiro  
LABOMAR/UFC = Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará  
LASH = *Lavras Simulation of Hydrology*  
LDM = *Local Data Manager*  
MAPA = Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
MC= Mudanças Climáticas  
MCG = Mudanças Climáticas Globais  
MCRs = Modelos Climáticos Regionais  
MCT = Ministério da Ciência e Tecnologia  
MCTI= Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação  
MDT = Modelos Digitais de Terreno  
MDZCM = Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha  
MGB-INPE = Modelo Hidrológico de Grandes Bacias  
MMA = Ministério do Meio Ambiente  
MPEG = Museu Paraense Emílio Goeldi  
MRV = Monitoramento, Reporte e Verificação  
NCN = Núcleos de Condensação  
NDVI = *Normalised Difference Vegetation Index* – (Índice de estado da vegetação)

NSERL/USDA = *National Soil Erosion Research Laboratory*  
NUDECS = Núcleos Comunitários de Defesa Civil  
ONG's = Organizações não Governamentais  
ONU = Organização das Nações Unidas  
OSCIP = Organização da Sociedade Civil de Interesse Público  
P1MC = Programa Um Milhão de Cisternas  
PAC = Programa de Aceleração do Crescimento  
PAN- BRASIL = Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca  
PBMC = Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas  
PCM = Planos de Contingência dos Municípios  
PDE = Plano Diretor Estratégico Municipal  
PDE 2021 = Plano Decenal de Expansão de Energia 2021  
PFFPMCG = Programa de Pesquisas sobre Mudança Climática Global  
PIB = Produto Interno Bruto  
PIRATA = *Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*  
PLC = População por Unidade de Comprimento de Linha de Costa  
PM = Material Particulado  
PMV = Modelo de vegetação potencial  
PNBOIA = Programa Nacional de Boias  
PNE 2030 = Plano Nacional de Energia 2030  
PNGC = Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro  
PNH = Política Nacional de Habitação  
PNMC = Política Nacional sobre Mudanças do Clima  
PNPB = Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel  
PNQA = Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas  
PNUMA = Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente  
PPA = Plano Plurianual  
PRECIS = *Providing Regional Climates for Impact Studies*  
PROBIO = Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira  
Procel = Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica  
PRONABIO = Programa Nacional da Diversidade Biológica  
PRONAF = Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar  
PSMC = Plano Setorial da Saúde de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima  
PSRM = Plano Setorial para Recursos do Mar 2012-2015  
RAMS = *Regional Atmospheric Modeling System*  
RAN1 = Relatório de Avaliação Nacional  
RENAMAS = Rede Nacional de Monitoramento das Águas Subterrâneas  
RMRJ = Região Metropolitana do Rio de Janeiro  
RMSP = Região Metropolitana de São Paulo  
RR = Risco Relativo  
SAE = Secretaria de Assuntos Estratégicos  
SAIC = Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental  
SAMU = Serviço de Atendimento Móvel de Urgência  
SAN = Secretaria de Articulação Nacional  
SCenAgri = Simulador de Cenários Agrícolas  
SCVI = Índice Misto para Medir a Vulnerabilidade Socioclimática de uma Região  
SDS = Secretaria de Desenvolvimento Sustentável  
SDP = Sistema Desempenho Portuário  
SECIRM = Comissão Interministerial para os Recursos do Mar  
SEDEC = Secretaria Nacional de Defesa Civil  
SEDR = Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural e Sustentável  
SINPEDEC = Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil  
SIS = sistemas de informação de saúde  
SMCG = Sem Mudanças Climáticas Globais  
SNPU/MCid = Secretaria Nacional de Programas Urbanos do Ministério das Cidades

SPU/MPOG = Secretaria do Patrimônio da União  
SRHU = Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, do Ministério do Meio Ambiente  
SRHU/MMA = Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano do Ministério do Meio Ambiente  
SST = Temperatura da Superfície do Mar  
STDS = Secretaria do Trabalho e Desenvolvimento Social  
SUDENE = Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste  
SUS = Sistema Único de Saúde  
SWAT = *Soil and Water Assessment Tool*  
TSM = Temperatura da Superfície do Mar  
UC's = Unidades de Conservação  
UDESC = Universidade do Estado de Santa Catarina  
UFMG = Universidade Federal de Minas Gerais  
UFSC = Universidade Federal de Santa Catarina  
UMIP = Unidade Mista de Pesquisa  
UNFCCC = *United Nations Framework Convention on Climate Change*  
UNICAMP = Universidade Estadual de Campinas  
UNIPLAC = Universidade do Planalto Catarinense  
UNISUL = Universidade do Sul de Santa Catarina  
UNIVALI = Universidade do Vale do Itajaí  
UNIVILLE = Universidade da Região de Joinville  
WWDR4 = *The fourth edition of the World Water Development Report*  
WWF = *World Wide Fund for Nature*  
ZCAS = Zona de Convergência do Atlântico Sul  
ZCIT = Zona de Convergência Intertropical  
ZEE = Zoneamento Ecológico-Econômico

## INTRODUÇÃO

A grande constatação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), em seu quinto relatório que começou a ser lançado em setembro de 2013 pelas Nações Unidas, é de que o homem, com 95% de certeza, tem responsabilidade sobre o aquecimento global, que é natural, mas está se acelerando por ação antrópica. As análises do relatório apontam que desde 1850 (início da era industrial) o aquecimento foi de, aproximadamente, 0,9°C, sendo que mais de 66% desse aquecimento aconteceu nos últimos 60 anos. Na prática, esse aumento de quase 1°C provoca sérios impactos diretos em diversos setores como biodiversidade, agricultura, recursos hídricos e zonas costeiras; e impactos indiretos em outros como cidades, energia, indústria e infraestrutura, transportes e saúde.

Sob a perspectiva de contribuir para a agenda de adaptação no País, em especial a elaboração do Plano Nacional de Adaptação, o principal objetivo deste documento foi diagnosticar, compilar e sistematizar as principais informações disponíveis em trabalhos dos principais atores no tema adaptação às mudanças do clima no Brasil. Este documento é parte de um mapeamento maior que engloba uma análise de planos governamentais utilizando os mesmos recortes temáticos/setoriais sob a ótica da adaptação à mudança do clima. Assim, esses levantamentos contribuirão para uma melhor compreensão das informações geradas no país visando apoiar o planejamento de governo no tema Adaptação.

A partir do mapeamento dos atores foram identificados e sistematizados os principais trabalhos e iniciativas dos mesmos<sup>1</sup>. Os trabalhos englobaram, principalmente, artigos acadêmicos, teses, projetos ou iniciativas e relatórios. Também foram utilizadas informações de sites institucionais desses atores. Assim, a base de dados para a elaboração deste relatório incluiu pesquisas acadêmicas e aplicadas, iniciativas de implementação e proposição de medidas adaptativas, entre outros.

O presente documento procurou retratar as principais informações disponíveis em diferentes setores da economia do País, seguindo os recortes temáticos e setoriais propostos pelo Grupo de Trabalho Adaptação<sup>2</sup> em junho de 2013, sendo eles: Agropecuária e Segurança Alimentar, Água, Biodiversidade, Cidades, Desastres Naturais, Energia, Indústria, Saúde, Transportes e Zonas Costeiras. Além disso, também foram apresentadas informações acerca de projeções climáticas e socioeconômicas no País e uma breve seção inicial referente às abordagens sobre vulnerabilidade, apontando aos tomadores de decisões a importância de reconhecer a sua diversidade.

Em cada tópico (tema/setor) avaliado procurou-se abordar as seguintes questões: impactos e vulnerabilidades; principais indicadores; medidas de adaptação em curso e em fase de elaboração e implementação; principais atores, projetos e iniciativas envolvidos com o setor avaliado; lacunas para adaptação do setor frente às mudanças climáticas; e por fim uma sistematização das informações levantadas sobre vulnerabilidades, impactos e medidas de adaptação por recorte temático/setorial.

---

<sup>1</sup> O Produto 2.0.0a “Mapeamento de atores e trabalhos relevantes para o processo de adaptação às mudanças climáticas” já foi entregue sistematizado em uma ferramenta Excel.

<sup>2</sup> Grupo de Trabalho Executivo (Gex) propôs a criação de um Grupo de Trabalho para tratar do tema adaptação. Esse GT possui co-coordenação do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Fazem parte do GT todos os órgãos com representação no GEx e órgãos convidados que trabalham com a agenda de adaptação à mudança do clima no Governo Federal.

A complexidade do tópico adaptação é representada por uma diversidade de elementos: impactos e vulnerabilidades; temas e inter-relações dos setores impactados; a extensão do território brasileiro e suas inúmeras instituições de pesquisa existentes; e a abrangência mais localizada de algumas informações geradas. A existência de lacunas para integração do conhecimento gerado no país traz maior dificuldade para a coleta de informações nessa temática. Devido a esses obstáculos, nesse primeiro momento, o presente trabalho pode ter desconsiderado informações de igual importância no tema.

Diante disso, ressalta-se que este documento contém um resumo dos trabalhos mapeados constituindo uma proposta inicial de compilação e disponibilização das informações de maneira sistemática. É importante que esses esforços persistam ao longo do tempo, buscando a sua complementação, atualização e aperfeiçoamento constantes. Recomenda-se que esse processo de aprofundamento das informações deve ser realizado conjuntamente com os especialistas/responsáveis dos atores mapeados<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup>No final desse documento encontra-se a lista completa dos trabalhos utilizados.

## 1 VULNERABILIDADE: DIVERSIDADE DE CONCEITOS

A evolução da temática da adaptação às mudanças climáticas e sua complexidade implicam a importância de se estabelecer uma série de conceitos, a fim de facilitar as sinergias entre as diversas áreas envolvidas, especialmente para os formuladores de políticas públicas e tomadores de decisão. Um dos mais discutidos e abrangentes é o termo *vulnerabilidade*, que pode envolver discussões a respeito de outros conceitos como os de riscos e exposição.

Esta seção não busca apresentar de modo exaustivo os diferentes conceitos de vulnerabilidade, dentro e fora da temática da adaptação, ou apontar algum como mais completo ou adequado. Pretende-se pontuar a evolução desse debate, explicitar a diversidade conceitual existente em torno das análises de vulnerabilidade e, finalmente, evidenciar a importância de reconhecer essa diversidade, principalmente na arena das políticas públicas, evitando incompreensões.

### Importância para políticas públicas

Füssel e Klein (2006) apresentam a importância de se considerar a vulnerabilidade no processo de elaboração de políticas para as mudanças climáticas, designando três grandes contextos:

1. Especificação de metas de longo prazo para mitigação das mudanças climáticas, considerado como *avaliação de impactos*.
2. Identificação de regiões ou grupos particularmente vulneráveis a fim de priorizar a alocação de recursos para pesquisas e adaptação, visto como o processo de *avaliação de vulnerabilidades*.
3. Recomendação de medidas de adaptação para regiões e setores específicos, tratando diretamente das *políticas de adaptação*.

Esses três contextos de decisão têm diferentes necessidades de informação em termos de escalas espaciais e temporais, da consideração de fatores de estresse não climáticos e do tratamento de incertezas.

### Vulnerabilidade com e sem Mudanças Climáticas

O debate em torno de vulnerabilidades não é novo. A literatura descreve seus conceitos sob diversos aspectos e contextos, tendo destaque, inicialmente, em pesquisas relacionadas à geografia e a riscos naturais. Sua importância e abrangência provocaram uma grande evolução nos estudos ligados à vulnerabilidade, adotando-se diferentes abordagens em ciências como gestão de desastres, saúde pública, desenvolvimento humano, segurança das populações e finalmente mudanças climáticas.

### Diversidade conceitual

Vulnerabilidade descreve um conceito central na pesquisa sobre mudanças climáticas, bem como nas comunidades de pesquisa de outras disciplinas correlatas. Cada uma dessas comunidades tem desenvolvido seus próprios modelos conceituais que, muitas vezes, buscam resolver problemas e processos semelhantes usando linguagens diferentes. A existência de diferentes conceituações e terminologias de vulnerabilidade tornou-se particularmente problemática nas pesquisas sobre mudanças climáticas globais, que reúnem pesquisadores de todas as comunidades acima mencionadas. Apesar de várias tentativas para esclarecer as

disparidades conceituais em torno de "vulnerabilidade", ainda persistem lacunas. (FÜSSEL, 2005)

#### Quadro 2.1.1 - Exemplos de Lacunas Conceituais Frequentes

Ambiguidades conceituais e semânticas importantes incluem as seguintes perguntas:

- Se a vulnerabilidade é o ponto de partida, um elemento intermediário, ou o resultado de uma avaliação;
- Se deve ser definida em relação a um estressor externo, como a mudança climática, ou em relação a um resultado indesejável, como a fome;
- Se é uma propriedade inerente de um sistema ou depende de um cenário específico de tensões externas e das respostas internas;
- Se trata-se de um conceito estático ou dinâmico. (KLEIN et al., 2006)

Apesar das aparentes dificuldades, é importante constar que a evolução das ciências do clima evidenciou a extrema relevância da avaliação de vulnerabilidades sob a ótica da adaptação, o que permitiu o aprofundamento de seus conceitos. Destacam-se trabalhos que consolidam diferentes perspectivas e apresentam um arcabouço conceitual que funciona como elemento estruturante das questões de adaptação no âmbito das políticas públicas.

#### Quadro 2.1.2 - Exemplos da diversidade de pesquisas em vulnerabilidade

Somente como exemplo da diversidade do debate, sem aprofundar no tema, publicações centradas na conceituação de "vulnerabilidade" em pesquisas sobre mudanças climáticas incluem: Adger (1999), Kelly and Adger (2000), Olmos (2001), Downing et al. (2001), Moss et al. (2001), Brooks (2003), Downing and Patwardhan (2003), O'Brien et al. (2004a) e Füssel (2005).

Igualmente, publicações que discutem o conceito em geral (não só no contexto das mudanças climáticas) incluem, por exemplo: Timmermann (1981), Liverman (1990), Cutter (1996), Kasperson and Kasperson (2001), UNEP (2002), Ford (2002), Turner et al. (2003), e Prowse (2003).

#### Conceituação no IPCC e PNMC

Neste contexto, ressaltam-se as definições apresentadas, respectivamente, pelo IPCC<sup>4</sup> (HOUGHTON et al., 2001; MCCARTHY et al., 2001) e pela Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), as quais integram a magnitude esperada de efeitos adversos em determinado sistema e fatores externos:

*“Vulnerability: The degree to which a system is susceptible to, or unable to cope with, adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. Vulnerability is a function of the character, magnitude, and rate of climate variation to which a system is exposed, its sensitivity, and its adaptive capacity.”*

**“Vulnerabilidade:** grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema, em função de sua sensibilidade, capacidade de adaptação, e do caráter, magnitude e taxa de mudança e variação do clima a que está exposto, de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, entre os quais a variabilidade climática e os eventos extremos.”

Essas definições servem como base para o alinhamento conceitual do termo em diversas arenas, científicas e políticas. No entanto, com a evolução do debate e principalmente a necessidade de

<sup>4</sup> International Panel on Climate Change



operacionalizar a adaptação através, entre outros, de avaliações de vulnerabilidade, surge a necessidade de mais detalhamentos para caracterizar as vulnerabilidades e suas avaliações.

### **Exemplos da diversidade de conceitos e escolas**

Constata-se, portanto, grande diversidade na literatura quanto às classificações, devendo ser observada a compatibilidade de cada classificação, de acordo com o foco que se pretende dar à avaliação.

Por exemplo, Füssel (2005)<sup>5</sup>, classifica as pesquisas sobre vulnerabilidade em três abordagens: baseadas em risco (*risk-based framework*), análises sociais (*social constructivist framework*) e análises geofísicas (*hazard-of-place framework*).

A primeira está voltada para avaliação de riscos<sup>6</sup> em determinadas unidades de exposição. Nela, diferenciam-se dois fatores determinantes do risco: o perigo, que consiste em um evento adverso de dano potencial, e a vulnerabilidade, que denota a relação entre a severidade do perigo e o grau de exposição ao dano causado. “Sensitividade” e “suscetibilidade” também são termos bastante usuais para designar esta concepção.

A segunda abordagem é aplicada para analisar os indivíduos de maior vulnerabilidade. Assim, demonstra-se que a vulnerabilidade denota a capacidade de resposta dos indivíduos e grupos sociais aos fatores externos. Corroboram essa ideia (DOW, 1992), (BLAIKIE et al., 1994) e (ADGER E KELLY, 1999), que apresentam a habilidade das populações em lidar e se adaptar a riscos e situações externas. Este tipo de abordagem tem raízes na economia política e tem sido amplamente adotada por autores que tratam de conhecimentos relativos à pobreza e desenvolvimento.

A terceira abordagem, por sua vez, observa as ameaças físicas ao sistema, ou seja, sua exposição a elementos externos. Cutter (1993) define vulnerabilidade como a condição a qual um indivíduo está exposto e pode ser adversamente afetado.

As abordagens acima servem para exemplificar a diversidade possível de entendimento em torno das análises de vulnerabilidades e seus elementos. Outras abordagens e suas classificações são possíveis e estão presentes na literatura.

### **Reconhecimento da diversidade**

Os estudos de vulnerabilidade foram desenvolvidos por escolas de pensamento focadas em aspectos distintos, uma vez que são conduzidas por diferentes atores e, portanto, diferentes motivações. Ou seja, a conceituação depende principalmente da situação na qual ela é analisada. A ciência tem evoluído bastante em suas análises e agregado conhecimentos de extrema relevância para as políticas públicas, que precisam atentar para a diversidade de abordagens e trabalhar com cada uma de forma a construir diálogos compatíveis entre as áreas de interesse, em especial para o caso de adaptação às mudanças climáticas.

---

<sup>5</sup> Outros autores propõem outras classificações. O objetivo aqui não é privilegiar a usada por Füssel, mas usá-la como exemplo da diversidade de abordagens.

<sup>6</sup> Bem como o termo “vulnerabilidade”, o conceito de risco pode ser interpretado de diversas formas. Adota-se, neste estudo, a ideia de perdas esperadas, resultado das interações entre os perigos naturais e antropogênicos e as condições vulneráveis (ONU, 2004).

Adger (2005) afirma que “esta diversidade, [...] é um sinal de força e vitalidade, e não uma fraqueza das pesquisas sobre vulnerabilidades”. Adger afirma ainda que, “é indispensável que pesquisadores aceitem a legitimidade de diferentes conceituações de vulnerabilidade ao invés de se envolver em debates estéreis sobre um único ‘melhor’ ou ‘correta’ definição”. Do ponto de vista do formulador de políticas públicas, é importante reconhecer essa diversidade e considerá-la no momento em que demanda análises de vulnerabilidade e as utiliza para fortalecer a tomada de decisão.

É importante salientar que, apesar das limitações da teoria, dados e métodos descritos nas seções acima, sabe-se o suficiente sobre a vulnerabilidade e resiliência na maioria dos casos para fornecer informações robustas para os tomadores de decisão (KASPERSON et al., 2005). Embora o significado exato de vulnerabilidade e, assim, a sua identificação e medição continua a ser um tema de debate, parece haver consenso sobre o que as avaliações de vulnerabilidade devem procurar fazer. Vulnerabilidade é um conceito relativo: a sua geografia cultural, político-econômica e física é essencial para a sua avaliação. As avaliações de vulnerabilidade, portanto, parecem mais bem-sucedidas, ou talvez mais relevantes, quando são realizadas para sistemas homem-ambiente definidos, lugares específicos, e junto às partes interessadas. (EAKIN, 2005).

## 2 CENÁRIOS CLIMÁTICOS – MODELAGEM CLIMÁTICA

As séries temporais climáticas são um produto de interações complexas do sistema climático terrestre, representando um efeito combinado de oscilações naturais do sistema climático intra e interanuais, decenais/interdecenais e até escalas de tempo maiores (por exemplo, milhares a milhões de anos). A separação dessas variações naturais das alterações antropogênicas não é uma tarefa fácil, e talvez nem possível na maioria dos casos, tendo em vista que tais resultados são geralmente baseados em séries temporais de observações feitas durante períodos relativamente curtos, bem inferiores às escalas de tempo paleoclimatológicas<sup>7</sup>. Portanto, é necessário cautela na atribuição das causas das variações observadas. De qualquer maneira, quer sejam variações naturais que venham a ser revertidas após uma ou mais décadas, quer sejam reais tendências causadas por ação humana, tais variações necessitam ser conhecidas para que seja possível planejar a adaptação a elas e enfrentá-las em seus aspectos negativos (PBMC, 2013).

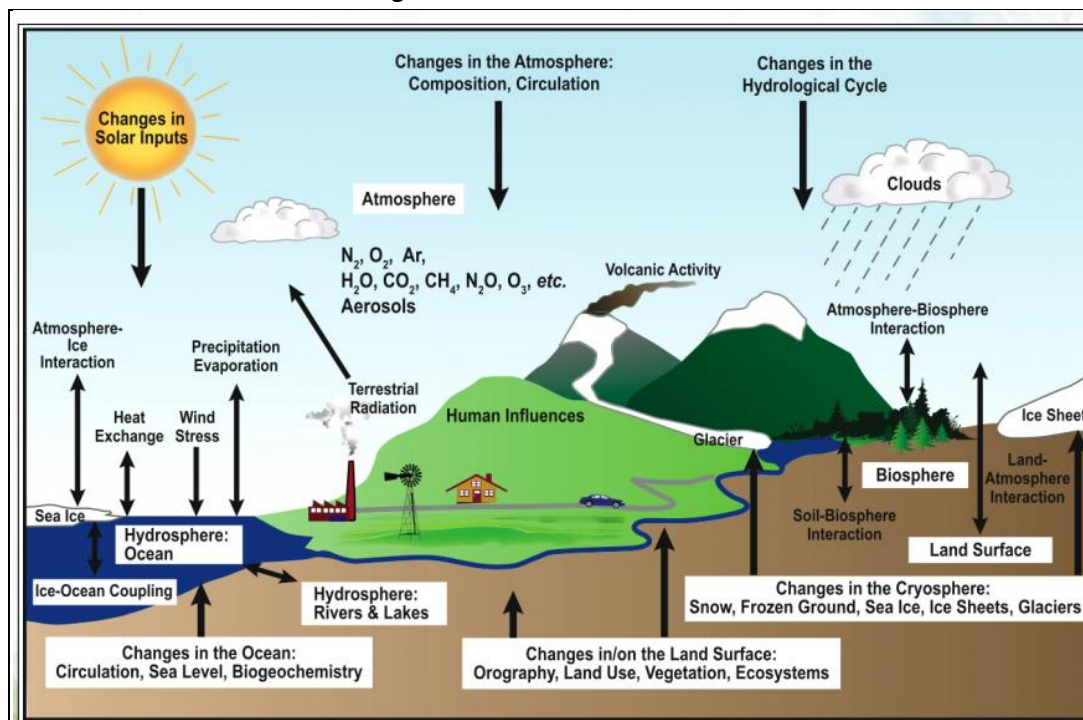
Devido à elevada complexidade do sistema terrestre, em razão de, por exemplo, processos hidrológicos e biogeoquímicos, circulação atmosférica e dos oceanos e ciclos de carbono em ambientes marinhos, só é possível estimar cenários de clima da Terra através da criação de modelos que consistentemente incorporam as interações entre os processos hidro-bio-físico-químicos relevantes do sistema climático global. O objetivo principal dos modelos é delinear os diferentes componentes do sistema climático, como a atmosfera, a biosfera, os oceanos, criosfera, os aerossóis e os processos da superfície da terra.

As interações entre os componentes supracitados ocorrem devido à incidência do fenômeno radiação solar. Essa energia incidente gera uma permanente dinâmica entre a atmosfera e a crosta terrestre, que é sentida por meio do clima. A interação referida por ser observada na figura a seguir, que representa o sistema climático global (Figura 2.1).

---

<sup>7</sup> Paleoclimatologia é o estudo das variações climáticas ao longo da história da Terra. Estimar futuras alterações climáticas e seus efeitos requer uma compreensão de toda a faixa de variabilidade climática da Terra e de como os sistemas interligados gelo, oceano, atmosfera, continentes e biosfera respondem às mudanças climáticas.

Figura 2.1 - Sistema Climático Global



Fonte: PAULO NOBRE, 2013

Os modelos citados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) são modelos climáticos globais (GCMs) que trabalham com uma gama de tipos de modelagem, dentre elas: a modelagem atmosférica, atmosférica acoplada com o oceano, sistemas terrestres, dentre outras. Apresentando resoluções que variam na ordem de centenas de quilômetros (geralmente de 300 km a 400 km) e são utilizados como ferramentas para indicar tendências do clima no futuro.

Para se obter informações sobre as variações climáticas em menor escala (ex: 1 km a 100 km para tempestades, frentes etc.), utilizam-se modelos regionais. Os modelos regionais permitem identificar relacionamentos não lineares entre o clima local e a circulação em grande escala e simulam o clima de forma mais refinada, isto é, muito semelhante aos dados observados empiricamente. Os modelos globais podem indicar, por exemplo, que a temperatura da Amazônia aumentará 5°C em determinado cenário. Mas essa alteração climática não deverá ocorrer de forma homogênea em toda a imensa região amazônica, daí a importância dos modelos regionais.

Com o uso dos modelos climáticos são gerados produtos climáticos com projeções futuras de clima, chamados de cenários climáticos, e passíveis de uso em estudos dos impactos da mudança de clima em diversos setores socioeconômicos (agrícola, energético, saúde, recursos hídricos etc), indicando a vulnerabilidade aos riscos na forma de probabilidade. Os cenários gerados correspondem ao período de 1961-1990 (clima presente) e 2010-2040, 2041-2070 e 2071-2100 (clima futuro). Os produtos gerados pelos modelos geralmente são:

- Mapas com as projeções de cenários de climas futuros para o Brasil (médias sazonais e anuais de temperatura do ar à superfície e precipitação pluviométrica) até 2100 em relação a 1961-1990, para os cenários de emissão do IPCC (por exemplo, para os cenários B2, baixas emissões, e A2, altas emissões de gases de efeito estufa).

- Mapas com as projeções de cenários de climas futuros regionalizadas para as regiões do Brasil (médias sazonais e anuais de temperatura do ar à superfície, precipitação pluviométrica), comparando dados observados com modelos que utilizam somente as forçantes naturais e modelos que utilizam a combinação das forçantes naturais com as antropogênicas.
- Mapas de chuva apresentados como anomalias em %.
- Mapas de temperatura apresentados como anomalias em °C.
- Conjunto de dados na forma de planilhas contendo, principalmente, as coordenadas geográficas, a escala de tempo e o valor da variável analisada como anomalias de temperatura e precipitação.
- Gráficos, principalmente, de anomalias de temperatura e precipitação e concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera ao longo do horizonte temporal considerado.

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é o principal responsável por coordenar a modelagem regional do clima e de cenários da mudança do clima para o futuro, bem como coordenar a relação entre estes resultados e as pesquisas e estudos de vulnerabilidade e adaptação relativos a setores estratégicos que são vulneráveis aos impactos associados à mudança do clima no Brasil.

A partir de 2013, estão disponíveis na internet dados de cenários climáticos futuros produzidos pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do INPE com o objetivo de apoiar as atividades de ensino, pesquisa e outras aplicações em meteorologia, hidrologia, saúde pública, meio ambiente etc. Além dos pesquisadores, técnicos e alunos vinculados ao CCST, Rede CLIMA e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-MC), que já utilizam esses cenários, outros institutos e centros de pesquisa em mudanças globais, que não possuem capacitação técnica e científica para gerar dados de cenários climáticos, poderão acessar o conjunto de dados. Esses cenários estão disponíveis para *download* no seguinte portal "Cenários de Mudanças Climáticas Futuras", do INPE, no endereço <http://dadosclima.ccst.inpe.br/>

## 2.1 INCERTEZAS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As incertezas científicas nas projeções das mudanças do clima são inerentes ao sistema climático, resultado, em primeira instância, das interações não lineares e complexidades intrínsecas próprias aos fenômenos naturais. Múltiplas abordagens envolvendo modelagem e observações são necessárias para minimizar as incertezas, e devem ser empregadas em conjunto. De maneira que, nenhum modelo pode prever com certeza um evento climático futuro. Isso se deve a diversos motivos, que podem ser divididos nas seguintes categorias:

- Incerteza sobre as emissões de GEE: não é possível prever com certeza as mudanças nas emissões de GEE no futuro, já que dependem de vários fatores socioeconômicos, entre eles as mudanças demográficas, a composição das fontes de energia no futuro e o curso do desenvolvimento.

- Concentrações de GEE: O CO<sub>2</sub> não sofre reações químicas na atmosfera o que acarreta em sua longa permanência na mesma. A única maneira do CO<sub>2</sub> ser retirado da atmosfera é pelo seu armazenamento (sequestro) em oceanos e vegetação, considerados sumidouros de carbono. Portanto, a projeção das concentrações futuras de GEE depende das emissões do passado, das projeções para o futuro, assim como da modelagem dos fluxos e sumidouros de carbono e de como eles podem mudar.
- Variabilidade natural do tempo e clima: o sistema atmosférico é desordenado por natureza, o que significa que é muito sensível a mudanças mínimas que podem não ser mensuráveis. A forma como as variações naturais se desenvolvem em um modelo depende muito das condições iniciais empregadas no modelo, que não é possível conhecer perfeitamente.
- Incertezas da modelagem: os conhecimentos e compreensão sobre o sistema climático, assim como a capacidade de modelá-lo, são limitados. Modelos construídos de forma diferente – por exemplo, com diferentes resoluções ou parâmetros de entrada – produzem diferentes magnitudes e padrões de mudanças climáticas. Da mesma forma, fazer modificações na representação dos processos de um único modelo pode criar diferentes cenários climáticos no futuro.

Esses fatores, denominados “incertezas” pela comunidade científica, fazem parte de qualquer projeção de mudança climática. Por isso é importante avaliar os efeitos das incertezas listadas acima sobre a magnitude e/ou os padrões das mudanças climáticas. Uma forma de fazer isso é elaborar ou utilizar conjuntos de simulações de modelos – chamados ensembles – por meio dos quais os efeitos de diferentes fontes de incerteza possam ser analisados.

## 2.2 PRINCIPAIS MODELOS CLIMÁTICOS E PROJETOS EM ANDAMENTO COM MODELAGEM CLIMÁTICA

A seguir serão apresentados os principais modelos climáticos e projetos em andamento no Brasil com modelagem climática que visam à confecção de projeções futuras de clima (cenários climáticos). Os principais resultados das simulações dos modelos climáticos para o país serão apresentados em outro item separado (2.3) uma vez que esses resultados, principalmente de anomalias de temperaturas e precipitação, ocorrência de eventos extremos etc, muitas vezes são oriundos do uso em conjunto desses modelos climáticos, tornando a sua divisão por modelo utilizado uma tarefa impraticável.

Cabe ressaltar que o presente estudo buscou apresentar os modelos climáticos mais utilizados e citados nos trabalhos publicados sobre o tema. Além dos modelos tratados aqui, é sabido que o principal ator no Brasil em modelagem climática, INPE, utiliza outros modelos climáticos globais e regionais em seus projetos, principalmente os modelos climáticos acoplados oceano-atmosfera preparados e utilizados no AR4 e modelos do sistema terrestre, os quais irão fazer parte do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5).

Importante salientar também que os produtos gerados pelos modelos climáticos são públicos e de uso da sociedade em geral, mas devido à sua complexidade é imprescindível que os seus resultados sejam interpretados por especialistas em climatologia capacitados para tal tarefa.

Outro fator a ser considerado quando se trata do uso e disponibilidade dessas simulações climáticas é a escassa equipe capacitada para tal função frente a grande demanda por parte dos diversos atores dos setores da economia (sociedade em geral), o que gera certa dificuldade e demora na obtenção desses cenários quando solicitado ao principal gerador dessas informações no País, o INPE.

### 2.2.1 Brazilian Earth System Model – BESM

O BESM é o primeiro sistema nacional de simulação do clima global e tem como objetivo aumentar o número de informações a respeito dos fenômenos climáticos brasileiros, bem como do continente Sul-Americano, entre eles a variação de temperatura das águas do Atlântico Sul e o desmatamento da Amazônia, do Cerrado e de outros biomas brasileiros, que podem trazer consequências climáticas continentais e até globais. Também visa projetar as mudanças climáticas em escalas global e regional decorrentes de ações antrópicas e naturais.

Esse projeto multi-institucional para o desenvolvimento e aprimoramento do BESM, sob responsabilidade do Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação (MCTI), é coordenado pelo INPE (no âmbito da sub-rede de modelagem climática da Rede Clima) em parceria com cientistas de diversas instituições no Brasil e no exterior. Ele vem sendo conduzido desde 2008 e a sua primeira versão foi publicada em vários artigos científicos entre 2012 e 2013. O desenvolvimento do BESM é um dos objetivos do Governo Federal até 2015, conforme descrito no seu Plano Plurianual (PPA) para o período 2012-2015. O projeto também conta com os recursos de supercomputação de última geração da Rede Clima (supercomputador Tupã 8), o que torna mais acessível o uso de modelos climáticos e seus componentes pela comunidade científica nacional.

Além de colaborar internacionalmente (os resultados gerados pelo BESM serão incorporados no Relatório de Atividades - AR5 - do IPCC), o BESM trará benefícios locais, como o aprimoramento da capacidade de previsão do tempo e da ocorrência de eventos climáticos extremos no Brasil e a formação de uma nova geração de pesquisadores climáticos no país, que será mais capacitado para a produção de ciência de qualidade nessa área.

A versão atual do BESM permite reproduzir vários fenômenos do clima global e regional e prever cenários futuros. O modelo consegue, por exemplo, reconstituir a ocorrência dos últimos El Niños<sup>9</sup> e estimar o retorno desse fenômeno climático. O BESM ainda não fornece cenários tão detalhados como os gerados por outros modelos globais e mesmo por modelos regionais do INPE (como o Eta), que enfoca o clima na América do Sul e serviu de base para boa parte das projeções do primeiro relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC). Sua resolução espacial é de 200 por 200 km (mas com possibilidade de no futuro chegar a 20 por 20 km de resolução), enquanto a do modelo regional do INPE, que por ora roda “dentro” do modelo

---

<sup>8</sup> O supercomputador Tupã é capaz de realizar 258 trilhões de cálculos por segundo. Adquirido com recursos do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), o Tupã está entre os mais poderosos supercomputadores do mundo para previsão de tempo e estudos em mudanças climáticas.

<sup>9</sup> O El Niño é o aquecimento anormal das águas superficiais do Pacífico Equatorial, uma alteração oceânica e atmosférica que afeta o regime de chuvas em boa parte do planeta. No Brasil tende a provocar secas na Amazônia e no Nordeste e intensificar a pluviosidade no Sul. Simulações feitas com o BESM mostraram que o hipotético desmatamento total da Amazônia aumentaria a intensidade dos El Niños e reduziria a precipitação anual sobre a região Norte em até 40%.

global do Centro Hadley do Reino Unido, é usualmente de 40 por 40 km, podendo chegar a 5 por 5 km.

#### **Quadro 2.2.1 - Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global**

A primeira versão do Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global (BESM), versão oceano-atmosfera foi completada, fruto do trabalho colaborativo entre o CCST e o CPTEC, com 2500+ anos de integrações já realizadas no supercomputador Tupã do INPE, financiado pela Rede CLIMA e PPFMCG (Programa de Pesquisas sobre Mudança Climática Global) da FAPESP. As referidas integrações do modelo fazem parte de investigação das mudanças climáticas globais em escala decadal e serão submetidas como contribuição brasileira para o próximo relatório do IPCC-AR5 (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). As primeiras referências científicas do modelo foram publicadas em periódicos internacionais.

### **2.2.2 Modelos Componentes do Brazilian Earth System Model – BESM**

O BESM está dividido em quatro componentes (modelos que compõe o BESM) - atmosfera, oceano, superfície e química da atmosfera – o que o torna uma sofisticada ferramenta para melhorar o entendimento do clima e fazer projeções no país, sendo o Brasil, atualmente, o único país do hemisfério Sul a contar com um modelo próprio, garantindo autonomia para realizar simulações de maior interesse para o Brasil.

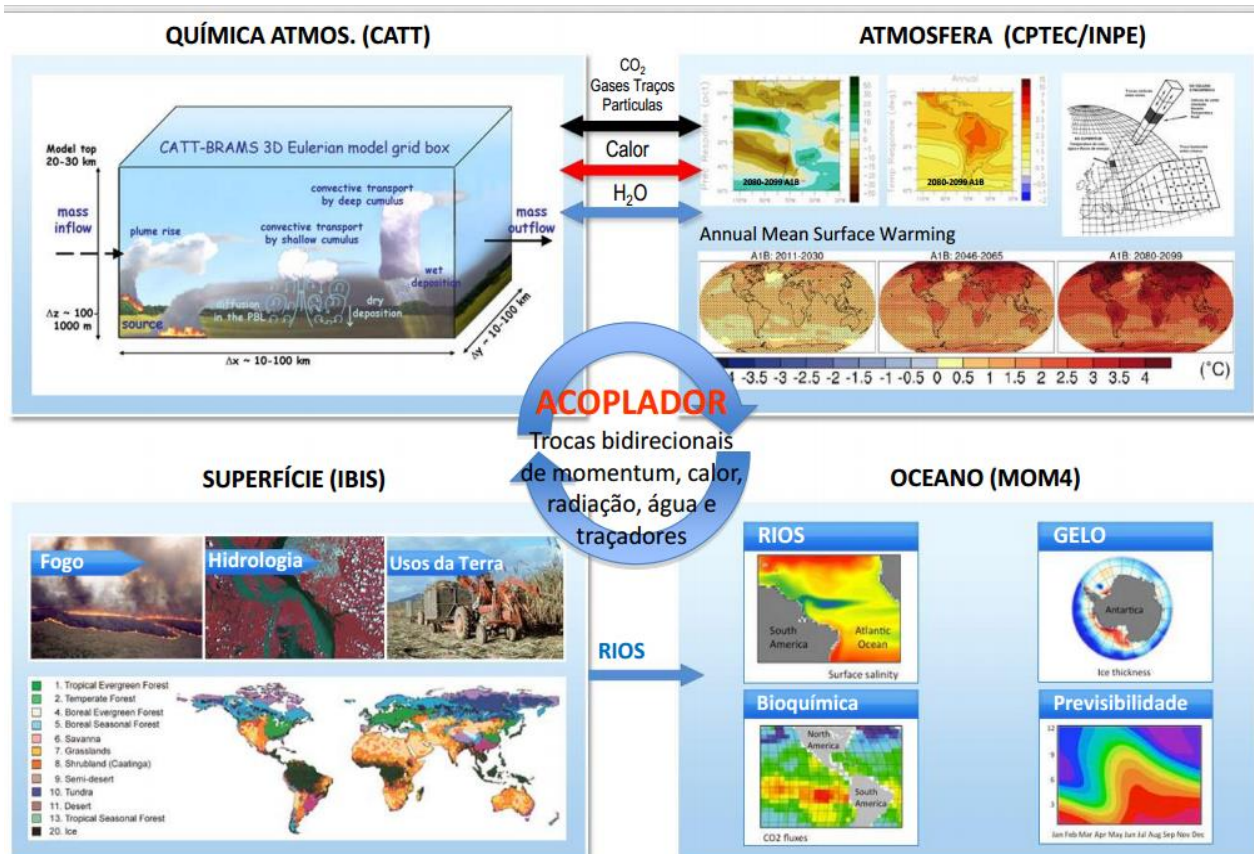
Os modelos componentes do BESM pretendem incluir os diversos processos dos componentes físicos do sistema terrestre, das mais diversas escalas, tanto espacial quanto temporal em modelos numéricos.

Os modelos componentes utilizados para a construção do BESM são (Figura 2.2):

- Atmosfera: está sendo utilizado o modelo atmosférico global do CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos);
- Oceano: está sendo utilizado o modelo oceânico global do *Geophysical Fluid Dynamical Laboratory* – GFDL da NOAA/EUA (MOM4 e suas componentes de gelo marinho e ciclos biogeoquímicos marinhos);
- Superfície: inicialmente utilizado o modelo IBIS *land surface model (Integrated Biosphere Simulator)* com posterior evolução para o modelo INLAND;
- Química da atmosfera: será utilizado o modelo CCATT-BRAMS (*Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*) é utilizado também na previsão diária da qualidade do ar para a América do Sul pelo CPTEC/INPE.



Figura 2.2 - Modelos componentes do BESM e suas interações



### 2.2.2.1 INLAND

No primeiro semestre de 2013, a versão acoplada Oceano-Atmosfera (com o modelo de superfície IBIS) foi finalizada. Até o final de 2013, pretende-se finalizar o acoplamento de três componentes: oceano-atmosfera-superfície. Esse acoplamento dá origem ao modelo **INLAND**. O acoplamento das quatro componentes, ou seja, com a inclusão da química da atmosfera, deverá ocorrer em 2014.

A primeira versão do modelo INLAND torna possível realizar simulações globais, regionais (por exemplo, para biomas específicos), e locais (por exemplo, simulações com dados de torres micrometeorológicas para fins de calibração). Uma das principais implementações do modelo de superfície<sup>11</sup> INLAND foi a modelagem dos efeitos do fogo na dinâmica da vegetação.

Este é um avanço no sentido da substituição de vegetação potencial por vegetação real, o que melhora, portanto, a representação dos processos físicos que influenciam o clima atual.

<sup>10</sup><http://redeclima.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2013/03/Principais-Resultados-Sub-Rede-Modelagem-Clim%C3%A1tica.pdf>

<sup>11</sup> O modelo de superfície é usado para elucidar os processos entre a superfície terrestre e a atmosfera, uma vez que, nos trópicos ambos formam um sistema fortemente acoplado. Os fluxos de superfície controlam as entradas de água e energia na atmosfera através de uma sequência de processos envolvendo nebulosidade, conteúdo de água no solo, evaporação, hidrologia de superfície e subsuperfície e cobertura vegetal.

### 2.2.3 HadGEM2-ES/INPE

Entre os modelos a serem utilizados no próximo relatório do IPCC (*Assessment Report 5 – AR5*) estão os modelos globais da família HadGEM2 (*Hadley Centre’s Global Environmental Model version two*) do UK Met Office (órgão de meteorologia do Reino Unido). Esses modelos foram disponibilizados pelo UK Met Office para o INPE como parte de um acordo de colaboração científica desde 04/2009. O novo modelo (com a inserção de contribuições brasileiras, ou seja, componentes do BESM) é conhecido como HadGEM2-ES/INPE e está sendo utilizado para gerar cenários climáticos futuros para o Brasil seguindo o protocolo do CMIP5 – IPCC-AR5<sup>12</sup>.

O uso do modelo HadGEM2-ES/INPE tem como produtos, principalmente, mapas de anomalias de precipitação e temperatura, apresentando bom desempenho sobre o Brasil e a América do Sul, inclusive na representação de padrões de precipitação.

Os principais produtos gerados com o uso do Modelo HadGEM2-ES/INPE podem ser encontrados nos artigos científicos, relatórios e notas técnicas publicadas pelos pesquisadores do INPE, principalmente nos últimos 5 anos, e também encontram-se mapeados na Ficha de Avaliação do INPE e de seus Centros de Pesquisa.

Os cenários gerados pelos modelos BESM e HadGEM2-ES/INPE têm sido incorporados ao banco de dados dos modelos sendo usados no 5º Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC AR5). Isso é importante, pois além de permitir a nossa compreensão do clima futuro vai consolidar a participação do Brasil no IPCC AR5 (INCT, 2013- Relatório de atividades).

Também confere ao Brasil o título de primeiro país da América Latina a contribuir para os modelos de mudanças climáticas globais produzidos pela Organização das Nações Unidas (ONU).

### 2.2.4 Eta for Climate Change Simulations – Eta CCS

Desenvolvido na Universidade de Belgrado e implementado pelo Centro Nacional de Previsões Ambientais. No Brasil, o CPTEC vem utilizando o Modelo Climático Regional Eta de forma operacional desde 1996 para fornecer previsões meteorológicas destinadas à América do Sul. Devido ao seu sistema de coordenadas verticais (datum vertical)<sup>13</sup>, esse modelo pode produzir resultados satisfatórios nas regiões com orografia íngreme como a Cordilheira dos Andes com resolução de 15 por 15 km.

A comparação das previsões dos modelos climáticos globais utilizados pelo CPTEC com as do Eta mostrou que o modelo proporcionou um bom desempenho para o Brasil. A avaliação das previsões sazonais do Eta em relação à climatologia mostraram que o modelo produziu em geral informações úteis adicionais sobre esse tema. O Eta apresenta melhores resultados nas simulações de precipitação atmosférica.

---

<sup>12</sup> Projeto internacional CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project*) de intercomparação de modelos de mudanças climáticas globais com contribuição pioneira do Brasil ao próximo relatório do IPCC (IPCC AR5).

<sup>13</sup> Datum Vertical ou Altimétrico: se refere à superfície de referência usada para definir as altitudes de pontos da superfície da Terra.

O INPE disponibiliza os mapas (produtos) das projeções climáticas do modelo ETA em seu site.

### **2.2.5 PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies)**

Desenvolvido pelo Centro Hadley (Reino Unido) e inicialmente chamado de HadRM3P. As condições de contorno são definidas pelas projeções dos modelos HadRM3P e HadAM3P. Esse modelo é indicado para as condições oceânicas da América do Sul e adjacências. Trabalhos desenvolvidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) mostraram uma excelente adequação às projeções de temperatura para 2050, mas com problemas na simulação de precipitações atmosféricas.

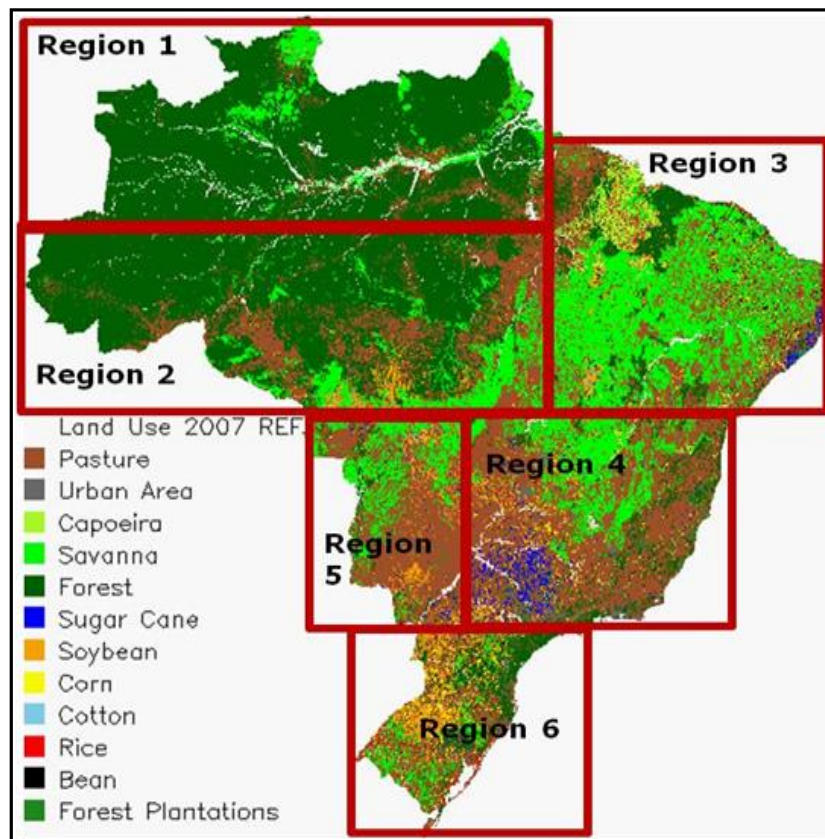
### **2.2.6 BRAMS (Brazilian developments on Regional Atmospheric Modeling System).**

O modelo BRAMS se baseia no modelo RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*), que foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade do Colorado, Estados Unidos, com uma parametrização específica para os trópicos e subtropicais. O modelo definiu um conjunto de módulos para simular os processos como: transferência radiativa, troca de água, calor e momento entre a superfície e a atmosfera, microfísica das nuvens e transporte turbulento na camada limite planetária. O sistema BRAMS pode incorporar os efeitos de aerossóis no balanço de radiação e no ciclo hidrológico, ajudando desta forma a superar uma significativa fonte de inconsistências nas projeções de precipitação.

O BRAMS possui também conjuntos de dados atualizados e de alta resolução espacial (5 km por 5 km) sobre topografia, uso da terra, tipos de solo e alguns índices de vegetação como área foliar e biomassa.

De modo geral, o modelo BRAMS pode reproduzir com habilidade adequada o ciclo sazonal de precipitação na maioria das regiões do Brasil, apontando com maior precisão quantidade e localização das chuvas. Na Figura 2.3 abaixo, a habilidade da projeção para as regiões 1 e 2 é muito boa, enquanto que para as regiões 3, 4 e 5 é satisfatória. Na região 6, o modelo subestima a precipitação.

Figura 2.3 - Mapa de uso da terra do BRAMS para a análise dos resultados da simulação do modelo



Fonte: ASSAD et al, 2013 no prelo

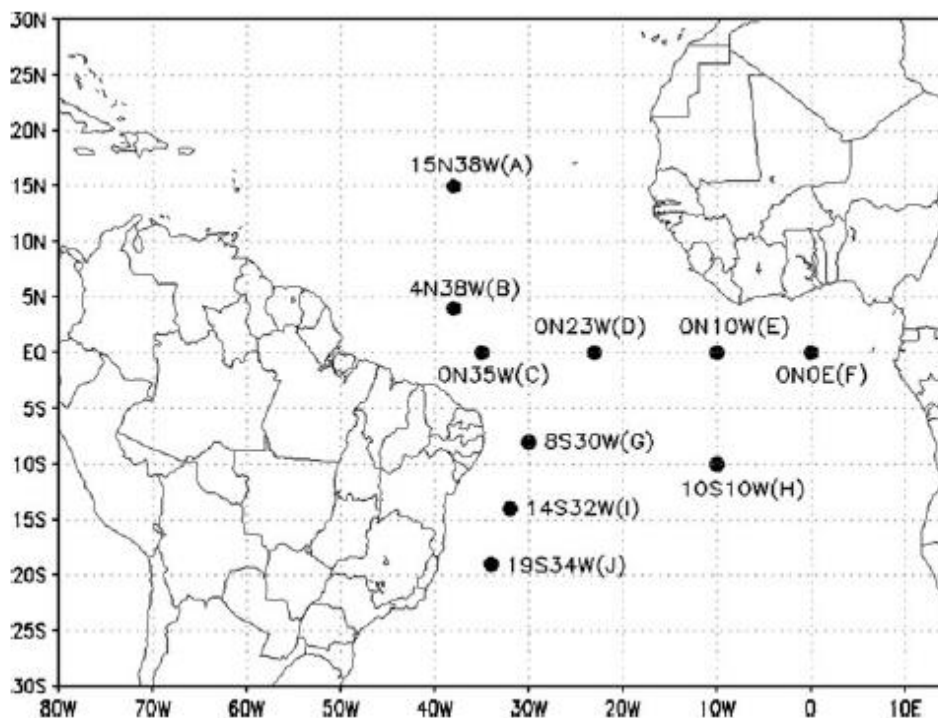
O INPE disponibiliza os mapas (produtos) das projeções climáticas do modelo ETA em seu site.

### 2.2.7 PIRATA - Brasil

PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*) é uma rede de observação *in situ* composta por boias para monitorar uma série de variáveis dos processos de interação oceano-atmosfera no oceano Atlântico Tropical (descrever e compreender a evolução temporal e espacial da temperatura da superfície do mar, a estrutura térmica superficial e as transferências de quantidade de movimento, de calor e de água doce, entre o oceano e a atmosfera) (Figura 2.4).

O projeto PIRATA é um programa de cooperação multinacional entre o Brasil, França e Estados Unidos. Estes três países dividem as tarefas de implementação e manutenção da rede. O suporte logístico para o desenvolvimento e manutenção da rede é dividido entre o Brasil e França. O Brasil é responsável pela manutenção do lado oeste da rede, e a França, do leste.

Figura 2.4 - Posição das boias usadas no projeto Pirata



Fonte: PILOTTO et al., 2012

As observações oceânicas, juntamente com as observações meteorológicas são transmitidas por satélite (sistema Argos e SCD), e são disponibilizadas na Internet pela rede GTS (Global Transit System).

Os dados podem ser acessados em tempo real via LDM (Local Data Manager)<sup>14</sup> e são extremamente úteis para a calibração dos modelos climáticos utilizados pelo INPE, principalmente os modelos que utilizam o componente Oceano.

### 2.3 PRINCIPAIS RESULTADOS SOBRE CENÁRIOS CLIMÁTICOS NO BRASIL

- Importância da regionalização dos modelos climáticos:** o desenvolvimento de modelos do Sistema Climático Global e de cenários de mudanças ambientais globais e regionais, particularmente cenários em alta resolução espacial (20 ou 40 km) de mudanças climáticas e de usos da terra<sup>15</sup> para o século XXI (até 2100) propiciou a geração de projeções de mudanças climáticas mais realistas nas diversas regiões do território brasileiro.

<sup>14</sup> Os dados do projeto PIRATA podem ser acessados nos sites:

[http://www.pmel.noaa.gov/tao/data\\_deliv/deliv-pir.html](http://www.pmel.noaa.gov/tao/data_deliv/deliv-pir.html)

<http://goosbrasil.org/produtos/pirata/index.php>

<sup>15</sup> Analisa de que maneira alterações nos padrões de uso do solo podem afetar as mudanças climáticas. Como o desmatamento é uma das principais fontes de emissão de CO<sub>2</sub>, o aquecimento global depende em boa parte da dinâmica deste processo.

Dezenas de estudos baseados no *downscaling* dinâmico<sup>16</sup> e nas análises das projeções de clima do IPCC para a América do Sul têm permitido identificar projeções de clima para as próximas décadas até 2100. Aumentos de até 6°C na Amazônia e 4°C no restante do país, e aumentos de chuva no sul de até 20%, e reduções de chuva no nordeste e Amazônia de até 30% sugerem um cenário de clima que pode afetar a população e os sistemas naturais. Aumento na frequência de extremos de chuva projetados no sul e sudeste do Brasil.

- **Cenários climáticos com o uso do BESM:** geração de cenários futuros de clima em alta resolução, usados em estudos de impactos e vulnerabilidade às mudanças de clima no Brasil e América do Sul com o uso do BESM.

Estes cenários gradativamente vão substituir aqueles gerados em 2009, e serão disponibilizados para a comunidade científica e governo. O BESM também vai ajudar a quebrar a dependência tecnológica, pois o *downscaling* dinâmico usando o modelo regional Eta vai usar o modelo global BESM e não mais modelos climáticos internacionais. O modelo de superfície INLAND do BESM representa um aspecto inovador na modelagem do sistema terrestre, pois além do BESM incluir cenários de emissão de GEE, o INLAND inclui um modelo do estado da arte de mudanças do uso da terra, que permite que o clima futuro seja modelado e projetado considerando não somente as mudanças na concentração de GEE, mas também mudança do uso da terra na América do Sul. Resultados do BESM considerando o acoplamento oceano-atmosfera já estão disponíveis e representam a contribuição do Brasil ao “clube” de modelos do IPCC AR5. Acoplamentos do INLAND e do modelo de química da atmosfera estão em fase de teste, e assim o BESM deverá estar completo, ou seja, com os quatro componentes citados no item 2.2.2 desse relatório, até meados de 2014. Os cenários de clima já gerados em 2009 e os cenários a serem gerados pelo BESM têm sido e continuarão sendo usados nos modelos de impactos (agricultura, hidrologia, saúde etc.).

- **Detecção e atribuição das causas da mudança climática no Brasil e América do Sul:** houve mudanças na variabilidade hidrológica na Amazônia, onde quatro eventos extremos (secas e enchentes) aconteceram em um período de sete anos, indicando alterações em relação aos extremos nesta região.

Isso coincide com uma tendência de acréscimo na duração da estação seca no sul da Amazônia. Em outras regiões, devido à falta de dados, não foi possível identificar tendências de longo prazo em chuva, mas ficou claro um aumento nas chuvas e vazões no sudeste e sul do Brasil durante os últimos 50 anos, variações decadais das chuvas no nordeste e centro oeste, e em todas as regiões um aumento na temperatura média anual do ar de até 0,7° C durante os últimos 50 anos, sendo o aquecimento maior no inverno (até 1° C). Os extremos de chuva têm aumentado nas regiões metropolitanas de SP e RJ. Em outras áreas costeiras no sul do Brasil, variações nos ciclones extratropicais estão afetando as populações e ecossistemas de zonas costeiras. Observações oceanográficas têm sido complementadas com a instalação de boias oceanográficas no Atlântico tropical e Sul, o que permite um melhor conhecimento da estrutura térmica dos oceanos e dos padrões de circulação atmosférica e os seus impactos nos extremos de tempo e clima na região.

- **Subsídio a políticas públicas de adaptação:** fornecimento de informações científicas de qualidade para subsidiar políticas públicas de adaptação e mitigação: estudos científicos sobre

---

<sup>16</sup> O *downscaling* (regionalização) dinâmico é uma técnica que consiste em usar um modelo climático regional “alinhado” a um modelo climático global.

cenários climáticos têm ajudado a detectar tendências de extremos de chuva na região sudeste do Brasil. Eventos como o da região serrana do Rio de Janeiro em 2011 trazem o foco para a real vulnerabilidade de grandes áreas do Brasil a extremos climáticos e a desastres naturais gerados por esses extremos. Uma das consequências em relação a tendências observadas e projetadas de extremos de chuva, e também do projeto de Megacidades Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), foi a criação do CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. Resultados desses estudos também estão sendo usados na elaboração de estudos do IPCC AR5 e do PBMC, e também em grandes debates nacionais como o do Código Florestal e nos grandes empreendimentos hidrelétricos na Amazônia. O desenvolvimento do BESM já faz parte de uma política ambiental e objetivo estratégico do MCTI. Estes cenários estão sendo usados em estudos de impactos e vulnerabilidade a serem aplicados na terceira Comunicação Nacional do Brasil para a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC).

- **Informações compiladas pelo RAN 1 do PBMC<sup>17</sup>:** em razão do aumento progressivo da concentração de GEE – em maio de 2013, os níveis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atingiram pela primeira vez na história recente da humanidade as 400 partes por milhão (ppm) – e de alterações na ocupação do uso do solo, o clima no Brasil do final do século XXI será provavelmente bem diferente do atual, a exemplo do que deverá ocorrer em outras partes do planeta. As projeções indicam que a temperatura média em todas as grandes regiões do país, sem exceção, será de 3º a 6ºC mais elevada em 2100 do que no final do século XX, a depender do padrão futuro de emissões de GEE (Figura 2.5). As chuvas devem apresentar um quadro mais complexo. Em biomas como a Amazônia e a Caatinga, a quantidade estimada de chuvas poderá ser 40% menor. Nos pampas, há uma tendência de que ocorra o inverso, com um aumento de cerca de um terço nos índices gerais de pluviosidade ao longo deste século. Nas demais áreas do Brasil, os modelos climáticos também indicam cenários com modificações preocupantes, mas o grau de confiabilidade dessas projeções é menor. Ainda assim, há indícios de que poderá chover significativamente mais nas porções de mata atlântica do Sul e do Sudeste e menos na do Nordeste, no cerrado, na caatinga e no pantanal. Com exceção da costa central e sul do Chile, onde há um esfriamento observado nas últimas décadas, os modelos também projetam para o futuro um aumento de temperatura em todas as demais áreas da América do Sul. A Tabela 2.3.1 apresenta as projeções climáticas por região do País apresentadas no RAN 1 do PBMC.

---

<sup>17</sup> **RAN 1 do PBMC:** Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas / 2013

**Tabela 2.3.1 - Projeções Climáticas indicadas por Região (até 2040, 2041-2070, 2071-2100), pelo RAN 1 do PBMC**

Região	Período	Precipitação (%)	Temperatura (°C)	Avaliações
Amazônia	Até 2040	- 10%	+ 1,0° a 1,5°C	O desmatamento somado às Mudanças no Clima levariam à savanização da Amazônia.
	2041 - 2070	- 25% a 30%	+ 3,0° a 3,5°C	
	2071 - 2100	- 40% a 45%	+ 5,0° a 6,0°C	
Caatinga	Até 2040	- 10% a 20%	+ 0,5° a 1,0°C	Estas mudanças podem desencadear o processo de desertificação da caatinga.
	2041 - 2070	- 25% a 35%	+ 1,5° a 2,5°C	
	2071 - 2100	- 40% a 50%	+ 3,5° a 4,5°C	
Cerrado	Até 2040	- 5% a 15%	+ 1,0° C	Acentuação das variações sazonais.
	2041 - 2070	- 20% a 35%	+ 3,0° a 3,5°C	
	2071 - 2100	- 35% a 45%	+ 5,0° a 5,5°C	
Pantanal	Até 2040	- 5% a 15%	+ 1,0° C	Escassez de dados limita avaliação acurada na região.
	2041 - 2070	- 10% a 25%	+ 2,5° a 3,0°C	
	2071 - 2100	- 35% a 45%	+ 3,5° a 4,5°C	
Mata Atlântica (NE)	Até 2040	- 10%	+ 0,5° a 1,0°C	Baixa confiabilidade nos resultados de precipitação.
	2041 - 2070	- 20% a 25%	+ 2,0° a 3,0°C	
	2071 - 2100	- 30% a 35%	+ 3,0° a 4,0°C	
Mata Atlântica (S/SE)	Até 2040	+ 5% a 10%	+ 0,5° a 1,0°C	Aumento da frequência e intensidade de ciclones extratropicais pode levar a um aumento da recorrência de eventos extremos com ondas altas, ventos fortes e precipitações intensas.
	2041 - 2070	+ 15% a 20%	+ 1,5° a 2,0°C	
	2071 - 2100	+ 25% a 30%	+ 2,5° a 3,0°C	
Pampas	Até 2040	+ 5% a 10%	+ 1,0°C	Informações insuficientes sobre possíveis impactos das mudanças climáticas. No entanto, o aumento da temperatura, levaria a um aumento nas taxas de decomposição, aumentando as emissões de CO2 para a atmosfera.
	2041 - 2070	+15% a 20%	+ 1,0° a 1,5°C	
	2071 - 2100	35% a 40%	+ 2,5° a 3,0°C	

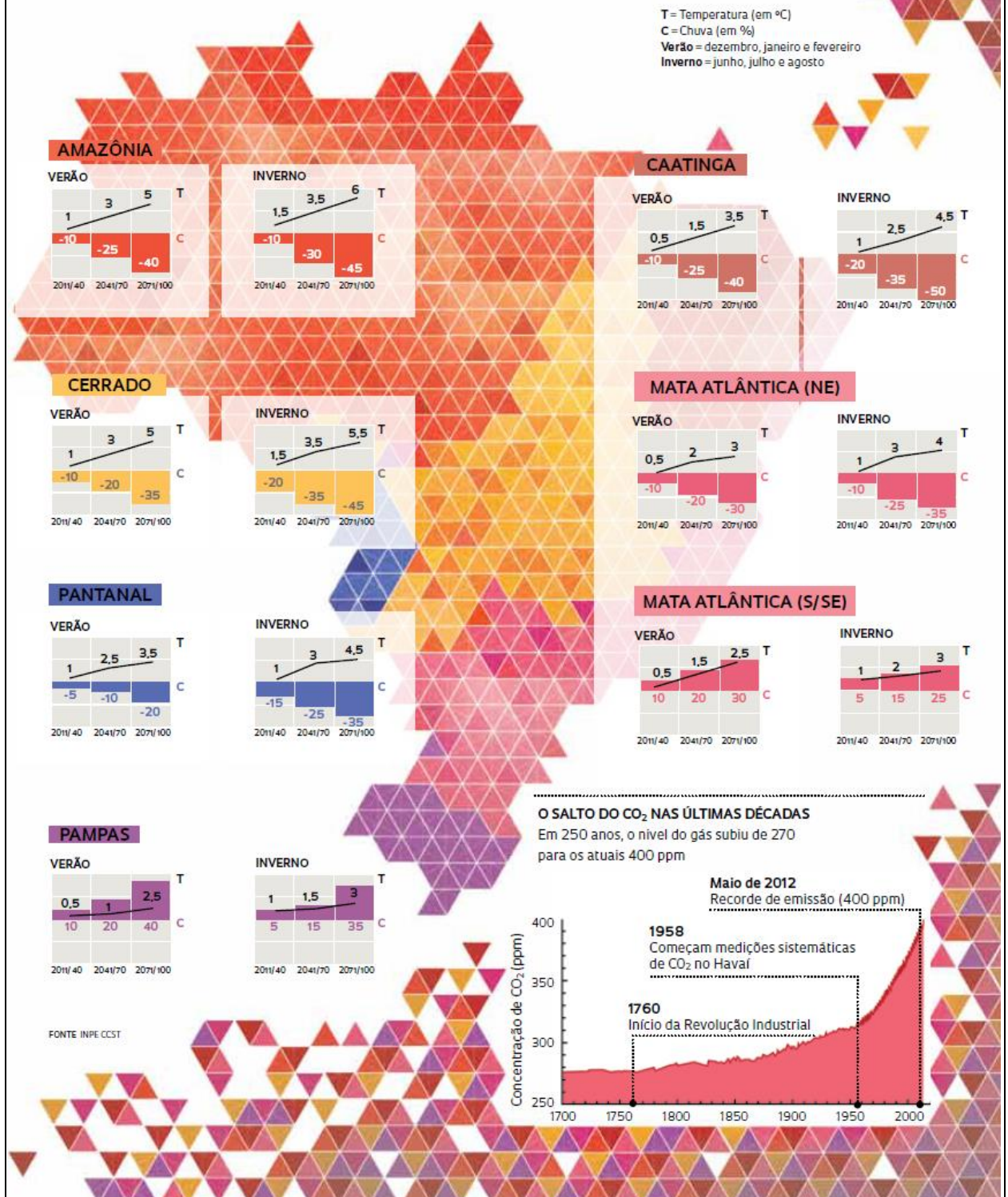
Fonte: PBMC, 2013



Figura 2.5 - Projeções climáticas para o Brasil até 2100 divulgadas no RAN 1 do PBMC

## As projeções até o fim do século

Em relação aos níveis atuais, a temperatura poderá subir em todos os biomas; mais chuva é prevista nos pampas e menos na Amazônia



Fonte: FAPESP, 2013

### 2.3.1 Principais indicações do Sumário do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5)

#### As mudanças observadas no sistema climático, relatadas no AR5:

- Atmosfera: desde 1850, cada uma das três últimas décadas tem sido sucessivamente mais quente na superfície da Terra do que qualquer década anterior. No Hemisfério Norte, 1983 -2012 foi o período de 30 anos mais quente dos últimos 1400 anos.
- Oceanos: o aquecimento dos oceanos domina o aumento da energia armazenada no sistema climático, o que representa mais de 90% da energia acumulada entre 1971 e 2010 e, por isso, o oceano superior (0-700 m) aqueceu.
- Criosfera: ao longo das duas últimas décadas, as camadas de gelo da Groenlândia e da Antártida têm perdido massa, geleiras continuaram a encolher em quase todo o mundo.
- Nível do Mar: a taxa de elevação do nível do mar desde meados do século 19 tem sido maior do que a taxa média durante os dois milênios anteriores. Durante o período de 1901-2010, a variação global do nível médio do mar foi de 0,19 metros.
- Ciclo do Carbono e outros Bioquímicos: as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) aumentaram em níveis sem precedentes, pelo menos nos últimos 800 mil anos. Concentrações de CO<sub>2</sub> aumentaram em 40% desde os tempos pré-industriais, principalmente a partir de emissões de combustíveis fósseis. As emissões líquidas de mudança do uso da terra também contribuíram para o aumento das concentrações de CO<sub>2</sub>. O oceano absorveu aproximadamente 30% do dióxido de carbono antropogênico emitido, causando a acidificação do oceano.

#### Causas das Mudanças Observadas:

- A forçante radiativa total<sup>18</sup> é positiva, e levou a uma absorção de energia pelo sistema climático. A maior contribuição para a forçante radiativa total é causada pelo aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> desde 1750.
- Influência humana sobre o sistema climático é clara. Isto é evidente a partir das crescentes concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, a forçante radiativa positiva, o aquecimento observado e a compreensão do sistema climático.
- Os modelos climáticos melhoraram desde o IV relatório (AR4 – 2007). Os modelos reproduzem em escala continental os padrões de temperatura de superfície e as tendências observadas ao longo de muitas décadas, incluindo o aquecimento mais rápido desde meados do século 20 e o esfriamento imediatamente após grandes erupções vulcânicas.

---

<sup>18</sup> Uma forçante radioativa positiva significa que um agente tende a aquecer o planeta, ao passo que valores negativos indicam uma tendência de resfriamento. Uma vez determinado o valor da forçante radioativa de um agente, pode-se usar esse valor em modelos climáticos que procuram traduzi-lo, por exemplo, como mudanças de temperatura à superfície ou mudanças no volume de chuvas, etc (PBMC, 2013).

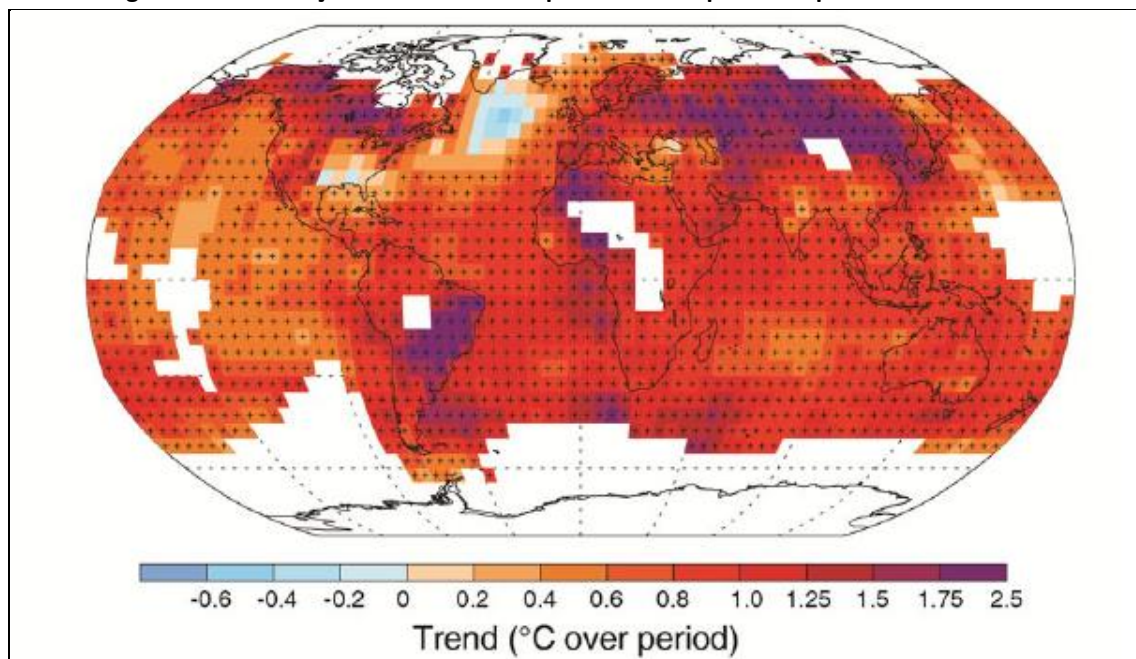
- Estudos observacionais e modelos de mudança de temperatura, reações climáticas e mudanças no balanço energético da Terra, oferecem juntos confiança na magnitude do aquecimento global em resposta as forçantes do passado e do futuro.
- A influência humana foi detectada no aquecimento da atmosfera e do oceano, em mudanças no ciclo hidrológico global, em reduções em neve e gelo, na média global do aumento do nível do mar, e em mudanças em alguns eventos climáticos extremos. Esta evidência de influência humana tem crescido desde o AR4 (relatório anterior do IPCC).

#### **Futuras Mudanças Climáticas Globais e Regionais:**

- A manutenção das emissões de gases de efeito estufa provocará maior aquecimento e mudanças em todos os componentes do sistema climático. Para restringir ou limitar as alterações climáticas serão necessárias reduções substanciais e sustentadas de emissões de gases de efeito estufa.
  - Mudança na temperatura da superfície global para o final do século 21 é provavelmente superior a 1,5°C em relação a 1850-1900 para todos os cenários.
  - Mudanças no ciclo global da água em resposta ao aquecimento ao longo do século 21 não serão uniformes. O contraste da precipitação entre as regiões úmidas e secas e entre as estações chuvosa e seca vai aumentar, embora possam acontecer exceções regionais.
  - O aquecimento global nos oceanos continuará elevado durante o século 21, afetando a circulação oceânica.
  - É muito provável que a cobertura de gelo do Ártico continue a encolher e que na primavera do hemisfério norte a cobertura de neve vá diminuindo durante o século 21 com o aumento da temperatura média da superfície global. O volume global das geleiras irá diminuir ainda mais.
  - O nível médio do mar global vai continuar a subir durante o século 21. Em todos os cenários, a taxa de aumento do nível do mar, muito provavelmente, será superior à observada durante 1971-2010, devido ao aumento do aquecimento dos oceanos e da perda de massa das geleiras e camadas de gelo.
  - A mudança climática afetará os processos do ciclo de carbono de uma maneira que irá agravar o aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Além disso, a absorção de carbono pelo oceano deve aumentar a acidificação do oceano.
- Emissões cumulativas de CO<sub>2</sub> em grande parte determinam o aquecimento médio da superfície global até o final do século 21. A maioria dos aspectos das alterações climáticas irá persistir por muitos séculos, mesmo que as emissões de CO<sub>2</sub> cessem completamente.

Como consequência do aumento da temperatura, o nível dos oceanos pode elevar em até 82 cm até 2100 e, o derretimento do Ártico chegar a 94% durante o verão. No Brasil, há tendência de ocorrência de mais tempestades nos grandes centros urbanos, enquanto que nas regiões nordeste e amazônica ficarão ainda mais secas. Conforme apresenta a Figura 2.6 a seguir, mudanças na temperatura da superfície no período de 1901 - 2012.

**Figura 2.6 - Mudança observada na temperatura da superfície – período 1901 – 2012**



Fonte: Sumário - IPCC (AR5), 2013

Os impactos destes cenários serão objeto da segunda parte do relatório, que será lançado em março de 2014, e as ações necessárias para mitigar as emissões e evitar os piores cenários serão objetivo da terceira parte do relatório a ser publicada em abril de 2014.

## 2.4 PRINCIPAIS ATORES ENVOLVIDOS COM CENÁRIOS CLIMÁTICOS E MODELAGEM CLIMÁTICA

Rede CLIMA, INCT para Mudanças Climáticas, Programa FAPESP de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais, INPE, CPTEC, além de participação de Universidades e outros Centros de Pesquisa nacionais, Redes Estaduais de Pesquisa e colaboração internacional.

## 2.5 LACUNAS IDENTIFICADAS

- **Séries temporais adequadas:** a falta de informações climáticas (principalmente temperatura, precipitação e periodicidade de eventos extremos) de boa qualidade e de longo prazo continua a prejudicar os esforços regionais e locais de modelagem climática, bem como a calibração e a validação das projeções atuais, que estão sendo utilizadas para fundamentar as decisões sobre políticas e investimentos de médio e longo prazo.
- **Modelo INLAND:** no momento só existem dados disponíveis para a Região Amazônica.
- **Simulações de mudanças climáticas regionais:** alguns trabalhos utilizam simulações de mudanças climáticas baseadas em cenários de aumento uniforme de temperatura e precipitação e não usam projeções climáticas geograficamente diferenciadas.
- **Análises que se baseiam exclusivamente nos modelos climáticos globais (MCGs):** embora as simulações com MCGs sejam os instrumentos adequados para abordar as

mudanças e os impactos climáticos em escala global até subcontinental (Giorgi et al. 2001), os resultados das simulações de longo prazo ainda devem ser tratadas com cautela porque não captam os detalhes necessários às avaliações de impacto regional, em parte devido à baixa resolução (cerca de 300 km x 300 km) na maioria dos modelos utilizados. A preocupação com a baixa resolução espacial dos MCGs é especialmente importante para as regiões heterogêneas, como a América do Sul, onde as distribuições das variáveis de superfície como a temperatura e a precipitação atmosférica são frequentemente influenciadas por efeitos locais de topografia e de contrastes térmicos que podem ter um efeito significativo sobre o clima (ALVES; MARENGO, 2010).

- **Refinamento dos modelos climáticos regionais:** para avaliar as consequências ou os impactos das mudanças climáticas nas escalas nacional, estadual e municipal foram adotados os modelos climáticos regionais (MCRs), com resolução mais alta (por exemplo, 50 km x 50 km). No entanto, é importante notar que, embora os resultados para o Brasil demonstrem que os MCRs são eficientes na simulação do clima atual, as suas configurações ainda necessitam de ajustes e calibração com base nos dados locais e nas observações de campo, para corrigir os erros sistemáticos herdados do MCG do qual foram obtidos e, finalmente, visando produzir estimativas úteis para as projeções climáticas regionais, sazonais e interanuais (MARENGO et al., 2009b).
- **Conhecimento dos processos de transporte de aerossóis:** é necessário aumentar nosso conhecimento sobre os processos de produção e transporte de aerossóis sobre o continente sul-americano, incluindo fontes naturais e antrópicas locais e remotas. Também é fundamental melhorar nosso entendimento na influência de aerossóis na formação de nuvens, ao servirem como núcleos de condensação (NCN) e de gelo (IN), incluindo o papel de sua variabilidade espacial e temporal. (PBMC, 2013)

### 3 CENÁRIOS SOCIOECONÔMICOS

Os cenários socioeconômicos são descrições aceitáveis de eventuais estados futuros do país, e analisam e quantificam o impacto das alterações climáticas na agenda de desenvolvimento do país. Essas mudanças climáticas afetam diversos setores da economia, bem como os recursos naturais e a sociedade. O conhecimento dessas alterações e suas tendências subsidiam os tomadores de decisões a adotarem ferramentas para gerenciar, da melhor maneira possível, os riscos e impactos das mudanças climáticas. Também auxiliam na adesão de medidas preventivas e adaptativas com melhor custo-benefício.

São mecanismos úteis para incorporar conhecimento sobre passado, presente e futuro; permitir que as partes interessadas analisem as possíveis trajetórias de desenvolvimento e respectivos impactos; promover a aprendizagem social sobre o impacto das mudanças climáticas e estratégias de adaptação incorporando preferências sociais; apoiar a tomada de decisões, planejamento e políticas; e construir uma ponte de comunicação entre decisores políticos e as partes interessadas e entre especialistas de diferentes disciplinas.

Os estudos que geram esses cenários socioeconômicos frente às mudanças climáticas, no geral, são baseados em: cenários de referência - elaborados sem mudanças climáticas globais (SMCG); e cenários com mudanças climáticas globais (CMCG) que incorporam os efeitos das Mudanças Climáticas Globais (MCG) em setores selecionados (agropecuária, energia etc) para a avaliação dos impactos comparativos. Esta construção de cenários objetiva verificar se as mudanças consideradas proporcionam impactos que reorientam ou não o futuro das regiões no rumo do desenvolvimento econômico, com maior equidade territorial e social. Os impactos socioeconômicos comparativos entre as situações SMCG e CMCG são assim analisados em termos de benefícios e custos para o Brasil e suas regiões. Os impactos das MCG são colocados em perspectiva em relação ao cenário SMCG.

Em diversos estudos nacionais os cenários socioeconômicos são gerados para o horizonte de tempo até 2050 e por dados socioeconômicos de entrada (por exemplo, Produto Interno Bruto (PIB), população, escolaridade etc). Para a geração desses cenários também são utilizadas diversas ferramentas como:

- **Modelos biofísicos:** usados para analisar as interações físicas entre clima e uma unidade de exposição, por exemplo, o efeito do aumento do CO<sub>2</sub> na atmosfera na fisiologia das plantas;
- **Modelos econômicos:** usados para determinar com um determinado ator responde as mudanças climáticas, por exemplo, determinar se um agricultor deve adotar a irrigação ou abandonar a agricultura em resposta às alterações climáticas; ou também podem estimar mudanças na produção agrícola e de mercado;
- **Modelos integrados:** análise integrada entre diversos setores da economia, como por exemplo, agricultura e mudança do uso do solo;
- **Estudos empíricos:** observações empíricas das interações entre clima, sociedade e sistemas naturais podem ser de grande valia para antecipar os impactos futuros, por exemplo, eventos históricos, tendências históricas, e análogos regionais ou espaciais do clima atual;

- **Julgamento e opiniões de especialistas no tema:** O uso do julgamento de especialistas pode ser especialmente adequado em estudos preliminares ou para a obtenção de uma avaliação rápida do estado de conhecimento a respeito dos impactos prováveis da mudança climática;
- **Sensoriamento remoto e *Geographic Information System (GIS)*:** uso de imagens de satélite e mapas para auxiliar na avaliação de impacto climático.

Os dados de saída, geralmente, são chamados de cenários ou projeções socioeconômicas frente aos impactos das mudanças climáticas. Os possíveis dados de entrada (variáveis) necessários para descrever os impactos das mudanças climáticas e analisar medidas de adaptação por sistema ou setor são:

<b>Setor / Sistema</b>	<b>Variáveis avaliadas por Cenário</b>
<b>Geral</b>	Crescimento Populacional Crescimento Econômico
<b>Recursos Hídricos</b>	Uso da água para agricultura, uso doméstico Industrial e setores de energia Escoamento superficial Capacidade de adaptação (econômica, tecnológica, institucional)
<b>Agricultura</b>	Uso da terra Consumo de água Demanda por alimento Composição atmosférica e deposição As políticas agrícolas Capacidade de adaptação (econômico, tec., institucional)
<b>Saúde</b>	Alimento e água (acessibilidade e qualidade) Cuidados com a saúde Estrutura demográfica Urbanização Capacidade de adaptação (econômico, tec., institucional)
<b>Energia</b>	População Estrutura Econômica Estrutura de geração de Energia Capacidade de adaptação (econômico, tec., institucional)
<b>Silvicultura</b>	Uso da terra Uso da água Demanda por madeira Composição atmosférica Políticas de preservação da natureza Capacidade de adaptação (econômico, tec., institucional)
<b>Agropecuária</b>	Uso da terra Uso da água

Consumo diário de carne  
Composição atmosférica  
Políticas e mercados de consumo de carne

**Biodiversidade**

Uso da terra  
Uso da água  
Composição atmosférica  
Turismo  
Políticas de Preservação da Natureza  
Pesca (prática e intensidade)  
Uso da terra (espec. em zonas costeiras)  
Uso da água (especialmente para água doce)  
A deposição atmosférica

**Quadro 2.5.1 - Modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC)**

A maioria dos estudos entre setores da economia (integrados) que geram cenários socioeconômicos no país utilizam basicamente um modelo (EGC)<sup>19</sup> capaz de lidar de maneira consistente com a integração de outros modelos, como por exemplo, modelos de demanda e oferta de energia, uso da terra e de produtividade agrícola. Estes, por sua vez, são integrados aos modelos climáticos, que avaliam as projeções climáticas futuras, principalmente no que diz respeito às alterações de precipitação e temperatura. Estas projeções são a base para os modelos de simulações de áreas estratégicas da economia que traduziram em termos econômicos os impactos esperados em cada setor, de acordo com as possíveis trajetórias do clima futuro desenvolvidas pelos modelos climáticos.

A Figura 3.1 apresenta um exemplo dos principais canais de integração entre os cenários de mudanças climáticas e modelos EGC para alguns setores da economia como agricultura e mudança do uso do solo, energia e demografia. Os efeitos físicos traduzem-se em efeitos econômicos através dos resultados dos modelos de agricultura, uso da terra, e de energia. Estes, por sua vez, utilizam resultados de outros

<sup>19</sup> Modelos de equilíbrio geral são aqueles que abarcam o conjunto da economia, determinando endogenamente, através de programas microeconômicos de otimização, os preços relativos e as quantidades produzidas. Resolvem numericamente o problema de equilíbrio geral, fornecendo resultados abrangentes e detalhados dos efeitos de mudanças políticas sobre as economias analisadas.



modelos intermediários. O modelo EGC utiliza também projeções populacionais baseadas em modelos demográficos.

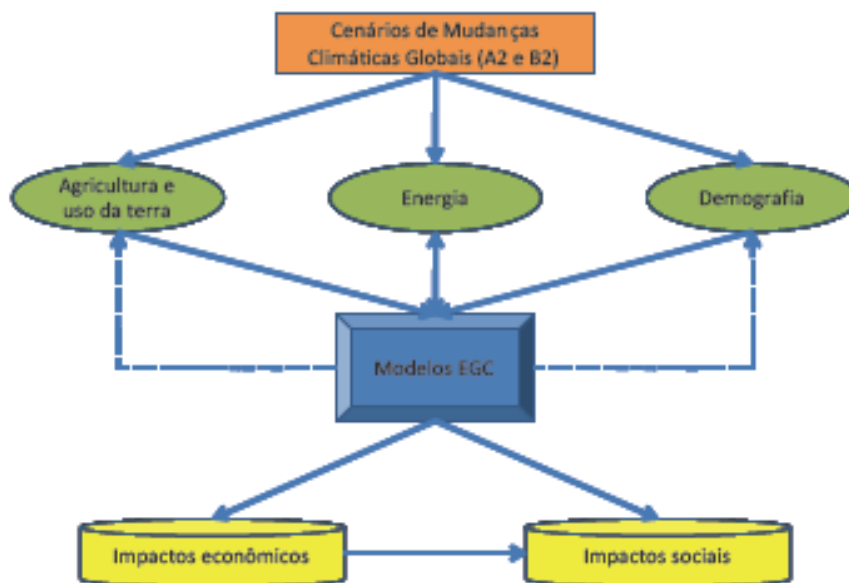


Figura 3.1 - Modelagem dos impactos das MCG sobre a economia brasileira (FEA, 2010)

Os principais resultados e lacunas identificadas dos estudos geradores de cenários socioeconômicos serão detalhados por setor da economia brasileira, bem como os principais atores envolvidos, no item 4 “Resultados de Avaliações de impactos, vulnerabilidades (indicadores e medidas de adaptação) por temas”.

## 4 RESULTADOS DE AVALIAÇÕES DE IMPACTOS, VULNERABILIDADES (INDICADORES E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO) POR TEMAS

### 4.1 AGROPECUÁRIA

O agronegócio é um setor de extrema importância na economia brasileira, uma vez que representa 25% do PIB e 35% dos empregos no país. Desde 2008, o Brasil é o terceiro maior exportador mundial de produtos agrícolas, atrás somente dos Estados Unidos e União Européia. Ocupa o primeiro lugar no ranking de exportação de diversos produtos agropecuários – açúcar, carne de frango, café, suco de laranja, tabaco e álcool; segundo lugar em carne bovina, soja e milho e está na quarta posição de carne suína. A produção de grãos foi responsável por 184,2 milhões/ton em 2012/2013 em 53 milhões de hectares e a produção de carne bovina foi de 8,9 milhões de toneladas em 220 milhões de hectares (25% da área do Brasil). De acordo com o censo agropecuário de 2006, o Brasil possui 5 milhões de propriedades rurais das quais 85% pertencem a pequenos proprietários e 16% são grandes fazendas comerciais que ocupam 75% da terra cultivada.

O setor agropecuário de países em desenvolvimento (muitos dos quais situados em regiões de clima tropical, subtropical e semiárido) é especialmente vulnerável às mudanças climáticas globais, devido à dependência dos recursos naturais e baixo acesso a recursos para adaptação, principalmente por parte dos pequenos proprietários rurais.

Além dos efeitos diretos originários dos aumentos da concentração atmosférica de dióxido de carbono e das temperaturas médias, esse setor deverá sofrer grande impacto em consequência do aumento da frequência de eventos extremos, como ondas de calor, estiagens prolongadas e secas, inundações e alagamentos (IPCC, 2007). Nas últimas três décadas, alterações de temperatura e de precipitação vêm afetando negativamente a produtividade média global de milho e trigo. Mesmo culturas com produtividades médias globais não alteradas, como arroz e soja, vêm sofrendo impacto negativo nos níveis regionais e nacionais.

Diante disso existe uma crescente preocupação no Brasil e na América Latina com o fato de que a crescente variação de curto prazo e as mudanças de médio e longo prazo no clima exercerão significativos impactos negativos na paisagem e na agricultura brasileira, no crescimento econômico nacional e nos meios de subsistência associados (ASSAD E PINTO, 2008; MARGULIS E DUBEUX, 2010).

#### 4.1.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificadas

Foram selecionados estudos sobre os principais impactos das mudanças climáticas e vulnerabilidade para o setor agropecuário com uma abordagem sintética e abrangência nacional para diversas culturas de interesse econômico e alimentar. As informações que serão apresentadas dizem respeito, principalmente, as seguintes publicações: Assad e Pinto (2008), Margulis e Dubeux (2010), Fernandes et al (2011), Assad et al (no prelo). Importante salientar que existem outros trabalhos no tema de instituições renomadas no país, mas com uma abordagem mais localizada. Esses trabalhos com abordagem regional foram importantes para

descrever medidas de adaptação (item 4.1.3), principalmente no Semiárido, sendo eles: ELLA (2012)<sup>20</sup>, Obermaier e Pinguelli Rosa (2013).

Os resultados se referem aos impactos das mudanças do clima nas áreas de baixo risco climático para a agropecuária, na produtividade das culturas e nos prováveis impactos econômicos no setor. As áreas de baixo risco climático são aquelas onde não há estresse hídrico, que garante a germinação de sementes e especialmente o florescimento, além do enchimento de grãos, que são fatores essenciais para a produção final. Esse risco não deve exceder 20%.

#### **Quadro 4.1.1 - Horizontes temporais**

Os estudos de Assad e Pinto (2008), Margulis e Dubeux (2010) e Fernandes et al (2011) utilizaram os seguintes horizontes temporais: ano base 2010 (período de início de contagem das metas tratadas na COP 15) e projeções de clima futuro para 2020, 2050 e 2070. Já o estudo de Assad et al (no prelo), se concentrou no aperfeiçoamento das avaliações do impacto climático na agricultura e no refinamento dos estudos anteriores para os períodos de 2010 (linha de base), 2020 e 2030. As décadas selecionadas por esse estudo são de maior interesse tanto para os investimentos atuais quanto para os formuladores de políticas. Mais importante ainda é que a confiabilidade dos dados disponíveis e a capacidade de previsão também são maiores para o período até 2030. As projeções se tornam cada vez mais incertas após 2030 se forem tomados como base os dados climáticos e outras informações relevantes disponíveis.

Os principais modelos climáticos regionais (MCRs) utilizados nesses estudos foram: PRECIS, Eta, BLUM, BRAMS e Modelo de Zoneamento da Vulnerabilidade e dos Riscos Climáticos Agrícolas, os quais são descritos nos itens “2.2 Principais Modelos Climáticos e Projetos em Andamento com Modelagem Climática” e “4.1.4 Principais atores, projetos e modelos”. Também foram utilizados quatro modelos climáticos globais (MCGs).

No geral, os estudos citados apontam uma diminuição das áreas de baixo risco climático para o plantio dos principais produtos agrícolas alimentares e de exportação (alguns muito importantes para a segurança alimentar da população) como o arroz, feijão, milho, soja e mandioca (Tabela 4.1.1). A única cultura que deverá ser beneficiada com o aumento de temperatura do país é a cana – de – açúcar com um aumento das áreas aptas para o seu plantio devido à diminuição de áreas restritivas pela baixa temperatura.

#### **Quadro 4.1.2 - Impactos econômicos**

Os impactos econômicos previstos das mudanças climáticas sobre toda a produção atual de grãos alimentícios atingirão a soma de US\$ 4 bilhões em 2050, sendo que apenas o setor de soja responde por cerca de 50% das perdas. As simulações mostraram que o PIB do Brasil em 2050 será de aproximadamente US\$ 9,4 trilhões e que, na pior das hipóteses, o país poderá perder cerca de 2,5% desse valor a cada ano, devido aos efeitos do aumento de temperatura. A uma taxa de desconto de 1% ao ano, isto é equivalente à perda do PIB de um ano inteiro ao longo dos 40 anos seguintes. Atualmente o agronegócio responde por 25% do PIB nacional.

<sup>20</sup> [http://ella.practicalaction.org/sites/default/files/120106\\_ENV\\_AdaSemReg\\_BRIEF%203.pdf](http://ella.practicalaction.org/sites/default/files/120106_ENV_AdaSemReg_BRIEF%203.pdf)

**Tabela 4.1.1 - Redução prevista na área de cultivo de baixo risco para 2020, 2050 e 2070 e as consequentes perdas econômicas em 2050**

Culturas	Redução nas áreas de cultivo de "baixo risco" (%)			Perda econômica anual (milhões de reais)
	2020	2050	2070	
Algodão	-11	-14	-16	408
Arroz	-10	-12	-14	530
Café	-10	-17	-33	1.597
Cana-de-açúcar	160	139	118	0
Feijão	-4	-10	-13	363
Girassol	-14	-16	-18	--
Mandioca	-3	-13	-21	--
Milho	-12	-15	-17	1.551
Soja	-24	-34	-41	6.308

Fonte: ASSAD E PINTO, 2008; MARGULIS E DUBEUX, 2010

Como dito anteriormente o estudo de Assad e colaboradores já finalizado (no prelo) refinou a metodologia dos estudos anteriores, bem como confirmou e ampliou as descobertas, sugerindo que as alterações no clima podem exercer impactos cada vez mais significativos e em sua maior parte negativos sobre os principais sistemas de pastagem e de cultivo de grãos no Brasil. Por exemplo, em comparação com o estudo anterior de Assad e Pinto (2008), que utilizou um MCG e um MCR e projetou substanciais impactos negativos na soja, no trigo, no milho e nos sistemas de pastagem, o estudo em questão que usou uma série de MCGs e MCRs, além de melhores dados hidrometeorológicos e de adequação da terra, mostrou que, enquanto as projeções dos impactos climáticos sobre algumas culturas (soja e algodão) tendem a ser mais moderadas, sobre outras (feijão e milho) eles podem ser muito mais graves que a projeção contida no estudo de 2008. A Tabela 4.1.2 abaixo destaca essas diferenças em 2020.

**Tabela 4.1.2 - Comparação do impacto das mudanças climáticas nas áreas de baixo risco climático para a produção agrícola entre os trabalhos de Assad e Pinto (2008) e Assad et al (no prelo).**

Área de baixo risco (%)	Modelo PRECIS (ASSAD E PINTO, 2008)	Séries de MCGs e MCRs (ASSAD et al. no prelo)
Algodão	-11,7	-4,8
Arroz	-9,7	-7,4
Cana-de-açúcar	159,7	101
Soja	-23,59	-24
Feijão (safra de verão)	-4,3	-55,5
Feijão (safra de outono)	-4,3	-68,4
Trigo (safra de verão)	-4,3	-19
Trigo (safra de outono)	-4,3	-13

Em consequência desse refinamento, os resultados, para cada cultura agrícola analisada, serão baseados no estudo em questão.

A combinação das seguintes informações: impacto climático e dados agrícolas – com o uso de um instrumento de simulação econométrica – o modelo de Uso da Terra para Agricultura Brasileira (BLUM) (que será descrito no item 4.1.4) – revelou os seguintes resultados prováveis nas escalas sub-regionais e nas localizações geográficas:

- Sul - PR, SC e RS;
- Sudeste – SP, RJ, ES e MG;

- Centro-Oeste – Cerrado - MS, GO e parte de MT nos biomas do Cerrado e do Pantanal;
  - Norte da Amazônia - parte do estado de MT no bioma Amazônia, AM, PA, AC, AP, RO e RR;
  - Nordeste litorâneo - AL, CE, PB, PE, RN e SE;
  - Nordeste - Cerrado – (MA, PI, TO e BA).
- a. Na ausência de mudanças climáticas, as terras cultiváveis deverão aumentar 17 milhões de hectares em 2030 (aumento de 37%), comparadas àquelas observadas em 2009 de 46 milhões de hectares. No entanto, devido aos impactos das alterações climáticas, todos os cenários simulados levam a uma redução dessas áreas em 2020 e 2030 (Tabela 4.1.3).

**Tabela 4.1.3 - Percentual de mudança na área de baixo risco climático devido às mudanças climáticas (em %), em diferentes cenários de emissão de CO<sub>2</sub> eq. do IPCC.**

Culturas	2020		2030	
	Otimista <sup>21</sup>	Pessimista <sup>22</sup>	Otimista	Pessimista
Algodão	-4,6	-4,8	-4,6	-4,9
Arroz	-10	-7,4	-9,1	-9,9
Cana-de-açúcar <sup>1</sup>	107	101	108	91
Soja	-13	-24	-15	-28
Trigo de sequeiro	-41	-15,3	-31,2	-20
Feijão (Safrade verão)	-54,2	-55,5	-54,5	-57,1
Feijão (Safrade outono)	-63,7	-68,4	-65,8	-69,7
Milho (Safrade verão)	-12	-19	-13	-22
Milho (Safrade outono)	-6,1	-13	-7,2	-15,3
Pastagem <sup>2</sup>	-34,4	-37,1	-34,9	-38,3

<sup>1</sup> A cana-de-açúcar inclui as (novas) áreas potenciais e não apenas as áreas produtivas atuais.

<sup>2</sup> Valor da pastagem = Produtividade.

- b. O Brasil poderá reduzir 10,6 milhões de hectares de terra destinada à agricultura em 2030 como resultado das mudanças climáticas. A região Sul será a mais afetada, podendo perder quase 5 milhões de hectares em 2030.
- c. Contudo, é importante notar que a substituição das pastagens pela cultura de grãos e cana-de-açúcar compensa parcialmente as perdas previstas nas áreas cultiváveis e nas culturas de grãos. Os legisladores e o mercado irão determinar em parte a adaptação à perda das terras adequadas à lavoura resultante das mudanças climáticas por meio da substituição das áreas de pastagens atualmente pouco produtivas pelo cultivo de grãos e cana-de-açúcar. As projeções sugerem que também poderá haver uma redistribuição regional em que algumas culturas de grãos se deslocarão do Sul para a região central do Brasil.
- d. Quanto à produção brasileira de grãos, as simulações preveem uma redução em torno de 4,6 milhões de toneladas em 2030 nos cenários pessimistas, em relação à linha de base. Conforme esperado, o cenário otimista prognostica um reduzido impacto das mudanças climáticas e um declínio de 2,7 milhões de toneladas na produção em 2030, comparado à linha de base.

<sup>21</sup> Otimista: Cenário B2 do IPCC - Projeções de aumento de temperatura feitas pelo IPCC no cenário B2, que estima aumento de temperatura entre 1,4°C e 3,8°C até 2100.

<sup>22</sup> Pessimista: Projeções de aumento de temperatura feitas pelo IPCC no cenário A2, que estima aumento de temperatura entre 2°C e 5,4°C até 2100.

- e. Apesar da queda prevista na produção de grãos na região Sul em torno de 8,9 milhões de toneladas em 2030, de acordo com o cenário pessimista e em relação à linha de base, o Centro-Oeste, o Cerrado do Nordeste e o Norte da Amazônia deverão aumentar a produção de grãos em 4,4 milhões de toneladas em 2030 nesse mesmo cenário, em comparação à linha de base. Ou seja, a redistribuição da produção regional diminuirá quase à metade os impactos negativos das mudanças climáticas sobre os grãos.
- f. Embora a projeção mostre uma redução na área de pastagem, a produção de carne bovina deverá diminuir em quantidade muito menor do que o pasto, como resultado da intensificação tecnológica. A queda na produtividade das pastagens no Brasil poderá ser de 7% em todos os cenários simulados para 2030, mas as simulações preveem que, comparada à linha de base de 2009, é possível que a produção de carne bovina continue a aumentar até 2030 em todos os cenários e esse incremento poderá ser superior a 2 milhões de toneladas.
- g. Os preços da carne bovina deverão aumentar acima de 25% em todos os cenários, mostrando que a intensificação do uso das pastagens e da produção de gado poderá levar a um aumento de preços, com vistas a compensar os investimentos para elevar a produtividade.
- h. Em geral, as quedas na produção deverão afetar os preços, a demanda doméstica e as exportações líquidas desses produtos. Na ausência de mudanças climáticas, a previsão é de aumento do consumo interno de todas as commodities em 2020 e 2030, em relação a 2010. No entanto, as simulações sugerem que, quando comparadas à linha de base de 2010, esse fenômeno poderá reduzir o consumo de quase todas as commodities, especialmente os grãos e o etanol. A principal causa desse declínio é a elevação dos preços reais de todas as commodities, quando a disponibilidade de terra para a produção agrícola sofrer uma redução devido às mudanças climáticas.
- i. As estimativas mostram que, ao contrário das previsões anteriores de redução do valor da produção agrícola, os impactos negativos sobre a oferta de commodities deverá resultar em preços significativamente mais elevados de alguns produtos, especialmente os alimentos básicos como arroz, feijão e todos os produtos de carne. Isto irá compensar o efeito de queda na produtividade sobre o valor da produção agrícola, mas poderá exercer grandes impactos negativos sobre os pobres e o seu consumo desses produtos básicos. Vale ressaltar que a carne bovina e o óleo de soja respondem por quase 50% do valor total previsto para a produção agropecuária brasileira.

#### **Impactos e Vulnerabilidades identificadas para cada cultura analisada**

A seguir serão apresentadas os principais impactos e vulnerabilidades para as principais culturas identificadas nos estudos consultados:

**Algodão:** Com o aquecimento global, a cultura deve sofrer uma redução de áreas de baixo risco principalmente no Agreste e nas regiões de Cerrado nordestino, compreendido entre o sul do Maranhão, o sul do Piauí e o oeste da Bahia. Hoje o país tem 3.590 municípios em condições de cultivar o algodão com baixo risco para a safra. Esse número pode diminuir para 2.984 em 2070, no cenário B2, e para 2.967, no A2.

**Soja:** Esta é a cultura que mais deve sofrer com o aquecimento global, caso as condições de plantio se mantenham como as atuais e nenhuma modificação genética seja feita (este, pelo menos, não deve ser o caso, visto que novas variantes já estão sendo estudadas). Até 2070, a área com baixo risco no país pode ser reduzida a 60% da existente hoje em decorrência do aumento da deficiência hídrica e de possíveis veranicos mais intensos. A região Sul e o Cerrado nordestino serão as áreas mais fortemente afetadas.

**Arroz:** As mudanças climáticas devem provocar redução de áreas de baixo risco para a cultura principalmente no Agreste e nas regiões de Cerrado nordestino, compreendido entre o sul do Maranhão, o sul do Piauí e o oeste da Bahia. O arroz deve acentuar, nos próximos anos, um movimento que já vem ocorrendo hoje de migração para o centro-norte do Mato Grosso em busca de condições mais favoráveis de distribuição de chuvas. O arroz só não deve sofrer um impacto maior porque atualmente seu nível de produtividade vem crescendo bastante. Por conta disso, estima-se que deve ser possível, mesmo com os danos provocados pelas mudanças climáticas, manter a produção estável aos níveis de hoje e concentrada nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste. Porém, em 2070, a população brasileira será maior que hoje (projeções do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para 2050, as mais distantes, estimam cerca de 70 milhões de pessoas a mais), de modo que essa quantidade de arroz já não será suficiente para atender à demanda.

**Café:** O café arábica é a cultura que mais claramente sofrerá uma reconfiguração geográfica com as mudanças climáticas. Se hoje os principais produtores são Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo, no futuro o grão pode migrar para Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul – mas mesmo nos dois últimos, que apresentarão um aumento significativo de áreas com baixo risco para a cultura até 2050, sofrerão uma queda de área com a evolução do aumento das temperaturas em 2070. A cultura poderá ser atingida ou por deficiência hídrica ou por temperatura alta nas regiões onde é cultivada tradicionalmente.

**Cana de açúcar:** Ao contrário do que deve acontecer com as outras culturas avaliadas, a elevação da temperatura prevista para as próximas décadas pode ser, no geral, bem recebida pela cana. A planta gosta de calor, está no Brasil há 500 anos e se adaptou bem aos diferentes solos de quase todo o país. Com o aumento das temperaturas, a área apta ao plantio da cultura deve dobrar. Áreas localizadas nas maiores latitudes, que hoje apresentam restrições para a cana pelo alto risco de geadas, perdem essa característica, principalmente no Rio Grande do Sul, e se transformam em regiões de potencial produtivo dentro de 10 a 20 anos. Locais do Centro-Oeste, que hoje apresentam um alto potencial produtivo, permanecerão como áreas de baixo risco, porém vão depender mais da irrigação complementar – cerca de 50 mm no período mais seco – para garantir a produtividade. O aumento da área propícia à cultura, aliado às vantagens da planta no sequestro de carbono e do etanol como combustível alternativo aos combustíveis fósseis, deve consolidar a cana como fonte de energia primária.

**Feijão:** Por força das mudanças climáticas, haverá uma diminuição das áreas de baixo risco para o plantio da cultura. Assim como vai ocorrer com os outros grãos avaliados neste estudo, a perda mais significativa será no Nordeste, em especial no Agreste e no sul do Maranhão, sul do Piauí e oeste da Bahia. Apesar disso, no geral o impacto tanto sobre o feijão quanto sobre o arroz, as duas principais lavouras anuais voltadas para o abastecimento interno, será menor que o observado nas demais culturas estudadas.

**Girassol:** O girassol possui potencial de crescimento com vistas a atender a demanda de biocombustíveis e também é uma cultura bastante propícia para a agricultura familiar. Com as mudanças climáticas, no entanto, essa oferta de área de baixo risco deve sofrer uma redução. Para 2020, espera-se uma queda de 14%, número que sobe para cerca de 16,5% em 2050, chegando a 18% em 2070. As regiões mais afetadas devem ser o Agreste e o Cerrado nordestino.

**Mandioca:** As mudanças climáticas podem ser consideradas benéficas para a cultura a longo prazo, visto que a área do país apta ao seu cultivo deve aumentar, elevando também o valor da produção. Os números positivos mascaram, porém, o forte revés que a cultura deve enfrentar no Semiárido e no Agreste nordestino, justamente onde está a maior parte de seus consumidores e sua produção está mais fortemente relacionada à segurança alimentar. Lá a área favorável ao plantio deve cair drasticamente, ao contrário do que deve ser observado no restante do país. Nas décadas seguintes a situação melhora para a raiz que encontrará áreas mais favoráveis no sul do país, por conta da redução do risco de geada, e na Amazônia, pela diminuição do excedente hídrico.

**Milho:** A cultura será uma das mais prejudicadas no país em termos de valor de produção com o aquecimento global. Com o aumento da temperatura, espera-se que a quantidade de graus dia seja atingida mais rapidamente, encurtando o ciclo da planta. O Agreste nordestino, hoje responsável pela maior parte da produção regional de milho, sofrerá uma forte redução da área de baixo risco para a cultura, assim como o sul do Maranhão, o sul do Piauí e o oeste da Bahia e o Centro-Oeste do país. Uma das principais fontes alimentares para aves, suínos e bovinos, o milho chega a 2020 com uma área favorável 12% menor nos dois cenários, número que sobe para 15% em 2050 e 17% em 2070.

**Pastagens:** As projeções mostram que no Brasil a área total de pastagens poderá diminuir entre 8,6 e 8,3 milhões de hectares no cenário pessimista e no BRAMS (sem precipitação) em 2030 e 5,8 milhões de hectares no cenário otimista nesse mesmo ano, em comparação à linha de base (2009). Apesar do alto nível de redução em termos relativos, os impactos foram de 5% no cenário pessimista e no BRAMS e de 3% no cenário otimista, em relação à linha de base. Como era de se esperar em termos regionais, devido aos impactos das mudanças climáticas, o Sul foi mais afetado no que se refere a substituição das pastagens pelas culturas agrícolas. Para os cenários pessimista e BRAMS (sem precipitação), as pastagens foram reduzidas em 2,5 milhões de hectares, o que representa uma diminuição de 18% em 2030, comparada à linha de base. No entanto, mesmo no cenário de referência, a área destinada ao pasto apresentou uma retração de 2,4 milhões de hectares, em relação às pastagens observadas em 2009. Isto mostra a tendência de diminuição dessas áreas na região Sul, que foram substituídas por lavouras. Todas as outras regiões, exceto no Norte da Amazônia, também apresentam uma tendência de redução dos pastos no cenário de referência (Tabela 4.1.4).

**Áreas para lavouras:** A Tabela 4.1.5 mostra que a área total de lavoura foi reduzida, mas não de forma tão substancial quanto a das pastagens. Mais uma vez, a maior parte da retração se concentrou no Sul, porque essa região foi a mais afetada pelos cenários de mudanças climáticas. A área de plantio também deve diminuir no litoral do Nordeste. No Cerrado das regiões Centro-Oeste e Nordeste, houve um aumento na área de cultivo nos cenários simulados de mudanças climáticas em relação à linha de base, compensando parcialmente os possíveis impactos das alterações no clima. Em essência, essas tendências do uso da terra parecem representar estratégias de adaptação autóctones – deslocamento dos sistemas de cultivo menos adequados e a sua redistribuição nas áreas mais favoráveis em relação às localizações atuais.

**Produção de carne bovina:** Nota-se que, apesar da redução prevista na área de pastagem, a produção de carne diminuirá em uma quantidade muito menor em razão da intensificação tecnológica, como é mostrado na Tabela 4.1.6. Por isso, embora a produção de carne bovina no Brasil possa diminuir 7% em todos os cenários simulados para 2030 comparados à linha de base, as simulações preveem que ela continuará a crescer até 2030 em todos os cenários, em relação à produção observada em 2009, e poderá aumentar acima de 2 milhões de toneladas.



**Tabela 4.1.4 - Terra destinada às pastagens, referente ao ano base 2009, e sua evolução para os anos 2020 e 2030 nos diferentes cenários**

Região	2009	Linha de base <sup>23</sup>		Pessimista		Otimista		BRAMS (-P) <sup>24</sup>	
		2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
	Milhões ha	-----%							
Sul	16,19	- 9,57	- 14,82	- 25,08	- 30,14	- 18,22	- 23,90	- 23,66	- 30,02
Sudeste	27,47	- 6,55	- 11,58	- 9,14	- 13,80	- 7,94	- 13,03	- 8,52	- 13,65
Centro-Oeste – Cerrado	49,00	- 6,82	- 12,69	- 9,80	- 15,53	- 8,00	- 13,92	- 9,31	- 15,47
Norte da Amazônia	47,83	6,79	12,11	3,78	9,93	4,14	10,27	4,39	10,27
Nordeste – Litoral	10,85	- 1,38	- 3,78	- 16,04	- 18,71	- 14,19	- 16,59	- 15,39	- 18,34
Nordeste – Cerrado	32,15	- 4,54	- 8,43	- 8,46	- 12,94	- 7,50	- 11,60	- 8,09	- 12,85
Total	183,48	- 2,75	- 4,97	- 7,64	- 9,65	- 6,01	- 8,10	- 7,03	- 9,48

Fonte: ICONE

**Tabela 4.1.5 - Terra destinada à lavoura<sup>25</sup> (1000 ha)**

Região	2009	Linha de base		Pessimista		Otimista		BRAMS (-P)	
		2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
	Milhares ha	-----%							
Sul	14.090	7,67	13,80	- 6,06	- 2,26	0,18	4,40	- 4,86	- 2,18
Sudeste	9.727	19,73	33,96	20,15	34,72	20,18	34,38	20,45	34,83
Centro-Oeste – Cerrado	9.994	37,87	69,11	42,13	73,15	40,96	72,24	41,87	73,12
Norte da Amazônia	3.798	19,88	33,36	25,80	42,68	23,14	39,81	25,62	42,94
Nordeste – Litoral	3.945	6,79	13,26	- 7,20	- 2,41	- 5,93	- 0,61	- 6,69	- 1,98
Nordeste – Cerrado	4.951	42,58	77,94	44,60	79,32	42,62	77,84	44,29	79,36
Total	46.506	21,32	38,28	17,68	34,02	19,00	35,53	18,04	34,12

Fonte: ICONE

**Tabela 4.1.6 - Produção de carne bovina (mil toneladas)**

Região	2009	Linha de base		Pessimista		Otimista		BRAMS (-P)	
		2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
Sul	1.072	1.596	1.942	1.453	1.700	1.492	1.748	1.460	1.700
Sudeste	2.483	2.894	3.292	2.823	3.158	2.820	3.144	2.824	3.157
Centro-Oeste – Cerrado	2.997	4.473	4.927	4.349	4.594	4.367	4.629	4.353	4.597
Norte da Amazônia	1.381	1.474	1.891	1.404	1.733	1.403	1.725	1.408	1.736
Nordeste – Litoral	388	532	627	511	588	512	590	512	588
Nordeste – Cerrado	839	911	1.012	886	954	887	956	887	954
Total	9.161	11.881	13.691	11.426	12.726	11.482	12.793	11.443	12.733

Fonte: ICONE

### Principais informações do Relatório de Avaliação Nacional (RAN 1) do PBMC para o tema Agricultura e Segurança Alimentar

A descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificadas no presente trabalho estão em conformidade com as informações compiladas no RAN 1 do PBMC. Além disso, as principais

<sup>23</sup> Projeções de base (sem qualquer impacto da mudança climática)

<sup>24</sup> Utilizando o modelo BRAMS sem cenários de precipitação

<sup>25</sup> Foram consideradas somente as safras de verão de milho e de feijão e excluídas as safras de inverno (trigo e cevada).

conclusões dos autores do PBMC no tema Agricultura e Segurança Alimentar estão listadas no Quadro 4.1.3.

#### **Quadro 4.1.3 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema agropecuária**

- O aquecimento global poderá colocar em risco a produção de alimentos no Brasil, caso nenhuma medida mitigadora e de adaptação seja realizada.
- Os cenários agrícolas apontam para uma redução da área cultivável de "baixo risco e alto potencial" em 2020 e 2030. O Brasil poderá perder cerca de 11 milhões de hectares de terras adequadas à agricultura, por causa das alterações climáticas em 2030.
- Os efeitos negativos sobre a oferta de commodities devem resultar em preços significativamente mais elevados de algumas matérias-primas, especialmente os alimentos básicos como arroz, feijão e todos os produtos de carne. Isso irá compensar o declínio na produtividade sobre o valor da produção agrícola, mas poderá ter importantes efeitos negativos sobre os pobres e o seu consumo desses itens básicos.
- Diante disso algumas medidas adaptativas para o setor agropecuário são listadas abaixo:
- Para alcançar o desenvolvimento nacional, a segurança alimentar, a adaptação e a atenuação das mudanças climáticas, assim como as metas comerciais nas próximas décadas, o Brasil precisará elevar de forma significativa a produtividade por área dos sistemas de cultivo de produtos alimentícios e de pastagens, reduzindo ao mesmo tempo o desmatamento, reabilitando milhões de hectares de terra degradada e adaptando-se às mudanças climáticas.
- Medidas adaptativas poderiam promover avanços na incorporação de novos modelos e paradigmas de produção agropecuária. O foco na descentralização da produção, na busca de soluções mais adaptadas às condições locais, na diversificação da oferta interna de alimentos e na qualidade nutricional são possíveis soluções para adaptação agrícola, além do melhoramento genético de variedades tolerantes à seca, a transição de produção por monocultivos para sistemas integrados de produção, ampliação do acesso à tecnologia de irrigação eficiente e aos mecanismos de gestão que conservam e elevam o nível de carbono do solo.
- A utilização de novas práticas de manejo agrícola contribui para a superação de problemas ocasionados por extremos climáticos, como por exemplo, na defesa contra geadas que incidam sobre o cafeeiro ou a adoção de cultivares mais tolerantes à seca em culturas não irrigadas. O desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas, além de promover a redução na emissão GEE, promove o aumento da produtividade das culturas.
- O governo brasileiro e o setor privado vêm facilitando constantemente a adoção de melhores práticas agrícolas de conservação do solo como o plantio direto e os sistemas mais eficientes em termos de recursos, da mesma maneira que os esquemas de integração lavoura-pecuária que são por naturezas mais resistentes aos choques climáticos do que alguns modos de cultivo intensivo.
- O governo está concedendo crédito e financiamento para o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, conhecido como Plano ABC, composto por tecnologias sustentáveis de baixa emissão de carbono e desenvolvidas para as condições tropicais e subtropicais.
- O acúmulo de carbono no solo agrícola também pode ser qualificado para o recebimento de pagamentos de carbono nos mercados voluntários e formais (futuros).

#### **4.1.2 Principais indicadores identificados**

Os principais indicadores de impactos e vulnerabilidades frente às mudanças climáticas no setor agropecuário estão descritos abaixo (Quadro 4.1.4). À medida que os impactos e vulnerabilidades se intensificam esses índices tendem a diminuir com exceção do aparecimento de pragas e doenças nas lavouras que tende a aumentar.

#### Quadro 4.1.4 - Indicadores dos impactos das mudanças climáticas para o setor agropecuário

- Produtividade das culturas
- Área de baixo risco climático para agropecuária
- Área plantada com culturas alimentícias (grãos, frutas, cereais, oleaginosas)
- Área plantada com pastagem segundo o Zoneamento Agrícola de Risco Climático
- Área plantada com cana de açúcar para produção de açúcar e biocombustível
- Produção de grãos
- Produção de carnes
- PIB Brasil
- PIB Agropecuária
- Ciclo da cultura (dias)
- Rentabilidade e lucratividade do produtor rural
- Pragas e doenças nas culturas

Também podem ser elucidados alguns indicadores relacionados à empregabilidade ou não de medidas de adaptação para o setor conforme o Quadro 4.1.5 abaixo. A ampliação desses indicadores caracteriza a empregabilidade de medidas de adaptação para o setor.

#### Quadro 4.1.5 - Indicadores relacionados a medidas de adaptação para o setor agropecuário

- Variedades agrícolas melhoradas geneticamente
- Área com sistema Integração Lavoura Pecuária Floresta, Lavoura Pecuária e Agroflorestal
- Número de culturas agrícolas e gramíneas contempladas pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático
- Número de propriedades rurais que empregam práticas sustentáveis como a agroecologia e agricultura orgânica
- Investimento na Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER)
- Uso das Boas Práticas Agrícolas (BPAs)<sup>26</sup>
- Investimentos governamentais em pesquisa sobre adaptação às mudanças climáticas no setor agropecuário
- Propriedades rurais contempladas pelo Seguro Agrícola

### 4.1.3 Medidas de adaptação identificadas

A seguir serão elencadas algumas medidas adaptativas em curso e outras previstas em políticas públicas no País para o setor Agropecuário.

- **Laboratório Virtual Multi-institucional de Mudanças Climáticas e Agricultura:** Implementação do Laboratório Virtual Multi-institucional de Mudanças Climáticas e Agricultura, instituído mediante parceria entre Embrapa e integrantes da Rede Clima, envolvendo instituições públicas de pesquisa e ensino, para o monitoramento, reporte e verificação (MRV) das ações de mitigação e adaptação preconizadas no Plano ABC. Para tanto, o recebimento e o processamento de informações, a análise de imagens de satélite e de documentos referentes ao monitoramento das ações deste Plano ocorrerá de forma centralizada nesse laboratório.

<sup>26</sup> As BPAs são um conjunto de princípios, normas e recomendações técnicas aplicadas à produção, ao processamento e ao transporte de insumos, matérias-primas e produtos, orientados a cuidar da saúde humana, proteger o meio ambiente e melhorar as condições dos trabalhadores e suas famílias (FAO 2007).

- **UMIP Gen Clima:** a Unidade Mista de Pesquisa (UMIP) GenClima é uma iniciativa conjunta da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e da EMBRAPA para unir suas expertises em Biotecnologia para desenvolver tecnologia genética na área de genômica aplicada a agricultura, visando o desenvolvimento de plantas melhor adaptadas às condições de estresse impostas pelas mudanças climáticas. A unidade operacional da UMIP GenClima foi instalada no Parque Científico e Tecnológico da UNICAMP e conta com laboratórios de genômica e biologia molecular, laboratórios de transformação genética em larga escala e laboratórios de fenômica para avaliação de eventos contendo tecnologias genéticas que confirmam tolerância a estresses abióticos. A operação da UMIP GenClima será conduzida por pesquisadores da UNICAMP e da EMBRAPA especialistas na área, e técnicos especializados a serem contratados pela Unidade. A UMIP GenClima tem como meta o desenvolvimento, em cinco anos, de tecnologia genética proprietária para tolerância a seca, potencialmente aplicável para as culturas de maior impacto econômico e social do país.
- **Sistemas produtivos sustentáveis para o Semiárido:** Avaliações dos impactos das mudanças climáticas sobre a estabilidade dos biomas brasileiros indicam que o bioma Caatinga está entre os mais vulneráveis num cenário de aumento das temperaturas globais, o que coloca a Região Nordeste do Brasil em estado especial de alerta (PBMC, 2013). A região Nordeste abriga cerca de metade dos estabelecimentos de base familiar do Brasil, com cerca de 15 milhões de pessoas vivendo na zona rural, correspondendo a aproximadamente 40% da população do Nordeste. Algumas ações já implementadas na região mostram o direcionamento da agropecuária do Semiárido rumo ao desenvolvimento sustentável por meio das seguintes medidas adaptativas:
  - ✓ **Pecuária de caprinos e ovinos:** Diante de uma das maiores secas do sertão do Ceará nos últimos 40 anos, a criação de cabras leiteiras e de corte é hoje uma opção viável e rentável para pequenos produtores rurais que formam a agricultura familiar. De acordo com a Embrapa Caprinos e Ovinos, o Brasil detém um rebanho de 6.590.646 cabeças de caprinos e 13.954.555 de ovinos, dos quais 93,7% e 48,1%, respectivamente, na Região Nordeste (IBGE, 2002). Estes dados mostram a importância do agronegócio da caprino-ovinocultura como estratégia para o desenvolvimento rural e adaptação do setor às intempéries climáticas futuras. Em vários municípios da região, a atividade vem crescendo nos últimos anos graças ao associativismo e aos recursos liberados pelo Ministério do Desenvolvimento Social e Secretaria do Trabalho e Desenvolvimento Social (STDS). O projeto social de ovino-caprinocultura leiteira e de corte está mudando a vida de muitas famílias de áreas de assentamentos na maioria integrantes do Programa Nacional de Agricultura Familiar (Pronaf). Os recursos são da ordem de R\$ 2,5 milhões. Com investimentos e emprego de tecnologias, a produção leiteira pode alcançar níveis satisfatórios.
  - ✓ **Apicultura:** Graças ao seu enorme potencial para a apicultura, com floradas variadas em diferentes épocas do ano e perfeita adaptação das abelhas africanizadas, o Nordeste será, em breve, o maior produtor brasileiro de mel e outros produtos apícolas. A extração de mel é tradicionalmente uma atividade de subsistência no Semiárido. A região concentra 17% das colmeias orgânicas brasileiras, ocupando com o Sudeste (18%) o segundo lugar do ranking nacional. A apicultura migratória, característica do Nordeste, alcança uma produtividade em torno de 100 kg/colmeia/ano, duas vezes mais que a

apicultura fixa, com produtividade de 40 a 50 kg/colmeia/ano. As colmeias são chamadas “orgânicas” porque as abelhas produzem em matas limpas de agrotóxicos. Essa também é uma ação implementada na região, principalmente entre agricultores familiares, que recebem crédito via Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF).

- ✓ **Sistemas Irrigados:** apesar de conferir uma baixa vulnerabilidade aos sistemas agrícolas, o elevado custo para implementar e manter sistemas de irrigação torna a tecnologia muito rara entre os produtores familiares. A exceção é em Juazeiro. O município faz parte do polo de irrigação Petrolina/Juazeiro, o principal expoente dos projetos de irrigação que começaram a ser implementados no Semiárido a partir da década de 1960. O projetos foram inicialmente desenvolvidos pela Sudene (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste). Posteriormente, foram ampliados pela Suvale (Superintendência do Vale do São Francisco) e continuados por sua sucessora, a Codevasf (Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba).
- ✓ **Integração – Lavoura – Pecuária (ILP):** uma característica marcante da pecuária familiar no Semiárido é a ILP. É uma alternativa promissora para uma produção sustentável que integram atividades agrícolas e pecuárias, realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema. A ILP é amparada pela Política Nacional de Integração Lavoura – Pecuária- Floresta, instituída na Lei de nº 12.805 de 29 de abril de 2013.
- ✓ **Plantio de oleaginosas para produção de biodiesel:** o plantio de oleaginosas por agricultores familiares do Nordeste e a inserção desses agricultores na cadeia produtiva do biodiesel é uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas. Os benefícios resultantes da inserção de agricultores familiares na cadeia do biodiesel poderão ser refletidos principalmente na possibilidade de diversificar e organizar o processo produtivo. Esta é uma alternativa que contribui para melhorar a capacidade de adaptação desse grupo em relação às adversidades das alterações climáticas. Existem diversas iniciativas desse tipo em curso no Nordeste com acompanhamento da Embrapa.
- **Plano ABC - Adaptação às Mudanças Climáticas:** somando-se aos compromissos de mitigação, o Plano tem ainda por objetivo incentivar, motivar e apoiar o setor agropecuário na implementação de ações de promoção da adaptação, onde for necessário, e segundo os mapeamentos de áreas sensíveis, incrementando a resiliência dos agroecossistemas, o desenvolvimento e a transferência de tecnologias, em especial daquelas com comprovado potencial de redução de GEE e de adaptação aos impactos da mudança do clima incentivadas no Plano ABC. As seguintes políticas públicas são priorizadas no Plano, com vistas a assegurar um processo de transição eficiente:
  - ✓ Capacitação de profissionais para a qualificação, visando responder aos impactos das mudanças climáticas;
  - ✓ Pesquisa científica: identificação de vulnerabilidades dos diferentes biomas, conservação e uso sustentável de recursos genéticos, fenotipagem de alta resolução, para dar celeridade aos programas de melhoramento como ferramenta para adaptação dos sistemas produtivos, manejo de solos e dos recursos hídricos, fluxo de gases e

nutrientes nos sistemas produtivos e naturais diretamente relacionados entre si, resiliência dos agroecossistemas e modelagem climática para os diferentes sistemas produtivos;

- ✓ Diversificação das unidades e sistemas produtivos atuais, considerando os aspectos econômicos, sociais e ambientais relacionados às ações de desenvolvimento rural, com vistas a aumentar sua eficiência;
  - ✓ Manejo do solo e água, incluindo a prevenção de desastres;
  - ✓ Desenvolvimento de sistema integrado de alerta climático;
  - ✓ Ordenamento territorial (zoneamentos agrícola, ecológico, social e econômico, e de áreas vulneráveis);
  - ✓ Aperfeiçoamento e ampliação do seguro rural, para dar suporte às ações de adaptação;
  - ✓ Outros instrumentos de mitigação dos riscos e de compensação por serviços ambientais;
  - ✓ Fortalecimento da transferência de tecnologia e da assistência técnica e extensão rural, visando reduzir a vulnerabilidade das unidades produtivas e dos sistemas produtivos.
- **Zoneamento Agrícola de Risco Climático:** por meio do uso do calendário agrícola do Zoneamento o produtor tem as informações sobre “o que plantar, em qual período plantar e onde plantar”. Essas informações são disponibilizadas em cada ano-safra, por município e cultura. A adaptação do calendário agrícola às condições climáticas permite diminuir os riscos de perda no campo. Essa metodologia será melhor relatada no item a seguir (4.1.4).
  - **Armazenagem e beneficiamento da produção:** são estratégias adaptativas da agricultura ao impacto climático sobre os preços. O beneficiamento agrega valor ao produto, aumentando a rentabilidade e o lucro por unidade produzida, assim como permite a estocagem de produtos perecíveis. É o caso da batata da mandioca que *in natura* se estraga rapidamente, mas na forma de farinha pode ser estocada por muito tempo.
  - **Garantia Safra:** é uma ação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) voltada para os agricultores e as agricultoras familiares localizados na região Nordeste do país, na área norte do Estado de Minas Gerais, Vale do Mucuri, Vale do Jequitinhonha e na área norte do Estado do Espírito Santo — área de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), majoritariamente Semiárida — que sofrem perda de safra por motivo de seca ou excesso de chuvas<sup>27</sup>. Os agricultores que perdem mais de 50% da sua colheita recebem compensações financeiras.
  - **Adapta Sertão:** é uma rede que articula municípios, instituições públicas, privadas e do terceiro setor com vistas a integrar recursos técnicos, científicos e humanos para ajudar o pequeno e médio agricultor a se adaptar à mudança climática. A metodologia de

---

<sup>27</sup> <http://www.mda.gov.br/portal/saf/programas/garantiasafra>

atuação da rede é baseada na implementação de tecnologia social baseada em tecnologias adequadas, micro-financiamentos, capacitação técnica e administrativa e acesso ao mercado. A visão da rede Adapta Sertão é disseminar um modelo de adaptação à mudança climática na região do Semiárido baseado no desenvolvimento da agricultura de pequena escala contribuindo para a segurança alimentar, a redução da pobreza e a sustentabilidade da caatinga<sup>28</sup>.

#### 4.1.4 Principais atores, projetos e modelos

Os principais atores envolvidos com a geração de dados sobre os impactos e vulnerabilidades das mudanças climáticas no setor agropecuário no país são: EMBRAPA; CEPAGRI; AGROICONE, Rede CLIMA; INPE; além de participação de Universidades e outros Centros de Pesquisa nacionais, Redes Estaduais de Pesquisa e colaboração internacional. Para os impactos das mudanças climáticas e vulnerabilidades da agricultura familiar os principais atores envolvidos são: Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (CDS/UNB) e COPPE/UFRJ.

Além dos principais modelos climáticos citados no item 2.2, para a geração dos cenários climáticos e socioeconômicos para o setor agropecuário também são utilizadas outras ferramentas como:

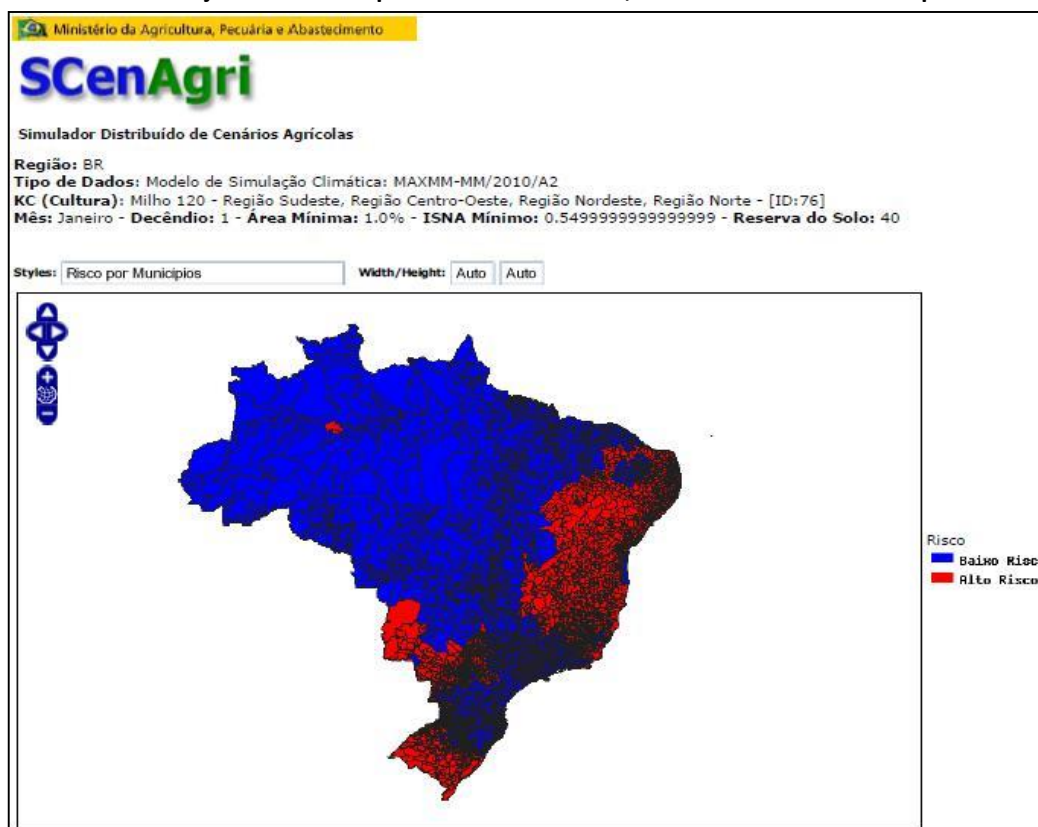
- **ScenAgri**

Para obter os impactos previstos das mudanças climáticas na temperatura e na precipitação em 2020 e 2030 sobre as principais culturas agrícolas e pastagens, utilizou-se o Simulador de Cenários Agrícolas (SCenAgri) do CNPTIA da EMBRAPA, que integra informações sobre clima, solo, água e características/necessidades das culturas com base nos conjuntos de dados de campo testados no nível nacional. O SCenAgri pode ser empregado na simulação de cenários futuros da produção agrícola, que se fundamentam em projeções climáticas regionais (Figura 4.1).

---

<sup>28</sup> <http://www.adaptasertao.net/>

Figura 4.1 - Exemplo de áreas de baixo e alto risco para plantação de milho no Brasil, considerando os primeiros dez dias de janeiro como o período da sementeira, com base em um cenário pessimista.



Fonte: EMBRAPA

- **Modelo BLUM**

O BLUM é um modelo econômico nacional, multirregional, multimercado, dinâmico e de equilíbrio parcial<sup>29</sup> para o setor agropecuário brasileiro, que compreende dois módulos: oferta e demanda e uso da terra. O modelo inclui os seguintes produtos: soja, milho (duas safras por ano), algodão, arroz, feijão (duas safras por ano), cana-de-açúcar, trigo, cevada, pecuária de leite e de corte (carnes bovina, suína e de frango e ovos). As florestas comerciais são consideradas como projeções exógenas. Combinadas, as commodities selecionadas respondem por 95% da área total utilizada para a produção agropecuária no país. Embora a segunda safra (de inverno) compreendendo milho, feijão, cevada e trigo não gere demanda adicional de terra – porque é menor e plantada nas mesmas áreas das culturas da primeira safra –, nas áreas de duplo cultivo, a sua produção é contabilizada no abastecimento nacional. O BLUM também regionaliza o país da seguinte forma: Norte da Amazônia (AM, AC, AP, RR, RO, PA e norte e oeste do MT); Cerrado no Centro-Oeste (GO, MS e centro-sul do MT); Cerrado do Nordeste (TO, MA, PI e BA); Costa do Nordeste (CE, RN, PB, PE, AL e SE); Sudeste (MG, SP, RJ e ES) e Sul (PR, SC e RS).

O BLUM também considera as interações entre os setores analisados, assim como as relações entre um produto e seus subprodutos. Por exemplo, o vínculo entre os grãos e a pecuária se dá a partir do consumo de ração (basicamente milho e farelo de soja) que ocorre em função da oferta de carnes, leite e ovos, que é um componente da demanda doméstica de milho e soja.

<sup>29</sup> Modelo de equilíbrio parcial: é um modelo matemático que analisa os efeitos de uma determinada mudança de preço ou de política sobre um setor ou mercado específico com o uso da Econometria.



No caso do complexo de soja, os componentes farelo e óleo de soja fazem parte da demanda doméstica de soja em grão e são determinados pela demanda de moagem. Da mesma forma, o etanol e o açúcar são os componentes da demanda de cana-de-açúcar.

O modelo BLUM foi desenvolvido pela equipe da ICONE, hoje chamada de Agroicone. Atualmente o BLUM cobre as seguintes atividades: pecuária (leite e corte), complexo soja, milho, algodão, arroz, feijão, trigo, complexo sucroenergético, carnes de frango e suína, sendo que o módulo de floresta plantada está em desenvolvimento. Utilizando os resultados do BLUM, a equipe desenvolveu um modelo de alocação que permite avaliar a mudança do uso da terra e a expansão da agropecuária brasileira por microrregião do IBGE.

- **Modelo de Zoneamento da Vulnerabilidade e dos Riscos Climáticos Agrícolas**

No Brasil, o zoneamento dos riscos agrícolas é uma política pública desde 1996 e cada um de seus 5.564 municípios foi demarcado de acordo com a adequação ao cultivo segundo uma probabilidade mínima de 80% de se obter uma safra economicamente viável.

Em 2001, a EMBRAPA e a UNICAMP desenvolveram um simulador para projetar os riscos agrícolas em função do clima e do solo. Essas simulações, que tinham como objetivo refletir os diferentes solos, as plantas e as características climáticas dos diversos municípios brasileiros resultaram em uma base de conhecimento avançado da geografia agrícola do país. Além de prover informações sobre as necessidades das culturas agrícolas, as características do terreno, a qualidade do solo e os dados meteorológicos, o zoneamento foi ainda mais aperfeiçoado de modo a incluir índices específicos de sensibilidade dos cultivos a temperaturas extremas e eventos de umidade durante as fases críticas do seu crescimento, com base nos conhecidos calendários agrícolas.

Ao incorporar os cenários de aquecimento global do IPCC, a temperatura prevista e qualquer impacto causado pela precipitação atmosférica/umidade do solo podem ser inseridos nas simulações com base nos índices de risco associados à temperatura e à umidade para qualquer cultura específica. As áreas vulneráveis são identificadas e quantificadas com base nos efeitos de temperatura em diferentes horizontes temporais.

O Modelo de Zoneamento de Vulnerabilidade e Risco Agroclimático Agrícola serve atualmente de base para todos os financiamentos destinados ao setor agrícola brasileiro.

#### 4.1.5 Lacunas identificadas

A seguir serão elencadas as lacunas e limitações mais relevantes, principalmente para o avanço das análises dos impactos e vulnerabilidades, para o setor Agropecuário.

- **Número reduzido de culturas analisadas:** observa-se a falta de estudos sobre impactos das mudanças climáticas e vulnerabilidades para outras culturas agrícolas além das culturas mais importantes comercialmente. Ainda faltam estudos de impactos socioeconômicos frente às alterações climáticas para culturas agrícolas de interesse regional, como por exemplo, para culturas plantadas pelos agricultores familiares do Nordeste.

- **Refinamento do mapeamento dos impactos:** um dos principais desafios e oportunidades para o Brasil é a necessidade de melhor compreender, quantificar e mapear os locais onde há previsão de impactos nas áreas agrícolas produtivas e de aprimorar a quantificação da magnitude e da incerteza associadas às projeções atuais dos efeitos positivos e negativos.
- **Principais limitações dos estudos:** em 2011, um relatório do Banco Mundial apresentou uma análise detalhada da literatura e dos resultados de estudos empíricos recentes que realizaram projeções para os prováveis impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira. De modo geral, a evidência empírica sugere que o efeito líquido é negativo, embora existam diferentes consequências regionais. No entanto, a maioria dos estudos desenvolvidos para avaliar essas possíveis consequências foi determinada por várias das seguintes limitações:
  - ✓ As simulações de mudanças climáticas se basearam em cenários de aumento uniforme de temperatura e precipitação e não usaram projeções climáticas geograficamente diferenciadas.
  - ✓ Os estudos usaram conjuntos de dados climáticos que eram significativamente menos abrangentes em termos de distribuição geográfica e de precisão do que os dados atuais disponíveis.
  - ✓ Muitos trabalhos se basearam exclusivamente nos modelos climáticos globais (MCGs) utilizados nas projeções dos futuros impactos das mudanças climáticas. Embora as simulações com MCGs sejam os instrumentos adequados para abordar as mudanças e os impactos climáticos em escala global até subcontinental (Giorgi et al. 2001), os resultados das simulações MCG de longo prazo ainda devem ser tratadas com cautela porque não captam os detalhes necessários às avaliações de impacto regional, em parte devido à baixa resolução (cerca de 300 km x 300 km) na maioria dos modelos utilizados. A preocupação com a baixa resolução espacial dos MCGs é especialmente importante para as regiões heterogêneas, como a América do Sul, onde as distribuições das variáveis de superfície como a temperatura e a precipitação atmosférica são frequentemente influenciadas por efeitos locais de topografia e de contrastes térmicos que podem ter um efeito significativo sobre o clima (ALVES E MARENGO, 2009).
- **Falta de dados regionais de boa qualidade sobre clima e de longo prazo:** No estudo conduzido pela Embrapa, ICONE, Cepagri e INPE (Assad et al. não publicado), as iniciativas para acessar os mais recentes dados hidrometeorológicos e de uso da terra disponíveis melhorou de modo significativo a capacidade de realizar modelagens e projeções de impacto mais eficientes. No entanto, a falta de dados sobre o clima de boa qualidade e longo prazo está prejudicando os esforços regionais e locais de modelagem climática, bem como a calibração e a validação das projeções atuais que estão sendo utilizadas para informar as decisões sobre políticas e investimentos em 2050 e posteriores.
- **Falta de avaliações integradas:** Nesse mesmo estudo, a necessidade de melhores avaliações integradas do impacto das mudanças climáticas é especialmente urgente no setor agrícola. Uma recente pesquisa realizada pela EMBRAPA revelou que, mesmo

contanto com técnicas de reprodução avançadas, gasta-se em torno de 10 anos de pesquisa e desenvolvimento (incluindo 2 a 3 anos para ampliar a produção e distribuir sementes) com custos na faixa de 6 a 7 milhões de dólares para desenvolver, testar e lançar uma nova cultivar ou variedade de cultura que seja resistente ao calor e/ou à seca.

#### 4.1.6 Agricultura Familiar e Desenvolvimento Regional – sistemas socioecológicos<sup>30</sup>

A adaptação às mudanças climáticas pela agricultura familiar possui abordagem diferenciada da agricultura comercial, portanto a mesma será tratada separadamente e resumidamente nesse item, que procura compreender como os produtores rurais familiares são afetados e respondem ao clima e suas adversidades. As principais fontes de informações foram os trabalhos desenvolvidos pelo CDS/UNB, principalmente o mais recente trabalho concluído na instituição e inserido na pesquisa da sub-rede Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Regional, da Rede Clima intitulado: Vulnerabilidade e adaptação da vida às secas: desafios à sustentabilidade rural familiar nos semiáridos nordestinos (LINDOSO, 2013). A lista completa de todos os trabalhos de pesquisadores do CDS/UNB está no final dessa seção.

A pesquisa trouxe uma série de elementos que permitiram investigar as seguintes questões: relação entre a produção rural familiar e os eventos de seca no Semiárido Nordeste; agenda de pesquisa sobre adaptação à mudança climática, desde 1990 avanços foram feitos na construção de arcabouços teóricos, conceituais e analíticos, mas ainda há relativamente poucos trabalhos empíricos que reflitam e dialoguem com o marco teórico; demanda por produção científica orientada para política, que dialogue ao mesmo tempo com a literatura e com a agenda política. Também possibilitou fazer algumas considerações sobre a agenda política e científica relativa aos impactos, vulnerabilidade e adaptação à mudança climática da produção rural familiar.

As principais medidas adaptativas para a agricultura familiar no Semiárido foram expostas no item 4.1.3 “Medidas de adaptação identificadas”. Outras medidas adaptativas relacionadas ao abastecimento hídrico para a agricultura nesse mesmo ecossistema serão apresentadas no item 4.3.3 “Medidas de adaptação identificadas”.

As principais conclusões do estudo foram:

- **Grande heterogeneidade espaço-temporal da vulnerabilidade:** dentro e entre os municípios observou-se uma grande variedade de contextos agropecuários familiares, como por exemplo, na Bahia, sistemas irrigados, de sequeiro e de vazante apresentam particularidades quanto à vulnerabilidade climática. Em alguns casos opostas.
- **Recorte agroambiental para políticas adaptativas:** o trabalho aponta o recorte de agroambientes como o mais adequado quando o objetivo é estabelecer referências

---

<sup>30</sup> Há um crescente reconhecimento de que para compreender e antecipar o comportamento de sistemas sociais e ecológicos é necessário levar em conta a dinâmica que emerge na interações entre ambos (GALLOPÍN, 2006; YOUNG *et al*, 2006). Na literatura, o reconhecimento analítico de uma natureza na qual homem e o ecossistema são empiricamente indissociáveis é sintetizado nos termos *sistemas socioecológicos*, *sistemas acoplados homem-ambiente* (ou *sistemas acoplados homem-natureza*), usados como sinônimos para se referir a sistemas dessa natureza (TURNER II *et al*, 2003).

especiais para a intervenção política adaptativa. Ele é proposto em complementação aos recortes de biomas (ex.: Caatinga, Amazônia), ao recorte regional (ex.: Norte, Nordeste) e ao recorte político-administrativo (ex.: municípios, estados, territórios). Esta proposta é baseada na percepção de que os recortes de bioma, regiões e político-administrativos agregam um mosaico de modalidades de sistemas produtivos. Formular políticas adaptativas exclusivamente para estes recortes implica em homogeneizar na estratégia política vulnerabilidades muito distintas entre si.

- **Heterogeneidade temporal da vulnerabilidade:** a produção rural familiar apresentou vulnerabilidades distintas entre as estações do ano e durante o ciclo de desenvolvimento de uma cultura. Cada um desses momentos exige ajustes específicos nos sistemas agropecuários e familiares.
- **Resiliência da produção rural familiar no Semiárido:** é altamente resiliente aos impactos climáticos. Ao longo de séculos de convivência com o clima adverso e condições ambientais extremas, o sertanejo se ajustou, lançando mão de uma ampla disponibilidade de recursos adaptativos e desenvolvendo uma série de práticas em sua rotina agropecuária que moderavam os efeitos do clima. No nível produtivo, estas adaptações consistem em sistemas de baixo investimento, diversificados e voltados, principalmente, para o autoconsumo.
- **Gargalos para a adoção de medidas adaptativas:** Apesar de um amplo leque de tecnologias adaptativas estarem disponíveis, a frequência de adoção é muito baixa pelos produtores. Os principais gargalos são as barreiras institucionais e os custos envolvidos na implementação da adaptação. O produtor não tem condições financeiras e tecnológicas, nem conhecimento adequado, para empreender, sozinho, grande parte das estratégias de convivência com o Semiárido. Sem subsidio e apoio de agentes externos, dificilmente as vulnerabilidades climáticas produtivas poderão ser superadas.

#### 4.1.7 Sistematização das informações para o setor Agropecuário

Esta seção traz uma síntese das vulnerabilidades, impactos e medidas de adaptação do setor Agropecuário. Importante enfatizar que a maioria das informações geradas pelos atores mapeados no tema adaptação no Brasil apresenta as análises de impactos e vulnerabilidades agrupadas, dificultando a sua sistematização.

A seguir são descritas as metodologias adotadas para a sistematização do conhecimento gerado no País<sup>31</sup>.

---

<sup>31</sup> No presente trabalho, as avaliações de vulnerabilidades e impactos verificadas nos trabalhos consultados foram sistematizadas baseadas em combinações de metodologias internacionais e nacionais, bem como em percepções extraídas do conhecimento (informações) mapeado.

#### 4.1.7.1 Avaliação das vulnerabilidades

Para a sistematização das vulnerabilidades identificadas foi adotada a abordagem apresentada por Füssel (2005)<sup>32</sup>, assumindo as suas quatro dimensões fundamentais para descrever a avaliação de vulnerabilidade em cada setor/tema conforme abaixo:

- Sistema: Sistema econômico, região geográfica, grupo de população, ecossistema e/ou setor (sistemas sociais e naturais) vulneráveis.
- Conjunto de fatores de estresse: Influências externas que podem afetar adversamente um sistema. Um evento físico (como os eventos extremos/desastres naturais), fenômeno ou atividade humana que pode causar a perda de vidas, danos a propriedades, rupturas sociais e econômicas e/ou degradação ambiental (ONU, 2004). Exemplos: aumento do nível do mar, aumento de temperatura atmosférica e oceânica e eventos climáticos extremos (enchentes, etc.).
- Atributo valorizado ou variáveis de interesse: Atributo(s) valorizado(s) do sistema vulnerável, que são ameaçados por sua exposição ao perigo. Exemplos: vidas, saúde, renda, identidade cultural, biodiversidade, recursos naturais, serviços ambientais, etc.
- Horizonte temporal: Ponto no tempo ou período de tempo ao qual se refere a avaliação de vulnerabilidades. Foi adotada a seguinte escala: atual; curto prazo (1-5 anos); médio prazo (5-10 anos) e longo prazo (acima de 10 anos).

#### 4.1.7.2 Avaliação dos impactos

Os impactos detectados em cada setor/tema, oriundos das informações geradas pelos atores mapeados, foram classificados quanto aos seus efeitos decorrentes das mudanças climáticas em impactos biofísicos e socioeconômicos.

Essa classificação foi adotada uma vez que a grande maioria das informações sobre os impactos das mudanças climáticas em todos os setores analisados, naturalmente, foram agrupadas nessas duas categorias pelos atores responsáveis. Isto também está relacionado à etapa de diagnóstico desses impactos nos estudos, que articulam as projeções climáticas a modelos socioeconômicos, permitindo assim uma análise integrada dos impactos correlacionados às mudanças climáticas no Brasil.

Essa padronização dos impactos tem como objetivo auxiliar no direcionamento das medidas de adaptação futuras e em curso.

---

<sup>32</sup> Outros autores propõem outras classificações. O objetivo aqui não é privilegiar a usada por Füssel, mas usá-la como exemplo da diversidade de abordagens.

#### 4.1.7.3 *Determinação dos indicadores de impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação*

Os indicadores de impactos, vulnerabilidades e de empregabilidade de medidas de adaptação listadas em cada setor/tema avaliados foram selecionados de trabalhos, iniciativas e projetos dos atores mapeados no Produto 2.0.0a.

Nos casos em que esses indicadores não estavam explícitos nas informações geradas pelos atores, tanto em material publicado como em sites institucionais, os mesmos foram extraídos, de forma indireta, do conteúdo dessas informações.

Apenas para o setor de transportes, devido à carência de estudos sobre vulnerabilidades e impactos das mudanças climáticas no setor no País, os indicadores de impactos, vulnerabilidades e de medidas de adaptação foram extraídos da literatura internacional, principalmente de experiências nos Estados Unidos e Canadá. Esses indicadores podem ser adotados por muitos municípios brasileiros e apresenta uma síntese das condições e variações climáticas que afetam o sistema de transporte, mencionadas na literatura.

#### 4.1.7.4 *Classificação do conjunto de fatores de estresse ou perigos*

Para auxiliar na classificação dos fatores de estresse ou perigos oriundos de eventos extremos que causam os desastres naturais, elencados na sistematização das informações setoriais/temáticas, adotou-se a Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), elaborada a partir da classificação utilizada pelo Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT) do Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (CRED) e da Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU), com o propósito de adequar a classificação brasileira às normas internacionais. A classificação do COBRADE foi adotada por ter grande sinergia entre os perigos mapeados (oriundos das informações geradas pelos atores) e desastres naturais.

Classificação quanto a sua categoria e grupo (origem):

O COBRADE classifica os desastres em duas categorias – Desastres Naturais e Desastres Tecnológicos. Para o presente relatório, os perigos foram classificados de acordo com os grupos exibidos na Tabela 4.1.7 abaixo. A categoria de Desastres Tecnológicos diz respeito aos grupos relacionados a substâncias radioativas, produtos perigosos, incêndios urbanos, obras civis e transportes de cargas e passageiros. Tais desastres tecnológicos não foram levados em consideração no presente relatório.

**Tabela 4.1.7- Classificação dos Desastres Naturais adotada pela COBRADE.**

<b>Desastres Naturais</b>				
<b>Biológicos</b>	<b>Climatológico</b>	<b>Geológico</b>	<b>Hidrológico</b>	<b>Meteorológico</b>
Epidemias Infestações Pragas	Seca	Terremoto	Inundações Enxurradas	Ciclones
		Emanação vulcânica Movimento de massa	Alagamentos	Frentes frias Zonas de convergência

Erosão

Tempestades  
Temperaturas extremas

Classificação quanto à evolução:

Os perigos também foram classificados quanto à evolução em:

- **Súbitos ou de Evolução Aguda:** Esses desastres caracterizam-se pela subtaneidade, pela velocidade de evolução do processo e, normalmente, pela violência dos eventos adversos causadores dos mesmos. Exemplos: terremotos, erupções vulcânicas, inundações e escorregamentos de solo.
- **Graduais ou de Evolução Crônica:** Esses desastres, ao contrário dos desastres agudos, caracterizam-se por serem insidiosos e evoluírem através de etapas de agravamento progressivo. Exemplos: seca, perda de solo agricultável, desertificação e salinização.
- **Por Somação de Efeitos Parciais:** Esses desastres caracterizam-se pela repetição frequente de acidentes, casos ou ocorrências, com características semelhantes, cujos danos, quando somados, ao término de um período determinado, definem um desastre muito importante. Exemplos: fome e desnutrição crônica.

A seguir é apresentada a sistematização das principais informações acerca dos impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação para o setor Agropecuário (Quadro 4.1.6).

**Quadro 4.1.6 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o setor Agropecuário**

VULNERABILIDADE
Sistema Vulnerável
<p><b>Culturas vulneráveis por região:</b></p> <p><b>Algodão, Arroz, Feijão e Girassol:</b> Agreste nordestino e regiões de Cerrado nordestino, compreendido entre o sul do Maranhão, o sul do Piauí e o oeste da Bahia.</p> <p><b>Cana-de-açúcar:</b> Locais do Centro-Oeste podem se tornar mais vulneráveis, pois dependerão de irrigação complementar (No entanto, verificar impacto positivo descrito no item sobre impactos abaixo).</p> <p><b>Mandioca:</b> Semiárido e Agreste nordestino.</p> <p><b>Milho:</b> Agreste nordestino, regiões de Cerrado nordestino e o Centro-Oeste do país.</p> <p><b>Pastagem:</b> Diminuição de áreas de pastagem na região Sul. Todas as outras regiões, exceto no norte da Amazônia, também apresentam uma tendência de redução dos pastos.</p> <p><b>Soja:</b> Região Sul e o Cerrado nordestino.</p>
Perigos (fatores de estresse)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub></li> <li>• Aumento das temperaturas médias;</li> <li>• Aumento da frequência de eventos extremos que causam desastres naturais, como:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ondas de calor: meteorológico e gradual;</li> <li>• Geadas: meteorológico e gradual;</li> <li>• Estiagens prolongadas e secas: climatológico e gradual;</li> <li>• Inundações: hidrológico e súbito;</li> </ul> </li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alagamentos: hidrológico e súbito.</li> </ul>
<b>Atributo(s) valorizado(s) ou variáveis de interesse</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terra adequada para agricultura e pecuária;</li> <li>• Produção agropecuária;</li> <li>• Produção de biocombustíveis (etanol e biodiesel);</li> <li>• Agricultura de subsistência;</li> <li>• Segurança alimentar.</li> </ul>
<b>Horizonte temporal</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ano base: 2010 (período de início de contagem das metas tratadas na COP 15<sup>33</sup>);</li> <li>• Projeções de clima futuro: 2020, 2030, 2050 e 2070 (médio e longo prazo).</li> </ul>
<b>IMPACTO</b>
<b>Efeitos decorrentes das mudanças climáticas</b>
<p><b>Impactos biofísicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição das áreas de baixo risco climático<sup>34</sup> para o plantio dos principais produtos agrícolas alimentares e de exportação (arroz, feijão, milho, soja e mandioca);</li> <li>• Redistribuição regional de algumas culturas em busca de condições climáticas mais apropriadas. <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Arroz: Migração de parte da produção para o centro-norte do Mato Grosso;</li> <li>○ Café: Parte da cultura de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo pode ter que migrar para o Paraná, Santa Catarina ou Rio Grande do Sul.</li> </ul> </li> <li>• Redução de até 10,6 milhões de hectares de terra destinada à agricultura em 2030;</li> <li>• Em termos de área total de baixo risco climático, a região Sul será a mais afetada, podendo perder quase cinco milhões de hectares em 2030;</li> <li>• Única cultura que deverá ser beneficiada: cana-de-açúcar, com um aumento das áreas aptas para o seu plantio; <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mandioca: Áreas mais favoráveis no sul do país, por conta da redução do risco de geada, e na Amazônia, pela diminuição do excedente hídrico;</li> </ul> </li> <li>• Impactos específicos para 2030 (percentual de mudança em áreas de baixo risco climático devido às mudanças climáticas, no cenário pessimista de emissão de CO<sub>2</sub>eq. do IPCC<sup>35</sup>): <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Algodão: -4,9%</li> <li>○ Arroz: -9,9%</li> <li>○ Cana-de-açúcar: +91%</li> <li>○ Feijão (Safrade outono): -69,7%</li> <li>○ Feijão (Safrade verão): -57,1%</li> <li>○ Milho (Safrade outono): -15,3%</li> <li>○ Milho (Safrade verão): -22%</li> <li>○ Pastagem: -38,3%</li> <li>○ Soja: -28%</li> <li>○ Trigo de sequeiro: -20%</li> </ul> </li> <li>• Embora a projeção mostre uma redução na área de pastagem, é possível que a produção de carne bovina continue a aumentar até 2030. Isto em consequência da intensificação tecnológica.</li> </ul> <p><b>Impactos socioeconômicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No pior cenário, o país poderá perder 2,5% de seu PIB a cada ano, devido ao aumento da temperatura média;</li> </ul>

<sup>33</sup> 15ª Conferência das Partes signatárias da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.

<sup>34</sup> Áreas onde não há estresse hídrico, que garantam a germinação de sementes e especialmente o florescimento, além do enchimento de grãos, que são fatores essenciais para a produção final. Esse risco não deve exceder 20%. O risco de geada também leva a diminuição da área de baixo risco climático.

<sup>35</sup> Pessimista: Projeções de aumento de temperatura feitas pelo IPCC no cenário A2, que estima aumento de temperatura entre 2°C e 5,4°C até 2100.



<ul style="list-style-type: none"> <li>Os impactos negativos sobre a oferta de commodities deverá resultar em preços significativamente mais elevados de alguns produtos;</li> <li>Aumento da migração populacional de áreas de alto risco climático para áreas aptas às práticas agrícolas.</li> </ul>
<b>Indicadores de ocorrência e/ou magnitude de impactos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Produtividade das culturas;</li> <li>Área de baixo risco climático para agropecuária;</li> <li>Área plantada com culturas alimentícias (grãos, frutas, cereais, oleaginosas);</li> <li>Área plantada com pastagem segundo o Zoneamento Agrícola de Risco Climático;</li> <li>Área plantada com cana de açúcar para produção de açúcar e biocombustível;</li> <li>Produção de grãos;</li> <li>Produção de carnes;</li> <li>PIB Brasil;</li> <li>PIB Agropecuária;</li> <li>Ciclo da cultura (dias);</li> <li>Rentabilidade e lucratividade do produtor rural;</li> <li>Pragas e doenças nas culturas.</li> </ul>
<b>ADAPTAÇÃO</b>
<b>Medidas de adaptação</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratório Virtual Multi-institucional de Mudanças Climáticas e Agricultura (Embrapa e integrantes da Rede Clima);</li> <li>UMIP Gen Clima (UNICAMP e Embrapa);</li> <li>Sistemas produtivos sustentáveis para o Semiárido: (1) Pecuária de caprinos e ovinos, (2) Apicultura, (3) Sistemas Irrigados, (4) Integração Lavoura – Pecuária e (5) Plantio de oleaginosas para produção de biodiesel;</li> <li>Plano ABC - Adaptação às Mudanças Climáticas: (1) Capacitação de profissionais visando responder aos impactos das mudanças climáticas, (2) Pesquisa científica, (3) Diversificação das unidades e sistemas produtivos atuais, (4) Manejo do solo e água, incluindo a prevenção de desastres, (5) Desenvolvimento de sistema integrado de alerta climático, (6) Ordenamento territorial, (7) Aperfeiçoamento e ampliação do seguro rural, (8) Outros instrumentos de mitigação dos riscos e de compensação por serviços ambientais e (9) Fortalecimento da transferência de tecnologia e da assistência técnica e extensão rural;</li> <li>Zoneamento Agrícola de Risco Climático;</li> <li>Armazenagem e beneficiamento da produção;</li> <li>Garantia Safra (Pronaf);</li> <li>Adapta Sertão.</li> </ul>
<b>Indicadores relacionados a medidas de adaptação</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variedades agrícolas melhoradas geneticamente;</li> <li>Área com sistema Integração Lavoura Pecuária Floresta, Lavoura Pecuária e Agroflorestal;</li> <li>Número de culturas agrícolas e gramíneas contempladas pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático;</li> <li>Número de propriedades rurais que empregam práticas sustentáveis como a agroecologia e agricultura orgânica;</li> <li>Investimento na Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER);</li> <li>Uso das Boas Práticas Agrícolas (BPAs);</li> <li>Investimentos governamentais em pesquisa sobre adaptação às mudanças climáticas no setor agropecuário;</li> <li>Propriedades rurais contempladas pelo Seguro Agrícola.</li> </ul>

## 4.2 ÁGUA

O Brasil possui uma posição privilegiada em relação à disponibilidade de recursos hídricos. A vazão média anual dos rios no território brasileiro é de aproximadamente 180 mil m<sup>3</sup>/s (GEO BRASIL, 2007), ou seja, 12% da disponibilidade mundial de recursos hídricos, que é de 1,5 milhões de m<sup>3</sup>/s (SHIKLOMANOV et al., 2000). Considerando as vazões oriundas de território estrangeiro e que ingressam no país, a reserva hídrica brasileira atinge 19,7% da água doce mundial.

O abastecimento por mananciais superficiais atinge 47% dos municípios brasileiros, dos quais 39% são abastecidos por águas subterrâneas e 14% pelos dois tipos (abastecimento misto). O Rio São Francisco, um dos principais mananciais brasileiros, possui uma vazão de 8,5m<sup>3</sup>/s e atende a 128 sedes urbanas em cinco estados (MG, BA, PE, AL e SE).

A disponibilidade hídrica em uma bacia é influenciada por variáveis climáticas (precipitação, temperatura, evaporação, dentre outras) e não climáticas (uso do solo, construção de reservatórios, emissão de poluentes, etc.) (IPCC, 2007a).

Os ciclos anuais das chuvas e das vazões dos rios variam entre as bacias hidrográficas e estão quase sempre associados aos fenômenos El Niño e La Niña ou às mudanças que ocorrem na temperatura da superfície do mar (TSM) na região do Atlântico tropical e Sul. Estes fenômenos e alterações podem gerar anomalias climáticas, que produzem grandes secas, como observadas em 1877, 1983 e 1998 no Nordeste, 2004-2006 no Sul do Brasil, 2001 no Centro-Oeste e Sudeste e em 1926, 1983, 1998 e 2005 na Amazônia (MARENGO; SILVA DIAS, 2006; MARENGO, 2007; MARENGO et al., 2008a,b).

O Quarto Relatório Científico do IPCC “AR4” (TRENBERTH et al., 2007, MEEHL et al., 2007) e o Relatório de Clima do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (MARENGO, J.A; M.C.VALVERDE, 2007; AMBRIZZI et al., 2007) apresentam evidências de mudanças do clima, que podem afetar significativamente a disponibilidade hídrica em muitas regiões, com grandes impactos nos volumes totais de chuva e nos extremos hidrometeorológicos até o final do séc. XXI.

A água é um dos meios pelo qual serão percebidos os efeitos da mudança do clima, considerando as prováveis alterações nos padrões de precipitação e no escoamento dos rios. Nesse sentido, as populações mais pobres são as mais vulneráveis, pois se encontram, em condições de escassez hídrica, por questões geográficas e/ou pela ausência de saneamento.

O Brasil é vulnerável às mudanças climáticas em relação aos extremos climáticos – secas e chuvas intensas, e é extremamente dependente dos recursos hídricos para produção de energia elétrica, de alimentos e abastecimento urbano. A transversalidade do tema água implica na necessidade de estudos em outras áreas como saúde pública, cidades, agricultura e segurança alimentar e nutricional, energia, dentre outras. Neste contexto, o conhecimento de possíveis cenários futuros climático-hidrológicos e de suas incertezas, permitirá estimar demandas hídricas futuras bem como definir as políticas ambientais de uso e gerenciamento hídrico.

### 4.2.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados

O Atlas Brasil – Abastecimento Urbano de Água, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), apresenta importantes resultados que permitem a identificação de impactos e vulnerabilidades climáticas. A demanda hídrica média para abastecimento urbano por cada região geográfica, para o ano de 2005, foi calculada de acordo com valores *per capita* regionalizados de água captada (IBGE, 2000), como apresentada na Tabela 4.2.1.

A Agência Nacional de Águas estima um crescimento de 28% na demanda hídrica média até o ano de 2025, por meio de projeções populacionais para o mesmo ano e indicações de valores *per capita* regionalizados. As regiões sudeste e nordeste são responsáveis por 71% (449 m<sup>3</sup>/s) da demanda projetada para 2050, que é de 630 m<sup>3</sup>/s.

**Tabela 4.2.1 - Demanda Hídrica Média Anual para o Abastecimento Urbano no Brasil (anos: 2005, 2015 e 2050)**

Ano	Região Geográfica					Total Brasil (m <sup>3</sup> /s)
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	
2005	34	115	33	247	65	494
2015	45	136	39	275	75	570
2025	54	151	44	298	83	630

Fonte: ANA, 2010

Uma das principais aplicações da regionalização de vazões em estudos voltados a gestão de recursos hídricos se refere às estimativas das vazões mínimas que possam ser utilizadas como vazões de referência<sup>36</sup>. De acordo com Sousa (2009), a vazão de referência é baseada usualmente na vazão mínima com sete dias de duração e 10 anos de período de retorno (Q7,10) ou na vazão mínima com 90% ou 95% de permanência no tempo (Q90 e Q95, respectivamente).

A Tabela 4.2.2 apresenta os resultados da análise realizada pela Agência Nacional de Águas sobre a disponibilidade hídrica em doze regiões hidrográficas brasileiras através de dados compilados pela própria Agência Nacional de Águas (ANA). Estas regiões hidrográficas são formadas por diversas bacias hidrográficas e suas delimitações físicas são determinadas pelos divisores topográficos de águas.

**Tabela 4.2.2 - Disponibilidade Hídrica Superficial por Região Hidrográfica**

Região Hidrográfica	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	Disponibilidade Hídrica: Q <sub>95</sub> * (m <sup>3</sup> /s)
Amazônia	132.145	73.748
Tocantins-Araguaia	13.799	5.447
Atlântico NE Ocidental	2.608	320
Parnaíba	767	379
Atlântico NE Oriental	774	91
São Francisco	2.846	1.886
Atlântico Leste	1.484	305
Atlântico Sudeste	3.162	1.109
Atlântico Sul	4.055	647
Paraná	11.414	5.792
Uruguai	4.103	565
Paraguai	2.359	782
<b>Brasil</b>	<b>179.516</b>	<b>91.071</b>

<sup>36</sup> A vazão de referência é um valor que representa o limite superior da utilização da água em um curso d'água e tem por razão buscar a minimização dos conflitos pelo uso da água entre os diversos usuários.

Fonte: ANA, 2010

(\*) Q95: vazão de referência indicando que as vazões são maiores ou iguais a ela durante 95% do tempo.

A disponibilidade hídrica superficial no Brasil registrada pela vazão de referência  $Q_{95}$  é de 91.071 m<sup>3</sup>/s. A disponibilidade hídrica superficial nas regiões hidrográficas brasileiras é bastante desigual, configurando um dos desafios para o abastecimento urbano. Assim como a distribuição de água é não uniforme no espaço, este recurso não é distribuído igualmente entre as classes sociais, sendo um reflexo das desigualdades sociais.

No sentido de sinalizar estes desafios, foram selecionados estudos sobre os principais impactos das mudanças climáticas e vulnerabilidades no setor de recursos hídricos no Brasil. As informações dizem respeito às seguintes publicações: Trenberth et al. (2007); Magrin et al. (2007); Marengo, J.A; M.C.Valverde, (2007); Ambrizzi et al. (2007); Salati et al. (2007); Bates et al. (2008); Salati et al. (2009), Economia das Mudanças do clima (2010); Rede CLIMA (2011-2012).

#### **Quadro 4.2.1 - Horizontes Espaciais e Temporais**

Carvalho et al. (2002) avaliaram as frequências de chuvas intensas na região Sudeste a partir de 1940 e Haylok et al. (2006) analisaram no período de 1960 a 2000. As análises de vazões de rios na América do Sul (MILLY et al, 2005), indicam aumentos entre 2% e 30% na bacia do Rio Paraná e nas regiões vizinhas no Sudeste da América do Sul.

Fenômenos associados aos eventos extremos foram relatados por Marengo (2007) como a seca em 2005 na Amazônia e em 2006 no Sul do Brasil. Pezza e Simmond (2005) relatam o furacão Catarina em 2004 no sul do Brasil.

Os estudos realizados por Marengo (2007) e Ambrizzi et al, (2007) indicam as regiões Amazônica e Nordeste do Brasil como as mais vulneráveis às mudanças climáticas, principalmente aos eventos extremos. Segundo Salazar et al. (2007); IPCC (2007), as projeções até meados do séc. XXI indicam que aumentos de temperatura, reduções de chuva e vazões de rios podem provocar a savanização na região leste da Amazônia.

O Estudo das Mudanças do Clima no Brasil (EMCB), realizado em 2010, considerou os cenários A2 e B2 do IPCC e adotou A2-BR e B2-BR como cenários brasileiros simulados sem mudança do clima e com mudança do clima, representando as trajetórias futuras da economia brasileira caso o mundo se desenvolva de acordo com as previsões do IPCC.

O ano de 2050 foi adotado como horizonte para as simulações, excluindo as maiores incertezas envolvidas, principalmente as relacionadas ao Produto Interno Bruto (PIB). No entanto, em alguns setores, as análises ultrapassaram o ano de 2050. Como resultado, este estudo concorda com os demais autores, à medida que indica a região Amazônica e o Nordeste como os mais vulneráveis às mudanças do clima. No Nordeste, espera-se uma redução na frequência de chuvas de até 2,5mm/dia até 2100, resultando em perdas nas produções agrícolas e diminuição nas vazões dos rios importantes para geração de energia. Por outro lado, nos estados do Sul-Sudeste, onde as temperaturas podem ficar amenas, as perdas na agricultura não seriam tão expressivas.

Carvalho et al. (2002) notaram que a região Sudeste da América do Sul apresentou um aumento na intensidade e na frequência de dias com chuva intensa, o que concorda com os trabalhos de Groissman et al. (2005) para a mesma região.

Os principais modelos utilizados nestes estudos foram os modelos globais do IPCC-AR4, cujas projeções de mudanças nos regimes e distribuição de chuva, para climas mais quentes, não são conclusivas e as incertezas ainda são grandes. Analisando a média dos modelos, os resultados mostram maior probabilidade de redução de chuva em regiões como o leste e nordeste da Amazônia.

Os modelos concordam nos resultados ao projetar para o séc. XXI um aumento da precipitação em latitudes altas (muito provável) e parte dos trópicos, e uma diminuição em algumas regiões subtropicais e em latitudes médias e baixas. Os modelos alertam ainda para a deficiência hídrica superficial no semiárido<sup>37</sup> brasileiro, em função do alto potencial de evaporação e horas de incidência solar.

A queda sistemática nas vazões dos Rios Paraíba do Sul (MARENGO et al., 1998) e Piracicaba (MORALES et al., 1999) em vários pontos de observação aponta para incrementos na área agrícola e no uso da água como causas dessa diminuição, e não uma queda ou distribuição no regime de chuvas nas bacias dessas áreas (MARENGO, 2001b).

O semiárido nordestino é apontado como a região que irá sofrer mais com o impacto das mudanças climáticas. O uso inadequado dos solos acentua os impactos relacionados à deficiência hídrica. No entanto, o incentivo à produção de culturas mais resistentes à seca pode ser adotada como uma medida alternativa que pode contribuir para a segurança alimentar.

As possibilidades de ocorrerem períodos de intensa seca na região da Amazônia podem aumentar dos atuais 5 % (uma forte estiagem a cada 20 anos) para 50 % em 2030 e até 90 % em 2100 (COX et al., 2008).

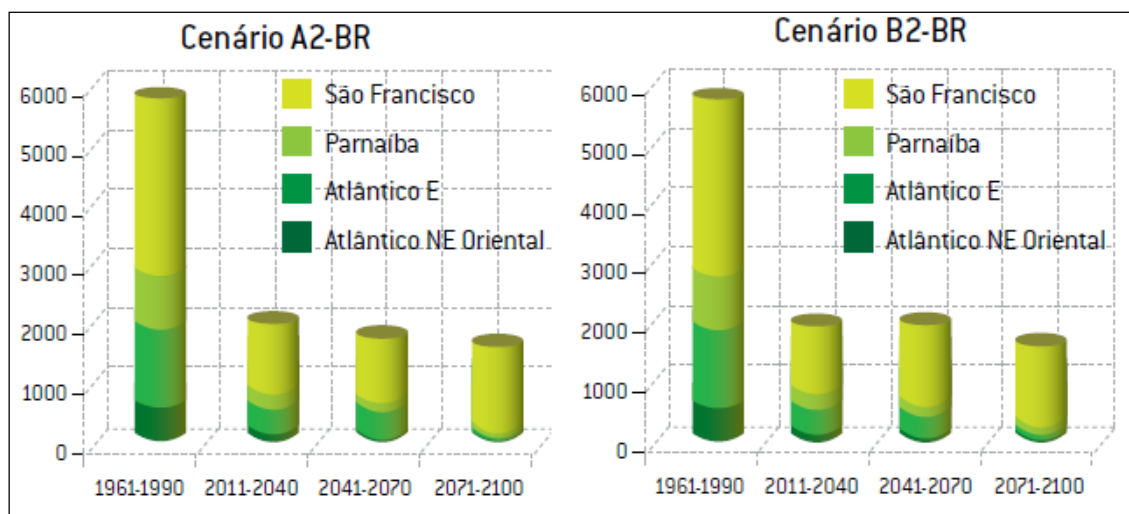
Estudos realizados pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), em 2010, indicam redução de um terço na vazão das bacias hidrográficas no Nordeste. De acordo com os dados do IPCC, foram gerados cenários A2-BR e B2-BR<sup>38</sup>, avaliando a escassez hídrica até 2100, como apresentados na Figura 4.2.

---

<sup>37</sup>A região semiárida perpassa nove estados, onde o balanço hídrico é negativo durante a maior parte do ano e onde a variabilidade climática produz eventos extremos que frequentemente resultam em secas e cheias.

<sup>38</sup>A2-BR: cenário que descreve um mundo futuro muito heterogêneo, onde a regionalização é dominante. B2-BR: este cenário descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para as sustentabilidades econômica, social e ambiental.

**Figura 4.2 - Previsão de disponibilidade Hídrica (m<sup>3</sup>/seg.) nas principais bacias hidrográficas do Nordeste**



Fonte: MARGULIS E DUBEUX, 2010

Os reservatórios possuem grande responsabilidade na gestão dos recursos hídricos pela capacidade de armazenar e atender aos diversos usos da água (consuntivos ou não-consuntivos<sup>39</sup>). Além de estocar água por longos períodos, podem verter parte do volume durante períodos de estiagem, garantindo, por exemplo, o uso para irrigação.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) indica que o volume de água armazenado em reservatórios artificiais *per capita* tem sido utilizado para avaliar o grau de estoque de água em determinada região. O Brasil possui 3.607m<sup>3</sup> de volume armazenado (ANA, 2012).

A Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (SALATI et. al; 2009) relata que os cenários climáticos futuros irão impactar oito grandes bacias hidrográficas brasileiras. Esta análise considerou a média de 15 modelos do IPCC para os cenários B2 e A2<sup>40</sup>, o modelo regional HadRM3P e o balanço hídrico de *Thornthwaith-Mather*. Como resultado, apresentado na Tabela 4.2.3 a redução dos excedentes hídricos é mais significativa na região Nordeste, principalmente na Bacia do Rio São Francisco.

<sup>39</sup> Uso consuntivo da água: retirada de água da sua fonte natural diminuindo sua disponibilidade, espacial e temporal. Ex: Dessedentação de animais, irrigação, abastecimento público. Uso não-consuntivo: usos que retornam à fonte de suprimento, praticamente a totalidade da água utilizada, podendo haver modificação no seu padrão de disponibilidade. Ex: navegação, recreação, pesca e hidroeletricidade.

<sup>40</sup> Cenário B2: médio crescimento populacional, médio crescimento do PIB, médio consumo de energia, média mudança no uso da terra, média disponibilidade de recursos, médio desenvolvimento tecnológico, dinâmica energética como a usual.

Cenário A2: alto crescimento populacional, médio crescimento do PIB, elevado consumo de energia, média a alta mudança no uso da terra, baixa disponibilidade de recursos, lento desenvolvimento tecnológico, energia regional.

**Tabela 4.2.3 - Porcentagem dos excedentes hídricos gerados por modelos climáticos em oito bacias hidrográficas, para os cenários B2 e A2 do IPCC**

Bacias Hidrográficas	1961-1990	Média dos Modelos IPCC						HadRM3P					
		Período de 2011-2100											
		B2			A2			B2			A2		
		11 - 40	41 - 70	71 - 100	11 - 40	41 - 70	71 - 100	11 - 40	41 - 70	71 - 100	11 - 40	41 - 70	71 - 100
Rio Tocantins	100%	83%	77%	73%	84%	73%	63%	72%	67%	54%	73%	55%	47%
Rio Amazonas	100%	88%	82%	80%	89%	80%	73%	93%	84%	75%	93%	73%	70%
Rio Paraguai	100%	68%	60%	59%	73%	54%	40%	81%	91%	92%	90%	85%	147%
Rio Parnaíba	100%	69%	59%	56%	70%	54%	47%	32%	19%	14%	34%	13%	10%
Rio São Francisco	100%	73%	57%	46%	72%	46%	30%	38%	42%	47%	43%	45%	53%
Atlântico NE Ocidental	100%	88%	87%	86%	92%	85%	80%	72%	62%	59%	71%	52%	47%
Região Sul	100%	95%	93%	92%	95%	90%	86%	111%	109%	116%	109%	101%	107%
Rio Paraná	100%	80%	74%	67%	83%	67%	47%	84%	84%	93%	94%	88%	110%

Fonte: MARENGO, 2011

#### Quadro 4.2.2 - Impacto Socioeconômico

Segundo a ONU, as mudanças climáticas implicarão em desertificação, principalmente nos países em desenvolvimento. Onde a previsão indica que 1,8 bilhão de pessoas podem enfrentar escassez hídrica até 2050.

O aquecimento global pode gerar perdas na ordem de R\$7,4 bilhões em 2020 e R\$14 bilhões em 2070, segundo a EMBRAPA (2008).

A demanda hídrica, que já excede o suprimento em muitas partes do mundo, é fruto do crescimento populacional aliado aos efeitos das mudanças climáticas (SMAKHTIN et al., 2004; BOS e BURTON, 2005; GOUSBESVILLE, 2008).

Os reflexos da escassez de água potável disponível para as atividades humanas resultam no aumento da disseminação de doenças de veiculação hídrica (exemplos: cólera, tifo, diarreia, etc.); na redução de água disponível para irrigação e dessedentação de animais; no racionamento de água para o consumo humano, dentre outros problemas. Por estes motivos, a escassez de água potável é responsável, direta e indiretamente, pela morte de milhares de pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento (CLARKE & KING, 2005; SANTOS, 2008).

A população brasileira cresceu de 73 milhões em 1960 até 174 milhões em 2000 e continuará aumentando no século XXI, sendo projetada para mais de 250 milhões em 2050, representando um aumento de 44%. A população total da bacia do Rio São Francisco teve um incremento de 16% entre 2002 a 2007 (TEIXEIRA et al., 2008). Por outro lado, nas bacias hidrográficas do noroeste do Estado de São Paulo, o acelerado crescimento populacional das atividades agroindustriais vem acarretando um aumento do consumo de água urbana, industrial e agrícola, e uma sensível perda da qualidade deste recurso natural (GROPPO, 2005).

Até 2016 serão investidos 90 bilhões de reais no setor energético brasileiro, contribuindo para ampliação de 34.460 MW em novas hidrelétricas. Destacando-se empreendimentos como as unidades geradoras do Rio Madeira (Santo Antônio 3.150,4 MW e Jirau 3.300 MW) e Belo Monte (11.182 MW), que evitarão a emissão anual de 27 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.

A descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificadas no presente trabalho estão em conformidade com as informações compiladas no Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças climáticas (RAN 1/PBMC). As principais conclusões dos autores do PBMC no tema recursos hídricos estão listadas no Quadro 4.2.3.

**Quadro 4.2.3 - Principais Informações Compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o Tema Recursos Hídricos**

O capítulo referente ao tema recursos hídricos do PBMC enfatiza o potencial hídrico disponível no Brasil e a distribuição precária perante as regiões mais populosas e carentes deste recurso. Algumas das principais conclusões deste trabalho estão listadas abaixo.

- As incertezas advindas da grande variabilidade dos cenários e a variabilidade climática na escala interanual e multidecadal impõem estratégias de adaptação e gestão de riscos em recursos hídricos.
- As implicações da variabilidade e alterações climáticas não têm sido integralmente consideradas nas atuais políticas de recursos hídricos e nos processos de tomada de decisões (KABAT *et al.*, 2002).
- Avaliações do risco hídrico utilizando apenas dados históricos e estatísticos não são suficientes quando se trata de mudanças climáticas (BIEMANS *et al.*, 2006).
- O desenvolvimento de pesquisas e modelos climáticos-hidrológicos deve ser incentivado para garantir a segurança nos serviços que demandam o uso da água.

**4.2.2 Principais Indicadores Identificados**

A aplicação de indicadores numa escala espacial da bacia hidrográfica permite identificar as zonas de ação prioritárias, espaços nos quais intervêm os gestores de recursos hídricos. Nos quadros 4.9 e 4.10 são listados os principais indicadores para o setor hídrico.

**Quadro 4.2.4 - Indicadores dos impactos das mudanças climáticas para o setor de recursos hídricos**

- Frequência e intensidade de eventos climáticos extremos como, por exemplo, enchentes urbanas, inundações, deslizamentos, secas etc.
- Disponibilidade hídrica para agricultura de subsistência e agroindústria;
- Disponibilidade hídrica para geração de energia hidrelétrica;
- Oferta de água potável para a população;
- Consumo hídrico para o uso e ocupação do solo;
- Níveis de rios, afetando os portos e o transporte fluvial;
- Taxas de evaporação dos açudes e reservatórios;
- Elevação do nível do mar.



#### Quadro 4.2.5 - Indicadores Relacionados a Medidas de Adaptação para o Setor de Recursos Hídricos

- Reais investidos em obras de infraestrutura para a prevenção de inundações e deslizamentos e em ações de combate aos efeitos da seca;
- Revitalização das bacias hidrográficas;
- Investimentos em pesquisas científicas de mapeamento de áreas de risco e vulnerabilidades;
- Número de nascentes protegidas / revitalizadas;
- Número de projetos educacionais de incentivo ao uso racional dos recursos hídricos.

#### 4.2.3 Medidas de Adaptação Identificadas

As opções de adaptação destinadas a assegurar o abastecimento de água em condições médias e de secas requerem ações do lado da demanda, bem como do lado da oferta (BATES et al., 2008). As principais medidas de adaptação identificadas em andamento no Brasil estão listadas abaixo.

- **Avaliação de Impactos e Vulnerabilidade à Mudança Climática no Estado de São Paulo e opções de estratégias de adaptação:** Este projeto busca a interação entre especialistas na área de clima, hidrogeologia e sensoriamento remoto, com o objetivo de avaliar a exposição da população às mudanças climáticas no clima presente e futuro. Os atores envolvidos neste projeto são: UNESP, USP-SÃO CARLOS, UNICAMP, INPE-CPTec. (Financiamento FAPESP, período 2011-2014).
- **Concepção do Arranjo Institucional e operacional para a gestão integrada de riscos de desastres no Estado do Rio de Janeiro:** Executado pelo Instituto Estadual do Ambiente – INEA (RJ), este projeto tem como meta a gestão dos riscos de desastres através de treinamentos capacitando a sociedade em lidar com diferentes tipos de eventos (exemplo: enchentes, deslizamentos de terras). Os treinamentos abordam atividades como: diagnóstico da situação existente; integração dos órgãos envolvidos, procedimentos e processos; aprimoramento da gestão de riscos e plano de contingência e exercícios de simulação.
- **Monitoramento hidrológico:** o Brasil tem investido em monitoramento de eventos críticos relacionados à água, prevenção de desastres, redução de danos e respostas adequadas aos eventos. Órgãos como o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) e a Agência Nacional de Águas (ANA), além de outros ministérios, trabalham de forma articulada para o alcance desses objetivos. A ANA realiza o acompanhamento de eventos hidrológicos críticos em bacias hidrográficas e sistemas de abastecimento prioritários do País, como é o caso das bacias dos rios São Francisco e Paraíba do Sul e do Sistema Cantareira, produzindo boletins mensais. Em casos de ocorrência de eventos hidrológicos críticos, tal monitoramento se intensifica de forma a embasar a decisão de curto prazo.
- **Pegada Hídrica e ecohidrologia integradas em um modelo para o gerenciamento de uma bacia hidrográfica:** em curso, uma tese de doutorado (autora: Denise Taffarello), USP (2013-2015), propõe um modelo para o gerenciamento nas bacias dos rios

Piracicaba-Capivari-Jundiá utilizando o conceito de pegada hídrica<sup>41</sup> e ecohidrologia<sup>42</sup> para valoração dos serviços ambientais na revitalização das bacias sujeitas aos possíveis impactos das mudanças climáticas. Este trabalho está vinculado a projetos vigentes: Temático FAPESP 2008/58161-1 "Assessment of Impacts & Vulnerability to Climate Change in Brazil & Strategies for Adaptation Options" (CCST/INPE), INCLINE - INTERdisciplinary CLimate INvEstigation Center-NapMC/USP, e Água Brasil FBB-ANA-WWF-Brasil e FIPAI/EESC-USP.

- **Programa Comunidades Semiárido:** Executado pelo COEP – Comitê de Entidades no Combate à Fome e pela Vida, este programa tem como objetivo traçar estratégias de convivência com a seca e a redução da vulnerabilidade social. O Programa conta com a participação de 47 comunidades de sete estados nordestinos: Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Sergipe.
- **Programa Marco para a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos da Bacia do Prata:** Integrando os governos da Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai, este programa tem como objetivo garantir a gestão dos recursos hídricos compartilhados na bacia do prata, considerando os impactos das mudanças climáticas.
- **Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC):** Este programa significa uma alternativa ao abastecimento convencional de água no semiárido brasileiro. A Associação Programa Um Milhão de Cisternas (AP1MC) é uma OSCIP (Organização da Sociedade Civil de Interesse Público) que compõe a Articulação Semiárido Brasileiro (ASA). Criada em 2002, com o objetivo de gerenciar o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC). O Programa é um exemplo de ação capaz de reduzir a vulnerabilidade das comunidades expostas à seca, que, conforme indicam os cenários climáticos, deverá intensificar-se e abranger maiores áreas no Brasil. O P1MC tem como objetivo a construção de cisternas que acumulem a água da chuva captada nos telhados, permitindo o uso desta água nos períodos de estiagem.
- **Projeto: Sinergia:** Sistema Internacional de Estudos sobre Recursos Hídricos e Gerenciamento de Impactos devido ao aquecimento global na bacia do Paraguai. Através da construção coletiva e participativa de uma agenda de recomendações, aglutinando entidades governamentais e atores sociais relacionados à gestão dos recursos hídricos, este projeto almeja o aumento da capacidade adaptativa dos atores na região Centro-Oeste.
- **Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA):** O Programa realiza o monitoramento da qualidade das águas superficiais brasileiras em 17 das 27 unidades federativas, com o total de 2.167 pontos de monitoramento ativos. Desenvolvido pela ANA, a meta deste programa é oferecer à sociedade conhecimento adequado da qualidade das águas superficiais brasileiras, subsidiando os tomadores de decisão

---

<sup>41</sup> Pegada Hídrica Cinza: refere-se à poluição e é definida como o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes, a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água existentes.

<sup>42</sup> Ecohidrologia: é uma área interdisciplinar que associa processos hidrológicos e ecológicos, visando propor soluções eficazes aos problemas de degradação em bacias hidrográficas.

(agências governamentais, ministérios, órgãos gestores de recursos hídricos e de meio ambiente) na definição de políticas públicas para a recuperação da qualidade das águas.

- **Rede Nacional de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RENAMAS):** a ANA com apoio de instituições federais pretende criar a RENAMAS, a fim de elaborar nos próximos anos um diagnóstico nacional das águas subterrâneas.
- **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN Brasil:** O PAN Brasil tem como objetivo reduzir o crescimento das áreas desertificadas ou em processo de desertificação. O Programa é fruto do compromisso brasileiro firmado na Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação – CDC.

#### 4.2.4 Principais Atores, Projetos e Modelos

Os principais atores envolvidos com a geração de dados sobre os impactos e vulnerabilidades das mudanças climáticas no setor de recursos hídricos no país são: Agência Nacional de Águas (ANA), Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano do Ministério do Meio Ambiente (SRHU/MMA), INPE, Rede CLIMA, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-MC), Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE/ANEEL), Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); além de participação de Universidades e outros centros de pesquisas, redes estaduais de pesquisa e colaboração internacional.

A integração de aspectos climáticos (ambientais, hidrológicos, etc.) com a teoria econômica fundamenta uma estrutura privilegiada na modelagem de cenários hidro-econômicos. Segundo Fisher et al (2002), esses modelos podem apoiar e orientar os tomadores de decisão na formulação de políticas realmente eficazes. Como resultado desta integração, espera-se identificar a dimensão do valor econômico da água, o que permite melhor conhecimento dos custos de oportunidade da água nas diferentes bacias. Isto possibilitará uma avaliação de como a economia será afetada por incertezas hídricas futuras (mudanças climáticas e crescimento da demanda).

A modelagem hidrológica é uma importante ferramenta no planejamento e gerenciamento de programas de recursos hídricos de bacias hidrográficas. Além dos principais modelos climáticos citados anteriormente, para a geração dos cenários climáticos-hidrológicos para o setor de recursos hídricos, também são utilizadas ferramentas como:

- **PRECIS**

Com o objetivo de avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas na demanda hídrica para irrigação de culturas perenes na Bacia do Jaguaribe no Estado do Ceará, utilizou-se o modelo regional climático PRECIS, com redução em escala de bacias hidrográficas utilizando o modelo HadRM3P (GONDIM, 2008). O ano base do modelo foi de 1969-1990 e cenários futuros A2 e B2.

Assumi-se, neste trabalho, que no início da irrigação não houve déficit de umidade do solo, conforme Díaz et al. (2007). Como resultado deste trabalho, os modelos indicaram aumento na demanda hídrica para irrigação. A evapotranspiração foi estimada de +2,2% a +3,1% e a precipitação pluvial apresentou redução de 30,9% a 37,3%. Para o ano de 2040, o cenário estimou um aumento na necessidade hídrica de 32,9% a 43,9%.

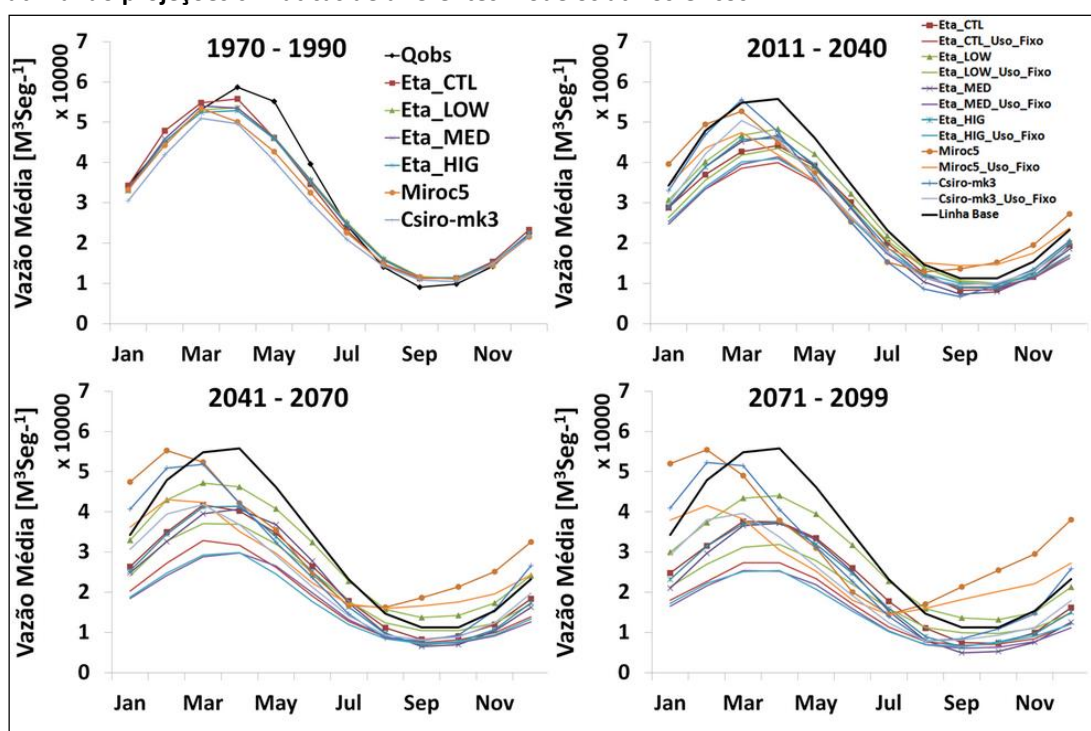
- Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-INPE)<sup>43</sup>**

Estes estudos analisam a variabilidade da resposta hidrológica em períodos de extremos climáticos e dos seus impactos nos sistemas ambiental e socioeconômico. O modelo realiza projeções futuras da resposta hidrológica sob a ação das mudanças globais, envolvendo análise da vulnerabilidade do sistema à ocorrência de desastres naturais.

Estudos dos impactos das Mudanças Globais na resposta hidrológica de bacias brasileiras no âmbito dos programas INCT e REDE CLIMA são desenvolvidos pelo Grupo de Hidrologia e Desastres Naturais do CCST/INPE. Os estudos contemplam a análise da variabilidade da resposta hidrológica em períodos de extremos climáticos e de seus impactos nos sistemas ambiental e socioeconômico. Neste trabalho são realizadas projeções futuras da resposta hidrológica sob a ação das mudanças globais.

Na bacia amazônica, as projeções hidrológicas baseadas em cenários climáticos para alimentar o MGB-INPE indicam diminuição das vazões médias mensais até o final do século ( Figura 4.3).

Figura 4.3 - Vazões médias mensais projetadas na Bacia do Rio Madeira, estação Fazenda Vista Alegre, utilizando projeções climáticas de diferentes modelos atmosféricos



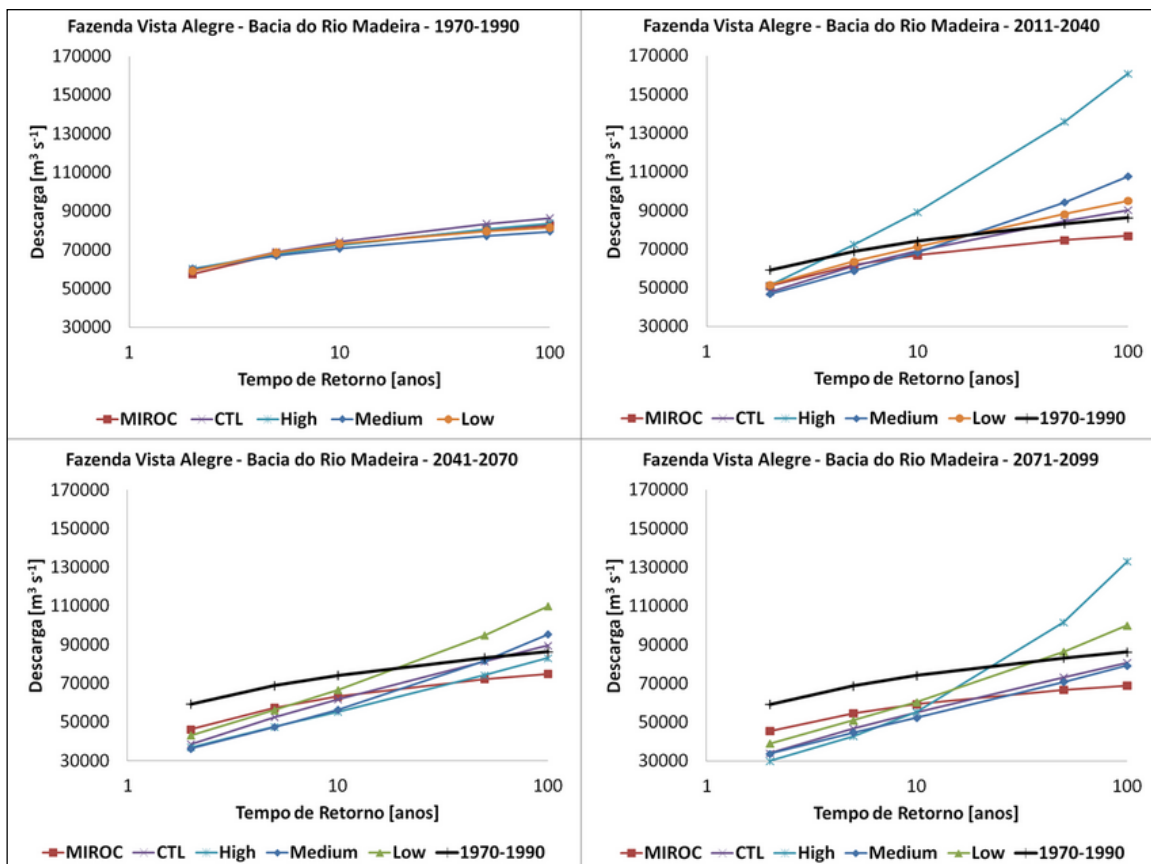
Fonte: REDE CLIMA

<sup>43</sup> O Grupo de Hidrologia e Desastres Naturais do CCST/INPE desenvolve estudos dos impactos das Mudanças Globais na resposta hidrológica de bacias brasileiras no âmbito dos programas INCT e REDE CLIMA. Um destes estudos contempla a utilização do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias.

Em geral, esta tendência é mantida durante a época de cheias nas projeções baseadas nos modelos globais, porém, existe uma maior variabilidade no que diz respeito às vazões mínimas. Também é possível observar variações na sazonalidade das vazões, com uma maior duração de vazões baixas e com o adiantamento, em alguns casos, do pico do hidrograma médio.

As análises de vazões extremas máximas apresentam uma diminuição das vazões máximas com tempos de retorno até 10 anos, enquanto que há um incremento daquelas menos frequentes até o final do século (Figura 4.4).

**Figura 4.4 - Vazões máximas, para diferentes tempos de retorno<sup>44</sup>, projetadas na Bacia do Rio Madeira, estação Fazenda Vista Alegre, utilizando projeções climáticas de diferentes modelos atmosféricos.**



Fonte: REDE CLIMA

- **Modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool)**

O SWAT é um modelo matemático que permite que diferentes processos físicos sejam simulados em uma bacia hidrográfica (ARNOLD & ALLEN, 1996). É possível constatar algumas aplicações do SWAT em bacias hidrográficas brasileiras, como os de Pinto (2011), Silva et al. (2011), Durães et al. (2011) e Baltokoski et al. (2010), dentre outros.

O modelo está baseado nas características físicas das bacias hidrográficas e é computacionalmente eficiente para operar tanto em pequenas quanto em grandes bacias. O

<sup>44</sup> Tempo de retorno: trata-se do tempo médio em que dado evento, ou para este caso, dada precipitação, probabilisticamente, acontecerá novamente.

modelo é contínuo no tempo, sendo capaz de simular longos períodos (SANTHI et al., 2001), requerendo necessariamente três diferentes arquivos na forma de mapas: modelo digital de elevação, mapas de solos e de uso do solo.

- **Lavras Simulation of Hydrology (LASH)**

Trata-se de um modelo hidrológico desenvolvido pelo Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras em parceria com o *National Soil Erosion Research Laboratory* (NSERL/USDA) - *Purdue University*, EUA (BESKOW, 2009).

O LASH é um modelo hidrológico determinístico, semi-conceitual, distribuído e de longo termo, que serve para simular algumas variáveis hidrológicas difíceis de serem obtidas em bacias sem o monitoramento hidrológico, como evapotranspiração, interceptação, ascensão capilar, disponibilidade de água no solo, escoamento superficial direto, escoamento subsuperficial e escoamento de base. Este modelo já foi utilizado com sucesso em bacias hidrográficas de diferentes tamanhos (MELLO et al., 2008; BESKOW et al., 2011a; BESKOW et al., 2011b) e vem sendo utilizado em outras bacias brasileiras.

#### 4.2.5 Lacunas Identificadas

A seguir serão elencadas as lacunas e limitações mais relevantes, principalmente para o avanço das análises dos impactos e vulnerabilidades, para o setor hídrico.

- **Desenvolvimento / calibração de modelos hidrológicos:** Observa-se a falta de dados fluviométricos (de medição de níveis de água, velocidade e vazão nos rios) das bacias hidrográficas existentes no país.
- **Divergência nos resultados dos modelos climáticos:** Diversos modelos climáticos divergem quanto aos resultados das previsões futuras de precipitação, como citado pelo Quarto Relatório do IPCC (PACHAURI E REISINGER, 2007). Na Bacia Amazônica, por exemplo, alguns modelos produziram climas mais chuvosos e outros modelos apresentam climas relativamente mais secos.
- **Limitação de downscaling<sup>45</sup> dos cenários climáticos:** um dos principais desafios na construção de cenários climáticos futuros diz respeito às escalas utilizadas nos modelos. Neste sentido, a adaptação dos modelos climáticos à escala de bacias hidrográficas permitirá que ações sejam realizadas em escalas regionais e locais.
- **Limitação na construção de modelos hidro-econômicos:** A construção destes modelos implica na troca de informações entre o componente hídrico e o econômico. Porém, a diferença nos horizontes espaciais e temporais destes dois componentes dificulta a elaboração do modelo.
- **Mensurar impactos:** um dos grandes desafios é valorar os impactos econômicos e sociais, dada as projeções para o setor de recursos hídricos, visto que os dados para esta valoração ainda não estão disponíveis.

---

<sup>45</sup> O *downscaling* (regionalização) é uma técnica que consiste em usar um modelo climático regional “alinhado” a um modelo climático global

- **Povos ribeirinhos:** O aquecimento global é um problema que afetará principalmente as populações mais pobres (e, portanto, mais vulneráveis). Postergar medidas de mitigação e/ou adaptação às mudanças climáticas pode agravar a situação dessa parcela da população.

#### 4.2.6 Sistematização das informações do tema Água

As metodologias para sistematização das informações sobre impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação para o tema Água são as mesmas descritas no item 4.1.7 desse relatório.

A seguir é apresentada a sistematização dessas informações para o tema Água (Quadro 4.2.6).

**Quadro 4.2.6 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o tema Água**

VULNERABILIDADE
<b>Sistema Vulnerável</b>
<p><b>Grupo populacional:</b> Vulnerabilidade é maior para populações de baixa renda: condições de escassez hídrica e/ou ausência de saneamento.</p> <p><b>Setores correlacionados:</b> vulnerabilidades na produção de energia elétrica, agropecuária, indústria e no abastecimento urbano.</p> <p><b>Amazônia e Nordeste:</b> regiões mais vulneráveis, principalmente aos eventos climáticos extremos.</p>
<b>Perigos (fatores de estresse)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento das temperaturas médias;</li> <li>• Aumento da evaporação;</li> <li>• Diminuição da precipitação;</li> <li>• Aumento da frequência de eventos extremos que causam desastres naturais, como: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chuvas intensas (tempestades): meteorológico e súbito;</li> <li>• Aumento das temperaturas extremas: meteorológico e gradual;</li> <li>• Ocorrência de secas: climatológico e gradual;</li> <li>• Ocorrência de desertificação: climatológico e gradual;</li> <li>• Epidemias: biológico e somação de efeitos parciais.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Atributo(s) valorizado(s) ou variáveis de interesse</b>
<p><b>Disponibilidade hídrica:</b> variáveis de interesse que podem ser afetadas pela escassez hídrica são:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia elétrica proveniente de fontes hídricas;</li> <li>• Agropecuária, indústria e mineração;</li> <li>• Abastecimento urbano (saneamento básico).</li> </ul>
<b>Horizonte temporal</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2020, 2040, 2050, 2070 e 2100 (médio e longo prazo).</li> </ul>
<b>IMPACTO</b>
<b>Efeitos decorrentes das mudanças climáticas</b>
<p><b>Impactos biofísicos:</b> Porcentagem dos excedentes hídricos gerados por modelos climáticos em sete bacias hidrográficas (projeção para 2011-2040, em comparação com médias históricas (1961-1990)):</p>

- Atlântico NE Ocidental: entre -8% e -29%;
- Rio Amazonas: entre -7% e -12%;
- Rio Paraguai: entre -10% e -32%;
- Rio Paraná: entre -6% e -20%.
- Rio Parnaíba: entre -30% e -68%;
- Rio São Francisco: entre -28% e -62%;
- Rio Tocantins: entre -16% e -22%.

**Nordeste:** redução na frequência de chuvas de até 2,5mm/dia até 2100, resultando em perdas nas produções agrícolas e diminuição nas vazões dos rios importantes para geração de energia.

#### Impactos socioeconômicos:

- O aquecimento global pode gerar perdas na ordem de R\$7,4 bilhões em 2020 e R\$14 bilhões em 2070;
- Aumento da disseminação de doenças de veiculação hídrica (exemplos: cólera, tifo, diarreia, etc.);
- Redução de água disponível para irrigação e dessedentação de animais;
- Racionamento de água para o consumo humano.

#### Indicadores de ocorrência e/ou magnitude de impactos

- Frequência e intensidade de eventos climáticos extremos como, por exemplo, enchentes urbanas, inundações, deslizamentos, secas, etc.;
- Disponibilidade hídrica para agricultura de subsistência e agroindústria;
- Disponibilidade hídrica para geração de energia hidrelétrica;
- Oferta de água potável para a população;
- Consumo hídrico para o uso e ocupação do solo;
- Níveis de rios, afetando os portos e o transporte fluvial;
- Taxas de evaporação dos açudes e reservatórios;
- Elevação do nível do mar.

#### ADAPTAÇÃO

##### Medidas de adaptação

- Avaliação de Impactos e Vulnerabilidade à Mudança Climática no Estado de São Paulo e opções de estratégias de adaptação (UNESP, USP-SÃO CARLOS, UNICAMP e INPE-CPTEC);
- Concepção do Arranjo Institucional e operacional para a gestão integrada de riscos de desastres no Estado do Rio de Janeiro (INEA - RJ);
- Monitoramento hidrológico (CEMADEN, CENAD e ANA);
- Programa Comunidades Semiárido (COEP);
- Programa Marco para a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos da Bacia do Prata: (governos da Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai);
- Programa Um Milhão de Cisternas (AP1MC);
- Projeto: Sinergia: Sistema Internacional de Estudos sobre Recursos Hídricos e Gerenciamento de Impactos devido ao aquecimento global na bacia do Paraguai;
- Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (ANA);
- Rede Nacional de Monitoramento das Águas (ANA);
- Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN Brasil.

#### Indicadores relacionados a medidas de adaptação

- Reais investidos em obras de infraestrutura para a prevenção de inundações e deslizamentos e em ações de combate aos efeitos da seca;
- Revitalização das bacias hidrográficas;
- Investimentos em pesquisas científicas de mapeamento de áreas de risco e vulnerabilidades;
- Número de nascentes protegidas / revitalizadas;



- Número de projetos educacionais de incentivo ao uso racional dos recursos hídricos.

## 4.3 ENERGIA

O setor energético é de extrema importância para o país. A oferta interna de energia atingiu 283,6 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), correspondendo a uma demanda per capita de 1,46 tep (BEN, 2013<sup>46</sup>). As fontes renováveis de energia representaram 42,4% da matriz energética nacional; no mundo, essa taxa é de aproximadamente 13,2%. O petróleo e seus derivados representaram 39,2%. As fontes renováveis que compõem a matriz energética são: derivados de cana (15,4%), hidráulica e eletricidade (13,8%), lenha e carvão vegetal (9,1%), outras fontes (4,1%). As outras fontes não renováveis são: gás natural (11,5%), carvão mineral e coque (5,4%) e urânio (1,5%).

A produção de energia elétrica pelo serviço público e autoprodutores em 2012 atingiu o valor de 552,5 TWh, sendo composta pelas seguintes fontes: hidráulica (76,9%), gás natural (7,9%), biomassa (6,8%), derivados de petróleo (3,3%), nuclear (2,7%), carvão e derivados (1,6%), eólica (0,9%). As fontes renováveis representaram 85% desse total.

As mudanças climáticas podem atingir o setor energético de várias formas, tanto no que diz respeito à base de recursos energéticos (oferta) e aos processos de transformação, quanto aos aspectos de transporte e consumo de energia<sup>47</sup> (PBMC, 2013).

O primeiro estágio da cadeia diz respeito ao total de energia primária disponível e as tecnologias de conversão em fontes finais (oferta). No caso de combustíveis fósseis, recursos referem-se a um estoque cujo acesso pode ser impactado pelas mudanças climáticas. No caso de energias renováveis, os recursos energéticos referem-se a um fluxo que, em geral, está intimamente ligado às condições climáticas. Nesse sentido, espera-se que fontes renováveis sejam mais susceptíveis a mudanças do clima. O segundo e terceiro estágio referem-se, respectivamente, ao transporte de energia ao consumidor final e ao uso energético para atender os diferentes serviços demandados pela sociedade.

### 4.3.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados

Os principais impactos e vulnerabilidades do setor energético frente às mudanças climáticas serão descritos para cada fonte energética. Foram selecionados estudos sobre esses impactos e vulnerabilidades com uma abordagem sintética e abrangência nacional. Alguns desses trabalhos, principalmente do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) e da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (FEA), apresentam análises integradas com outros setores da economia como agricultura, recursos hídricos e mudança do uso do solo. As informações que serão apresentadas dizem respeito, principalmente, as seguintes publicações: Margulis e Dubeux (2010), Hadadd et al (2010)<sup>48</sup>, Schaeffer et al (2008, 2012 e 2013), Lucena et al (2010), COPPE (2011), Pereira et al (2013). Importante salientar que existem outros trabalhos no tema de instituições renomadas no país, mas com uma abordagem mais localizada. Esses trabalhos com abordagem regional foram importantes para descrever medidas de adaptação para a

---

<sup>46</sup> <https://ben.epe.gov.br>

<sup>47</sup> Mudanças climáticas podem, também, ter efeitos indiretos através de outros setores econômicos, por exemplo, através da competição por recursos, como terra e água.

<sup>48</sup> [http://www.cedeplar.ufmg.br/seminarios/seminario\\_diamantina/2010/D10A047.pdf](http://www.cedeplar.ufmg.br/seminarios/seminario_diamantina/2010/D10A047.pdf)

agricultura familiar (item 4.1.3), principalmente no Semiárido, sendo eles: Ella (2012), Obermaier e Pinguelli Rosa (2013).

Os resultados que serão apresentados para as fontes energéticas dizem respeito, principalmente, aos impactos das mudanças climáticas na geração de energia hidrelétrica, sobre o cultivo de biomassa e demanda de eletricidade, bem como seus impactos econômicos, sociais e ambientais. Também serão incorporados alguns estudos sobre os impactos nas seguintes fontes: gás natural, carvão, energia das marés, solar e eólica.

#### **Quadro 4.3.1 - Horizontes Temporais Utilizados**

Nos estudos analisados os principais horizontes temporais utilizados foram: anos base 2008 e 2010 e projeções para 2030, 2035, 2040, 2050, 2070 e 2100. Exemplos são descritos a seguir. Para o estudo Margulis e Dubeux (2010) utilizou-se horizonte temporal até 2035, pois, é um horizonte no qual as inovações tecnológicas são ainda previsíveis. Estima-se que após 2035 podem ocorrer rupturas tecnológicas que modificariam o paradigma da relação oferta/demanda de energia. Alguns estudos utilizam os parâmetros socioeconômicos do cenário B1 do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), considerado um cenário intermediário. No estudo de Schaeffer et al (2008) foi avaliado como o sistema energético planejado para 2030 responderia às projeções do clima para 2071 a 2100. No estudo de Pereira et al (2013) sobre a análise dos impactos das mudanças climáticas globais sobre a densidade de energia eólica no Brasil os horizontes temporais utilizados foram: ano base 2010 e projeções para 2040, 2070 e 2100.

A partir dos cenários climáticos (com o uso dos modelos já citados no item 2.2) e cenários socioeconômicos (item 3), foram elaboradas as projeções de oferta e demanda de energia para o país e seus impactos frente às mudanças climáticas. Os principais modelos utilizados nesses estudos foram: Modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC), *Economic Forecasting Equilibrium System* (EFES), Modelo B-Maria e Modelo SUIISHI-O, os quais serão descritos no item 4.3.4.

Para os estudos sobre impactos socioeconômicos das mudanças climáticas no setor energético são produzidos cenários de referência elaborados sem mudanças climáticas globais (SMCG) e cenários com mudanças climáticas globais (CMCG), já descritos no item 3. Esses estudos também são baseados nos cenários A2 e B2 do IPCC adaptados para as condições brasileiras. Importante ressaltar que a tendência para os estudos futuros é a utilização dos novos cenários de emissão do IPCC do AR5<sup>49</sup>, chamados agora de tendências, divulgados no segundo semestre de 2013.

Os principais resultados dos impactos das mudanças climáticas nas diferentes fontes energéticas estão descritos na Tabela 4.3.1 (compilado de SCHAEFFER et al., 2012).

---

<sup>49</sup> The Fifth Assessment Report (AR5)

**Tabela 4.3.1 - Resumo dos Impactos das Mudanças Climáticas nos Sistemas Energéticos.**

Setor energético	Variáveis climáticas	Impactos
Termoeletricidade (gás natural, carvão e nuclear)	-Temperatura do ar e água;	-Quantidade e qualidade da água de refrigeração;
	- Temperatura do ar e água; vento e umidade;	-Eficiência de refrigeração e eficiência operacional da turbina;
	-Eventos climáticos extremos.	-Erosão em superfície de mineração;
Óleo e gás		-Interrupção da extração no mar;
	-Eventos climáticos extremos;	-Interrupção da extração no mar;
	-Eventos climáticos extremos; temperatura do ar e água e inundação;	-Interrupção da extração na costa;
	-Eventos climáticos extremos; temperatura do ar e inundação;	-Interrupção da transferência de produção e transporte;
	-Eventos climáticos extremos.	-Interrupção das operações de importação
Biomassa	-Inundação; eventos climáticos extremos e temperatura do ar e água.	-Diminuição de refinarias; quantidade e qualidade da água de resfriamento em refinarias de petróleo.
	-Temperatura do ar; precipitação e umidade	-Disponibilidade e distribuição de terras com condições edafoclimáticas adequadas (zoneamento agrícola)
	-Eventos climáticos extremos	-Desertificação
	-Níveis de CO2	-Produtividade de culturas bioenergéticas
Hidroeletricidade	-Temperatura do ar; precipitação e eventos climáticos extremos	- Disponibilidade total e sazonal de água; períodos de seca; mudanças operacionais no sistema hidroelétrico; evaporação dos reservatórios
Demanda	-Temperatura do ar e precipitação	-Aumento da demanda por ar condicionado no verão; diminuição da demanda por aquecedor no inverno; aumento da demanda energética para irrigação
Eólica	-Vento e eventos climáticos extremos	-Mudanças na intensidade, duração, direção e velocidade do vento; danos devido às condições climáticas extremas
Energia Solar	-Temperatura do ar, umidade e precipitação	-Mudanças na insolação (formação de nuvens); diminuição da eficiência devido à diminuição da radiação; diminuição da eficiência devido às condições ambientais
Geotérmica	-Temperatura do ar e água	- Eficiência de refrigeração
Energia das marés	-Vento e eventos climáticos extremos	-Mudanças na formação e intensidade da onda

Fonte: COMPILADO DE SCHAEFFER ET AL., 2012

## Impactos sobre a oferta de energia

- **Hidroeletricidade**

O potencial de geração hidroelétrica depende diretamente da disponibilidade de recursos hídricos passíveis de serem explorados<sup>50</sup>, sendo, portanto, afetado diretamente pelo ciclo hidrológico. Devido à importância da hidroeletricidade na matriz elétrica brasileira, há dados disponíveis sobre aproveitamentos hidroelétricos em potencial no país, estando a maior parte disponível na região norte do país (EPE, 2007). Portanto, no caso brasileiro, é mais relevante avaliar como diferentes cenários de variação de vazão podem afetar a operação do sistema nacional (atual e/ou projetado).

<sup>50</sup> Podendo ser definido como potencial técnico, econômico ou de mercado.

#### Quadro 4.3.2 - Vulnerabilidade do Sistema Hidroelétrico às Mudanças Climáticas

As características individuais das usinas influenciam a vulnerabilidade do sistema hidroelétrico às mudanças climáticas. Em especial, é importante a capacidade de acumulação dos reservatórios das usinas, que permite ao sistema regularizar a produção de energia frente a variações na vazão afluente. Usinas a fio d'água oferecem pouca flexibilidade operativa e são, portanto, mais susceptíveis aos impactos das mudanças climáticas. Reservatórios de acumulação podem regularizar variações sazonais ou até mesmo anuais de vazão, ajudando a prevenir eventuais impactos climáticos. Embora o sistema brasileiro instalado atualmente conte com hidroelétricas com reservatórios de grande porte, espera-se que a expansão do sistema se dê fundamentalmente por usinas a fio d'água devido a uma crescente preocupação com impactos ambientais locais<sup>51</sup>.

No curto-médio prazo (até 2040), Lucena et al. (2010) apontam que o impacto sobre a geração de energia elétrica no Brasil não seria negativo, segundo os cenários climáticos analisados. Entretanto, outros estudos (LUCENA et al., 2009 e SCHAEFFER et al., 2010) para o setor com cenários climáticos diferentes indicam impactos negativos em prazos mais longos (2070-2010).

Desagregando os resultados dos estudos por bacia, verifica-se que as mais afetadas estão no Nordeste e Norte do país, tanto em termos de energia média quanto de energia firme<sup>52</sup>. Na verdade, a energia média do sistema se mantém só em função da variação positiva nas bacias do Sul e Sudeste, especialmente a do Paraná, que possui forte participação no agregado nacional. Os resultados de balanço hídrico para as bacias do Nordeste são extremamente negativos. Nas bacias do Parnaíba e do Atlântico Leste o excedente hídrico chega a cair mais de 80% em alguns pontos da projeção, com forte queda na produção de energia (Tabela 4.3.2).

**Tabela 4.3.2 - Impactos das Mudanças Climáticas projetadas até 2100 pelos Cenários A2-BR e B2-BR**

Bacia	Variação em relação aos cenários sem mudança do clima			
	A2-BR		B2-BR	
	E. Firme	E. Média	E. Firme	E. Média
Amazonas	-36%	-11%	-29%	-7%
Tocantins Araguaia	-46%	-27%	-41%	-21%
São Francisco	-69%	-45%	-77%	-52%
Parnaíba	-83%	-83%	-88%	-82%
Atlântico Leste	-82%	-80%	-82%	-80%
Atlântico Sudeste	-32%	1%	-37%	-10%
Atlântico Sul	-26%	8%	-18%	11%
Uruguai	-30%	4%	-20%	9%
Paraguai	-38%	4%	-35%	-3%
Paraná	-8%	43%	-7%	37%
Total	-31,5%	2,7%	-29,3%	1,1%

Fonte: MARGULIS E DUBEUX, 2010

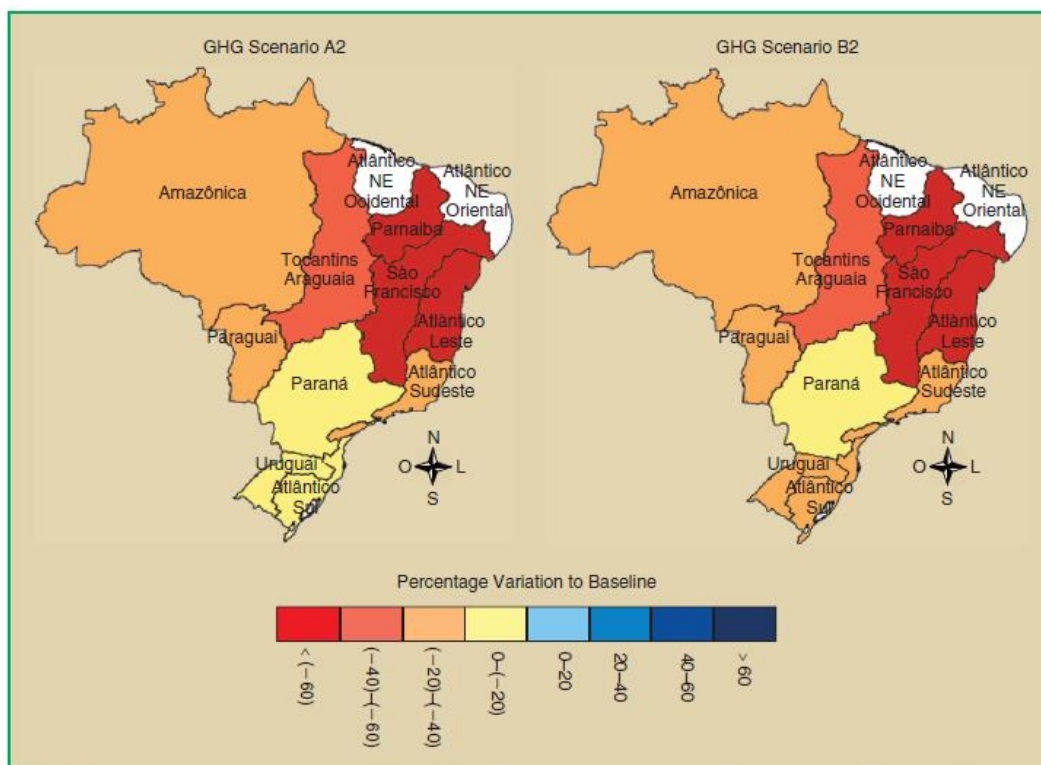
<sup>51</sup> Cabe destacar que a maior parte do potencial hidroelétrico remanescente do Brasil encontra-se na região Amazônica.

<sup>52</sup> Energia firme corresponde à maior quantidade de energia que o sistema hidrelétrico pode fornecer na pior condição hidrológica, por sua vez caracterizada pelo pior período crítico (quando um reservatório vai do nível mais cheio ao mais vazio). Energia média indica a quantidade de energia que o sistema pode atender dada uma condição hidrológica média.

**Quadro 4.3.3 - Variações na Energia Firme Produzida nas Maiores Bacias Hidrográficas Brasileiras**

**Região Amazônica:** no Brasil 11% da energia hidrelétrica gerada provem da Região Amazônica, portanto impactos devido à mudança climática nessa região compromete o fornecimento de energia elétrica no país (SCHAEFFER et al., 2013). A Figura 4.5 mostra o mapa de variação da energia firme para cada Bacia até 2035. A quantidade de energia disponível nas condições hidrológicas críticas diminuiria severamente nas bacias hidrográficas do norte do Brasil. Caso esses cenários pessimistas ocorram, a produção de energia hidrelétrica na Bacia amazônica brasileira pode ser seriamente comprometida, e a produção de grandes usinas existentes e projetadas, tais como Belo Monte, Santo Antônio e Jirau, pode ser afetada, sendo que esses impactos não estão sendo considerados no planejamento. No entanto, os resultados dos diferentes modelos climáticos não são consensuais em suas projeções de clima futuro para as regiões amazônicas, o que aponta para o elevado grau de incerteza sobre o que seriam os futuros impactos sobre a produção de energia renovável nessas regiões.

Figura 4.5 - Variações na energia firme produzida nas maiores bacias hidrográficas brasileiras de acordo com diferentes cenários de emissão



Fonte: SCHAEFFER et al., 2013

- **Biocombustíveis**

Segundo estudos sobre os impactos do clima sobre a agricultura, coordenados pela Embrapa e Cepagri e citados no item 4.1 Agropecuária, a cana de açúcar não deverá sofrer impactos negativos com o aumento de temperatura projetada. Pelo contrário, o impacto deverá ser positivo, com o aumento de áreas aptas para seu cultivo até 2070, principalmente no sul do país, sem, no entanto gerar perdas econômicas. Diante disso, a oferta de etanol não deverá ser prejudicada por fatores climáticos. Por outro lado, as áreas atuais de baixo risco climático para a produção de oleaginosas deverão reduzir-se no caso do girassol e soja, que são matérias-primas para a geração de biodiesel. Essas culturas deverão migrar do Nordeste, devido à deficiência hídrica, para o sul do país (mais detalhes no item 4.1). Isso significa uma nova

geografia da produção agrícola no Brasil nas próximas décadas. O avanço das pesquisas em melhoramento genético para resistência à seca deve garantir a produtividade dessas culturas.

- **Energia Eólica**

O principal mecanismo de impacto das mudanças climáticas globais sobre os regimes de vento e, por conseguinte, nos potenciais de geração eólica são aqueles que provocam mudanças na distribuição do escoamento dos ventos em altos e baixos níveis. Estudos de tendências realizados para o Brasil foram publicados por Lucena et al. (2010) e indicam que o potencial eólico no Brasil será beneficiado pelas mudanças climáticas esperadas do próximo século devido a uma tendência de ventos crescentes para a maior parte do território. Outros estudos também revelaram tendências de crescimento da densidade de potência eólica em quase todo o território brasileiro, principalmente na região norte-nordeste. A média anual da densidade de potência eólica foi de até 10% em relação ao período de referência para quase toda a região Sul. As variações na densidade de potência para todos os estados do nordeste se mostraram bem superiores, com aumentos de mais de 40% para a região que compreende os estados do Pará, Tocantins, Piauí e Maranhão<sup>53</sup> (PEREIRA et al., 2013).

Por outro lado, pesquisas do INPE mais recentes, empregando um conjunto de 19 estações meteorológicas localizadas nas regiões do sul e nordeste, com dados de séries históricas superiores a 30 anos, revelaram tendências variadas conduzindo a resultados inconclusivos. Isso foi atribuído a problemas com a qualidade dos dados disponíveis e com a inexistência de registros de campo contendo o histórico de calibração, substituição de sensores e alterações de localização da estação e do uso do solo no entorno.

Diante disso ainda é difícil apontar, com certeza, “o futuro” do potencial eólico no Brasil diante das mudanças climáticas em curso.

- **Energia Solar**

As alterações climáticas podem afetar os recursos de energia solar, alterando o conteúdo de vapor d'água atmosférico, a nebulosidade, a carga de aerossóis na atmosfera e até mesmo as características das nuvens, afetando a transmissividade da radiação solar na atmosfera. No Brasil, estudos realizados com base em uma série de 12 anos de dados de satélite indicam uma tendência ao decréscimo dos níveis de irradiação solar incidente entre 1% a 2,5% ao ano para todas as regiões do Brasil, com exceção da região sul onde os resultados não mostraram significância estatística.

- **Petróleo e gás**

Embora as mudanças do clima não alterem diretamente a quantidade de recursos de óleo e gás existentes, elas podem afetar nosso conhecimento acerca de sua existência, assim como o acesso a esses recursos, na medida em que se pode alterar a viabilidade técnica e econômica de sua exploração.

---

<sup>53</sup> É importante destacar que esses resultados são limitados pela resolução do modelo de *downscaling* ETA que é insuficiente para identificar precisamente o potencial eólico por não resolver a topografia com o detalhamento necessário.

- **Geração Termoelétrica (óleo, gás natural, carvão e nuclear)**

Mudanças climáticas globais podem causar impactos sobre a geração termoelétrica ao afetar a eficiência termodinâmica e a demanda por água de resfriamento das usinas térmicas. Abaixo a Tabela 4.3.3 com os impactos no setor.

**Tabela 4.3.3 - Impactos da Temperatura e da Umidade no Sistema de Termelétricas a Gás Natural (GN) Projetado para 2030, Cenário A2 (SCHAEFFER et al., 2008)**

	2071-75	2076-80	2081-85	2086-2090	2091-95	2096-00
Capacidade instalada total - GW	21,04	21,04	21,04	21,04	21,04	21,04
Consumo anual de GN Total 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	316	352	330	378	377	402
Geração anual de energia elétrica Total - GWh	-1.397	-1.550	-1.458	-1.662	-1.656	-1.761

**Quadro 4.3.4 - Impactos na Demanda de Energia**

**Demanda de energia:** Schaeffer et al. (2008) realizaram uma análise do aumento no uso de ar condicionado nos setores residencial e de serviços brasileiro, com base na combinação do efeito graus-dias com o aumento no consumo dos aparelhos em função de temperaturas mais altas a partir de um modelo de uso final. Considerando o cenário com temperaturas mais altas, o estudo demonstrou que o aumento do consumo de energia elétrica do setor residencial ficaria em torno de 9%, e no setor serviços, de 19% em 2030.

**Principais informações do RAN 1 do PBMC para o tema Energia**

A descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificadas no presente trabalho estão em conformidade com as informações compiladas no RAN 1 do PBMC. Além disso, as principais conclusões dos autores do PBMC no tema energia estão listadas no Quadro 4.3.5.

**Quadro 4.3.5 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema Energia**

O capítulo referente ao tema energia do PBMC identificou as diversas formas através das quais as mudanças climáticas podem ter efeitos sobre sistemas energéticos, levantando a literatura internacional e nacional sobre o assunto e indicando os principais segmentos relevantes para o país. As principais conclusões foram:

- Devido à grande concentração em determinadas fontes de energia, alguns segmentos do setor energético (como hidroeletricidade e biomassa) devem ser melhor investigados para melhorar a base de informações para tomada de decisões de política energética. No que tange à expansão do sistema, opções renováveis vulneráveis às mudanças do clima, como a energia eólica, também devem ser investigadas para que o país possa estar mais apto a conciliar os interesses de redução de emissão de gases de efeito estufa com segurança energética;
- O planejamento da operação e expansão do sistema energético baseia-se em tomada de decisões sob incertezas, onde variabilidade climática é um elemento entre vários<sup>54</sup>. Assim, no planejamento energético é utilizada uma série de modelos em que se incorpora a incerteza climática, entre outras. Contudo, assume-se, no planejamento energético convencional, que as variáveis climáticas são estacionárias, o que pode não ser o caso devido às mudanças climáticas. Analisar as vulnerabilidades do setor energético e incorporá-las ao planejamento da expansão e operação do sistema é, portanto, fundamental para garantir a segurança energética e lidar com os requerimentos para combater as mudanças climáticas. Só

<sup>54</sup> Outros elementos de incerteza estão relacionados à disponibilidade de recursos, demanda futura, parâmetros técnico-econômicos de tecnologias de extração, transporte e conversão de energia, etc.



recentemente a comunidade científica internacional percebeu a necessidade de se investigar os impactos que as mudanças climáticas podem ter sobre a produção, transporte e consumo de energia. Dessa forma, a base de conhecimento formal sobre o assunto é ainda muito limitada (WILLBANKS et al., 2007);

- O desenvolvimento de metodologias para a avaliação de impactos sobre os diversos segmentos do setor energético deve ser incentivado. Isso inclui, também, o uso de uma gama maior de cenários climáticos futuros para que se possa ter maior embasamento na condução de políticas energéticas voltadas para garantir a segurança energética frente às mudanças do clima. Finalmente, deve-se desenvolver, também, a análise dos impactos de eventos climáticos extremos sobre setores de energia, assunto que ainda não foi tratado de maneira formal na literatura científica internacional.

#### 4.3.2 Principais indicadores identificados

Os principais indicadores de impactos e vulnerabilidades frente às mudanças climáticas no setor energético estão descritos abaixo Quadro 4.3.6. À medida que os impactos e vulnerabilidades se intensificam esses índices tendem a diminuir. Esses indicadores foram os encontrados nos trabalhos publicados sobre o tema para o Brasil.

##### Quadro 4.3.6 - Indicadores relacionados aos impactos das mudanças climáticas e vulnerabilidades para o setor energético

- Vazão natural afluyente dos rios
- Potencial de geração hidroelétrica
- Potencial hidroelétrico bruto<sup>55</sup>
- Níveis de irradiação solar incidente
- Demanda por água
- Geração de energia hidrelétrica
- Disponibilidade total e sazonal de água
- Períodos de seca
- Mudanças operacionais no sistema hidroelétrico
- Evaporação dos reservatórios
- Demanda por ar condicionado no verão;
- Demanda por aquecedor no inverno;
- Demanda energética para irrigação
- Mudanças na intensidade, duração, direção e velocidade do vento
- Mudanças na insolação (formação de nuvens)
- Formação e intensidade da onda

Também podem ser elucidados alguns indicadores relacionados à empregabilidade ou não de medidas de adaptação para o setor conforme o Quadro 4.3.7 abaixo. A ampliação desses indicadores caracteriza a empregabilidade de medidas de adaptação para o setor. A diversificação da matriz energética representa uma medida adaptativa para o setor, como por exemplo, o investimento em energia proveniente da biomassa.

<sup>55</sup> Definido como o total de energia que estaria disponível anualmente caso toda vazão em todas localidades pudesse ser aproveitada sem perdas (LEHNER et al., 2005), o que é diretamente calculado a partir de dados de disponibilidade hídrica e elevação.

#### Quadro 4.3.7 - Indicadores relacionados a medidas de adaptação para o setor energético

- Publicações de estudos com fontes energéticas renováveis
- Área plantada com cana de açúcar
- Área plantada com oleaginosas
- Produtividade da cana de açúcar
- Produtividade de oleaginosas

#### 4.3.3 Medidas de adaptação identificadas

A seguir serão elencadas algumas medidas adaptativas em curso e outras previstas em políticas públicas no País para o setor energético.

- **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel – PNPB:** além da diversificação da matriz energética brasileira, a principal estratégia é a inclusão social de agricultores do Semiárido, que plantam e vendem a matéria prima de biodiesel, oriundas de mamona e girassol, por meio de contratos com produtores de biodiesel. Estes, por conseguinte, fornecem sementes certificadas, assistência técnica e garantia de acesso a mercados e preços. Os agricultores que participam do programa tem o benefício de preços mais elevados do biodiesel. Evidências sugerem que os rendimentos têm aumento de 16-20%, subindo para uma média de R\$ 345 por hectare, para além de outras receitas existentes no local e atividades não-agrícolas<sup>56</sup>.
- **Programa Nacional de Biodiesel:** com base nos resultados dos testes de motores conduzidos no Ivig, o governo federal autorizou em 2005 a mistura de 2% de biodiesel na composição do óleo diesel de origem fóssil, sem que fosse necessário fazer qualquer adaptação nos veículos em circulação. Mais tarde, novos testes permitiram ampliar o percentual de mistura para os atuais 5%.
- **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel):** promove o uso eficiente da energia elétrica, combatendo o desperdício e reduzindo os custos e os investimentos setoriais. Criado pelo governo federal em 1985 é executado pela Eletrobras. Em 2012, o Procel desenvolveu projetos que contribuíram para uma economia de 9 milhões de megawatts-hora (MWh). Esse resultado equivale ao consumo anual de energia elétrica de aproximadamente 4,77 milhões de residências brasileiras.
- **Usina de energia elétrica a partir das ondas do mar:** com capacidade de 100 kW, a usina-piloto instalada no porto do Pecém, no Ceará, começou a operar em 2011. Com tecnologia e fabricação inteiramente brasileiras, é a primeira usina de ondas da América do Sul. Existem algumas instalações experimentais na Europa, principalmente em Portugal e na Escócia, todas de pequeno porte e cada uma partindo de conceitos diferentes. Nos ensaios feitos no LabOceano da Coppe, o modelo demonstrou eficiência acima de 30%, isto é, capacidade de conversão superior a 30% do potencial energético das ondas. É um valor equivalente aos melhores desempenhos alcançados pelas tecnologias estrangeiras com que pretende competir. O balanço das ondas do mar brasileiro guarda o potencial de acrescentar 15% a 20% aos atuais 100 GW de potência instalada de energia elétrica no país, o equivalente a uma Itaipu e meia. Um potencial relevante de energia limpa e com tecnologia nacional. O aproveitamento das ondas

<sup>56</sup> <http://ella.practicalaction.org/>

pode ser feito do Sul até uma parte do Nordeste. Na região norte o potencial marinho pode ser aproveitado pela energia de marés.

- **Veículos movidos a hidrogênio:** uma fonte de energia limpa e virtualmente inesgotável. A COPPE desenvolveu o ônibus urbano elétrico híbrido a hidrogênio – iniciativa pioneira no Hemisfério Sul. O veículo, inteiramente projetado e fabricado por indústrias brasileiras, tem a aparência de um ônibus comum, mas é movido a energia elétrica obtida através de uma tomada ligada na rede e complementada com eletricidade produzida a bordo, por uma pilha a combustível alimentada com hidrogênio. O veículo é silencioso, com eficiência energética maior que a dos ônibus a diesel e com emissão zero de poluentes. De seu cano de descarga sai apenas água.
- **Liquefação de gás natural:** apesar de grande parte do gás natural ser queimado nas plataformas de petróleo brasileiras existem iniciativas para construção e adaptação das plataformas para liquefazer o gás natural conhecido como navio plataforma de gás natural da Petrobras. Os últimos leilões de energia obrigam as termelétricas a serem de ciclo combinado, para participar do leilão, que utilizam gás natural e essa tendência deve se manter no futuro. Apesar de ser uma medida mitigadora, a liquefação do gás natural também pode ser considerada uma medida adaptativa indireta, uma vez que o gás natural outrora queimado passará a ser utilizado na geração de energia, garantindo a segurança energética do mesmo e diminuindo as importações de gás da Bolívia. Além disso, irá contribuir para a diversificação da matriz energética do país.

#### 4.3.4 Principais atores, projetos e modelos

Os principais atores envolvidos com a geração de dados sobre os impactos e vulnerabilidades das mudanças climáticas no setor energético no país são: COPPE, Rede CLIMA, INPE, FEA, além de participação de Universidades e outros Centros de Pesquisa nacionais, Redes Estaduais de Pesquisa e colaboração internacional.

Os principais projetos e modelos utilizados para a geração dos cenários socioeconômicos do setor são descritos abaixo:

- **Clima, Energia e Oceanos:** esta iniciativa contempla diversos projetos de pesquisa coordenados pela COPPE em parceria com outras instituições do país. Os projetos estão relacionados aos seguintes temas: álcool de segunda geração; energia eólica; energia osmótica; usina de ondas; combustível mais limpo, entre outros. Mais informações sobre esses projetos podem ser acessadas no site: <http://www.coppenario20.coppe.ufrj.br/?cat=20>
- **Projetos Empresa Vale:** a empresa Vale possui diversos projetos voltados para a produção energética mais sustentáveis e adaptada as mudanças climáticas, como por exemplo, projetos para geração de biocombustíveis oriundos da palma. Mais projetos e informações no site: <http://www.vale.com/PT/aboutvale/initiatives/Paginas/default.aspx>

- **Microgeração de energia elétrica**<sup>57</sup>: sistema motor/alternador que possa funcionar num nível de eficiência máxima, em ampla faixa de velocidades do vento, e ser utilizado em um equipamento de geração de energia eólica de eixo vertical. Os geradores de energia eólica mais presentes no mercado são os de eixo horizontal. Seu alto custo deve-se a um mecanismo que os posicionam na direção do vento e de estruturas de porte para elevá-los. Também produzem um alto nível de ruído. Por essas razões, não são adequados para o tipo de uso que o projeto da Coppe objetiva: gerar energia elétrica para as populações de baixa renda, moradoras de conjuntos habitacionais populares.
- **Modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC)**: o núcleo central da modelagem utilizada é um EGC capaz de lidar de maneira consistente com a integração com outros modelos do estudo, notadamente os de demanda e oferta de energia, uso da terra e o modelo de produtividade agrícola. Estes, por sua vez, são integrados a modelos climáticos. Utilizando-se a mesma estrutura adotada para a geração dos cenários de referência, os cenários com mudanças climáticas globais (CMCG) incorporam os efeitos das MCG em setores selecionados (agricultura, pecuária e energia) para a avaliação dos impactos comparativos. Esta construção de cenários objetiva verificar se as mudanças consideradas proporcionam impactos que reorientam ou não o futuro das regiões no rumo do desenvolvimento econômico, com maior equidade territorial e social. Os impactos socioeconômicos comparativos entre as situações SMCG e CMCG são assim analisados em termos de benefícios e custos para o Brasil e suas regiões. Os impactos das MCG são colocados em perspectiva em relação ao cenário SMCG. Os modelos de EGC desenvolvidos para o Brasil precisam incluir na sua especificação teórica e aplicada, itens necessários para a articulação com outros estudos setoriais como, por exemplo: consumo e geração de energia para diferentes setores e regiões, substituição entre diferentes fontes de energia no processo produtivo e no consumo das famílias (álcool x gasolina, energia elétrica x gás encanado), possibilidade de substituição das fontes de geração de energia elétrica (hidráulica x térmica), produtividade agrícola e uso da terra, oferta de água, dentre outros (mais detalhes no item 4).
- **Modelo SUSHI-O**: simula a operação do sistema hidrelétrico interligado para uma determinada condição hidrológica a partir de parâmetros de evapotranspiração<sup>58</sup> potencial e do cálculo do balanço hídrico para o território brasileiro. O modelo calcula a energia firme e a energia média para uma dada configuração do sistema hidrelétrico e um dado conjunto de séries de vazão, medidas que foram utilizadas na avaliação dos impactos nos cenários A2-BR (pessimista para o Brasil) e B2-BR (otimista para o Brasil).
- **Economic Forecasting Equilibrium System (EFES)**: para a elaboração dos dois cenários de mudanças climáticas (A2 e B2) utiliza-se um sistema integrado de modelagem para geração de cenários temporais, tendo como núcleo central um modelo de equilíbrio geral computável denominado EFES existente na Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE), cujo objetivo geral é a especificação e implementação de um sistema de informações integrado para projeção macroeconômica, setorial e regional, e análise de políticas econômicas. O EFES está integrado a um modelo macroeconômico de equilíbrio geral dinâmico (EGD), permitindo a geração de resultados desagregados para até 55 setores e 110 produtos, consistentes com cenários internacionais e macroeconômicos preestabelecidos. A utilização do modelo EFES em simulações de

---

<sup>57</sup> Projeto em desenvolvimento na COPPE/UFRJ

<sup>58</sup> Perda de água de um ecossistema para a atmosfera, por evaporação ou transpiração das plantas.

projeção possibilita a produção de resultados estruturais e macroeconômicos sobre a evolução da economia brasileira, principalmente no período entre 2008-2050. Também pode ser utilizado a extensão microrregional do modelo EFES (EFESREG), desenvolvida para geração das decomposições regionais dos resultados das simulações.

- **Modelo B-MARIA:** integrado ao modelo EFES, permite que os impactos sobre variáveis macroeconômicas, setoriais e regionais sejam calculados. Os subsídios de outros modelos, que alimentam os choques no modelo B-MARIA, são, principalmente, alterações na matriz energética brasileira. Uma vez traduzidos estes efeitos em mudanças em termos técnicos do modelo EGC, pode-se proceder à estimativa dos impactos socioeconômicos das MCG. Uma das principais características do modelo B-MARIA é o tratamento detalhado dos fluxos interestaduais na economia brasileira, especificando mercados de origem e destino para as importações e exportações estaduais. O modelo B-MARIA divide a economia brasileira em 27 regiões, correspondentes aos 26 estados brasileiros e o Distrito Federal.

#### 4.3.5 Lacunas identificadas

A seguir serão elencadas as lacunas e limitações mais relevantes, principalmente para o avanço das análises dos impactos e vulnerabilidades, para o setor energético.

- **Planejamento estratégico do setor considerando as projeções climáticas:** as projeções climáticas mais recentes apontam para impactos consideráveis sobre os sistemas naturais e humanos. No entanto, apesar de ser um dos principais setores de desenvolvimento socioeconômico, o setor de energia, muitas vezes não incorpora os efeitos das futuras variações do clima no seu planejamento e operação.
- **Medidas de adaptação diretamente voltadas para impactos de mudanças climáticas:** medidas como diques contra aumento no nível do mar, reforço de estruturas contra tempestades e furacões, investimento em capacidade de geração elétrica complementar, etc. – em geral implicam em projetar impactos e comparar os custos destes com os custos de eventuais medidas de adaptação. Porém, estimativas abrangentes dos custos e benefícios da adaptação são, até o momento, escassas e a literatura a esse respeito ainda é bastante limitada e fragmentada em termos setoriais e regionais<sup>59</sup> (ADGER et al., 2007).
- **Utilização de modelos de EGC:** estudos sobre custos econômicos das MCG têm-se concentrado na avaliação de políticas para redução das emissões de GEE (e.g. tributação de carbono). Há poucos estudos que tratam especificamente dos custos/benefícios de MGC utilizando modelos EGC, com a sistematização do mapeamento de efeitos físicos sobre efeitos econômicos. Estudos para o Brasil são ainda mais raros, e quando se coloca a questão, o país não é tratado individualmente, aparecendo agregado a um conjunto de outros países (em geral, América Latina).

---

<sup>59</sup> Existem alguns estudos a respeito dos custos e benefícios da adaptação, focando, principalmente, em aumento do nível do mar (e.g., Fankhauser, 1995; Yohe e Schlesinger, 1998; Nicholls e Tol, 2006) e agricultura (e.g., Rosenzweig e Parry, 1994; Adams et al., 2003; Reilly et al., 2003).

- **Adaptação no setor energético:** Poucos estudos de adaptação focam no setor energético. Na verdade, grande parte das sugestões de adaptação para o setor energético vem como apêndices a estudos que focam nos impactos das mudanças climáticas sobre o setor. Além de escassa, a literatura sobre medidas de adaptação para o setor energético se restringe a discussões praticamente qualitativas, faltando uma abordagem mais sistemática e carecendo de um desenvolvimento de metodologias para análise de opções de adaptação.
- **Incertezas relativas ao sistema ambiental:** uma das dificuldades consideradas no processo de elaboração dos cenários e projeções trata de incertezas relativas ao sistema ambiental. Esta incerteza está relacionada aos impactos diretos e indiretos das restrições ambientais globais sobre o ecossistema nacional: restrições ambientais naturais geradas por desequilíbrios ambientais, tais como secas, enchentes, aumento da temperatura média da terra, entre outros, destacando que têm se mostrado mais intensas e mais frequentes nos últimos anos. Na prática faltam estudos de longo prazo (séries históricas) que analisem essas incertezas.
- **Análise estratégica para o uso de gás natural:** ausência de uma análise estratégica para o uso do gás natural em um sistema predominantemente hídrico, para estabelecer um sistema provido de capacidade para tolerar variações de oferta demanda, de maneira a atender as circunstâncias climáticas, energéticas e também políticas.
- **Ausência de estudos com metodologias, cenários climáticos e horizontes de tempo semelhantes:** isso dificulta a comparação dos resultados.

#### 4.3.6 Sistematização das informações para setor Energia

As metodologias para sistematização das informações sobre impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação para o setor Energia são as mesmas descritas no item 4.1.7 desse relatório.

A seguir é apresentada a sistematização dessas informações para o setor Energia (Quadro 4.3.8).

**Quadro 4.3.8 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o setor Energia**

VULNERABILIDADE
Sistema Vulnerável
<p><b>Geração hidrelétrica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• As mais vulneráveis são as regiões Norte e Nordeste do país;</li> <li>• Os resultados do balanço hídrico para as bacias do Nordeste são extremamente negativos.</li> </ul> <p><b>Região Amazônica:</b> A produção de energia hidrelétrica na Bacia Amazônica brasileira pode ser seriamente comprometida, pela possível diminuição da incidência de chuvas nesse bioma.</p>
Perigos (fatores de estresse)
<p><b>Termelétricas (não renováveis):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura do ar e água; vento e umidade;</li> <li>• Eventos climáticos extremos;</li> <li>• Inundações: desastre natural hidrológico de evolução gradual ou súbita.</li> </ul>

**Termelétricas (biomassa):**

- Temperatura do ar; precipitação e umidade;
- Eventos climáticos extremos;
- Níveis de CO<sub>2</sub>.

**Hidroeletricidade:**

- Temperatura do ar;
- Precipitação;
- Eventos climáticos extremos.

**Eólica:**

- Vento;
- Eventos climáticos extremos.

**Energia Solar:**

- Temperatura do ar;
- Umidade e precipitação.

**Energia das marés:**

- Vento;
- Eventos climáticos extremos;
- Elevação nível do mar.

**Atributo(s) valorizado(s) ou variáveis de interesse**

- Base de recursos energéticos (oferta de recursos energéticos renováveis e não renováveis);
- Processos de transformação;
- Infraestrutura de transmissão e distribuição.

**Horizonte temporal**

- Anos base 2008 e 2010;
- Projeções para 2030, 2035, 2040, 2050, 2070 e 2100 (longo prazo).

**IMPACTO**

**Efeitos decorrentes das mudanças climáticas**

**Impactos negativos são esperados para:**

**Termelétricas (não renováveis):**

- Biofísicos: Erosão em superfície de mineração; extração na costa; quantidade e qualidade da água de resfriamento em refinarias de petróleo;
- Socioeconômicos: Produção e transporte; eficiência de refrigeração e eficiência operacional da turbina; operações de importação.

**Termelétricas (biomassa):**

- Biofísicos: Disponibilidade e distribuição de terras com condições adequadas; produtividade de culturas bioenergéticas.

**Biodiesel:**

- Biofísicos: Redução de áreas atuais de baixo risco climático para girassol e soja (matéria-prima biodiesel) e migração dessas culturas do Nordeste para o sul do País.

**Hidrelétricas:**

- Biofísicos: Disponibilidade total e sazonal de água; períodos de seca; mudanças operacionais no sistema hidroelétrico; evaporação dos reservatórios;

- Socioeconômicos: Impactos na geração de energia de grandes usinas existentes, em construção e projetadas na Bacia do Rio Amazonas (Belo Monte, Santo Antônio, Jirau e outras).

**Eólicas:**

- Biofísicos: Intensidade, duração, direção e velocidade do vento; danos devido às condições climáticas extremas.

**Solar:**

- Biofísicos: Insolação (formação de nuvens); problemas de eficiência devido à diminuição da radiação; diminuição da eficiência devido às condições ambientais.

**Indicadores de ocorrência e/ou magnitude de impactos**

- Vazão natural afluente dos rios;
- Potencial de geração hidroelétrica;
- Potencial hidroelétrico bruto;
- Níveis de irradiação solar incidente;
- Demanda por água;
- Geração de energia hidrelétrica;
- Disponibilidade total e sazonal de água;
- Períodos de seca;
- Mudanças operacionais no sistema hidroelétrico;
- Evaporação dos reservatórios;
- Demanda por ar condicionado no verão;
- Demanda por aquecedor no inverno;
- Demanda energética para irrigação;
- Mudanças na intensidade, duração, direção e velocidade do vento;
- Mudanças na insolação (formação de nuvens);
- Formação e intensidade da onda.

**ADAPTAÇÃO**

**Medidas de adaptação**

- Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel;
- Programa Nacional de Biodiesel;
- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica;
- Usina de energia elétrica a partir das ondas do mar;
- Veículos movidos a hidrogênio;
- Liquefação de gás natural.

**Indicadores relacionados a medidas de adaptação**

- Publicações de estudos com fontes energéticas renováveis;
- Área plantada com cana de açúcar;
- Área plantada com oleaginosas;
- Produtividade da cana de açúcar;
- Produtividade de oleaginosas.



## 4.4 BIODIVERSIDADE

O Brasil é o país que apresenta a maior biocapacidade do planeta, ou seja, maior quantidade de recursos produzida por seus diferentes ecossistemas aquáticos e terrestres, sendo também o país que possui a maior biodiversidade, concentrando cerca de 13% da biota do planeta. No entanto, os ambientes naturais em território nacional estão sob forte pressão de atividades humanas, sendo as mudanças climáticas antropogênicas um fator importante para a alteração de habitats e distribuição de espécies (REDE CLIMA, 2012).

A importância da biodiversidade está relacionada, principalmente, ao serviço ecológico que a preservação de floresta presta para a sociedade. Por exemplo, qual o valor de um metro cúbico de água liberado pela Floresta Amazônica, por evaporação, que retorna em forma de chuva, mantendo o clima úmido da região? Qual é o valor dos nutrientes acumulados nos troncos e nas cascas de árvores centenárias? Quanto vale um quilo de carbono que deixa de ser liberado para a atmosfera por estar estocado em florestas? Portanto, a biodiversidade é uma das propriedades fundamentais da natureza por ser responsável pelo equilíbrio e pela estabilidade dos ecossistemas. Além disso, a biodiversidade é fonte de imenso potencial econômico por ser a base de recursos das atividades agrícolas, pecuárias, pesqueiras, florestais e também a base da indústria da biotecnologia, ou seja, da fabricação de remédios, cosméticos, enzimas industriais, hormônios, sementes agrícolas.

Altíssimos níveis de devastação ambiental já colocaram dois biomas brasileiros – a Mata Atlântica e o Cerrado – na lista dos “Hotspots” de biodiversidade, que são conjuntos de ecorregiões prioritárias para conservação em nível mundial (MYERS et al., 2000). Para piorar a situação, o conhecimento sobre a real diversidade dos grupos biológicos que compõe a biodiversidade brasileira ainda pode ser considerado bastante incipiente, o que pode prejudicar o planejamento sistemático e o desenvolvimento de políticas de conservação (ALEIXO, 2010). Mesmo para aqueles grupos que tradicionalmente sempre foram considerados bem conhecidos, como é o caso das aves (VALE et al., 2008) ainda é necessário um esforço maior de pesquisa.

Alguns dos fatores que ameaçam a conservação da biodiversidade estão relacionados a aspectos econômicos e sociais. Populações humanas em crescimento e pressões econômicas têm levado a alterações das florestas, tornando-as cada vez mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas devido: a perda e fragmentação dos habitats; introdução de espécies e doenças exóticas; exploração excessiva de espécies de plantas e de animais; uso de híbridos e monoculturas na agroindústria e nos programas de reflorestamento; contaminação do solo, água e atmosfera por poluentes, entre outros.

### 4.4.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados

Os principais impactos e vulnerabilidades na biodiversidade do país frente às mudanças climáticas serão descritos com base nos artigos científicos sobre o tema no âmbito da sub-rede Biodiversidade e Ecossistemas da Rede Clima; também foram consultados os resultados do INCT – Mudanças Climáticas que está diretamente associado à Rede Clima. Os trabalhos têm o objetivo de contribuir para atenuar os efeitos negativos das mudanças do clima sobre a biodiversidade, por meio da modelagem do passado e do futuro de nichos ecológicos bem como identificação de variáveis biogeoclimáticas<sup>60</sup> responsáveis pela diversificação e resiliência de

---

<sup>60</sup> Variáveis como: temperatura, precipitação, geologia, fauna, flora, etc.

linhagens bióticas em períodos de alterações climáticas naturais no passado. Além dessas publicações, também foram utilizados trabalhos publicados pelo CPTEC/INPE, Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), relatórios do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) em parceria com o MCTI e relatórios da Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE). Importante salientar que existem outros trabalhos no tema de instituições renomadas no país, mas com uma abordagem mais localizada.

#### Quadro 4.4.1 - Horizontes Temporais Utilizados

O horizonte temporal até 2050 é o mais utilizado nos estudos sobre os impactos das mudanças climáticas na biodiversidade brasileira, bem como para a detecção de áreas vulneráveis e distribuição de espécies vegetais e animais.

Os resultados que serão apresentados dizem respeito a alterações nos biomas brasileiros, principalmente Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia, e aos impactos das mudanças climáticas em espécies animais e vegetais.

- **Riqueza de aves da Mata Atlântica:** foi estimada uma grande redução da riqueza de aves da Mata Atlântica devido às mudanças climáticas futuras, com 44 espécies perdendo área de distribuição e duas das quais atingindo o limiar de ameaça de extinção devido a essa perda (SOUZA, et al. 2011).
- **Riqueza de espécies de palmeiras da Mata Atlântica:** em estudos realizados no âmbito do INCT-Mudanças Climáticas foi observado que a riqueza de espécies de palmeiras tende a diminuir em áreas baixas e aumentar em áreas elevadas. Foram organizadas séries temporais (2000 a 2012) para todo o Brasil, com informações de temperatura, precipitação, evapotranspiração, água equivalente em sub/superfície, índice de vegetação, produtividade primária líquida e área queimada. Tais dados permitem identificar paisagens funcionais<sup>61</sup> e caracterizar domínios climáticos<sup>62</sup> e vulnerabilidades (naturais e antrópicas). Foram avaliados padrões de distribuição de espécies de palmeiras na Mata Atlântica e o efeito das mudanças climáticas previstas.
- **Ameaças aos biomas:** na América do Sul, temperaturas mais altas e uma maior duração da estação seca poderão aumentar a frequência de estiagens sazonais rigorosas iniciadas pelo episódio El Niño / Oscilação Sul (ENSO) e de anomalias da temperatura da superfície do mar (SST) no Atlântico, contribuindo para incêndios mais frequentes e intensos, os quais ameaçarão a distribuição e integridade ambiental dos biomas brasileiros, em particular os predominantemente florestais (MARENGO et al. 2009). O sudeste da Amazônia deve ser a região mais impactada do bioma no futuro, chamando a atenção para ações conservacionistas prioritárias nessa.
- **Suscetibilidade dos diferentes biomas:** dados recentes sobre a distribuição geográfica de espécies e modelagem de nicho ecológico obtido para várias linhagens de organismos da Amazônia e Mata Atlântica, apontam a suscetibilidade dos diferentes biomas. Enquanto para alguns grupos de organismos os últimos ciclos de diversificação correlacionaram-se aparentemente com alterações climáticas recentes, em outros,

---

<sup>61</sup> Locais com melhor relacionamento entre os processos ecológicos e ambiente.

<sup>62</sup> Interação e a interdependência entre os diversos elementos da paisagem (relevo, clima, vegetação, hidrografia, solo, fauna, etc).

estas pouco ou nada contribuíram para seu padrão contemporâneo de riqueza de espécies e distribuição geográfica (CARNAVAL et al., 2009, ANTONELLI et al., 2010).

- **Aves endêmicas da Amazônia:** Foram avaliados os impactos das mudanças climáticas e do uso da terra para um grupo de aves endêmicas da Amazônia (espécies *Galbula albirostris* / *cyanicollis*, *Galbulidae*) de acordo com diferentes cenários de emissões de carbono, governança e desenvolvimento para a região (SOARES-FILHO et al., 2006). Todos os cenários apontam para um maior impacto no sudeste da Amazônia, região com maiores flutuações climáticas históricas e atuais, e também sujeita a um regime de ocupação mais intenso. Diferentes modelos preveem para ambas espécies fragmentação e redução da distribuição geográfica no futuro, o que aumenta suas vulnerabilidades e a chance de que entrem em risco de extinção.
- **Vulnerabilidade de espécies arbóreas do Cerrado:** o impacto de mudanças climáticas foi avaliado por Siqueira e Peterson (2003) em um estudo que mostrou perda superior a 50% das áreas habitáveis para todas as espécies arbóreas do Cerrado analisadas. Indica que entre 18 e 56 espécies não terão áreas habitáveis no Cerrado em 2050, e entre 91 e 123 espécies terão sua área habitável diminuída em 90%, com o deslocamento da área “core” no Centro-Oeste para o Sul/Sudeste. O estudo também indica uma expressiva redução de área e possibilidade de extinção da *Rapanea guianensis* (nome comum Capororoca) e uma resposta menos grave na distribuição da *Qualea grandiflora* (nome comum Pau Terra). Isso mostra a necessidade de analisar a redução de habitats devido às mudanças climáticas para cada espécie, pois cada uma possui necessidades ecológicas e formas de adaptação às alterações ambientais distintas.
- **Vulnerabilidade de espécies arbóreas da Mata Atlântica:** os resultados mostram uma redução de área para todas as 38 espécies analisadas em média de 25% (cenário otimista) e de 50% (cenário pessimista) com o deslocamento para o sul, em relação a distribuição atual dessas espécies (COLOMBO, 2007). As causas foram aumento de temperatura, mudança no regime pluviométrico e aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico.
- **Espécie de árvore neotropical:** os resultados do estudo mostram: (i) que as áreas climáticas adequadas para *C. brasiliense* serão restritas à distribuição meridional da vegetação de savana; (ii) a diversidade genética e o número de alelos podem diminuir lentamente; e (iii) as populações que resistirem aos impactos negativos das mudanças climáticas (diminuição das áreas climáticas aptas) apresentarão níveis mais elevados de endogamia<sup>63</sup>. Isto pode impor ameaças às espécies, incluindo a limitada capacidade para lidar com as mudanças climáticas em curso de adaptação e restrições à dispersão (COLLEVATTI et al., 2011).
- **Distribuição de espécie de marsupial no Brasil:** os estudos apontam alteração das condições climáticas adequadas para 55 espécies de marsupiais presentes no Brasil; o clima deverá se tornar desfavorável na parte ocidental da Amazônia, sudeste do

---

<sup>63</sup> Endogamia é um sistema em que os acasalamentos se dão entre indivíduos aparentados, relacionados pela ascendência, Tem como efeito genético a diminuição da heterozigose e o aumento da homozigose, e, como efeito fenotípico, uma grande manifestação de genes recessivos, que acabam resultando em perda de vigor, assim como a perda da variância, à medida que aumenta o parentesco.

Pantanal, Cerrado, Caatinga, região central do Brasil e no sul da Mata Atlântica em 2050. Os resultados da distribuição de espécies de mamíferos marsupiais sugerem uma redução da eficiência das Unidades de Conservação em um futuro próximo, para a conservação dessas espécies, bem como de locais climaticamente adequados para a manutenção de populações do grupo no país. As projeções indicam uma riqueza de espécies no Sudeste do Brasil, tanto para o momento atual como para 2050; no entanto para o Sul e Nordeste esse quadro é inverso; a diminuição de espécies foi alta (67% em média), embora o estudo não tenha previsto a extinção de espécies até 2050 (LOYOLA et al., 2012).

- **Ecosistemas do Brasil – Amazônia (Conversão de parte da Amazônia em Cerrado):** eventos climáticos extremos, como secas induzidas pelo aquecimento global e pelo desmatamento, podem dividir a Amazônia em duas e transformar em Cerrado uma área de 600 mil quilômetros quadrados. Os trabalhos indicam que uma faixa de mata correspondente a 11% da área da floresta, que vai de Tocantins à Guiana e atravessa a região de Santarém (Pará), tem padrões de precipitação mais semelhantes aos do Cerrado. Isto é consistente com os cenários futuros gerados pelo modelo inglês do *Hadley Centre*<sup>64</sup>, que projetam para a Amazônia um clima tipo savana a partir do ano 2050. Essa “Amazônia seca” possui vegetação tipo savana com maiores índices de evapotranspiração, e seus solos tendem a ficar mais secos durante os meses sem água do que solos de regiões muito úmidas, e isso a torna muito mais vulnerável a incêndios florestais, o principal agente de conversão de floresta em savana (MARENGO, 2007). Também se estima que o desmatamento e o aquecimento possam converter até 60% da Amazônia em Cerrado (OYAMA E NOBRE, 2003). O aquecimento na Amazônia pode chegar até 6-8°C em 2100 com reduções de chuva em até 20%. Por se tratar de um ecossistema extremamente sensível a variações de temperatura e de chuvas, um aumento da temperatura desse porte deve fazer com que grandes porções da floresta se tornem área de cerrado, vegetação predominante na área central do país, um processo conhecido como “savanização”. Toda a região sul da floresta Amazônica na interface entre o cerrado e a floresta em si, norte do Mato Grosso e Goiás, vai sofrer um processo de savanização muito intenso no qual a floresta seria substituída por vegetação do tipo cerrado. As chuvas vão diminuir, a estação seca vai aumentar, o que pode agravar a questão das queimadas, e com isso, o ecossistema deixa de ter capacidade de sustentar uma floresta tropical como a atual. A mudança do clima ocorrerá com uma perda de carbono muito grande (devido à perda de área da floresta Amazônica), com uma perda de biodiversidade enorme, e efeitos muito significativos nos ecossistemas brasileiros.
- **Ecosistemas do Brasil – Pantanal, Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga:** além da Amazônia, outros ecossistemas como o Pantanal, Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga poderiam ser comprometidos devido ao aumento das temperaturas e mudanças nos regimes de chuva, tanto em volume como na distribuição (eventos extremos de chuva). A mata atlântica brasileira pode perder cerca de 60% de sua área atual se a temperatura média do planeta subir de 3°C a 4°C até o fim deste século (C. Joly, comunicação pessoal). No sul do Brasil, o aquecimento pode levar a perda das araucárias. No caso da caatinga, num cenário pessimista o clima poderia mudar de semiárido para árido e a caatinga seria substituída por um tipo de semideserto com vegetação do tipo cactácea.

---

<sup>64</sup> As projeções dos cenários futuros de aumento de temperatura foram feitas através do modelo climático HadRM3 desenvolvido pelo Hadley Centre, do Meteorological Office no Reino Unido.

Os cenários mais quentes e secos no semiárido do Nordeste projetados pelos modelos climáticos apontam para uma possível aridização desta região. Isto teria consequências negativas na Caatinga, que é um dos biomas mais ameaçados do Brasil, com grande parte de sua área tendo já sido bastante modificada pelas atividades humanas. A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, e abriga uma fauna e flora única, com muitas espécies endêmicas<sup>65</sup>.

- **Impactos na biodiversidade nos centros urbanos:** os problemas decorrentes da perda de biodiversidade sobre as cidades incluem tanto efeitos de impacto imediato (como fornecimento de água, produção de alimentos e microclima) até problemas de médio e longo prazo, como a menor capacidade de adaptação às mudanças climáticas em curso. Esses impactos sobre a biodiversidade nas cidades serão tratados mais profundamente no Item Cidades desse relatório.

### **Principais informações do RAN 1 do PBMC para o tema Biodiversidade**

No RAN 1 do PBMC não existe uma seção específica para avaliar os impactos, vulnerabilidades e adaptação da biodiversidade nacional frente às mudanças climáticas. O tema é tratado de forma compartimentada e tangenciada em poucas seções. O capítulo 4 do Volume 2 do RAN 1, chamado “Recursos Naturais e Manejo de Ecossistemas e seus Usos” na subseção “Ecossistema de Água Doce e Terrestres” trata bem rapidamente do tema. Os principais pontos abordados nessa subseção estão no Quadro 4.4.2 abaixo.

#### **Quadro 4.4.2 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema biodiversidade**

Os principais impactos aos quais os sistemas naturais terrestres e aquáticos continentais brasileiros são sujeitos incluem: a) desmatamento, fragmentação e impacto sobre recursos naturais renováveis a partir de mudanças no uso da terra; e b) impacto sobre a qualidade de recursos hídricos e sobre o solo por poluição derivada de ação antrópica.

Esses dois tipos de impactos, por sua vez, têm efeito direto sobre o clima. Impactos projetados até 2100, decorrentes de mudanças climáticas, incluem alteração no regime de chuvas e aumento de temperatura praticamente para todo o território brasileiro, implicando em extinção ou mudanças da distribuição geográfica de espécies.

Todos os biomas brasileiros apresentam pontos de vulnerabilidade: a) a Mata Atlântica, por sua pequena e fragmentada cobertura florestal remanescente; b) o Cerrado, por sua pequena cobertura de áreas protegidas frente à rápida expansão agrícola; c) a Caatinga, pela degradação ambiental acelerada que em alguns pontos já leva à desertificação; d) o Pantanal, vulnerável a mudanças no seu regime de inundações, principalmente diante dos cenários de seca projetados; e) os Pampas, pelas profundas mudanças de uso da terra combinadas com susceptibilidade à invasoras; e, finalmente, f) a Amazônia, pela demanda de

---

<sup>65</sup> Grupos de espécies que se desenvolveram numa região restrita.

expansão infraestrutural que não pode correr o risco de ser desordenada. Em todos esses biomas, as mudanças tornam também a sociedade vulnerável, em componentes como economia e saúde.

#### **Lacunas identificadas**

Há necessidade de implementação de estratégias de adaptação às mudanças em curso. Existem algumas iniciativas de adaptação baseada em ecossistemas, conciliando conservação da natureza com desenvolvimento humano. Essas iniciativas precisam ganhar escala.

#### **4.4.2 Principais indicadores identificados**

Os principais indicadores de impactos e vulnerabilidades frente às mudanças climáticas na biodiversidade brasileira estão descritos abaixo (Quadro 4.4.3).

##### **Quadro 4.4.3 - Indicadores dos impactos das mudanças climáticas para a biodiversidade**

- Habitat apto para determinada espécie
- Área climática apta para determinada espécie
- Número de Unidades de Conservação
- Padrão de riqueza de espécies
- Distribuição de espécies
- Percentual de espécies ameaçadas
- Percentual de espécies invasoras
- Área desmatada
- Qualidade da água em ecossistemas aquáticos
- Frequência de alterações ambientais extremas

Também podem ser elucidados alguns indicadores relacionados à empregabilidade, ou não, de medidas de adaptação para garantir a biodiversidade conforme o Quadro 4.4.4 abaixo. A ampliação desses indicadores caracteriza a empregabilidade de medidas de adaptação para o setor.

##### **Quadro 4.4.4 - Indicadores relacionados a medidas de adaptação para a biodiversidade**

- Percentual de projetos de pesquisa envolvendo comunidades tradicionais
- Área monitorada em cada Bioma
- Percentual de Unidades de Conservação (UC's) com inventários biológicos realizados
- Percentual de espécies ameaçadas com distribuição mapeada
- Percentual de crescimento de áreas protegidas
- Alteração na quantidade e *status* de espécies ameaçadas
- Aprimoramento das legislações ambientais
- Crescimento da integração de ações de conservação
- Aporte de recursos financeiros para ações voltadas para a conservação da biodiversidade
- Ampliação do banco de dados sobre conservação da biodiversidade
- Revisões taxonômicas publicadas
- Áreas florestais, agrícolas e de aquicultura sujeitas a gestão sustentável
- Tendência na abundância e distribuição de espécies de importância socioeconômica

#### **Indicadores Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) relacionados à Biodiversidade**

Além dos indicadores listados acima, a FIOCRUZ desenvolveu diversos indicadores para avaliar o impacto das mudanças climáticas na biodiversidade. Os principais indicadores estão listados abaixo:

- **Índice de Vulnerabilidade Ambiental:** a FIOCRUZ desenvolveu indicadores para avaliar o impacto climático na saúde e, dentre eles, um conjunto de indicadores para construir o Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVAm). Esse índice inclui características de sistemas biofísicos vulneráveis aos efeitos do clima, e uma série histórica de eventos meteorológicos extremos, conforme registro da Defesa Civil. O IVAm é composto por:
  1. Indicador de Cobertura Vegetal (% área e tipo de vegetação ou fitofisionomia);
  2. Indicador de Conservação da Biodiversidade (valor de conservação);
  3. Indicador de Linha de Costeira (localização, extensão e área de manguezal (km<sup>2</sup>)/extensão (km));
  4. Indicador de Eventos Hidrometeorológicos Extremos.
  
- **Indicador de Cobertura Vegetal (ICV):** o ICV agrega a proporção da área do município ocupada por cobertura vegetal. Para a construção desse indicador da FIOCRUZ são considerados os tipos de vegetação (fitofisionomias) e o cálculo da proporção da área florestada, por meio da relação da área coberta pelo tipo de vegetação no município pela área total do município.
  
- **Indicador de Conservação da Biodiversidade (ICB):** é um indicador da FIOCRUZ composto que leva em consideração o grau de ameaça e/ou endemismo das espécies da fauna de vertebrados terrestres. O ICB permite apontar quais são os municípios com elevada ocorrência conjunta de espécies de vertebrados terrestres ameaçados e/ou endêmicos. Os municípios com maiores ICB são considerados como mais vulneráveis à ação das mudanças climáticas, em função do maior risco de perda de espécies.
  
- **Indicador de Eventos Hidrometeorológicos Extremos:** é um indicador da FIOCRUZ composto pelo número de eventos hidrometeorológicos extremos e número de vítimas fatais decorrente destes eventos.
  
- **Indicador de Linha de Costa:** quanto maior a extensão da linha da costa, mais exposto está o município a eventos vindos do oceano/atmosfera. Por outro lado, uma maior extensão de manguezais reduz a vulnerabilidade a estes impactos, dado o seu efeito protetor relativo a fenômenos oceânicos extremos que atingem a linha de costa.

#### 4.4.3 Medidas de adaptação identificadas

As medidas adaptativas para o setor ainda são incipientes. A seguir é apresentada uma medida adaptativa em curso no País para o setor.

- **Laboratório de Análises de Sistemas Sustentáveis (Lass):** Laboratório inaugurado no segundo semestre de 2013, sediado na Embrapa Amazônia Oriental em Belém-PA. O laboratório tem como objetivos principais o ordenamento, gestão e monitoramento territorial; manejo, valoração e valorização da floresta; estudo da biodiversidade e uso

de áreas alteradas (opções tecnológicas e sistemas sustentáveis). Mais detalhes no site: <http://www.cpatu.embrapa.br/temas/meio-ambiente-e-recursos-naturais>

#### 4.4.4 Principais Atores, Projetos e Modelos

Os principais atores envolvidos com a geração de dados sobre os impactos e vulnerabilidades das mudanças climáticas na biodiversidade no País são: INPE, CPTEC, MPEG, Rede Clima, INCT, Organizações não Governamentais (ONG's), Embrapa, Fundações Nacionais e Internacionais (Fundação Grupo Boticário, FBDS, *World Wide Fund for Nature* (WWF), etc); além de participação de Universidades e outros Centros de Pesquisa nacionais, Redes Estaduais de Pesquisa e colaboração internacional.

Diversas instituições de pesquisas no País possuem linhas de pesquisa voltadas para a conservação da biodiversidade e monitoramento dos seus impactos e vulnerabilidades frente às mudanças climáticas. Por exemplo, o **Programa de estudos costeiros** do MPEG abriga diversos projetos ligados à conservação da biodiversidade no Bioma Amazônia (mais detalhes sobre os componentes temáticos, projetos e publicações podem ser encontrados no site: <http://marte.museu-goeldi.br/pec/>). Outro destaque são as pesquisas da Embrapa no tema, principalmente nas Unidades Amazônia Oriental, Ocidental e Meio Ambiente. Ademais, existem diversos projetos coordenados e/ou conduzidos pelo terceiro setor em todos os Biomas do país. Esses projetos são de extrema importância para coleta de dados de entrada das ferramentas (modelos) para geração de cenários/projeções dos impactos das mudanças climáticas para o setor da biodiversidade.

Os principais projetos de âmbitos federal e estadual em andamento no País com a temática Biodiversidade e Mudanças Climáticas estão listados abaixo:

- **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - Probio I:** o PROBIO é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA em parceria com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, este na qualidade de gestor administrativo, contratando os subprojetos e liberando recursos. O PROBIO é o mecanismo de auxílio técnico e financeiro na implementação do Programa Nacional da Diversidade Biológica - PRONABIO, tendo todas as suas ações aprovadas pela Comissão Nacional de Biodiversidade - CONABIO, fórum responsável pela definição de diretrizes para implementação do PRONABIO e da Política Nacional de Biodiversidade. O objetivo do PROBIO é identificar ações prioritárias, estimulando subprojetos que promovam parcerias entre os setores públicos e privados, gerando e divulgando informações e conhecimentos no tema <sup>66</sup>.
- **Projeto Nacional de Ações Integradas Público-Privadas para Biodiversidade - Probio II:** é o marco por meio do qual se pretende impulsionar a transformação dos modelos de produção, consumo e de ocupação do território nacional, começando com os setores de agricultura, ciência, pesca, florestas e saúde. É uma parceria entre o MMA, o Fundo Brasileiro para a Biodiversidade - Funbio e a Caixa Econômica Federal - CAIXA. Para sua implementação, também foram estabelecidas parcerias estratégicas com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, o Ministério da Saúde - MS, o Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, a Fundação Oswaldo Cruz - Fiocruz, o Instituto

---

<sup>66</sup> <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/projetos-sobre-a-biodiveridade/item/486>



Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, o Jardim Botânico do Rio de Janeiro - JBRJ e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Outros setores, tais como a energia, a mineração e os transportes também foram incluídos nas discussões preliminares, e espera-se que sejam integrados ao Projeto em seus estágios iniciais de execução <sup>67</sup>.

- Biota/FAPESP:** lançado em março de 1999, o objetivo do Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Recuperação e Uso Sustentável da Biodiversidade do Estado de São Paulo (BIOTA-FAPESP) é conhecer, mapear e analisar a biodiversidade do Estado de São Paulo, incluindo a fauna, a flora e os microrganismos, mas, também, avaliar as possibilidades de exploração sustentável de plantas ou de animais com potencial econômico e subsidiar a formulação de políticas de conservação dos remanescentes florestais <sup>68</sup>. No Brasil, o Instituto Virtual da Biodiversidade associado ao Programa Biota-Fapesp incorpora os avanços decorrentes da implementação do Sistema Global de Informações sobre a Biodiversidade (GBIF). Essa iniciativa integra dados de cerca de mais de 60 projetos de pesquisa (fauna, flora e microbiota) com o envolvimento mais de 500 pesquisadores. A integração de dados do programa Biota está baseada em dois sistemas de informação interoperáveis, o SinBiota15 e a rede speciesLink16, desenvolvidos com a adoção de padrões e protocolos internacionalmente aceitos. O SinBiota é o sistema de informação centralizado que integra dados e informações de coletas associadas ao programa Biota. O uso da ficha padrão de registro de dados desenvolvida pela comunidade científica e a geocodificação (latitude e longitude) da amostragem, são compulsórios para os projetos associados ao programa. A base cartográfica digital do Estado de São Paulo, com as camadas ambientais associadas (bacias hidrográficas, cobertura vegetal, rodovias, divisas municipais e áreas de conservação) que compõem o Atlas Biota, é um componente fundamental deste sistema de informação.

Além dos principais modelos climáticos do INPE citados no item “Cenários Climáticos”, que auxiliam na geração das projeções de impactos para a biodiversidade, também são utilizadas outras ferramentas em conjunto como:

- Modelo de vegetação potencial (PMV sigla em inglês):** o modelo de vegetação potencial utilizado nos estudos sobre impactos do clima na biodiversidade é o PVM (OYAMA E NOBRE, 2004). O modelo utiliza como variáveis de entrada o tempo térmico acumulado (G, em °C dia/mês, G0: Temperatura basal de 0°C, G5: Temperatura basal de 5°C), a temperatura do mês mais frio (Tc em °C), um índice hídrico (H, que permite diferenciar entre climas úmidos e secos) e um índice de seca (D, que representa a sazonalidade da umidade do solo). Estas variáveis são obtidas mediante um modelo de balanço hídrico. Como saída, o modelo gera um bioma que pertence à classificação de Dorman e Sellers (1989) (Tabela 4.4.1).

**Tabela 4.4.1 - Classificação da vegetação segundo Dorman e Setters (1989)**

Bioma	Característica	Nome usado
1	Árvores perenifólias com folhas largas	Floresta tropical
2	Árvores caducifólias com folhas largas	Floresta temperada
3	Árvores com folhas aciculadas	Floresta mista

<sup>67</sup> <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/projetos-sobre-a-biodiversidade/projeto-nacional-de-a%C3%A7%C3%B5es-integradas-p%C3%ABlico-privadas-para-biodiversidade-probio-ii>

<sup>68</sup> <http://www.fapesp.br/biota/>

4	Árvores perenifólias com folhas aciculadas	Floresta Boreal
5	Árvores caducifólias com folhas aciculadas	Floresta de Lariços
6	Árvores de folhas largas e gramíneas	Savana (Cerrado)
7	Somente gramíneas (perene)	Campos extratropicais (campos, pradarias, estepes)
8	Arbustos com folhas largas e gramíneas perenes	Caatinga
9	Arbustos com folhas largas e solo nu	Semi-deserto
10	Arbustos e árvores anãs com musgos, líquens, gramíneas e ervas baixas	Tundra
11	Solo nu	Deserto
12	Trigo de inverno e árvores caducifólias com folhas largas	Cultivos agrícolas
13	Gelo perpétuo	Gelo

- **Modelo Biogeográfico:** o clima tem sido examinado com modelos biogeográficos ou modelos de biomas. Esses modelos usam como paradigma central o fato que o clima exerce controle dominante sobre a distribuição da vegetação. Os modelos biogeográficos podem simular a vegetação potencial (sem os efeitos dos usos da terra e do solo) baseando-se em alguns parâmetros climáticos, tais como a temperatura e a precipitação, entre outros. Devido à simplicidade destes modelos e a existência de regras empíricas globais entre a vegetação natural e o clima, esses modelos têm sido utilizados para a estimativa de impactos das mudanças climáticas na cobertura vegetal (CGEE, 2008).

#### 4.4.5 Lacunas identificadas

A seguir serão elencadas as lacunas e limitações mais relevantes, principalmente para o avanço das análises dos impactos e vulnerabilidades, para o setor Biodiversidade.

- **Produção científica:** existem muitos estudos relacionados a biologia da conservação, mas faltam estudos sobre a ameaça das mudanças do clima na biodiversidade.
- **Falta de conhecimento sobre a diversidade dos grupos biológicos:** o conhecimento sobre a real diversidade dos grupos biológicos que compõe a biodiversidade brasileira ainda pode ser considerado bastante incipiente, mesmo para aqueles grupos que, tradicionalmente, sempre foram considerados bem conhecidos, como é o caso das aves (VALE et al., 2008), o que pode inviabilizar seu uso como fonte confiável de informações para planejamentos sistemáticos e desenvolvimento de políticas de conservação (ALEIXO, 2010).
- **Lacunas de informações biogeográficas e taxonômicas e erros de registros de coordenadas geográficas:** existem diversas lacunas biogeográficas e taxonômicas<sup>69</sup> nos Biomas brasileiros, especialmente o Amazônico; também é importante evidenciar que várias amostras coletadas no Brasil possuem erros de registro de coordenadas, contribuindo para aumentar a lacuna biogeográfica e taxonômica no país.
- **Limitações ao acesso on-line a dados sobre biodiversidade:** apesar dos avanços decorrentes da implementação de grandes projetos sobre biodiversidade, como o Programa Biota-Fapesp, o acesso on-line a dados primários de ocorrência de espécies

<sup>69</sup> Definição dos grupos de organismos biológicos, com base em características comuns.

relevantes para modelagem de nicho ecológico de biomas brasileiros, é ainda muito incipiente e desorganizado e via de regra não disponível na forma digital. A impossibilidade do acesso dinâmico a dados com qualidade e precisão requerida para a modelagem preditiva de espécies dificulta o desenvolvimento de cenários de impacto e vulnerabilidade consistentes para os principais sistemas naturais brasileiros.

- **Falta de conhecimento sobre a biodiversidade da costa brasileira:** a biodiversidade da costa brasileira ainda é pouco conhecida e com informação desagregada e não prontamente disponível.
- **Falta de estudos de caso sobre biodiversidade e impactos das mudanças climáticas:** As projeções existentes do impacto de mudanças climáticas na biodiversidade se baseiam em poucos estudos de caso que utilizam um número pequeno de dados associados a biomas selecionados.
- **Falta de estudos sistêmicos sobre serviços ambientais nas cidades:** ainda são incomuns os estudos mais sistêmicos sobre serviços ambientais em um mundo urbanizado. A Avaliação Ecossistêmica do Milênio (*MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT*, 2005) foi até hoje a maior avaliação de ecossistemas no mundo, faz poucas referências a áreas urbanas. Também o Relatório do Desenvolvimento Mundial (*World Development Report*, publicado anualmente pelo Banco Mundial) raras vezes menciona ecossistemas.

#### 4.4.6 Sistematização das informações para o tema Biodiversidade

As metodologias para sistematização das informações sobre impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação para o tema Biodiversidade são as mesmas descritas no item 4.1.7 desse relatório.

A seguir é apresentada a sistematização dessas informações para o tema Biodiversidade (Quadro 4.4.5).

**Quadro 4.4.5 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o tema Biodiversidade**

VULNERABILIDADE
Sistema Vulnerável
<p>Todos os biomas brasileiros apresentam pontos de vulnerabilidade:</p> <p><b>Amazônia:</b> pela expansão de infraestrutura (por exemplo, de rodovias, energética, industrial) que não considere a conservação da biodiversidade amazônica.</p> <p><b>Caatinga:</b> pela degradação ambiental acelerada que em alguns pontos já leva à desertificação.</p> <p><b>Cerrado:</b> por sua pequena cobertura de áreas protegidas frente à rápida expansão agrícola.</p> <p><b>Mata Atlântica:</b> por sua pequena e fragmentada cobertura florestal remanescente.</p> <p><b>Pampas:</b> pelas profundas mudanças de uso da terra combinadas com susceptibilidade a espécies invasoras.</p>

**Pantanal:** vulnerável a mudanças no seu regime de inundações, principalmente diante dos cenários de seca projetados.

#### Perigos (fatores de estresse)

- Mudanças nos regimes de precipitação;
- Aumento de temperaturas oceânicas;
- Aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera;
- Aumento da frequência de eventos extremos que causam desastres naturais, como:
  - Temperaturas extremas: meteorológico e súbito;
  - Maior duração de estações de seca: climatológico e gradual;
  - Estiagens rigorosas: climatológico e gradual;
  - Desertificação: climatológico e gradual;
  - Incêndios florestais: climatológico e súbito.

#### Atributo(s) valorizado(s) ou variáveis de interesse

**Potencial econômico:** Base de recursos das atividades agrícolas, pecuárias, pesqueiras e florestais.

**Biotecnologia:** fabricação de remédios, cosméticos, enzimas industriais, hormônios e sementes agrícolas.

**Equilíbrio ecossistêmico:** equilíbrio dos ecossistemas e manutenção dos serviços ambientais.

#### Horizonte temporal

- Horizonte temporal até 2050 (longo prazo).

### IMPACTO

#### Efeitos decorrentes das mudanças climáticas

##### Impactos biofísicos:

- Grande redução da riqueza de espécies de flora e fauna da Mata Atlântica, algumas atingindo o limiar de ameaça de extinção;
- O sudeste da Amazônia deve ser a região mais impactada do bioma no futuro;
- Conversão de parte da Amazônia em Cerrado (savanização);
- Maior frequência de estiagens sazonais rigorosas, contribuindo para incêndios mais frequentes;
- A mata atlântica brasileira pode perder cerca de 60%;
- No caso da Caatinga, num cenário pessimista, o clima poderia mudar de semiárido para árido e a caatinga seria substituída por um semideserto com vegetação cactácea.

#### Indicadores de ocorrência e/ou magnitude de impactos e vulnerabilidade

- Habitat apto para determinada espécie;
- Área climática apta para determinada espécie;
- Número de Unidades de Conservação;
- Padrão de riqueza de espécies;
- Distribuição de espécies;
- Percentual de espécies ameaçadas;
- Percentual de espécies invasoras;
- Área desmatada;
- Qualidade da água em ecossistemas aquáticos;
- Frequência de alterações ambientais extremas;
- Indicadores Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) relacionados à Biodiversidade: (1) Índice de Vulnerabilidade Ambiental, (2) Indicador de Cobertura Vegetal, (3) Indicador de Conservação da Biodiversidade, (4) Indicador de Eventos Hidrometeorológicos Extremos e (5) Indicador de Linha de Costa.

<b>ADAPTAÇÃO</b>
<b>Medidas de adaptação</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratório de Análises de Sistemas Sustentáveis (Embrapa Amazônia Oriental em Belém-PA).</li> </ul>
<b>Indicadores relacionados a medidas de adaptação</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Percentual de projetos de pesquisa envolvendo comunidades tradicionais;</li> <li>• Área monitorada em cada Bioma;</li> <li>• Percentual de Unidades de Conservação (UC's) com inventários biológicos realizados;</li> <li>• Percentual de espécies ameaçadas com distribuição mapeada;</li> <li>• Percentual de crescimento de áreas protegidas;</li> <li>• Alteração na quantidade e status de espécies ameaçadas;</li> <li>• Aprimoramento das legislações ambientais;</li> <li>• Crescimento da integração de ações de conservação;</li> <li>• Aporte de recursos financeiros para ações voltadas para a conservação da biodiversidade;</li> <li>• Ampliação do banco de dados sobre conservação da biodiversidade;</li> <li>• Revisões taxonômicas publicadas;</li> <li>• Áreas florestais, agrícolas e de aquicultura sujeitas à gestão sustentável;</li> <li>• Tendência na abundância e distribuição de espécies de importância socioeconômica.</li> </ul>

## 4.5 CIDADES

Atualmente, aproximadamente, 84% da população brasileira (160,8 milhões de habitantes) reside em áreas definidas como urbanas (IBGE, 2010). O aumento do volume da população urbana e do grau de urbanização recoloca a preocupação com a relação entre desigualdade social e problemas ambientais. Em estados considerados muito urbanizados como São Paulo (96% da população em área urbana), ainda permanecem questões ambientais fundamentais a serem resolvidas, como saneamento básico, serviço de coleta e tratamento de esgoto e destinação do lixo (D'ANTONA E CARMO, 2011).

No Brasil, observa-se um processo de urbanização cada vez mais rápido e intenso, ainda que com variações regionais importantes, sem considerar as características naturais, impondo um severo e complexo conjunto de modificações ao meio físico e biótico. De acordo com IBGE (2010), desde a última década, com exceção das regiões Norte e Nordeste que apresentavam taxas de urbanização de cerca de 70%, em todas as demais regiões, mais de 80% da população vivem em áreas urbanas (Tabela 4.5.1).

**Tabela 4.5.1 Taxa de urbanização do Brasil e regiões – 1940 – 2010 (IBGE)**

Região/Ano	1940	1950	1960	1970	1980	1991	2000	2010
BRASIL	31,24	36,16	45,08	55,94	67,59	75,59	81,23	84,36
Centro-Oeste	21,52	24,38	34,22	48,04	67,79	81,28	86,73	88,80
Norte	27,75	31,49	37,38	45,13	51,65	59,05	69,87	73,53
Nordeste	23,42	26,40	33,89	41,81	50,46	60,65	69,07	73,13
Sul	27,73	29,50	37,10	44,27	62,41	74,12	80,94	84,93
Sudeste	39,42	47,55	57,00	72,68	82,81	88,02	90,52	92,95

Em termos do crescimento e da expansão urbana recente, assiste-se a um duplo processo. Nas áreas já consolidadas, há uma crescente verticalização das regiões centrais e mais valorizadas, assim como um permanente adensamento das periferias, agravando as já precárias condições de salubridade socioambiental, permeabilidade do solo, coabitação e uso intensivo dos lotes. Nas áreas de expansão urbana, observa-se um crescente processo de fragmentação e dispersão da urbanização sobre espaços rurais e produtivos, bem como sobre localidades com importantes funções ambientais como áreas de proteção de mananciais e encostas, de recarga de aquíferos, entre outras, pressões estas que podem tornar mais graves a desigualdade social e a degradação ambiental. Assim, as interações entre o processo de urbanização e as alterações climáticas geram impactos que podem ser agrupados em duas categorias: aqueles originários em áreas urbanas e que têm efeitos negativos sobre as mudanças climáticas; e as mudanças climáticas que têm efeitos negativos sobre as áreas urbanas (XIAOPEI et al., 2006).

Frente às complexidades da realidade urbana brasileira e com uma ocorrência mais frequente de eventos climáticos extremos, identificar, medir e caracterizar a vulnerabilidade de grupos populacionais em seus territórios torna-se essencial para informar o desenho das políticas públicas urbanas dentro dos novos cenários que começam a se estabelecer (ANAZAWA, 2012).

### 4.5.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados

Os principais impactos e vulnerabilidades das cidades brasileiras frente às mudanças climáticas serão descritos com base nos trabalhos publicados sobre o tema no âmbito da sub-rede Cidades da Rede Clima; também foram consultados os resultados dos trabalhos e relatórios do NEPO/UNICAMP, CDS/UNB, CCST/INPE, FBMC, CEDEPLAR, FIOCRUZ, Centro de Referência em

Segurança Alimentar e Nutricional (CERESAN), COPPE e CGEE. Os trabalhos têm como principais objetivos caracterizar os impactos e vulnerabilidades que se configuram nas cidades brasileiras frente aos riscos decorrentes das mudanças do clima. Importante salientar que existem outros trabalhos no tema de instituições renomadas no país, mas com uma abordagem mais localizada. A lista completa dos trabalhos utilizados para a confecção desse item se encontra no final da seção.

#### **Quadro 4.5.1 - Horizontes temporais utilizados**

No trabalho que avaliou a dinâmica migratória na Região Nordeste (CEDEPLAR/FIOCRUZ, 2008) o horizonte temporal utilizado foi até 2050. Em trabalhos coordenados pelo CCST/INPE e NEPO/UNICAMP em megacidades brasileiras, o horizonte temporal geralmente utilizado para averiguar a expansão das regiões metropolitanas é de 2030. No projeto sobre o mapeamento da vulnerabilidade das cidades do Estado do Rio de Janeiro, a Fiocruz utilizou o horizonte temporal de 30 anos. Os horizontes temporais utilizados no Plano Nacional de Habitação (ainda não publicado oficialmente) foram os mesmos utilizados nos Planos Plurianuais (2011, 2015 e 2019), tendo o ano de 2023 como horizonte final para a elaboração de estratégias e propostas.

#### **Quadro 4.5.2 - Clima e Poluição nos centros urbanos**

As evidências dos estudos consultados para a elaboração do presente relatório mostram que as mudanças antrópicas do clima estão causando impactos cada vez mais severos nas cidades, e grande parte desses impactos está relacionada à forma de apropriação dos recursos naturais e degradação ambiental. A mudança originária com a urbanização leva a alterações no comportamento dos elementos atmosféricos, na natureza que interferem no balanço de radiação, estoque de calor, umidade, circulação do ar e emissão de poluentes, causando a poluição. Portanto, além das emissões de GEE, as alterações do clima nas cidades também são causadas pela poluição, sendo muito difícil separar a influência desses dois fatores ao se estudar os impactos das mudanças climáticas na população. Embora os ecossistemas em equilíbrio naturalmente acomodem uma determinada quantidade de distúrbios, as atividades humanas são responsáveis por pressões adicionais sobre os mesmos. Dessa forma, os modelos climáticos e socioeconômicos para avaliação de impactos das mudanças climáticas devem levar em consideração o clima e a poluição nas suas projeções nas cidades.

#### Quadro 4.5.3 - Vulnerabilidades nas Regiões Metropolitanas do Brasil

**Projeções climáticas, para a RMSP,** feitas pelo INPE, apontam para a ocorrência cada vez mais frequente e intensa de eventos meteorológicos extremos, configurando um cenário de risco preocupante. A RMSP, que já sofre todo verão com enchentes e inundações (por vezes escorregamentos), pode sofrer um aumento do número de dias com fortes chuvas até 2100. Os estudos sugerem que entre 2070 e 2100, uma elevação média na temperatura da região de 2 a 3° C poderá aumentar significativamente o número de dias com chuvas intensas. Totais de chuvas acima de 30 mm/dia tem potencial de causar enchentes e inundações graves; acima de 50 mm/dia, praticamente inexistentes antes da década de 50 do século passado, ocorrem comumente de duas a cinco vezes por ano na cidade de São Paulo. A crescente urbanização atuando em sinergia com o acréscimo de temperatura (principalmente se considerada a tendência para as próximas décadas de um padrão de crescimento urbano similar ao atual, no qual a qualidade de vida, o ambiente e o futuro sustentável dos recursos naturais encontram-se em segundo plano), aponta para cenários de risco e respectivas vulnerabilidades para processos da dinâmica superficial deflagradas por eventos extremos como enchentes, inundações e escorregamentos, os quais deverão ficar mais críticos. Diante disso uma fração significativa da população ocupará locais precários em terrenos de várzea em grotões de drenagem e em encostas íngremes de morros nas periferias das cidades. Além disso, estima-se que uma parcela significativa da população se tornará cada vez mais exposta a risco de doenças respiratórias e por contaminação através da água (CCST e NEPO, 2011).

**Projeções climáticas para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ)** apontam para períodos de secas mais prolongados e eventos de tempestades com mais ventos e chuvas de maior intensidade; possível mudança nas direções de propagação das ondas devido a alterações na circulação atmosférica, semelhante ao que já acontece em eventos de El Niño; aumento do volume de chuvas (mais de 30 e 50 mm/dia), bem como temperaturas mais elevadas com aumento das ondas e ilhas de calor e aumento do nível do mar. O aglomerado metropolitano convive com problemas como a instabilização de encostas, alagamento de áreas de baixada, enchentes e devastação da infraestrutura urbana que devem ser agravadas pelas mudanças climáticas, além de causar outros problemas como o crescimento de casos de dengue e leptospirose e mortes ocasionadas pela intensificação das chuvas. Os índices de vulnerabilidade dos municípios do Estado do Rio de Janeiro foram elaborados pela FIOCRUZ com o intuito de indicar a exposição dessas cidades frente às mudanças do clima<sup>70</sup>.

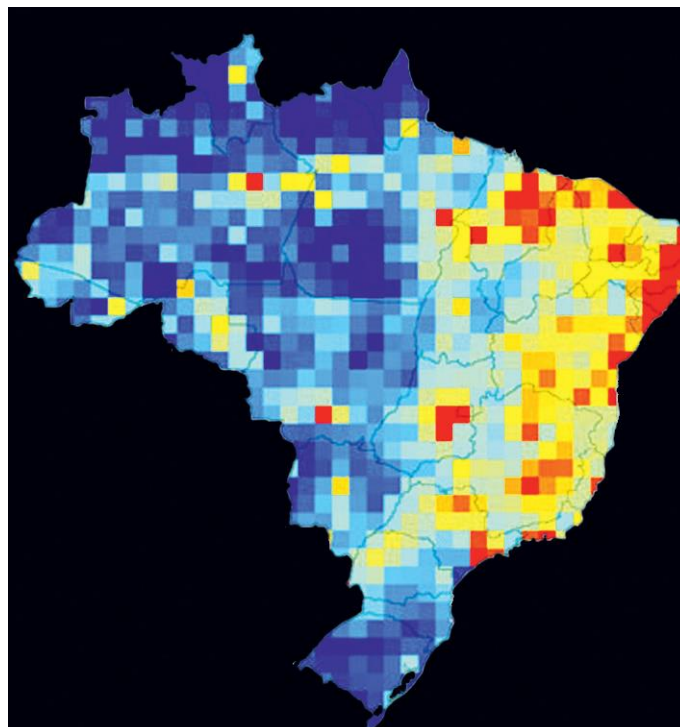
Nas outras regiões metropolitanas do país como em Belo Horizonte, Porto Alegre e Salvador, os impactos das mudanças climáticas deverão atingir, primeiramente, as populações localizadas em áreas de riscos como encostas e várzeas. Devido ao aglomerado humano nessas regiões, os riscos são ainda maiores. Ondas de calor, precipitação intensa, períodos de seca mais extensos, entre outros eventos climáticos, deverão causar enorme impacto na população, com altos custos monetários causados por danos materiais e, em muitos casos, perdas de vidas humanas (MARENGO, 2009). Dentro desse contexto, as desigualdades sociais (intra e inter regionais) impõem uma série de desafios. A grande maioria das cidades brasileiras já apresenta inúmeros problemas socioambientais associados a padrões de desenvolvimento e transformação do espaço, agravados pelas mudanças no comportamento dos eventos climáticos extremos. Paralelamente, destaca-se o fato de que mais de 50% da população mundial vive em cidades. Isso quer dizer que aproximadamente 3,3 bilhões de pessoas se concentram em áreas urbanas e esse percentual pode chegar a 80% em 2030. A maior parte deste crescimento ocorrerá em países em desenvolvimento mais vulneráveis às mudanças climáticas (MARTINE, 2007).

O mapa a seguir (Figura 4.6) apresenta as áreas do Brasil mais suscetíveis às alterações do clima, segundo o índice misto para medir a vulnerabilidade socioclimática de uma região (SCVI). Áreas mais suscetíveis às alterações do clima estão em vermelho, correspondendo às áreas de maior densidade populacional.

<sup>70</sup> [http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1312228/DLFE-56321.pdf/04\\_relatorio\\_vulbilidade.pdf](http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1312228/DLFE-56321.pdf/04_relatorio_vulbilidade.pdf)



Figura 4.6 - Áreas mais suscetíveis às alterações do clima no Brasil



FONTE: PBMC, 2013

A seguir serão listados os principais impactos das mudanças climáticas nos centros urbanos em diversos recortes, como biodiversidade, saúde, desastres naturais, migração populacional, zonas costeiras etc.

- **Biodiversidade e serviços ecossistêmicos:** os problemas decorrentes da perda de biodiversidade sobre as cidades incluem tanto efeitos de impacto imediato (como fornecimento de água, produção de alimentos e microclima) até problemas de médio e longo prazo, como a menor capacidade de adaptação às mudanças climáticas em curso. Um crescente número de cidades tem reconhecido que a biodiversidade é essencial para a resiliência da sociedade às mudanças do clima. Dentre os mecanismos conhecidos para adaptação às mudanças climáticas, a chamada adaptação baseada em ecossistemas tem recebido especial destaque na literatura pela efetividade e baixo custo (MEES AND DRIESSEN, 2011; BROWN et al., 2012; DA SILVA et al., 2012). No contexto urbano, todavia, há evidências que os custos de adaptação baseada em ecossistemas devam ser altos devido aos custos de aquisição de terras e de manejo ambiental (ROBERTS et al., 2012; CARTWRIGHT et al., 2013).
- **Migração populacional:** Na Região Nordeste as mudanças climáticas por afetarem a agricultura, em especial a agricultura de subsistência, devem influenciar os fluxos de migração no Nordeste para outras regiões do País nas próximas décadas. Caso o cenário pessimista se confirme, a taxa de migração, hoje em queda, pode crescer de modo significativo em pouco mais de 20 anos e alcançar 0,36% da população no período 2035-2040 e 0,34% no período 2045-2050. São índices, respectivamente, 24% e 17% mais elevados do que a taxa que se observaria (0,29%) na ausência de mudanças climáticas. A migração de 0,36% representa o deslocamento de 246.777 pessoas ao longo do período 2035-2040, enquanto o índice de 0,34% corresponde à saída de 236.065 nordestinos de suas cidades de origem entre 2045 e 2050. A região metropolitana de

Recife/PE seria a área a perder o maior número absoluto de habitantes nos dois quinquênios de maior migração (47.518 e 53.005, respectivamente), seguida da região metropolitana de João Pessoa, na Paraíba, e da região metropolitana de Teresina, no Piauí. Entre as cidades com mais de 250 mil habitantes, Campina Grande, na Paraíba, e Caruaru, em Pernambuco, seriam as mais afetadas pela migração, que também deve atingir os municípios menores, com população entre 25 mil e 150 mil habitantes. Na RMSP a escassez de água e de alimentos poderá promover a migração de segmentos populacionais, que terão como um dos destinos as cidades em torno da mesma. Se esse processo de fato ocorrer, tenderá a aumentar o cinturão de pobreza (no entorno de São Paulo), com consequências ao setor de saúde (entre outros) devido ao aumento da desigualdade e a intensificação de fatores de exclusão social. Esse quadro tende a ser replicado em todas as regiões metropolitanas do país.

- **Aumento do nível do mar:** o efeito das mudanças climáticas via elevação média do nível do mar e as sinergias que tais efeitos podem estabelecer com os eventos climáticos extremos.
- **Aumento das ilhas de calor:** é a diferença na temperatura de uma área urbana em relação a seu entorno ou a uma área rural e é consequência, dentre diversos fatores, do aumento da rugosidade da superfície e da redução das trocas de calor no meio urbano. Assim, a degradação do ambiente provocada pelo crescimento das cidades as transforma num ambiente mais afetado climaticamente. Os estudos apontam que, a interação do incremento na temperatura devido às mudanças do clima pelo homem com o aumento dos centros urbanos agrava ou aumenta as ilhas de calor nas grandes cidades.
- **Aumento das ondas de calor:** as ondas de calor são definidas como períodos de no mínimo 6 dias com temperaturas muito acima da média local, podendo ser responsáveis por transtornos econômicos devido à alta demanda de energia, além de causarem prejuízos sociais. Na RMRJ, RMSP e em outros grandes centros urbanos do país, as ondas de calor estão aumentando e se prolongando por mais tempo.
- **Aumento de enchentes/inundações:** é projetado pelos modelos climáticos aumento do volume de chuvas em algumas regiões do Brasil, como a Sul, Sudeste e Centro-Oeste, mas esse aumento deverá ocorrer de forma localizada e heterogênea, acarretando em chuvas intensas e, por conseguinte, inundações e enchentes, agravadas pela alta impermeabilização do solo das cidades. Além do impacto direto do aumento do volume de chuvas em cidades com solos impermeáveis, as enchentes e inundações, também se observa alguns impactos indiretos como prejuízos de perdas materiais e humanas; interrupção da atividade econômica das áreas inundadas; contaminação por doenças de veiculação hídrica como leptospirose, cólera, entre outros; contaminação da água pela inundação de depósitos de material tóxico, estações de tratamentos entre outros.
- **Aumento de eventos extremos:** Alguns exemplos de aumento dos eventos climáticos extremos - i. Em abril de 2010, a RMRJ foi atingida por sistemas convectivos de mesoescala<sup>71</sup> associados a uma frente fria que se deslocava pela região. O volume total de chuva foi de 323 mm em apenas 24h, o que acarretou em deslizamentos e mortes de

---

<sup>71</sup> Os sistemas convectivos de mesoescalas são constituídos por um aglomerado de nuvens convectivas que apresentam área com contínua precipitação.

167 pessoas em Niterói, 66 no Rio de Janeiro e mais de 3.000 desabrigados e 11.000 desalojados. Outros transtornos fizeram parte desse evento como queda de árvores, quebra na transmissão de energia, ressacas com ondas de 5m. Esse volume de chuva não foi observado nos últimos 16 anos, desde que foi implantado o Sistema Alerta Rio em janeiro de 1997; ii. Em janeiro de 2011 a região Serrana do RJ foi devastada por chuvas intensas e, segundo o Banco de Dados Internacional de Desastres sediado na Bélgica, este foi o desastre natural mais trágico da história do país com 872 mortes, mais de 400 desaparecidos, mais de 9000 desabrigados e 11000 desalojados. Neste evento, choveu mais de 200 mm em 12h que deflagraram avalanches e enchentes que arrastaram rochas, árvores e moradias. O Ministério da Integração Nacional disponibiliza anualmente o Anuário Brasileiro de Desastres Naturais<sup>72</sup>. Esse documento produzido pelo Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) retrata os principais desastres ocorridos num determinado ano no Brasil, o que permite que a comunidade em geral, bem como a comunidade técnico-científica, conheça o perfil de desastres naturais em nosso país.

- **Aumento das concentrações de poluentes atmosféricos:** Em face do aquecimento global, espera-se que alguns poluentes tenham a sua concentração ambiental aumentada, notadamente os gases e partículas gerados a partir de processos fotoquímicos atmosféricos. Desse modo, poderá ocorrer um aumento da mortalidade geral em função da presença de aerossol secundário (nitratos e sulfatos) e gases oxidantes (ozônio). Em termos gerais, a cada incremento de  $10 \mu\text{g.m}^{-3}$  de nitratos e sulfatos e de ozônio, é esperado um aumento de 6% e 0,3% da mortalidade geral na RMSP, respectivamente. Além de atingir diretamente a saúde humana, a poluição também interfere no microclima da cidade, alterando a física da atmosfera por meio da quantidade de aerossóis injetados no ar e, dessa forma, modificando a quantidade de nuvens e alterando o balanço térmico e radiativo da atmosfera. Nos grandes centros urbanos poluídos como São Paulo, a influência meteorológica é ainda mais marcante e as condições atmosféricas interferem na dispersão dos poluentes, podendo provocar aprisionamento dos poluentes nas camadas mais baixas da atmosfera, acarretando em problemas respiratórios na população (CCST/INPE e NEPO/UNICAMP, 2011). Em estudos na RMSP verificou-se que quando se soma o efeito dos poluentes a baixas temperaturas (ondas de frio), os habitantes poderão ficar vulneráveis durante esse período, podendo provocar até mortes. Mostrou-se também que os poluentes e as variáveis meteorológicas explicam em média 70% da variância captada das internações por doenças respiratórias (CCST/INPE e NEPO/UNICAMP, 2011).
- **Impactos identificados na RMSP:** O projeto “Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas”, coordenado pelo INPE e NEPO/UNICAMP, identificou diversos impactos decorrentes das mudanças climáticas na RMSP sendo eles: inundações de extensas áreas urbanizadas da planície fluvial dos principais cursos d’água da Bacia do Alto Tietê; enchentes e inundações com alta energia de escoamento em cursos de água com elevado gradiente hidráulico; enxurradas com alta energia de arraste; alagamentos; lixo lançado nos cursos d’água; escorregamentos em taludes de corte e aterros; escorregamentos em encostas naturais; e processos de queda e rolamento de blocos de rocha. Além desses citados anteriormente, também foram identificados diversos impactos na saúde da população na RMSP, como aumento da

---

<sup>72</sup>[http://www.integracao.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=f22cccd-281a-4b72-84b3-654002cff1e6&groupId=185960](http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=f22cccd-281a-4b72-84b3-654002cff1e6&groupId=185960)

mortalidade em dias mais quentes e em períodos de ondas de calor, principalmente em crianças, idosos e pessoas mais pobres; aumento do número de doenças infecciosas de veiculação hídrica causadas pelo contato com água contaminada (provenientes das inundações e enchentes em conjunto com péssimas condições de saneamento básico) como a leptospirose, hepatite A, gastroenterite virótica, diarreia, etc.; e aumento das doenças respiratórias. Também se observa o aumento das doenças vetoriais, pois as chuvas intensas e as altas temperaturas criam as condições para a formação de mosquitos transmissores de doenças como a dengue, a febre amarela e a malária, bem como a eclosão de larvas dos mosquitos vetores. Na cidade de São Paulo observa-se que entre o 14º e o 18º dias após a ocorrência de um temporal (episódio que tem se tornado cada vez mais frequente na RMSP) as internações por leptospirose aumenta significativamente, principalmente nas áreas mais vulneráveis e pobres onde o contato com a água contaminada é inevitável. Também foi projetado aumento da parcela da população pobre e mais vulnerável na RMSP devido aos fluxos migratórios provenientes da escassez de água e alimentos em outras regiões do país.

- **Impactos identificados na RMRJ:** O projeto “Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas”, coordenado pelo INPE e NEPO/UNICAMP, identificou diversos impactos decorrentes das mudanças climáticas na RMRJ sendo eles: vulnerabilidade física da zona costeira da RMRJ, em consequência da elevação do nível do mar caracterizada pelos riscos de erosão costeira e pelas inundações intensificadas pela recorrência de eventos extremos como ressacas, ventos fortes e chuvas intensas; aumento da erosão costeira de acordo com o grau de exposição às ondas; impactos nas praias oceânicas urbanas com as projeções de aumento do nível do mar, devido à sua fixação com muros, impedindo-as de se ajustar por meio de retrogradação (tenderão a perder areia), já as praias oceânicas não urbanizadas e não confinadas na pós-praia por obstáculos rígidos poderão se ajustar através de um processo combinado de erosão e transposição; elevação do nível freático, na inundação das zonas baixas e conseqüentemente no bloqueio do escoamento de canais e rios das baixadas cuja drenagem mal consegue se ajustar ao nível do mar atual, gerando enchentes em condições de chuvas fortes em situação de preamar de sizígia<sup>73</sup>. As principais conseqüências da elevação do nível médio relativo do mar serão elencadas no item Zonas Costeiras do presente relatório.

### Principais informações do RAN 1 do PBMC para o tema Áreas Urbanas

A descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificadas e compiladas do RAN 1 do PBMC no tema Áreas Urbanas estão elencados no Quadro 4.5.4.

---

<sup>73</sup> Marés de sizígia são as que ocorrem nas luas nova e cheia, quando os efeitos lunares e solares reforçam uns aos outros, produzindo as maiores marés altas e as menores marés baixas (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Siz%C3%ADgia>).

#### Quadro 4.5.4 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema áreas urbanas

- As cidades brasileiras são vulneráveis às mudanças climáticas e os possíveis impactos destas alterações deverão ocorrer em diferentes escalas, de acordo com a vulnerabilidade e as características específicas de cada região do Brasil.
- Os impactos das alterações climáticas, tanto no presente como no futuro, têm consequências potencialmente graves para a saúde humana e meios de subsistência, especialmente para a população urbana mais pobre, assentamentos irregulares, e outros grupos vulneráveis.
- Aumentar a resiliência das cidades envolve abordar a redução de base de pobreza.
- Quase todo o Nordeste, o noroeste de Minas Gerais e as regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador, Brasília e Manaus são as áreas do Brasil mais suscetíveis aos efeitos das mudanças climáticas que podem ocorrer até o final deste século.
- Nos próximos 30 anos, a cidade do Rio Janeiro é a que mais sofreria, entre os municípios do Estado, com o aumento do nível do mar, chuvas intensas, inundações, perda de biodiversidade, além do aumento de casos de doenças induzidas pelas mudanças climáticas.
- Em se tratando das considerações sobre as mudanças climáticas e risco de desastres nas cidades, em termos práticos, a redução de risco de desastres e a adaptação às mudanças climáticas podem ser integradas em muitos casos.

#### 4.5.2 Principais indicadores identificados

Em trabalho realizado pelo INPE, do qual originou a tese de doutorado “Vulnerabilidade e território no litoral norte de São Paulo: indicadores, perfis de ativos e trajetórias” (2012) foram compilados diversos indicadores relacionados às vulnerabilidades de duas cidades litorâneas brasileiras frente às mudanças climáticas. As cidades selecionadas foram Caraguatatuba e São Sebastião, ambas no litoral norte paulista e que já enfrentam alguns impactos das mudanças do clima como aumento do nível do mar e ressacas intensas. Esses indicadores estão listados no Quadro 4.5.5 abaixo. Importante salientar que as variáveis indicadoras para avaliar os impactos e vulnerabilidade das mudanças climáticas podem variar de acordo com a realidade de cada município.

Neste trabalho, esses indicadores serviram de base para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Socioecológica (IVSE) composto pelos InVCF - Índice de Vulnerabilidade associado ao Capital Financeiro, InVCH - Índice de Vulnerabilidade associado ao Capital Humano, InVCS - Índice de Vulnerabilidade associado ao Capital Social e InVCFN - Índice de Vulnerabilidade associado ao Capital Físico.

O acesso a cada tipo de capital é representado por uma escala de 0 a 1, onde os maiores valores representam maiores acessos aos ativos em questão, enquanto os menores valores estão relacionados a um menor acesso aos ativos. A mesma lógica é aplicada ao índice sintético IVSE, que parte do princípio que todas as famílias apresentam certo grau de vulnerabilidade, onde os maiores valores representam menor vulnerabilidade e os menores valores revelam uma menor capacidade de estabelecimento de uma matriz de oportunidades que possa mediar o acesso aos ativos, ou seja, famílias que são mais vulneráveis.

#### Quadro 4.5.5 - Indicadores utilizados para a composição do IVSE

- Rendimento financeiro do chefe da família - Capital Financeiro
- Domicílios próprios permanentes - Capital Financeiro
- Escolaridade do chefe da família – Capital Humano
- Alfabetização dos filhos – Capital Humano
- Razão de dependência – Capital Humano
- População de 0 a 14 anos – Capital Humano
- População acima de 65 anos – Capital Humano
- Chefe da família mulher sem instrução – Capital Social
- Índice de Isolamento à pobreza - Capital Social
- Cobertura da rede de abastecimento de água – Capital Físico-Natural
- Cobertura de esgotamento sanitário – Capital Físico-Natural
- Cobertura de coleta de lixo – Capital Físico-Natural
- Declividade – Capital Físico-Natural
- Forma do terreno – Capital Físico-Natural
- Proximidade à rede de drenagem – Capital Físico-Natural
- Proximidade ao mar – Capital Físico-Natural
- Proximidade a rios – Capital Físico-Natural
- Risco tecnológico (proximidade a parque de tanques de armazenamento de petróleo e derivados) – Capital Físico-Natural

#### **Indicadores dos impactos e vulnerabilidades frente às mudanças climáticas para as Cidades:**

Nos estudos sobre vulnerabilidades das cidades brasileiras frente às mudanças do clima e na plataforma Cidades Sustentáveis<sup>74</sup> são listados outros indicadores de impactos, conforme Quadro 4.5.6 abaixo.

#### Quadro 4.5.6 - Indicadores de impactos as mudanças climáticas nas cidades.

- Desnutrição infantil
  - Doença de veiculação hídrica
  - Doença de veiculação vetorial (dengue, malária, febre amarela)
  - Mortalidade Infantil
  - Mortalidade materna
  - Mortalidade de idosos
  - Mortalidade por doenças do aparelho respiratório
  - Mortalidade por desastres socioambientais
- Mais indicadores para Cidades Costeiras:
- Nível médio do mar e de ambientes costeiros.
  - Transformações sofridas pelas ondas por efeito batimétrico.
  - Erosão induzida por marés meteorológicas.
  - Espreadimento das ondas (alcance das ondas em situação de ressaca).
  - Efeito dinâmico das ondas sobre o nível médio do mar.
  - Galgamento das ondas em estruturas costeiras.
  - Altura das ondas.

<sup>74</sup> <http://www.cidadessustentaveis.org.br/indicadores>

## Indicadores de medidas de adaptação:

Nos estudos consultados para a elaboração do presente relatório e na plataforma Cidades Sustentáveis, também foi possível identificar alguns indicadores relacionados à implantação ou não de medidas de adaptação nas cidades brasileiras, conforme Quadro 4.5.7 abaixo.

### **Quadro 4.5.7 - Indicadores de medidas de adaptação às mudanças climáticas nas cidades**

- Mapeamento das zonas de risco ao longo da costa.
- Mapeamento das dunas frontais.
- Número de projeto e de avaliação das estruturas costeiras.
- Centros de monitoramento de desastres naturais.
- Centros de monitoramento climáticos
- Investimentos em pesquisa e desenvolvimento, públicos e privados e em atividades científicas e técnicas correlatas públicas.
- Capacitação e capacidade de pesquisa sobre mudanças climáticas e cidades.
- Abastecimento público de água potável na área urbana
- Campanhas de educação ambiental
- Ciclovias exclusivas
- Coleta seletiva
- Consumo de energia produzida por fontes renováveis
- Distribuição de renda
- Divisão modal de transporte
- Edifícios novos e reformados que tem certificação de sustentabilidade ambiental
- Eficiência energética
- População com ensino superior completo
- Orçamento da cidade destinado a transporte público
- Percentual da população urbana que reside em favelas
- Pessoas com renda per capita de até ½ salário mínimo
- Pessoas com renda per capita de até ¼ salário mínimo
- Reciclagem de resíduos sólidos
- Rede de esgoto (domicílios com ligação com a rede de esgoto)
- Número de Unidades Básicas de Saúde

### **4.5.3 Medidas de adaptação identificadas**

As ações de adaptação às mudanças do clima nas cidades, visando aumentar a sua resiliência, podem ser medidas diretas e/ou indiretas. As medidas diretas são aquelas que foram planejadas e implementadas, em primeira instância, devido às mudanças climáticas eminentes; já as medidas indiretas são aquelas cuja motivação inicial não foram os impactos das mudanças climáticas, mas que agregam resiliência por meio do desenvolvimento econômico e diminuição da vulnerabilidade da população, principalmente em áreas de risco. Algumas medidas de adaptação diretas e indiretas identificadas para as cidades brasileiras, já em curso, para minimização dos impactos e vulnerabilidades frente às mudanças climáticas são listadas abaixo.

- **Planejamento ambiental urbano:** O planejamento das cidades no Brasil é prerrogativa constitucional da gestão municipal que responde, inclusive, pela delimitação oficial da zona urbana, rural e demais territórios para onde são direcionados os instrumentos de planejamento ambiental. No âmbito do meio ambiente urbano, os principais instrumentos de planejamento ambiental são o Zoneamento Ecológico-Econômico - ZEE, o Plano Diretor Municipal, o Plano de Bacia Hidrográfica, o Plano Ambiental Municipal, a Agenda 21 Local, e o Plano de Gestão Integrada da Orla. No entanto, todos

os planos setoriais ligados à qualidade de vida no processo de urbanização, como saneamento básico, moradia, transporte e mobilidade, também constituem instrumentos de planejamento ambiental (MMA).

- **Agricultura metropolitana:** é uma resposta inovadora aos problemas presentes no sistema alimentar metropolitano atual e também aos problemas futuros provenientes das mudanças climáticas, que tira vantagem das características dos ambientes das megalópoles para oferecer uma ampla gama de soluções sustentáveis. Trata-se de uma visão pragmática por uma lógica agrícola nova e sustentável; uma lógica que co-cria novas conexões entre as áreas metropolitanas e a agricultura. Ela pode ser aplicada em várias escalas, desde o nível dos projetos individuais até o regional, incorporando processos agrícolas que vão além da produção, tais como a logística e o comércio, e propõe usar a agricultura para atender uma grande variedade de necessidades das populações urbanas.
- **Plano Diretor Estratégico Municipal (PDE):** é um instrumento básico de planejamento municipal para a implantação da política de desenvolvimento urbano, norteando a ação dos agentes públicos e privados (ABNT, 1991). Muitas cidades brasileiras possuem seus planos diretores. Por exemplo, em São Paulo a revisão do PDE (PL688/2013) está na Câmara dos Vereadores para ser debatida com a população, votada pelos vereadores e transformada em lei. A Lei de Zoneamento estabelece normas complementares ao PDE e dispõe sobre o parcelamento, disciplina e ordena o Uso e Ocupação do Solo das cidades.
- **Programa Cidades Sustentáveis<sup>75</sup>:** a proposta é reunir uma série de ferramentas para contribuir com os governos e sociedade civil para promover o desenvolvimento sustentável nos municípios brasileiros. Uma realização da Rede Nossa São Paulo, da Rede Social Brasileira por Cidades Justas e Sustentáveis e do Instituto Ethos, o programa oferece uma plataforma que funciona como uma agenda para a sustentabilidade, incorporando de maneira integrada as dimensões social, ambiental, econômica, política e cultural e abordando as diferentes áreas da gestão pública em 12 eixos temáticos. A cada um deles estão associados indicadores, casos exemplares e referências nacionais e internacionais de excelência. O Programa é uma oportunidade de criar um novo padrão de relação dos cidadãos com a política, os candidatos assumindo compromissos concretos e os cidadãos acompanhando os resultados desses compromissos.
- **Programa Minha Casa Minha Vida:** esse Programa do Governo Federal tem como meta reduzir o déficit habitacional brasileiro, um dos problemas mais crônicos do país. O objetivo do programa, que entra agora em sua segunda fase (2011-2014), é construir dois milhões de unidades habitacionais, das quais 60% voltadas para famílias de baixa renda. Essa ação pode retirar centenas de pessoas de baixa renda (sem acesso à moradia) de áreas de riscos nas cidades, promovendo a diminuição da sua vulnerabilidade frente às mudanças climáticas.
- **Programa de Aceleração do Crescimento (PAC):** programa do Governo Federal com objetivo de alavancar o crescimento econômico do país, sendo uma das prioridades de investimento no setor de infraestrutura social e urbana. Reforça ainda mais o papel

---

<sup>75</sup> <http://www.cidadessustentaveis.org.br/>



estratégico do setor habitacional e da construção civil como vetores de inclusão social e desenvolvimento econômico do país. O investimento nesse programa promove a diminuição da vulnerabilidade da população nas cidades frente às mudanças climáticas, acarretando em uma medida indireta de adaptação nas cidades.

- **Parques Lineares:** o objetivo dos parques lineares é recuperar fundos de vales dos rios e córregos da cidade por meio da implantação de áreas de lazer, saneamento e limpeza dos rios, bem como propicia a conservação das Áreas de Proteção Permanente (APPs), minimiza os efeitos negativos das enchentes. Também representam a expansão da área verde na cidade, contribuindo para melhorar a permeabilidade do solo e proteção dos cursos d'água ainda não canalizados. Os parques reduzem áreas de risco, na medida em que evitam a construção de habitações irregulares nas áreas de várzea dos córregos, e ampliam a qualidade de vida das populações que vivem na região ao disponibilizar equipamentos de lazer. Sua implantação foi concebida para resgatar o papel dos fundos de vale como parte do sistema de drenagem natural e acrescentando-lhes função social. Na cidade de São Paulo, por exemplo, já foram implantados vários parques lineares e muitos outros estão em diferentes etapas de implantação com recurso do Fundo de Desenvolvimento Urbano (FUNDURB).

#### Outras medidas de adaptação recomendadas:

- **Construções bioestruturais e bioclimáticas:** a arquitetura bioclimática consiste em pensar e projetar um edifício tendo em conta toda a envolvência climática e características ambientais do local em que se insere. Pretende-se assim aperfeiçoar o conforto ambiental no interior do edifício (conforto térmico, luminoso, acústico, etc.) utilizando apenas o design e os elementos arquitetônicos disponíveis. As vantagens na adoção dessa técnica consistem, principalmente, no aproveitamento energético potencial do local a que se destina com o uso de energias renováveis (painéis solares e fotovoltaicos) e diminuição do impacto ambiental proveniente do processo de construção do edifício e seu tempo de vida.
- **Aumento do estoque de areia nas praias urbanas:** nas praias oceânicas em áreas urbanas ou com estruturas na retro-praia, sempre que possível, a melhor solução é aumentar o estoque de areia (engordamento de praia). Essa medida consiste em um aumento da largura da praia, afastando a linha de costa das estruturas urbanas e a criação de um campo de dunas como reserva estratégica. Os principais benefícios são o de manter e até melhorar as condições para o turismo e lazer, além de prover o estoque de areia necessário para evitar os transtornos que decorreriam das mudanças climáticas. Se nada for feito, as consequências de elevação do nível do mar, em sinergia com ressacas e marés meteorológicas mais intensas, inexoravelmente acarretará em episódios de destruição de calçadas e avenidas de forma crescente, chegando a inviabilizar áreas residenciais defronte a praias. Em praias ainda com urbanização leve, será provavelmente mais econômico retroceder as benfeitorias públicas como estradas, do que engordar as praias (CCST/INPE e NEPO/UNICAMP, 2011).

#### 4.5.4 Principais atores, projetos e modelos

Os principais atores envolvidos com a geração de dados sobre os impactos e vulnerabilidades das mudanças climáticas nas cidades brasileiras são: INPE, CCST, CPTEC, NEPO/UNICAMP, CDS/UNB, Rede Clima, INCT, FBMC, CEDEPLAR, FIOCRUZ, CERESAN, COPPE, CGEE, ONG's, Fundações Nacionais e Internacionais; além de participação de Universidades e outros Centros de Pesquisa nacionais, Redes Estaduais de Pesquisa e colaboração internacional.

Os principais projetos em andamento no País com a temática Cidade e Mudanças Climáticas estão listados abaixo:

- **Estratégias de Articulação entre Instrumentos de Gestão Territorial Ambiental e Urbana:** A SRHU (Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, do Ministério do Meio Ambiente) articula junto à Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental (SAIC) e Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural e Sustentável (SEDR) do MMA, Secretaria Nacional de Programas Urbanos do Ministério das Cidades (SNPU/MCid) e Secretaria do Patrimônio da União (SPU/MPOG) o financiamento do projeto "Estratégias de Articulação entre Instrumentos de Gestão Territorial Ambiental e Urbana" com recursos do Fundo Nacional de Meio Ambiente (FNMA).
- **Projetos que envolvem agricultura metropolitana:** existem alguns projetos em curso no país com essa temática como, por exemplo: i) Global Innoversity<sup>76</sup>: voltado para a promoção de inovações nos sistemas que abastecem e alimentam sete regiões metropolitanas ao redor do mundo, de modo a torná-los mais sustentáveis: Detroit, Joanesburgo, Hyderabad, Cingapura, São Paulo, Nairóbi e Holanda; ii) Projeto de agricultura urbana e hortas comunitárias<sup>77</sup>: desde 2004 a organização cidades sem fome (uma ONG) atua nesse projeto, atenuando a situação da população menos favorecida socioeconomicamente em áreas de risco ambiental e alta concentração populacional. Desde o seu início, foram implantados 21 núcleos de hortas com mais de 700 pessoas beneficiadas diretamente e 4000 indiretamente. Mais projetos dessa origem podem ser acessados no portal da agricultura urbana e periurbana<sup>78</sup>.
- **Sistemas urbanos, padrões de uso da terra, saúde e ambiente:** projeto coordenado pelo CCST/INPE que visa estudar os processos de urbanização no Brasil e suas relações com cenários de mudanças climáticas e ambientais, desenvolvendo novas técnicas e metodologias geoespaciais que permitam colocar em perspectiva a realidade socioecológica dentro dos estudos de impacto e adaptação<sup>79</sup>.
- **Modelo conceitual para avaliação da vulnerabilidade nas cidades:** o estudo desenvolvido pela FIOCRUZ para avaliar a vulnerabilidade das cidades do estado do Rio de Janeiro utiliza o modelo conceitual representado na Figura 4.7 abaixo. Para a construção do Índice de Vulnerabilidade foram utilizados dados secundários obtidos da literatura e em instituições governamentais para os componentes socioeconômicos, ambiental e de saúde, e a esses se agregaram as projeções de anomalias climáticas.

---

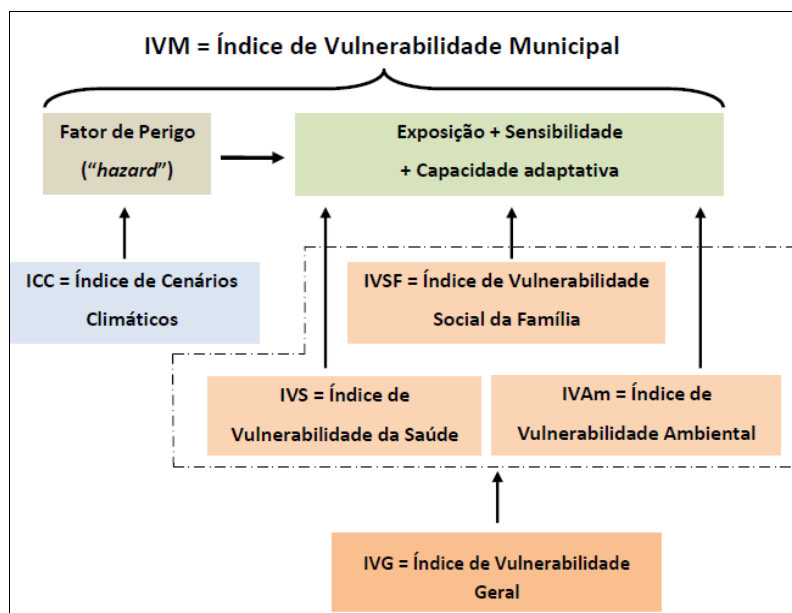
<sup>76</sup> <http://metroaginnoversity.org/>

<sup>77</sup> <http://cidadessemfome.org/pt/>

<sup>78</sup> [http://agriculturaurbana.org.br/iniciativas/menu01\\_iniciativas\\_produtivas\\_MG.html](http://agriculturaurbana.org.br/iniciativas/menu01_iniciativas_produtivas_MG.html)

<sup>79</sup> [http://www.ccst.inpe.br/linhas\\_tematicas/sistemas-urbanos-padroes-de-uso-da-terra-saude-e-ambiente/](http://www.ccst.inpe.br/linhas_tematicas/sistemas-urbanos-padroes-de-uso-da-terra-saude-e-ambiente/)

Figura 4.7 - Modelo conceitual do projeto de vulnerabilidade para os municípios do Estado do Rio de Janeiro



Fonte: FIOCRUZ

- Modelo HAND:** O Modelo HAND (Height Above the Nearest Drainage, ou Altura Acima da Drenagem mais Próxima) é um modelo digital de terreno desenvolvido em colaboração entre o INPA e INPE. O modelo já foi empregado para calcular e mapear solos encharcados (brejos) de áreas ripárias em várias regiões do Brasil; foi também empregado na delimitação de zonas de risco de enchentes e deslizamentos para a zona metropolitana de São Paulo.
- Modelos Digitais de Terreno (MDT):** representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculada a uma superfície real. A superfície é, em geral, contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Dentre alguns usos do MDT, pode-se citar o armazenamento de dados de altimetria para mapas topográficos; análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens; elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade; análise de variáveis geofísicas e geoquímicas; e apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

#### 4.5.5 Lacunas identificadas

Nos estudos sobre mudanças climáticas e cidades foram observadas algumas lacunas de conhecimento e ações, listadas abaixo.

- Falta de estudos sistêmicos sobre serviços ambientais nas cidades:** ainda são incomuns os estudos mais sistêmicos sobre serviços ambientais em um mundo urbanizado. A Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005), que até hoje é considerada a maior avaliação de ecossistemas no mundo, faz poucas referências a áreas urbanas. Também, o Relatório do Desenvolvimento Mundial (World Development Report, publicado anualmente pelo Banco Mundial) raras vezes menciona ecossistemas.

- **Demora na publicação do Plano Nacional de Habitação (PlanHab):** O PlanHab é um componente essencial para completar as medidas de caráter institucionais indispensáveis para que se avance no objetivo principal da nova Política Nacional de Habitação (PNH) que é garantir moradia digna ao cidadão brasileiro com ações públicas e privadas para um horizonte de 15 anos. O PlanHab começou a ser elaborado em agosto de 2007 e finalizado em dezembro de 2009, mas apesar da sua implementação até o momento o PlanHab não foi publicado oficialmente, mas está disponível no site do Ministério das Cidades<sup>80</sup>.
- **Falta de base cartográfica em escala compatível com as áreas de estudo:** a maior dificuldade para a realização de trabalhos que envolvem a temática climática e cidades é encontrar bases cartográficas em escala compatível com os objetivos e áreas de estudo dos trabalhos.
- **Falta de projetos de sistemas de contenção da água do mar:** serão fundamentais para solucionar ou minimizar os impactos causados pelo aumento do nível do mar em regiões litorâneas urbanizadas.

#### 4.5.6 Sistematização das informações para o tema Cidades

As metodologias para sistematização das informações sobre impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação para o tema Cidades são as mesmas descritas no item 4.1.7 desse relatório.

A seguir é apresentada a sistematização dessas informações para o tema Cidades (Quadro 4.5.8).

**Quadro 4.5.8 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o tema Cidades**

VULNERABILIDADE
Sistema Vulnerável
<p><b>Grupo populacional:</b> Maior vulnerabilidade incide sobre populações de baixa renda localizadas em áreas de riscos como assentamentos irregulares em encostas e várzeas.</p> <p><b>Áreas urbanas vulneráveis:</b> cidades nordestinas, do noroeste de Minas Gerais e das regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador, Brasília e Manaus.</p>
Perigos (fatores de estresse)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda da biodiversidade;</li> <li>• Aumento no nível do mar (para cidades em áreas litorâneas) e eventos correlacionados;</li> <li>• Mudança nos índices de precipitação;</li> <li>• Aumento da frequência de eventos extremos que causam desastres naturais, como:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enchentes, inundações e alagamentos: hidrológico e súbito;</li> <li>• Escorregamentos de encostas: geológico e súbito;</li> <li>• Erosão costeira: geológico e súbito;</li> <li>• Secas: climatológico e gradual;</li> <li>• Tempestades e vendavais: meteorológico e súbito;</li> <li>• Temperaturas extremas (ondas de calor e frio): meteorológico e súbito;</li> </ul> </li> </ul>

<sup>80</sup> <http://www.cidades.gov.br/index.php/plano-nacional-de-habitacao.html>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epidemias: biológico e somação de efeitos parciais.</li> </ul>
<b>Atributo(s) valorizado(s) ou variáveis de interesse</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bem-estar, saúde e segurança de população urbana;</li> <li>• Sustentabilidade ambiental urbana;</li> <li>• Desenvolvimento econômico de centros urbanos;</li> <li>• Lazer e turismo.</li> </ul>
<b>Horizonte temporal</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os horizontes temporais utilizados são: 2030, 2050 e período de trinta anos (longo prazo).</li> </ul>
<b>IMPACTO</b>
<b>Efeitos decorrentes das mudanças climáticas</b>
<p><b>Região Metropolitana de São Paulo (RMSP):</b></p> <p><b>Impactos Biofísicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento do número de dias com fortes chuvas até 2100, resultando numa maior incidência de eventos climáticos extremos e desastres naturais correlacionados;</li> <li>• Uma parcela significativa da população se tornará cada vez mais exposta ao risco de doenças respiratórias e por contaminação através da água;</li> <li>• Inundações de extensas áreas urbanizadas da planície fluvial dos principais cursos d'água da Bacia do Alto Tietê;</li> <li>• Enxurradas com alta energia de arraste e alagamentos em áreas populosas;</li> <li>• Lixo lançado nos cursos d'água; escorregamentos em taludes de corte e aterros;</li> <li>• Escorregamentos em encostas naturais com moradias;</li> <li>• Aumento do número de doenças infecciosas de veiculação hídrica causadas pelo contato com água contaminada;</li> <li>• Aumento das doenças respiratórias;</li> <li>• Aumento das doenças vectoriais (dengue, febre amarela e malária).</li> </ul> <p><b>Impactos Socioeconômicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da mortalidade em dias mais quentes e em períodos de ondas de calor, principalmente em crianças, idosos e pessoas mais pobres.</li> </ul> <p><b>Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ):</b></p> <p><b>Impactos Biofísicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Períodos de secas mais prolongados e eventos de tempestades com ventos mais fortes e chuvas de maior intensidade atingindo a população vulnerável nas cidades;</li> <li>• Possível mudança nas direções de propagação das ondas;</li> <li>• Aumento do nível do mar atingindo as moradias na faixa costeira;</li> <li>• Instabilização de encostas, alagamento de áreas de baixada, enchentes e devastação da infraestrutura urbana;</li> <li>• Crescimento de casos de dengue e leptospirose e mortes ocasionadas pela intensificação das chuvas;</li> <li>• Aumento da erosão costeira de acordo com o grau de exposição às ondas;</li> <li>• Impactos nas praias oceânicas urbanas com as projeções de aumento do nível do mar, devido à sua fixação com muros;</li> <li>• Elevação do nível freático, na inundação das zonas baixas e conseqüentemente no bloqueio do escoamento de canais e rios das baixadas.</li> </ul> <p><b>Demais regiões metropolitanas:</b></p> <p><b>Impactos Biofísicos e Socioeconômicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Belo Horizonte, Porto Alegre e Salvador, etc.: Impactos das mudanças climáticas deverão atingir, primeiramente, as populações localizadas em áreas de riscos como encostas e várzeas. Devido ao aglomerado humano nessas regiões, os riscos são ainda maiores;</li> </ul>

- Ondas de calor, precipitação intensa, períodos de seca mais extensos, entre outros, deverão causar enorme impacto na população, com altos custos monetários causados por danos materiais e, em muitos casos, perdas de vidas humanas.
- Biodiversidade e serviços ecossistêmicos: efeitos de impacto imediato (como fornecimento de água, produção de alimentos e microclima); problemas de médio e longo prazo, como a menor capacidade de adaptação às mudanças climáticas em curso;
- Migração do Nordeste para outras regiões do País nas próximas décadas.

#### Indicadores de ocorrência e/ou magnitude de impactos

- Desnutrição infantil;
- Doença de veiculação hídrica;
- Doença de veiculação vetorial (dengue, malária, febre amarela);
- Mortalidade Infantil;
- Mortalidade materna;
- Mortalidade de idosos;
- Mortalidade por doenças do aparelho respiratório;
- Mortalidade por desastres socioambientais;
- Indicadores adicionais para Cidades Costeiras:
  - Nível médio do mar e de ambientes costeiros;
  - Transformações sofridas pelas ondas por efeito batimétrico;
  - Erosão induzida por marés meteorológicas;
  - Espreadimento das ondas (alcance das ondas em situação de ressaca);
  - Efeito dinâmico das ondas sobre o nível médio do mar;
  - Galgamento das ondas em estruturas costeiras;
  - Altura das ondas.

### ADAPTAÇÃO

#### Medidas de adaptação

- Planejamento ambiental urbano: Zoneamento Ecológico-Econômico, Plano Diretor Municipal, Plano de Bacia Hidrográfica, Plano Ambiental Municipal, Agenda 21 Local, Plano de Gestão Integrada da Orla;
- Agricultura metropolitana;
- Plano Diretor Estratégico Municipal (PDE);
- Programa Cidades Sustentáveis;
- Programa Minha Casa Minha Vida;
- Programa de Aceleração do Crescimento (PAC);
- Parques Lineares.

#### Indicadores relacionados a medidas de adaptação

- Mapeamento das zonas de risco ao longo da costa;
- Mapeamento das dunas frontais;
- Número de projeto e de avaliação das estruturas costeiras;
- Centros de monitoramento de desastres naturais;
- Centros de monitoramento climáticos;
- Investimentos em pesquisa e desenvolvimento, públicos e privados e em atividades científicas e técnicas correlatas públicas;
- Capacitação e capacidade de pesquisa sobre mudanças climáticas e cidades;
- Abastecimento público de água potável na área urbana;
- Campanhas de educação ambiental;
- Ciclovias exclusivas;
- Coleta seletiva;
- Consumo de energia produzida por fontes renováveis;
- Distribuição de renda;

- Divisão modal de transporte;
- Edifícios novos e reformados que tem certificação de sustentabilidade ambiental;
- Eficiência energética;
- População com ensino superior completo;
- Orçamento da cidade destinado a transporte público;
- Percentual da população urbana que reside em favelas;
- Pessoas com renda per capita de até ½ salário mínimo;
- Pessoas com renda per capita de até ¼ salário mínimo;
- Reciclagem de resíduos sólidos;
- Rede de esgoto (domicílios com ligação com a rede de esgoto);
- Número de Unidades Básicas de Saúde.

## 4.6 DESASTRES NATURAIS

As alterações do meio ambiente, a fim de moldar o meio físico às necessidades e usos do homem, provocam perturbações no equilíbrio dos sistemas naturais, resultando em situações de vulnerabilidade que podem provocar desastres. No Brasil, a ocorrência e a intensidade dos desastres naturais dependem mais do grau de vulnerabilidade das comunidades afetadas do que da magnitude dos eventos adversos. Além disso, comunidades consideradas de baixo risco, com o agravamento das mudanças climáticas, podem vir a se tornar de alto risco aos desastres naturais mais frequentes no País. Os desastres mais comuns são os decorrentes de inundações, alagamentos, enxurradas, deslizamentos, estiagens, secas e vendavais (PPA 2012-2015).

### Quadro 4.6.1 - Como o Governo Federal Define Desastre?

Para reconhecimento federal, desastre é o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um cenário vulnerável, causando grave perturbação ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade, envolvendo extensivas perdas e danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais, que excede a sua capacidade de lidar com o problema usando meios próprios (ANUÁRIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2013).

Dentre os principais fatores responsáveis pelo aumento dos desastres naturais em todo o mundo cita-se: o crescimento populacional, a segregação sócio-espacial (aumento das favelas e bolsões de pobreza), a acumulação de capital em áreas de risco (ocupação da zona costeira), o avanço das telecomunicações (registro e disseminação de informações) e as mudanças climáticas globais.

O processo de urbanização do País, que se acelerou intensamente a partir da década de 1950, não foi acompanhado de políticas de desenvolvimento urbano que se preocupassem em prover moradia digna para toda a população. Sem condições de adquirir no mercado legal uma residência, importantes parcelas da população pobre ocuparam aqueles terrenos menos valorizados em função de restrições à ocupação legal, seja devido à situação de risco potencial, seja devido à necessidade de preservação ambiental. Assim, os assentamentos precários implantaram-se e expandiram-se, com ocupação de áreas de elevada declividade e margens de rios, gerando um quadro urbano de vulnerabilidade a deslizamentos de encostas, inundações e enxurradas.

Revelam-se, desse modo, situações em que políticas públicas municipais, estaduais e federais devem ser intensificadas a fim de reduzir o grau de vulnerabilidade das comunidades frente a estes fenômenos, já que são os que mais provocam danos humanos e materiais.

### 4.6.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados

Os principais desastres naturais provenientes das mudanças climáticas serão descritos com base nos trabalhos publicados e relatórios do CENAD, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC), Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBMC), CCST/INPE e em informações do CEMADEN. Os trabalhos possuem como principal objetivo caracterizar os desastres naturais decorrentes dos impactos das mudanças climáticas, bem como apontar as vulnerabilidades do setor. Importante ressaltar que existem outros trabalhos no tema de instituições renomadas no País, mas com uma abordagem mais localizada. A lista completa dos trabalhos utilizados como referência para este item encontra-se no final da seção.



Como o tema de desastres naturais é transversal aos demais recortes analisados neste relatório os impactos causados por estas ocorrências nos setores abordados (agropecuária e segurança alimentar, biodiversidade, saúde humana, zonas costeiras, cidades, entre outros) são tratados em seus respectivos capítulos. Por exemplo:

- Os impactos resultantes de estiagens e secas que causam perdas agrícolas e consequente migração da população rural para os centros urbanos tratados nos itens: Agropecuária e Cidades.
- Os impactos da estiagem nos centros urbanos, causadores de doenças respiratórias, tratados no item Saúde.
- No item Biodiversidade também foram abordados os impactos da estiagem e seca nos Biomas do País.
- Os impactos da estiagem e seca na diminuição da vazão dos rios para geração de energia hidrelétrica foram tratados no item Energia.
- Os desastres naturais mais registrados no Brasil são os decorrentes de inundações, alagamentos, enxurradas, deslizamentos, estiagens, secas e vendavais, sendo que nos ambientes urbanos, que abrigam a grande maioria da população brasileira, as inundações, enxurradas e deslizamentos de solo ou rocha constituem-se nos eventos que causam os maiores impactos. Diante disso, o item Cidades do presente relatório já abordou aspectos relacionados aos impactos decorrentes das inundações e deslizamentos agravados pelas mudanças climáticas.

#### **Quadro 4.6.2 - Horizontes Temporais Utilizados**

No Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais o horizonte temporal utilizado é de 2012 a 2014.

#### **Quadro 4.6.3 - Desastres Naturais e as Mudanças Climáticas**

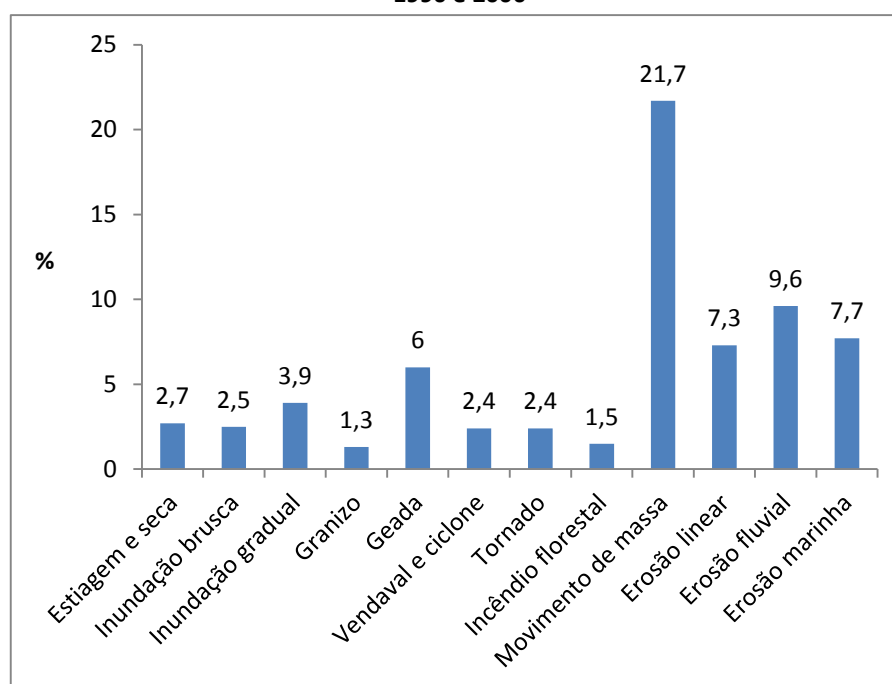
Nas últimas décadas tem ocorrido um aumento considerável na frequência anual de desastres naturais em todo o globo. Conforme dados do EM-DAT (2007), a média de desastres ocorridos na década de 70 foi de 90 eventos por ano, saltando para mais de 260 eventos na década de 90. Estes números refletem diretamente a elevação na frequência e intensidade dos desastres causados pelas tempestades severas. O aumento da precipitação nas regiões Sul e Sudeste não necessariamente aponta para uma ideal distribuição anual das chuvas. Pelo contrário, a tendência é que as precipitações fiquem ainda mais intensas e concentradas, ou seja, chuvas muito fortes e em poucos dias, como já observado atualmente (MARENGO, 2006). Em Campinas (SP), o número de dias de fortes chuvas (>50 mm/h) tem aumentado consideravelmente, passando de aproximadamente 12 dias nas décadas de 60 e 70, para mais de 25 dias tanto na década de 80 e 90 (VICENTE E NUNES, 2004). Um padrão similar também foi encontrado para a região metropolitana de Curitiba (PR). Nessa região os índices de precipitação demonstram uma mudança comportamental a partir da década de 70, com uma elevação significativa no número de dias com precipitações acima de 40 mm/h (SILVA E GUETTER, 2003). Em Santa Catarina, também foi observado um aumento significativo de inundações bruscas (enxurradas) a partir da década de 90, quando os registros ultrapassaram a média de 23 casos/ano para o período 1980-2003 (MARCELINO e GOERL al., 2004).

### **Principais desastres naturais no Brasil entre 1991 e 2010 e no ano de 2012**

Para explicar os principais desastres naturais no País foram selecionadas, principalmente, as seguintes publicações: i) o último “Atlas Brasileiro de Desastres Naturais”, lançado em 2012 e disponibilizado pelo Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC), e que compreende o período entre 1991 e 2010; ii) e o último “Anuário Brasileiro de Desastres Naturais”, lançado em 2013 referente ao ano de 2012.

Dados do Atlas revela a trajetória crescente da quantidade de desastres no País entre as décadas de 1990 e 2000, considerando os eventos estiagem e seca, inundações brusca e gradual, vendaval e ciclone, tornado, granizo, geada, movimento de massa, erosão linear, fluvial e marinha e incêndio florestal (Figura 4.8). Mesmo considerando a histórica fragilidade do Sistema de Defesa Civil em manter seus registros atualizados, observa-se o aumento médio de 6 vezes do número de desastres na década de 2000.

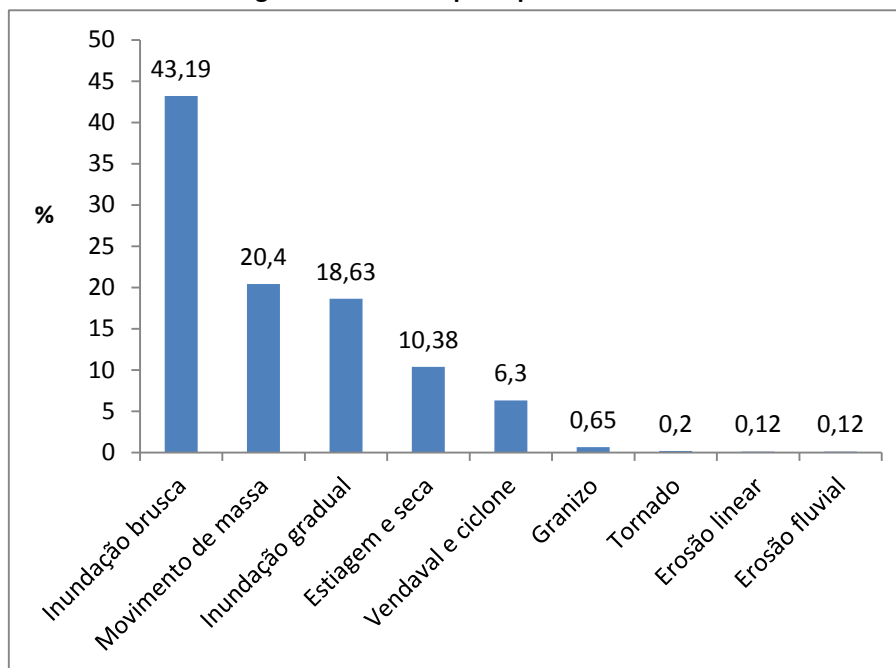
**Figura 4.8 - Aumento de Registro de Ocorrências de Desastres Naturais no Brasil entre as Décadas de 1990 e 2000**



Fonte: ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, CEPED/UFSC, 2012

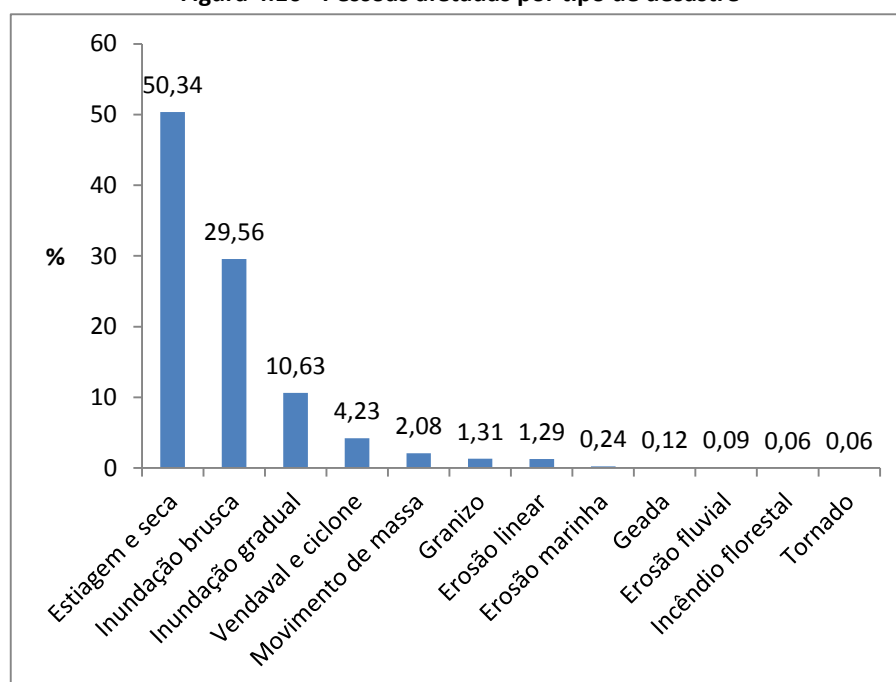
Observa-se que inundações bruscas, movimentos de massa (deslizamentos) e inundações graduais são os eventos que provocam mais impactos na população, partir do número de óbitos e pessoas afetadas (Figura 4.9). Porém, quando se considera o número de pessoas afetadas, a seca e estiagem foram os desastres com maior participação, cerca de 50% do total de afetados (Figura 4.10).

**Figura 4.9 - Mortos por Tipo de Desastre**



Fonte: ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, CEPED/UFSC, 2012

**Figura 4.10 - Pessoas afetadas por tipo de desastre**



Fonte: ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, CEPED/UFSC, 2012

**Quadro 4.6.4 - Pessoas Afetadas por Desastres Naturais**

Tragédias naturais afetaram, entre 1991 e 2012, 96,2 milhões de brasileiros. Entre as pessoas afetadas por desastres naturais entre 1991 e 2012, 50,3% foram vítimas da estiagem, e 40,2% foram atingidas por inundações. Episódios como inundações e estiagens mataram 2.475 pessoas neste mesmo período.

Estima-se que, nos próximos anos, as tragédias devam ser intensificadas por conta das inexoráveis mudanças climáticas.

#### Quadro 4.6.5 - Principais Desastres Naturais e Vulnerabilidades

**Inundações e enxurradas:** No que diz respeito às inundações e enxurradas, é importante destacar sua relação com as ocupações nas cidades que, em sua maioria, se deram em áreas ribeirinhas, principalmente nos lugares em que a frequência de enchentes era mais baixa. Porém, com o expressivo aumento da superfície urbana impermeabilizada, provocado pelas ocupações, e sua contribuição para o aumento da área de enchente, houve o aumento da frequência e a intensificação das inundações gerando, desse modo, danos a essas populações. Colabora ainda com o problema a alteração na cobertura vegetal em áreas rurais, que acarreta a modificação da dinâmica das águas na bacia hidrográfica, impactando os rios quanto à quantidade e a qualidade da água e ainda provocando assoreamento.

**Deslizamentos:** o aumento de ocorrências de desastres é, em sua maioria, derivado da ocupação inadequada de áreas de risco geológico potencial. A ocupação de áreas íngremes por assentamentos precários, caracterizados pela ausência de infraestrutura urbana, a execução de cortes e aterros instáveis, os depósitos de lixo nas encostas e a vulnerabilidade das construções, potencializam a fragilidade natural dos terrenos, o que resulta em áreas de risco sujeitas a deslizamentos, principalmente nos períodos chuvosos mais intensos e prolongados. Contudo, os bairros legalmente implantados também estão sujeitos a desastres associados a deslizamentos, pois o conhecimento do comportamento do meio físico ainda não foi adequadamente incorporado aos planos diretores, às leis de uso e ocupação do solo ou ao processo de licenciamento dos novos parcelamentos urbanos. Assim, não é incomum a aprovação de loteamentos e conjuntos habitacionais em áreas cujas condições geológicas recomendariam a utilização para atividades de uso não permanente, como praças públicas, parques ou áreas verdes de lazer.

Nos últimos anos, catástrofes de grande porte provocaram reações nos governos e na sociedade. Em 2008, a região do Vale do Itajaí sofreu inundações e deslizamentos que caracterizaram a pior tragédia do Estado de Santa Catarina, deixando 78 mil pessoas desalojadas ou desabrigadas e causando 135 mortes. Em 2010, a cheia do Rio Mundaú atingiu 97 municípios nos Estados de Pernambuco e de Alagoas, desabrigou ou desalojou mais de 150 mil habitantes e provocou a morte de 47 pessoas. No ano seguinte, os deslizamentos e enxurradas ocorridos na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro provocaram o maior desastre do País em número de mortes, foram 900, além de 350 pessoas desaparecidas. Essas tragédias, notadamente a da Região Serrana, foram marcos para as iniciativas de reestruturação do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil, percebido até então como inadequado para atender à intensificação dos desastres naturais no Brasil.

#### Quadro 4.6.6 - Perdas Econômicas dos Desastres Naturais

Estudos do Banco Mundial calcularam as perdas e danos dessas catástrofes, considerando os impactos diretos e indiretos sobre a infraestrutura, setores sociais, setores produtivos e meio-ambiente locais. Somados, os danos e perdas dos desastres de Santa Catarina, Pernambuco e Alagoas, e Rio de Janeiro chegam a R\$ 15 bilhões.

## Principais desastres naturais por região identificados no Atlas do Sistema Nacional de Defesa Civil e pelo Anuário Brasileiro de Desastres Naturais em 2012

Os principais desastres naturais que serão apresentados tiveram como fonte publicações produzidas pelo Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), órgão vinculado à Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC), do Ministério da Integração Nacional.

Dados disponibilizados pelo Anuário Brasileiro de Desastres Naturais de 2012 do Ministério da Integração Nacional revelam que no ano de 2012, os desastres naturais novamente tiveram um impacto significativo na sociedade brasileira. No Brasil, foi relatada, oficialmente, a ocorrência de 376 desastres naturais, os quais causaram 93 óbitos e afetaram 16.977.614 pessoas. Quanto aos municípios, 3.781 foram afetados, sendo que 65,06% deles devido à seca/estiagem. A região Nordeste teve o maior percentual de municípios atingidos 47,16%. Os desastres que causaram à população brasileira o maior número de mortes foram os movimentos de massa e enxurradas, ambos correspondendo a 27,96% dos óbitos. Porém, em relação ao total de afetados a maioria, 52,76%, foi resultado da seca/estiagem (Tabela 4.6.1).

**Tabela 4.6.1 - Distribuição Regional dos Desastres Naturais no Brasil em 2012**

Variáveis consideradas	Sul	Sudeste	C. Oeste	Norte	Nordeste	Total
	-----Participação %-----					-----nº-----
Municípios afetados	26,77	20,50	0,74	3,94	47,16	3.781
Óbitos	1,08	75,27	0	11,83	11,83	93
Desastres	-----Participação %-----					nº pessoas afetadas
Deslizamento	2,70	91,89	2,70	2,70	0	123.555 (0,73%)
Erosão	7,69	7,69	0	46,15	38,46	55.653
Alagamento	23,53	52,94	0	17,65	5,88	24.581
Enxurrada	33,33	47,31	6,45	8,60	4,30	1.856.359
Inundação	10,53	38,16	6,58	39,47	5,26	5.185.018 (30,54%)
Granizo	92,5	7,50	0	0	0	103.265
Vendaval	79,27	17,07	0	2,44	1,22	599.905
Incêndios florestais	0	0	0	20,00	80,00	37.338
Geadas	100	0	0	0	0	30.777
Tornado	100	0	0	0	0	4.310
Seca/Estiagem	26,0281		0	0,40	73,94	8.956.853 (52,76%)
Total de pessoas afetadas	27,05	8,01	1,04	31,11	32,79	16.977.614

Adaptado de: Anuário Brasileiro de Desastres Naturais de 2012

- Região Sul:** Historicamente, a região é marcada não somente pela ocorrência de grandes desastres, mas também pela frequência e variedade de eventos adversos e até pela ocorrência de fenômenos atípicos, como foi o caso do Furacão Catarina (foi o primeiro registro de um furacão extratropical no Oceano Atlântico Sul). Ademais, a região Sul é frequentemente afetada por alagamentos, inundações bruscas e graduais, escorregamentos, estiagens, vendavais, tornados, nevoeiros e ressacas. Em 2012 foram afetados 1046 municípios (26,77% do total de municípios afetados), representando 27,05% do total de pessoas afetadas e 1,08% do total de óbitos no país. Geadas e tornados foram registrados apenas na Região Sul em 2012. As ocorrências de geadas restringiram-se aos estados de SC e RS em seis municípios afetando 30.777 pessoas. Danos decorrentes desse fenômeno são muito sentidos no setor agrícola, que

<sup>81</sup> Sul/Sudeste: apresentam características climáticas e meteorológicas semelhantes no processo de deflagração da situação do desastre natural. O desastre da região Sul/Sudeste inclui o registro de ocorrência do município de Eldorado, em Mato Grosso do Sul.

contabiliza grandes prejuízos financeiros em função desses eventos. Santa Catarina enfrentou duas ocorrências de tornados, que deixaram vinte pessoas desalojadas e um total de 4.310 pessoas afetadas.

- **Região Sudeste:** A alta densidade demográfica aliada à ocupação desordenada em áreas de risco faz dessa região uma das que mais sofrem com as adversidades atmosféricas. Algumas das principais ameaças relacionadas ao tempo e clima são chuvas intensas, vendavais, granizos, geadas e friagens, secas, baixa umidade do ar e nevoeiros. A parte mais ao sul da região, em virtude do fato de ser a de maior desenvolvimento econômico e maior contingente populacional do País, apresenta grande vulnerabilidade a desastres, como inundações, alagamentos e enxurradas, com grande risco de ocorrência de danos econômicos e sociais. Além disso, secas severas possuem enorme potencial de geração de danos para diversos setores da economia, dentre eles: a agricultura intensiva e familiar – que convivem na região – e a geração de energia elétrica – uma vez que a região concentra boa parcela do parque gerador de energia hidroelétrica do País. Por outro lado, a parcela mais ao norte da região apresenta grande sensibilidade social a eventos extremos de secas. Tendo em vista o fato de ela ser muito dependente da ocorrência de chuvas que, a exemplo de como acontece no Nordeste brasileiro, apresenta grande variabilidade temporal. E o fato dela ser a região de menor grau de desenvolvimento econômico a vulnerabilidade social das populações a secas intensas é bastante significativa. Em 2012 foram afetados 775 municípios (20,50% do total de municípios afetados), representando 8,01% do total de pessoas afetadas e 75,27% do total de óbitos no País. O destaque da Região Sudeste na porcentagem de óbitos é devido a sua maior densidade demográfica em relação as demais regiões do País. A média nacional de óbitos em 2012 foi de 18,6 por região enquanto que na Sudeste foi de 70 óbitos.
- **Região Centro-Oeste:** Apesar de nas últimas décadas a região ser aquela com menor número de desastres no Brasil, bem como menor número de mortes e afetados, eventos hidrológicos extremos, tais como inundações (graduais ou bruscas), alagamentos e secas são percebidos. Os principais efeitos destes desastres são decorrentes do fato da região possuir forte vocação agrícola. Sendo assim, situações hidrológicas extremas possuem potencial de causar significativos prejuízos econômicos para a região. O evento mais recorrente ao longo dos anos são os incêndios florestais, os quais são responsáveis por inúmeros prejuízos econômicos, sociais e ambientais. Esses eventos ocasionalmente geram decretação de Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública, porém afetam grande parcela da população. Em 2012 foram afetados 28 municípios (0,74% do total de municípios afetados), representando 1,04% do total de pessoas afetadas (nenhum óbito foi registrado no período).
- **Região Norte:** Eventos hidrológicos extremos na região Norte tendem a produzir severos impactos à população. As inundações afetam diretamente populações ribeirinhas e dos centros urbanos, as quais são consolidadas quase que exclusivamente às margens dos cursos d'água. Como incidentes secundários ocorridos devido às inundações, normalmente a população é acometida por problemas de saúde decorrentes de contaminações por lixo e outros. Problemas de estiagens severas, por outro lado, provocam danos relacionados tanto ao abastecimento quanto ao deslocamento de pessoas, uma vez que a população é fortemente dependente de hidrovias. Além disso, danos econômicos significativos também podem ser percebidos nestes eventos extremos, tais como a redução na produção de peixes e as perdas na

agricultura. Em 2012 foram afetados 149 municípios (3,94% do total de municípios afetados), representando 31,11% do total de pessoas afetadas e 11,83% do total de óbitos no País. Também é importante destacar as duas grandes secas na Amazônia ocorridas na década de 2000. A seca ocorrida em 2005, especialmente na região sudoeste do Amazonas e Estado do Acre, caracterizou-se por possuir o menor índice pluviométrico nos últimos 40 anos, ultrapassando períodos como os de 1925-1926, 1968-1969 e 1997-1998, até então considerados os mais intensos. A ocorrida em 2010 foi a mais severa em 100 anos.

- **Região Nordeste:** Essa região é conhecida por apresentar secas frequentes, intensas e com importantes impactos. Aditem-se dois fatores relevantes para isso: a grande variabilidade interanual das chuvas e a baixa capacidade de armazenamento de água no solo. Apesar de os volumes precipitados médios anuais não serem tão reduzidos, principalmente quando comparados com outras regiões do mundo, é muito frequente a estação chuvosa ser significativamente aquém das médias ou, até mesmo, com precipitação próxima de zero. Além disso, a geologia e pedologia<sup>82</sup> da região possibilitam pequena capacidade de infiltração no solo, o que implica dificuldade de armazenamento natural de recursos hídricos. Como consequência, grandes perdas sociais e econômicas são percebidas, em virtude de incertezas quanto à disponibilidade hídrica, constituindo um fator limitante ao desenvolvimento regional. Por outro lado, com frequência, a região é acometida por inundações bruscas, deslizamentos e alagamentos. Tendo em vista a grande variabilidade das chuvas, assim como as recorrentes secas, é comum a ocorrência de chuvas severas – com consequências significativas para a população, que se estabelece em áreas de risco nas regiões metropolitanas – e também de inundações graduais e bruscas em áreas rurais. O grande número de barragens de regularização de vazões, as quais nem sempre são construídas seguindo padrões adequados e, por vezes, com pouca capacidade de resistir a cheias severas, também representa fator de risco significativo. Em 2012 foram afetados 1.783 municípios (47,16% do total de municípios afetados), representando 32,79% do total de pessoas afetadas e 11,83% do total de óbitos no País.

#### Quadro 4.6.7 - Seca e Estiagem no Nordeste

De acordo com dados do Cenad, só nos últimos dois anos foram registrados 1.466 alertas de municípios no semiárido que entraram em estado de emergência ou de calamidade pública em razão de seca e estiagem – os desastres naturais mais recorrentes no Brasil. O semiárido – que abrange Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba, Ceará, Piauí e o norte de Minas Gerais – vive hoje o segundo ano do período de seca, iniciado em 2011, que pode se prolongar por um tempo indefinido. Um estudo realizado pelo órgão, com base em dados de vazão de bacias hidrológicas da região, apontou que a duração média dos períodos de seca no semiárido é de 4,5 anos. Estados como o Ceará, no entanto, já enfrentaram secas com duração de quase nove anos, seguidos por longos períodos nos quais choveu abaixo da média estimada. A capacidade média dos principais reservatórios da região – com volume acima de 10 milhões de metros cúbicos de água e capacidade de abastecer os principais municípios por até três anos – está atualmente na faixa de 40%. E a tendência até o fim deste ano é de esvaziarem cada vez mais. Caso não haja um aporte considerável de água nesses grandes reservatórios, pode-se ter uma transição do problema de seca que se observa hoje no semiárido, mais rural, para uma seca ‘urbana’ – que atingiria a população de cidades abastecidas por meio de adutoras desses sistemas de reservatórios.

#### Principais informações do RAN 1 do PBMC para o tema Desastres Naturais

<sup>82</sup> Estudo dos solos no seu ambiente natural

A descrição dos principais desastres naturais identificadas e compiladas do RAN 1 do PBMC estão elencados no Quadro 4.6.8.

**Quadro 4.6.8 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema desastres naturais**

- Estima-se que os eventos extremos (seca e estiagem) aumentem principalmente nos biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga e que as mudanças devam se acentuar a partir da metade e até o fim do século 21. Desta forma, o semiárido sofrerá ainda mais no futuro com o problema da escassez de água que enfrenta hoje.
- As consequências negativas dos eventos climáticos extremos (inundações, alagamentos, deslizamentos de encostas e deslocamentos populacionais das regiões atingidas por enchentes ou períodos de seca prolongados) afetam tanto as áreas rurais quanto as áreas urbanas, com impactos e implicações diferenciadas.
- O aumento da população urbana e do grau de urbanização recoloca a preocupação com a relação entre desigualdade social e problemas ambientais, principalmente no contexto das mudanças climáticas.
- Mesmo com essa importante concentração populacional nas áreas urbanas há que se destacar que existem 30 milhões de pessoas em áreas rurais em uma situação que pode ser ainda de maior vulnerabilidade, tendo em vista as dificuldades de acesso em caso de desastre. Grupos populacionais específicos, devido a suas características culturais e de organização econômica, como os grupos indígenas e as comunidades quilombolas, são especialmente susceptíveis aos eventos climáticos extremos, exigindo uma atuação específica.
- Ainda não existe um sistema nacional de registro da ocorrência de desastres.
- Seria importante construir um arquivo histórico no qual estivessem armazenadas as informações sobre a ocorrência dos desastres, as atitudes que foram tomadas (durante e depois dos desastres), contextualização detalhada dos aspectos característicos da região antes do desastre, um acompanhamento da evolução da situação de desastre ao longo do tempo, o que aconteceu com a área de ocorrência do desastre, o que aconteceu com as populações atingidas, qual foi a efetividade das ações tomadas pelo poder público no que diz respeito aos vários fatores envolvidos

#### **4.6.2 Principais indicadores identificados**

A FIOCRUZ desenvolveu diversos indicadores para avaliar o impacto dos desastres naturais, principalmente na saúde da população afetada e/ou vulnerável. Os principais indicadores estão listados no Quadro 4.6.9 abaixo.



#### Quadro 4.6.9 - Indicadores para Avaliar os Impactos dos Desastres Naturais

- Taxa de internação por traumatismos, afogamentos, quedas
- Proporção de pessoas afetadas
- Proporção de pessoas feridas
- Proporção de pessoas enfermas
- Proporção de pessoas desaparecidas
- Proporção de pessoas deslocadas
- Proporção de pessoas desabrigadas
- Proporção de pessoas desalojadas
- Proporção de gestantes atingidas
- Taxa de mortalidade por exposição as forças da natureza
- Taxa de incidência, internação e mortalidade de hepatite A
- Taxa de incidência, internação e mortalidade de leptospirose
- Taxa de internação e mortalidade por infarto agudo do miocárdio
- Taxa de internação e mortalidade por acidente vascular encefálico
- Precipitação
- Temperatura
- Umidade relativa do ar
- Pressão atmosférica
- Velocidade do vento
- Variabilidade na temperatura dos oceanos
- Nível do rio (cotas hidrológica)
- Presença de focos de queimadas
- Proporção de áreas inundáveis
- Cobertura vegetal e uso da terra
- Altitude
- Densidade demográfica
- Percentual de população urbana
- Proporção de menores de 5 anos de idade na população
- Proporção de pessoas acima de 60 anos
- População de área rural
- Proporção da população residente em áreas de favela

Também podem ser elucidados alguns indicadores relacionados à empregabilidade ou não de medidas de adaptação aos desastres naturais conforme o Quadro 4.6.10 abaixo. Esses indicadores foram baseados no PPA – Gestão de Riscos e Resposta a Desastres 2012-2015. A ampliação desses indicadores caracteriza a empregabilidade de medidas de adaptação para o setor.

#### Quadro 4.6.10 - Indicadores Relacionados a Medidas de Adaptação aos Desastres Naturais

- Número de órgãos municipais de defesa civil integrados ao Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) - unidade
- Porcentagem de municípios com carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a municípios críticos a desastres porcentagem (%)
- Porcentagem de municípios com setores de risco identificados em relação a municípios críticos a desastres (setorização de riscos) porcentagem (%)
- Porcentagem de municípios mapeados em relação a municípios críticos a desastres (mapas de suscetibilidade) porcentagem (%)
- Porcentagem de municípios mapeados em relação a municípios críticos a desastres (mapeamento de risco) porcentagem (%)
- Centros de estudos e pesquisas em desastres naturais (municipal, estadual ou federal)
- Capacidade de vigilância e resposta às emergências e desastres (municipal, estadual ou federal)

#### 4.6.3 Medidas de adaptação identificadas

A seguir serão elencadas algumas medidas adaptativas em curso e outras previstas em políticas públicas no País para o setor.

- **Cidades Resilientes:** Iniciativa do Ministério da Integração Nacional cujo objetivo é aumentar o grau de consciência e compromisso em torno de práticas de desenvolvimento sustentável, diminuindo as vulnerabilidades e propiciando bem estar e segurança aos cidadãos. Faz parte da Estratégia Internacional para Redução de Desastres (Eird) coordenada pela ONU. Entre as medidas a serem implementadas por prefeitos e gestores públicos locais estão: a criação de programas educativos e de capacitação em escolas e comunidades locais, o cumprimento de normas sobre construção e princípios para planejamento e uso do solo, os investimentos em implantação e manutenção de infraestrutura que evitem inundações e o estabelecimento de mecanismos de organização e coordenação de ações com base na participação de comunidades e sociedade civil organizada. Os municípios participantes dessa iniciativa, bem como mais informações podem ser acessados no site [http://www.integracao.gov.br/cidadesresilientes/#pos\\_conteudo](http://www.integracao.gov.br/cidadesresilientes/#pos_conteudo)
- **Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais:** O objetivo principal do Plano é garantir a segurança das populações que vivem em áreas suscetíveis a ocorrências de desastres naturais por meio de 4 linhas de ação (incluídas no PPA 2012-2015): prevenção, voltada à execução de obras; mapeamento de áreas de risco; monitoramento e alerta; resposta a desastres, voltada ao socorro e reconstrução. O Plano foi lançado em agosto de 2012 com investimento de R\$ 18 bilhões. As ações preventivas visam também preservar o meio ambiente e abrangem 821 municípios que respondem por 94% das mortes e 88% do total de desalojados e desabrigados em todo o País. A maior parte do recurso (R\$ 15 bilhões) será destinada para ações preventivas que contemplam obras do PAC voltadas à redução do risco de desastres naturais.
- **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN):** O CEMADEN entrou em operação em dezembro de 2011, emitindo alertas para o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres – CENAD e garantir o funcionamento do Sistema de Monitoramento de Desastres Naturais. Atualmente o CEMADEN monitora 359 municípios nas regiões Sul, Sudeste, Norte e Nordeste; e a meta é atingir

o total de 821 municípios com áreas de riscos até final de 2014. Os primeiros municípios foram selecionados pelo número de desastres, de mortes por acidentes, como o deslizamento de encostas, e pelo número de pessoas afetadas.

- **Sistema de Monitoramento de Desastres Naturais:** É uma plataforma de integração, criada no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas, que tem como objetivo monitorar e gerar alertas para escorregamentos, inundações, secas extremas, queimadas e ocupações em áreas de risco utilizando dados medidos por pluviômetros, produtos de satélites e estimativas de modelos numéricos de previsão de tempo. Está sendo avaliada a ocorrência de desastres do tipo deslizamentos e inundações associadas a eventos de precipitação no Estado de São Paulo durante os períodos de verão. As pesquisas realizadas por essa iniciativa embasaram a criação do **CEMADEN**, traduzindo os resultados de pesquisa em políticas públicas de diminuição das vulnerabilidades da população brasileira aos desastres naturais causados por extremos climáticos (INCT, 2010-2011 - [http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/Relatorio\\_INCT-MC\\_Ano-3\\_2012\\_Versao-Web.pdf](http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/Relatorio_INCT-MC_Ano-3_2012_Versao-Web.pdf)).
- **Monitoramento e alerta:** O Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais prevê investimento de R\$ 362 milhões em estruturação, integração e manutenção da rede nacional de monitoramento, previsão e alerta com a operação integrada do Cemaden e Cenad. O trabalho é realizado 24 horas por dia de forma articulada com estados e municípios. O Plano prevê recursos para a expansão da rede de observação, implementação de salas de situação em todos os estados para monitoramento hidrológico pela Agência Nacional de Águas (ANA). Nessa estrutura, o Cemaden enviará ao Cenad alertas de possíveis ocorrências de desastres nas áreas de risco mapeadas. O Cenad, por sua vez, transmitirá os alertas aos estados, aos municípios e a outros órgãos federais e oferecerá apoio nas ações de resposta a desastres.
- **Ações estaduais:** **i)** Em Santa Catarina foi criado o Plano Integrado de Prevenção e Mitigação de Riscos e Desastres Naturais na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, integrado pelas seguintes instituições: FAPESC, Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM), Secretaria de Articulação Nacional - SAN, Secretaria de Desenvolvimento Sustentável - SDS, Defesa Civil Estadual, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL), Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), Universidade de Blumenau (FURB), Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC), CREA-SC, SATC, IBGE, INMET, Ministério das Cidades e CPRM; **ii)** Em São Paulo há o Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e de Redução de Riscos Geológicos, coordenado pela Defesa Civil; **iii)** No estado da Paraíba foi elaborado o Plano Diretor Estadual de Defesa Civil (2012), com o objetivo de fornecer subsídios necessários para a elaboração de Planos de Contingência dos Municípios (PCM). O Plano também estabelece atribuições nos eixos de prevenção, alerta e resposta às diferentes secretarias e órgãos que integram o sistema estadual de Defesa Civil; **iv)** Nos demais estados, os Planos são direcionados à instalação de medidas emergenciais, aparecendo como secundárias as ações estruturantes e preventivas a serem desenvolvidas a partir da articulação de um conjunto de programas e políticas públicas.
- **Implantação de Núcleos Comunitários de Defesa Civil (NUDECS):** Os Nudecs representavam na Política Nacional de Defesa Civil, instituída em 2007, a principal

estratégia para a organização da sociedade civil das áreas sujeitas à ocorrência de desastres. A partir da elaboração de manuais, cartilhas e de diferentes iniciativas de capacitação de agentes das Defesas Civas de estados e municípios, os Nudecs foram progressivamente sendo implantados e assumidos como importante aliado no planejamento e na execução das ações das Coordenadorias/Secretarias Municipais de Defesa Civil. No entanto, há uma descontinuidade nos programas de formação e fomento à implantação dos Nudecs, em função da própria reorganização do Sistema Nacional de Defesa Civil afirmado pela nova política nacional, estabelecida em 2012. O novo sistema não menciona os Nudecs em sua estrutura de gestão e possui diretrizes de atuação baseadas na integração entre os órgãos públicos que o compõe.

- **Bolsa Estiagem:** é um programa de auxílio financeiro, sob responsabilidade do MDA, a agricultores familiares que vivem em municípios em situação de emergência ou calamidade pública reconhecida pelo Governo Federal. Para receber o benefício, os agricultores devem possuir a Declaração de Aptidão ao Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), estar no Cadastro Único para Programas Sociais e possuir renda de até dois salários mínimos e não ter aderido ao programa Garantia-Safra. Mais detalhes sobre medidas de adaptação à seca no semiárido, relacionadas à agricultura familiar, podem ser acessadas no capítulo “Agropecuária e Segurança Alimentar”.

#### 4.6.4 Principais atores e projetos

Os principais atores envolvidos na geração de dados sobre desastres naturais são: Cenad, Cemaden, CPTEC/INPE, CCST/INPE, INCT-Mudanças Climáticas, IBGE, Sistema Nacional de Defesa Civil, órgãos da Defesa Civil, EPAGRI, além de participação de Universidades e outros Centros de Pesquisa nacionais, Redes Estaduais de Pesquisa e colaboração internacional. Também existem alguns projetos em andamento com o objetivo de melhorar a rede nacional de monitoramento, previsão e alerta de desastres naturais no País como:

- **Projeto para instalação de pluviômetros automáticos:** tem o objetivo de ampliar a rede de monitoramento pluviométrico no Brasil, para melhorar a previsão de desastres naturais e reduzir os danos socioeconômicos e ambientais. Os equipamentos que serão instalados pelo Cemaden enviarão os dados de forma automática e não necessitarão de energia elétrica para funcionar.
- **Projeto Piloto IBGE/Cemaden:** projeto em parceria entre o IBGE e o Cemaden na Região Serrana do Rio de Janeiro. O principal objetivo é integrar informações socioeconômicas e dados referentes aos riscos ambientais da região. Essas informações serão úteis para refinar os sistemas de alerta das defesas civis, agregando informações às equipes de alerta e resgate como número de pessoas atingidas, gênero, idade, entre outros.

#### 4.6.5 Lacunas identificadas

Nos estudos sobre mudanças climáticas e desastres naturais foram observadas algumas lacunas de conhecimento e ações, listadas abaixo.

- **Registros históricos de eventos extremos:** 93,5% dos 5.201 municípios brasileiros não possuem registros históricos de eventos extremos e cartas geotécnicas, informações fundamentais para que uma cidade possa ter suas áreas de risco monitoradas e um sistema de prevenção de desastres organizado e eficiente.
- **Falta de preparo dos municípios aos desastres:** devido a falta de planejamento a longo prazo os municípios não estão preparados para responder a desastres, como por exemplo o deslizamento de encostas na Região Serrana do Rio em 2011.
- **Conhecimento regional da vulnerabilidade:** cada região possui sua própria vulnerabilidade, sendo imprescindível conhecê-las detalhadamente para que o governo possa atuar na prevenção, monitoramento e alerta dos desastres.
- **Políticas de desenvolvimento urbano:** O processo de urbanização do País, que se acelerou intensamente a partir da década de 1950, não foi acompanhado por políticas robustas de desenvolvimento urbano para prover moradia para a população. Sem condições de adquirir no mercado legal uma residência, importantes parcelas da população pobre ocuparam terrenos não disponíveis no mercado imobiliário, em função de restrições à ocupação legal, seja devido à situação de risco potencial, seja devido à necessidade de preservação ambiental. Assim, os assentamentos precários implantaram-se e expandiram-se nas cidades ocupando áreas de elevada declividade e margens de rios, resultando em parcelas urbanas de extrema vulnerabilidade a deslizamentos de encostas, inundações e enxurradas.
- **Estrutura de gestão e equipe para coordenar as ações previstas na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil:** Apenas os estados do Rio de Janeiro e Santa Catarina possuem secretarias específicas para tratar do tema de desastres naturais. Os sistemas estaduais apresentam, na maioria dos casos, estruturas de gestão e de equipes bastante enxutas e insuficientes para coordenar as ações previstas na Política junto às diversas secretarias estaduais e coordenadorias/secretarias municipais de defesa civil.
- **Planejamento de ações estruturantes:** Os planos estaduais de prevenção a desastres e os planos municipais de contingência, em geral, apresentam estratégias para a atuação dos sistemas de defesa civil em casos de emergências, não compreendendo o planejamento de ações estruturantes, a longo e médio prazo. Os vínculos entre as intervenções das defesas civis e as medidas de zoneamento econômico, uso do solo, identificação de áreas de risco realizadas por meio dos Planos Diretores municipais existem em menos da metade das capitais brasileiras.
- **Interface entre sistemas de prevenção e políticas públicas de redução de vulnerabilidades socioeconômicas:** São escassas as ações voltadas para o estabelecimento de interfaces entre os sistemas de prevenção e políticas públicas que promovam a redução de vulnerabilidades socioeconômicas dos moradores que residem em áreas de risco. Cabe destacar que, de acordo com o Programa 2040 – Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, do PPA (2012-2015), menos de 10% dos municípios brasileiros possuem órgãos de defesa civil instalados e estruturados.
- **Existência de Planos Estaduais de Prevenção a Desastres:** Conforme orienta a Política Nacional, cabe aos estados a elaboração de Planos Estaduais de Proteção e Defesa Civil que devem, minimamente, conter a identificação das bacias hidrográficas com risco de

ocorrência de desastres; e as diretrizes de ação governamental de proteção e defesa civil no âmbito estadual, em especial no que se refere à implantação da rede de monitoramento meteorológico, hidrológico e geológico das bacias com risco de desastre. Poucos estados (menos da metade) possuem Planos Estaduais de Prevenção, destacando-se Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Santa Catarina e São Paulo.

#### 4.6.6 Sistematização das informações para o tema Desastres Naturais

As metodologias para sistematização das informações sobre impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação para o tema Desastres Naturais são as mesmas descritas no item 4.1.7 desse relatório.

A seguir é apresentada a sistematização dessas informações para o tema Desastres Naturais (Quadro 4.6.11).

**Quadro 4.6.11 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o tema Desastres Naturais**

VULNERABILIDADE
Sistema Vulnerável
<p><b>Grupo populacional:</b> População de baixa renda em assentamentos precários (ocupação de áreas de elevada declividade e em margens de rios).</p> <p><b>Regiões vulneráveis:</b> Municípios afetados por desastres naturais (por região em 2012):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nordeste: 47,16%</li> <li>• Sul: 26,77%</li> <li>• Sudeste: 20,50%</li> <li>• Norte: 3,94%</li> <li>• C. Oeste: 0,74%</li> </ul>
Perigos (fatores de estresse)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vulnerabilidade das comunidades afetadas;</li> <li>• Ocupação inadequada de áreas de risco geológico potencial;</li> <li>• Ausência de infraestrutura urbana;</li> <li>• Execução de cortes e aterros instáveis;</li> <li>• Depósitos de lixo nas encostas e a vulnerabilidade das construções;</li> <li>• Aumento da frequência de eventos extremos que causam desastres naturais, como: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os desastres mais comuns: <ol style="list-style-type: none"> <li>i) Inundações: hidrológico e súbito;</li> <li>ii) Alagamentos: hidrológico e súbito;</li> <li>iii) Enxurradas: hidrológico e súbito;</li> <li>iv) Deslizamentos: geológico e súbito;</li> <li>v) Estiagens e secas: climatológico e gradual;</li> <li>vi) Vendavais: meteorológico e súbito.</li> </ol> </li> <li>• Outros desastres: <ol style="list-style-type: none"> <li>i) Ciclones: meteorológico e súbito;</li> <li>ii) Tornados: meteorológico e súbito;</li> <li>iii) Granizo: meteorológico e súbito;</li> <li>iv) Geadas: meteorológico e súbito;</li> <li>v) Movimentos de massa (quedas, tombamentos e rolamentos): geológico e súbito;</li> <li>vi) Erosão (linear, fluvial e marinha): geológico e gradual;</li> <li>vii) Incêndios florestais: climatológico e súbito.</li> </ol> </li> </ul> </li> </ul>

Atributo(s) valorizado(s) ou variáveis de interesse
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bem-estar, saúde e segurança de uma comunidade ou sociedade;</li> <li>Prejuízos econômicos: produção agrícola, geração de energia, perda de infraestrutura industrial e de logística;</li> <li>Prejuízos sociais: Vidas humanas, abastecimento (alimentos e água potável), infraestrutura habitacional, etc.</li> </ul>
Horizonte temporal
No Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, o horizonte temporal utilizado é de 2012 a 2014 (curto prazo).
IMPACTO
Efeitos decorrentes das mudanças climáticas
<p><b>Impactos Biofísicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento da ocorrência e intensidade dos desastres naturais (já classificados na seção de perigos desse quadro);</li> <li>Impactos da estiagem e seca: i) diminuição da vazão dos rios para geração de energia hidrelétrica; ii) diminuição da capacidade dos reservatórios de água para abastecimento da população; iii) aumento de doenças respiratórias nos centros urbanos.</li> </ul> <p><b>Impactos Socioeconômicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Danos humanos: pessoas falecidas, feridas, enfermas, desaparecidas, deslocadas, desabrigadas, etc.;</li> <li>Migração da população rural para os centros urbanos;</li> <li>Danos materiais e econômicos: perdas de produção agrícola, geração de energia, infraestrutura habitacional, de transporte, industriais, etc.</li> </ul>
Indicadores de ocorrência e/ou magnitude de impactos e vulnerabilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de órgãos municipais de defesa civil integrados ao Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC);</li> <li>Porcentagem de municípios com carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a municípios críticos a desastres e com setores de risco identificados em relação a municípios críticos a desastres (setorização de riscos)<sup>83</sup>;</li> <li>Porcentagem de municípios mapeados em relação a municípios críticos a desastres (mapas de suscetibilidade) e em relação a municípios críticos a desastres (mapeamento de risco)<sup>84</sup>;</li> <li>Centros de estudos e pesquisas em desastres naturais (municipal, estadual ou federal);</li> <li>Capacidade de vigilância e resposta às emergências e desastres (municipal, estadual ou federal).</li> </ul>
ADAPTAÇÃO
Medidas de adaptação
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cidades Resilientes (Ministério da Integração Nacional);</li> <li>Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais;</li> <li>Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN);</li> <li>Sistema de Monitoramento de Desastres Naturais;</li> <li>Monitoramento e alerta (Cemaden e Cenad);</li> <li>Ações estaduais: <ul style="list-style-type: none"> <li>Santa Catarina: Plano Integrado de Prevenção e Mitigação de Riscos e Desastres Naturais na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí;</li> </ul> </li> </ul>

<sup>83</sup> Indicador de vulnerabilidade.

<sup>84</sup> Indicador de vulnerabilidade.

- São Paulo: Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e de Redução de Riscos Geológicos;
- Paraíba: Plano Diretor Estadual de Defesa Civil;
- Nos demais estados: Planos direcionados à instalação de medidas emergenciais.
- Implantação de Núcleos Comunitários de Defesa Civil (NUDECS);
- Bolsa Estiagem (MDA).

#### Indicadores relacionados a medidas de adaptação

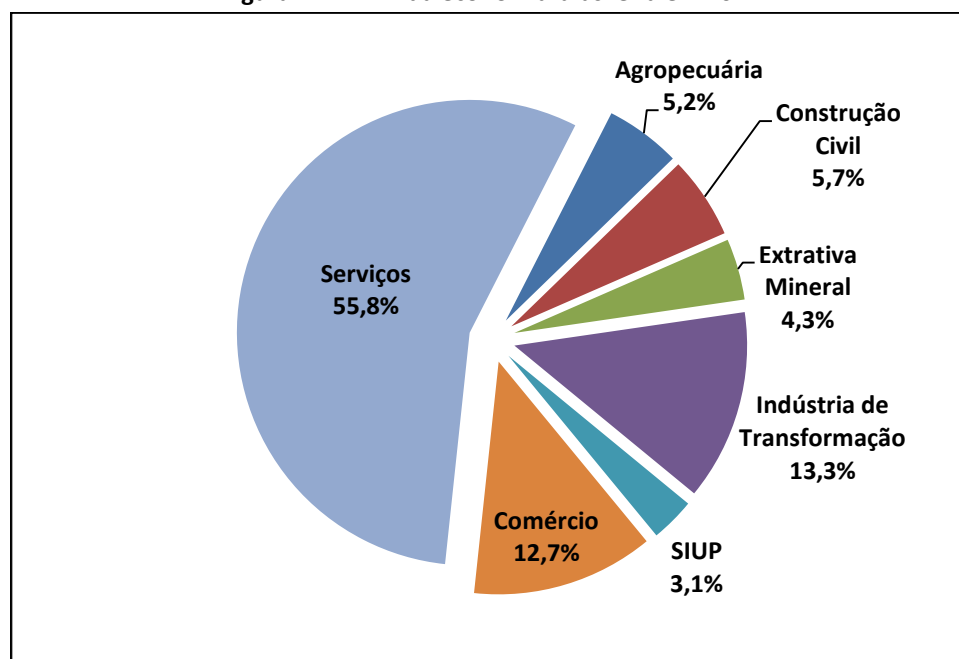
- Número de órgãos municipais de defesa civil integrados ao Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) – unidade;
- Porcentagem de municípios com carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a municípios críticos a desastres porcentagem (%);
- Porcentagem de municípios com setores de risco identificados em relação a municípios críticos a desastres (setorização de riscos) porcentagem (%);
- Porcentagem de municípios mapeados em relação a municípios críticos a desastres (mapas de suscetibilidade) porcentagem (%);
- Porcentagem de municípios mapeados em relação a municípios críticos a desastres (mapeamento de risco) porcentagem (%);
- Centros de estudos e pesquisas em desastres naturais (municipal, estadual ou federal);
- Capacidade de vigilância e resposta às emergências e desastres (municipal, estadual ou federal).



## 4.7 INDÚSTRIA

A importância da indústria para a economia brasileira pode ser traduzida em números: de acordo com as Contas Nacionais de 2012, o setor industrial, compreendendo a indústria de transformação, a extrativa mineral e os serviços industriais de utilidade pública – SIUP85, foi responsável por 20,7% do PIB nacional em 2012, como mostra a Figura 4.11.

**Figura 4.11 - PIB da economia brasileira em 2012**



Fonte: IBGE, 2012

Historicamente, a atividade industrial desempenhou papel central na organização das sociedades, tendo forte influência sobre a distribuição regional da população. A expansão geográfica da indústria leva à interiorização da atividade econômica e à criação de novos centros urbanos, podendo suscitar efeitos retroalimentadores da desconcentração regional (LEMOS et al., 2009).

Sua capacidade de dinamizar a economia decorre do grande número de relações mantidas com elementos essenciais à organização de cadeias produtivas. À montante, a maior parte das indústrias depende de recursos naturais, como água, biomassa, minerais etc. À jusante, destaca-se a relevância das condições de infraestrutura, disponibilidade de mão de obra e oferta de bens e serviços necessários à operação das instalações. Em outras palavras, a indústria tanto transforma como é transformada pelos atributos do ambiente em que está inserida e suas condições de funcionamento devem ser analisadas considerando-se o conjunto desses elementos.

Nesse sentido, a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo ressalta que entre os principais responsáveis pela desaceleração da atividade industrial recentemente estão não só o câmbio

<sup>85</sup> Fornecimento de água, eletricidade, gás, esgoto e limpeza urbana.

excessivamente valorizado e a elevada carga tributária, mas também a infraestrutura deficiente (FIESP, 2013). A Confederação Nacional das Indústrias reforça este argumento, afirmando que a precariedade dos serviços de infraestrutura já tem impactos importantes na eficiência do processo produtivo industrial, gerando desperdício de recursos e prejudicando a produção sustentável (CNI, 2012). Conflitos significativos entre demanda e disponibilidade podem emergir diante da insuficiência da infraestrutura existente em relação às necessidades do setor produtivo e da população, o que torna necessário considerar os adicionais impactos das mudanças climáticas sobre o setor.

#### 4.7.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados

As mudanças climáticas podem atingir o setor industrial de diferentes formas, seja diretamente por meio de eventos climáticos extremos, seja indiretamente por meio das relações de dependência que a indústria mantém com fornecedores, prestadores de serviços e consumidores. Em adição, é importante notar que eventos como inundações e alterações nas correntes de ar podem contribuir para a propagação de impactos da indústria sobre o meio ambiente. Não obstante, o Brasil possui poucos estudos dedicados à investigação de impactos das mudanças climáticas sobre o setor industrial especificamente, motivo pelo qual a avaliação apresentada nesta seção assumiu contornos mais abrangentes, além de ter utilizado estudos internacionais como referência, citados no RAN 1 (PBMC, 2013).

Desse modo, optou-se por classificar impactos e vulnerabilidades em três categorias: i) diretos; ii) indiretos, de acordo com o setor ou tema com o qual a indústria se relaciona; e iii) agravamento de impactos da indústria sobre o meio ambiente.

- **Impactos diretos**

Devido a características geológicas e geomorfológicas favoráveis à expansão industrial pela disponibilidade de terras planas, a maioria dos parques industriais brasileiros se encontra em planícies fluviais e costeiras, estando suscetível a riscos de desastres causados por eventos climáticos extremos. A elevação do nível do mar, associada a tempestades de ventos, deverá aumentar os riscos de enchentes e inundações nas zonas costeiras em todo o mundo, ameaçando direta e indiretamente os parques industriais instalados nestas áreas. Ressacas associadas à passagem de frentes frias e ciclones extratropicais podem causar danos a instalações da zona litorânea do Norte ao Sul do País. Já a interação de precipitação pesada com a topografia podem implicar escorregamentos ou deslizamentos de terra, causando perdas econômicas à indústria (PBMC, 2013).

- **Impactos sobre setores/temas relacionados à indústria**

**Cidades:** Ao mesmo tempo em que a relação entre industrialização e urbanização é fundamental para compreender parte dos problemas ambientais urbanos (RIBEIRO, 2008), ela também permite avaliar riscos e vulnerabilidades da indústria associados às mudanças climáticas. Segundo Tominaga et al. (2009), o processo de rápida urbanização no Brasil, atrelado à industrialização, provocou o crescimento desordenado de cidades em áreas com características geológicas e geomorfológicas desfavoráveis, o que pode ocasionar grandes perdas econômicas e sociais quando se associam escorregamentos e inundações à ocupação inadequada.

**Quadro 4.7.1 - Exemplo de impactos que podem afetar direta ou indiretamente o setor industrial brasileiro (processo migratório no nordeste: cenários A2 e B2 do IPCC)**

Moraes e Ferreira Filho (2010) desenvolveram um estudo estimando o saldo migratório em função dos impactos das mudanças climáticas na região nordeste. Esse estudo foi baseado nos cenários A2 e B2 do IPCC adaptados para as condições brasileiras e projeções entre 2030 e 2050.

No período considerado, o cenário B2 não indica um processo drástico de redistribuição populacional, no entanto, para o cenário A2 os processos migratórios seriam muito significativos. Os resultados do estudo mostram que no período 2035-2050, a migração nordestina seria de aproximadamente 490 mil pessoas para o cenário A2.

Os cenários para o nordeste de migração populacional projetados para 2050 indicam que mudanças na estrutura demográfica poderão ser fundamentais na definição das condições de vulnerabilidades socioeconômicas. A previsão de escassez hídrica e de alimentos mostra que os impactos das mudanças serão mais intensos na região Nordeste.

O contexto do estudo realizado por Moraes e Ferreira Filho (2010) permite uma associação entre o processo migratório previsto para a região nordeste impactando direta e/ou indiretamente o setor industrial brasileiro, seja pela disponibilidade de mão de obra, seja pelo acesso a mercados.

**Transporte, energia e telecomunicações:** O parque industrial brasileiro que se concentra nos estados das regiões Centro-Sul, passou por um processo de dispersão nos últimos quinze anos, acompanhando a expansão dos setores de infraestrutura de transporte, energia e comunicações, porém sem atingir uma escala significativa, segundo Lemos et al.(2009). Este processo foi percebido em outros locais, como na cidade de Manaus (AM) por meio da Zona Franca, que motivou o desenvolvimento de um importante polo montador de bens de consumo eletrônicos. Todos os impactos e vulnerabilidades identificados nas seções dos respectivos temas, conseqüentemente, apresentam riscos para os subsetores da indústria que são atendidos por essa infraestrutura.

**Água, agricultura e biodiversidade:** O setor industrial depende diretamente de recursos hídricos, florestas plantadas, biodiversidade, disponibilidade de energia e da regularidade climática. Impactos na biodiversidade, por exemplo, podem afetar diretamente o fornecimento de matéria-prima para a indústria de transformação (IPEA, 2011). A Tabela 4.7.1 sintetiza os impactos potenciais sobre a agroindústria.

**Tabela 4.7.1 - exemplos de impactos das mudanças climáticas na agroindústria**

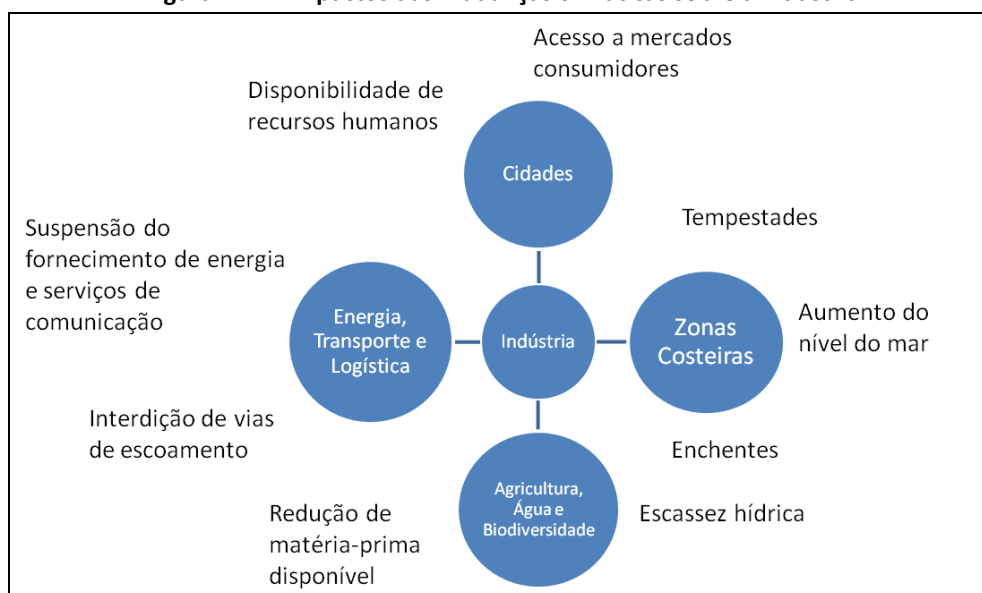
Fenômeno	Impactos sobre a Agricultura	Impactos sobre Recursos Hídricos
Ocorrência de dias e noites frias com menor frequência e dias e noites quentes com maior frequência	Aumento na produção em ambientes mais frios	Efeitos em recursos hídricos decorrentes do derretimento da neve; aumento da taxa de evapotranspiração em florestas
Aquecimento e ondas de calor: aumento de frequência, na maioria das áreas terrestres.	Produção (safra) reduzida em regiões quentes devido ao estresse térmico	Aumento na demanda de água; deterioração da qualidade da água
Eventos extremos de precipitação	Danos às lavouras; erosão do solo; impossibilidade de cultivar a terra devido ao encharcamento do solo	Efeitos adversos sobre a qualidade de águas superficiais e do subsolo; contaminação da água usada no abastecimento da população

<p>Maior incidência de elevações extremas do nível do mar</p>	<p>Salinização da água usada para irrigação</p>	<p>Diminuição da disponibilidade de água doce devido à intrusão de água salgada em áreas continentais</p>
---	---	---

Fonte: Adaptado de IPCC (2007)

A associação das vulnerabilidades da indústria diante das mudanças climáticas com as de outros temas abordados é ilustrada na Figura 4.12.

**Figura 4.12 - Impactos das mudanças climáticas sobre a indústria**



Fonte: Elaboração própria

- **Agravamento dos impactos ambientais da indústria**

O agravamento dos impactos ambientais da indústria é a vulnerabilidade mais destacada pelo PBMC (2013), devendo ser um fator adicional para que planejadores envolvidos na operação e expansão de instalações industriais tomem ciência dos riscos trazidos pelas mudanças climáticas.

Historicamente, a indústria tem sido alvo de críticas acerca dos impactos que causa ao meio ambiente, o que representa uma ameaça à reputação das organizações envolvidas. No que tange à adaptação, ressalta-se que vazamentos de substâncias tóxicas e poluição atmosférica, por exemplo, podem ter seus efeitos agravados por inundações e ventos fortes, respectivamente. A possível coincidência de chuvas intensas e enchentes com vazamentos localizados de substâncias como amônia, benzeno, cobre, chumbo, cromo e níquel, pode levar à contaminação de lençóis freáticos.

Portanto, não se trata apenas de identificar vulnerabilidades imediatas. A combinação de efeitos das mudanças climáticas com processos e condições ambientais já estabelecidos pode acentuar os impactos negativos da indústria sobre o meio ambiente.

A descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados nesta seção estão baseadas nas informações compiladas no RAN 1 do PBMC, sendo que as principais conclusões sobre o tema indústria estão listadas no Quadro 4.7.2.

#### Quadro 4.7.2 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema indústria

Embora dê excessiva ênfase aos impactos ambientais causados pela atividade industrial, o capítulo referente ao tema indústria do PBMC busca apontar também impactos que a indústria pode sofrer com as mudanças climáticas, ressaltando sua vulnerabilidade no que diz respeito a sua localização em áreas de riscos como as zonas costeiras, áreas sujeitas às inundações e deslizamentos de terra. Outros destaques sobre vulnerabilidades da indústria do relatório são apresentados abaixo:

- Na orla marítima brasileira, as indústrias estão vulneráveis a ressaca ou maré de tempestade (*storm surge*), ou seja, elevação do nível do mar devido à ocorrência de tempestades associadas a ventos fortes;
- Existem muitos problemas quanto ao monitoramento de eventos climáticos. Neves e Muehe (2008) apontam que não é possível ter confiabilidade nos registros existentes devido a estações meteorológicas deficientes, falta de padrão nas medições atmosféricas, além de dificuldades para a análise da erosão costeira e aumento do nível do mar no litoral brasileiro.
- Apesar de causarem danos, as ressacas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil são objeto de poucos estudos, segundo Innocentini e Arantes (2001). Já nas regiões Sul e Sudeste, de acordo com Calliari et al. (2000) a sobre-elevação do nível do mar agrava o potencial de erosão das ondas de tempestade, podendo levar à danos ou até mesmo destruição de propriedades e infraestruturas urbanas da zona costeira.
- Os impactos causados por desastres industriais podem ser devastadores quando combinados à falta de medidas adaptativas. Desta forma, são necessários estudos integrados do clima e das instalações industriais.

#### 4.7.2 Principais indicadores identificados

A escassez de estudos voltados à identificação de impactos das mudanças climáticas sobre a indústria se reflete na ausência de indicadores específicos para o setor. Entretanto, considerando as relações do setor com os temas analisados nas demais seções, é possível listar alguns indicadores úteis ao planejamento do setor industrial, seja na prevenção de desastres, seja para a expansão de suas atividades. Os principais indicadores de impactos e vulnerabilidades frente às mudanças climáticas na indústria estão descritos no Quadro 4.7.3.

#### Quadro 4.7.3 - Indicadores relacionados aos impactos das mudanças climáticas e vulnerabilidades para a indústria

- Vazão natural afluyente dos rios
- Número de enchentes e inundações
- Número de interrupções no fornecimento de energia elétrica devido a eventos climáticos
- Níveis de irradiação solar incidente
- Demanda por água
- Disponibilidade total e sazonal de água
- Períodos de seca
- Intensidade, duração, direção e velocidade do vento
- Formação e intensidade das ondas
- Área agricultável
- Área ocupada pela expansão industrial em áreas vulneráveis

#### 4.7.3 Medidas de adaptação identificadas

Neste estudo não foram encontradas medidas de adaptação aplicadas exclusivamente para o setor industrial, porém recomenda-se avaliar as ações mencionadas nos capítulos referentes aos temas com que a indústria se relaciona. Exemplos de medidas que beneficiariam o setor industrial são o mapeamento de zonas de riscos no litoral brasileiro, além do monitoramento

hidrológico realizado por órgãos como o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) e a Agência Nacional de Águas (ANA).

É possível também apontar iniciativas que surgem do setor privado. Um estudo desenvolvido pela Vale para identificar os potenciais riscos operacionais nas atividades da empresa nos estados do Pará e Maranhão, por exemplo, é mencionado no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação à Mudança do Clima na Mineração. A empresa possui uma política de mitigação e adaptação às mudanças climáticas (POL-0012-G)<sup>86</sup> que tem como um de seus compromissos a participação, com governos, sociedade civil e demais setores de atuação, “no esforço de compreensão dos impactos das mudanças climáticas e das respectivas ações de adaptação”. Embora não envolva medidas de adaptação concretamente, trata-se de um passo importante para que os riscos climáticos sejam incorporados às decisões de operação e expansão da indústria.

#### 4.7.4 Principais atores, projetos e modelos

Devido à relevância do setor industrial nas emissões totais de GEE no Brasil, as ações de mitigação têm recebido muito mais atenção do que as ações de adaptação. Os principais atores envolvidos com mudanças climáticas, entre eles a COPPE/UFRJ e a Rede de Mudanças Climáticas da Confederação Nacional da Indústria (CNI), têm desenvolvido atividades e trabalhos com enfoque em mitigação e não adaptação às mudanças climáticas.

De todo modo, organizações que já estão envolvidas em discussões acerca das mudanças climáticas podem ser indicadas como potenciais atores para fomentar o debate acerca da necessidade de adaptação do setor produtivo às mudanças climáticas. Nesse sentido, é possível adicionar outros atores relevantes:

- **Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS):** A entidade visa ser um fórum para que empresas compreendam seu papel no contexto das mudanças climáticas, com o objetivo de auxiliá-las no desenvolvimento de estratégias que aproveitem oportunidades e minimizem riscos.
- **Plataforma Empresas pelo Clima:** Adaptação é um dos temas trabalhados pela iniciativa, coordenada pelo GVces (FGV/EAESP), cujo objetivo é mobilizar, sensibilizar e articular lideranças empresariais para a gestão e redução das emissões de GEE, a gestão de riscos climáticos e a proposição de políticas públicas no contexto das mudanças climáticas.
- **Fórum Clima:** O Fórum Clima é um projeto do Instituto Ethos que tem por objetivo acompanhar os compromissos das empresas e realizar um diálogo entre o governo e o setor empresarial para que as políticas de enfrentamento às mudanças climáticas possam atingir os melhores resultados.

Embora não aborde especificamente o tema adaptação à mudança climática, o setor já conta com um Plano Setorial de Mitigação da Mudança Climática para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação (Plano Indústria), que

---

<sup>86</sup> A política está disponível em:

<http://www.vale.com/PT/aboutvale/sustainability/links/LinksDownloadsDocuments/politica-de-mitigacao-e-adaptacao-as-mudancas-climaticas.pdf>

pode ser um instrumento de política pública voltada exclusivamente para a adaptação da indústria às mudanças climáticas.

A escassez de estudos e iniciativas voltados à geração de dados sobre os impactos e vulnerabilidades do setor industrial no país reflete, em parte, o potencial de contribuição do setor para a mitigação, deixando os riscos climáticos e a adaptação em segundo plano. Novamente, os cenários climáticos utilizados por outros temas devem servir de base para os impactos das mudanças climáticas no setor industrial brasileiro, por exemplo, o modelo PRECIS (*Providing Regional Climates for Impact Studies*) e o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-INPE).

#### 4.7.5 Lacunas identificadas

- **Ausência de estudos voltados à identificação de impactos, vulnerabilidades e oportunidades específicos em subsetores industriais:** Cada segmento da indústria está particularmente suscetível às mudanças climáticas, a depender de sua localização geográfica e das relações de dependência que mantém com outros setores da economia. É importante que sejam consideradas não só vulnerabilidades, mas também oportunidades decorrentes das mudanças climáticas para o desenvolvimento da indústria (inovação em materiais mais resistentes ao calor ou à água frente às previsões de intensificação de chuvas e ondas de calor, por exemplo).
- **Falta de mapeamento de áreas de risco e planos de prevenção:** Verificou-se a ausência de mapeamento das áreas de riscos em zonas urbanas e industriais integradas. Os mapeamentos das concentrações industriais e dos aspectos do meio físico são essenciais para que análises climáticas mais adequadas sejam realizadas.
- **Medidas de adaptação:** O Plano Indústria não aborda especificamente o tema adaptação à mudança climática, nem identifica riscos, impactos e vulnerabilidades para o setor.
- **Falta de dados de boa qualidade sobre clima e sobre os impactos ambientais:** A criação de um banco de dados com informações sobre os impactos ambientais provocados pelo setor industrial poderia contribuir para a compreensão dos impactos que este enfrentará com as mudanças climáticas.
- **Limitação de *downscaling* para as projeções climáticas:** Não há *downscaling* (menor escala e maior resolução) para as projeções existentes, o que permitiria uma avaliação mais precisa das vulnerabilidades nas regiões que concentram a atividade industrial no País.

#### 4.7.6 Sistematização das informações para o setor Indústria

As metodologias para sistematização das informações sobre impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação para o setor Indústria são as mesmas descritas no item 4.1.7 desse relatório.

A seguir é apresentada a sistematização dessas informações para o setor Indústria (Quadro 4.7.4).

**Quadro 4.7.4 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o setor Indústria**

VULNERABILIDADE
Sistema Vulnerável
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maioria dos parques industriais brasileiros se encontra em planícies fluviais e costeiras e é, portanto, suscetível a riscos de desastres causados por eventos climáticos extremos.</li> <li>• A elevação do nível do mar, associada a tempestades e ventos, deverá aumentar os riscos de enchentes e inundações nas zonas costeiras em todo o mundo, ameaçando direta e indiretamente os parques industriais instalados nestas áreas. Ressacas associadas à passagem de frentes frias e ciclones extratropicais podem causar danos a instalações da zona litorânea do Norte ao Sul do País. Já a interação de precipitação pesada com a topografia podem implicar escorregamentos ou deslizamentos de terra, causando perdas econômicas à indústria.</li> </ul>
Perigos (fatores de estresse)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diretamente: eventos climáticos extremos, elevação do nível do mar e eventos correlacionados.</li> <li>• Indiretamente: fatores de estresse que afetam sistemas interdependentes (fornecedores, prestadores de serviços e consumidores).</li> </ul>
Atributo(s) valorizado(s) ou variáveis de interesse
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indústria de transformação;</li> <li>• Indústria extrativa mineral;</li> <li>• Serviços industriais de utilidade pública.</li> </ul>
Horizonte temporal
Horizontes temporais não foram incluídos em avaliações de vulnerabilidades abordadas neste trabalho.
IMPACTO
Efeitos decorrentes das mudanças climáticas
<p><b>Impactos biofísicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Escassez de matéria prima: impactos na biodiversidade, agricultura e no fornecimento de água podem afetar diretamente o fornecimento de matéria-prima para a indústria de transformação.</li> </ul> <p><b>Impactos socioeconômicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Encarecimento de matéria prima e danos materiais (infraestrutura industrial);</li> <li>• Processo de urbanização desordenado atrelado à industrialização em áreas de risco pode causar perdas econômicas à indústria;</li> <li>• Interdição de vias de escoamento, suspensão do fornecimento de energia e de vias de comunicação podem causar perdas econômicas à indústria.</li> </ul>
Indicadores de ocorrência e/ou magnitude de impactos e vulnerabilidade
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vazão natural afluente dos rios;</li> <li>• Número de enchentes e inundações;</li> <li>• Número de interrupções no fornecimento de energia elétrica devido a eventos climáticos;</li> <li>• Níveis de irradiação solar incidente;</li> <li>• Demanda por água;</li> <li>• Disponibilidade total e sazonal de água;</li> </ul>



- Períodos de seca;
- Intensidade, duração, direção e velocidade do vento;
- Formação e intensidade das ondas;
- Área agricultável;
- Área ocupada pela expansão industrial em áreas vulneráveis<sup>87</sup>.

#### ADAPTAÇÃO

##### Medidas de adaptação

Neste estudo não foram encontradas medidas de adaptação aplicadas exclusivamente para o setor industrial.

##### Indicadores relacionados a medidas de adaptação

Publicações de estudos voltados ao conhecimento das vulnerabilidades, impactos e medidas de adaptação do setor industrial no Brasil.

---

<sup>87</sup> Indicador de vulnerabilidade do setor industrial.

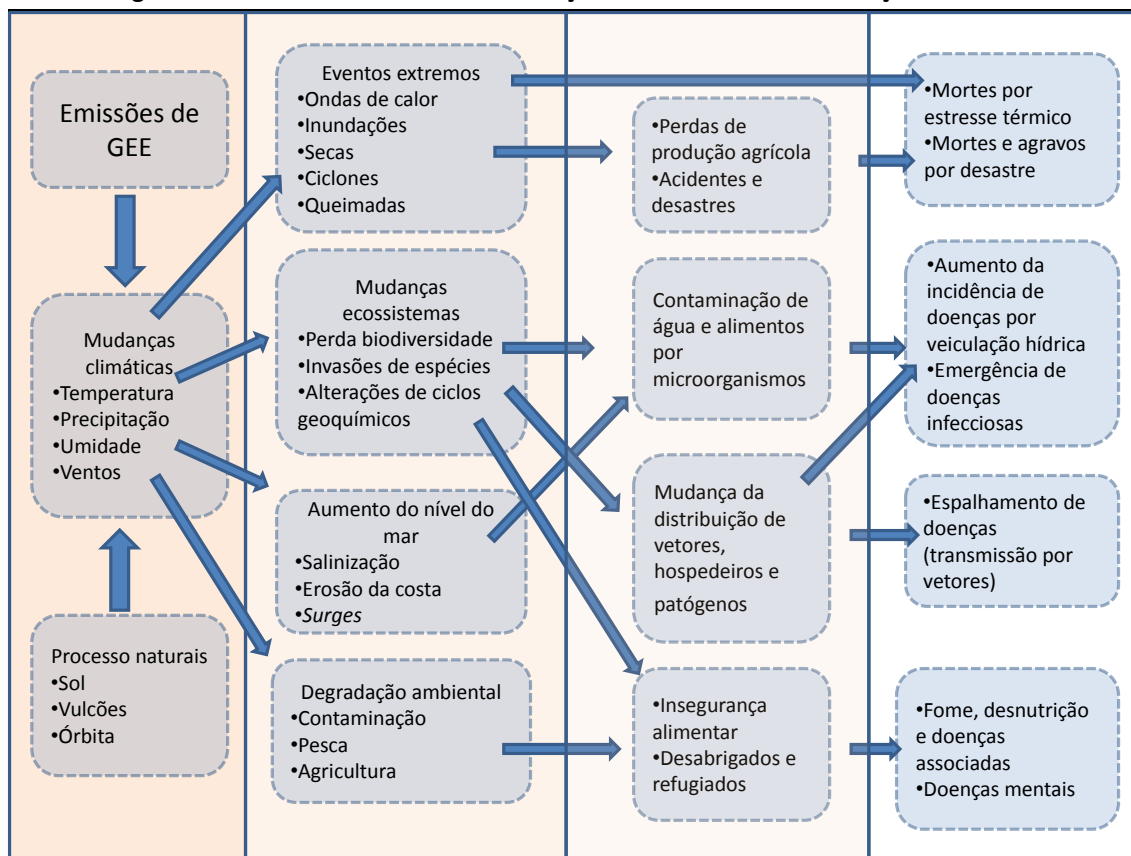
## 4.8 SAÚDE

As mudanças climáticas globais originarão novos e diferenciados arranjos espaciais na superfície do planeta e na vida humana (MENDONÇA, 2003), sendo um dos efeitos projetados mais drásticos a quantidade de doenças, que serão potencializadas com essas variações. Nesse sentido, é essencial, entre outros problemas, estudar o efeito das variações do clima em relação à disseminação de doenças sobre a população para que medidas preventivas, adaptativas e mitigatórias sejam planejadas (FBMC, 2011).

Muitos dos efeitos do aquecimento global sobre a saúde dar-se-ão em longo prazo, contrastando com aqueles decorrentes de episódios climáticos extremos que se manifestam a curto e curtíssimo prazo. Neste particular, é preciso notar que há uma interação direta entre os impactos de fenômenos de ordem natural e as condições socioeconômico-tecnológicas das diversas sociedades humanas: as populações menos aquinhoadas encontram-se mais expostas aos riscos e, portanto, são mais vulneráveis do que aquelas dos países ricos e desenvolvidos (MENDONÇA, 2003).

As mudanças climáticas podem produzir impactos sobre a saúde humana por diferentes vias. Por um lado impacta de forma direta, como no caso das ondas de calor, ou mortes causadas por outros eventos extremos como furacões e inundações. Entretanto, muitas vezes, esse impacto é indireto, sendo mediado por alterações no ambiente, como a alteração de ecossistemas e de ciclos biogeoquímicos, que podem aumentar a incidência não só de doenças infecciosas, mas também de doenças não-transmissíveis, que incluem a desnutrição e doenças mentais (FIOCRUZ, 2011). A Figura 4.13 retrata de forma simplificada as interações entre clima e saúde. Outro tipo de impacto indireto na saúde diz respeito aos cenários socioeconômicos vigentes e projetados, principalmente relacionados à demografia, migração, segurança alimentar e biodiversidade.

**Figura 4.13 - Possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre as condições de saúde**



Fonte: Adaptado de MCMICHAEL; WOODRUFF; HALES, 2006 apud BRASIL, 2008

Em relação aos impactos futuros das mudanças climáticas na saúde em todo o mundo, espera-se que estes fenômenos venham a ser um estresse adicional sobre situações problema já existentes. Previsões indicam que poderá aumentar a intensidade de eventos climáticos extremos, podendo, por exemplo, aumentar sua frequência e duração, o número de pessoas afetadas, a gravidade dos impactos, ou ampliar a sua distribuição no espaço geográfico (CONFALONIERI e MARINHO, 2007).

Os registros epidemiológicos existentes sobre as relações entre clima e saúde pública no país referem-se, muitas vezes, a observações de impactos da variabilidade natural do clima e não à mudança climática global. A maior parte destes estudos refere-se a influências climáticas sobre a ocorrência de doenças infecciosas e parasitárias, bem como sua variação no tempo e no espaço. Há também registros de morbimortalidade devido a eventos climáticos extremos, especialmente, a chuvas fortes, seguidas ou não de inundações (CONFALONIERI e MARINHO, 2007).

**Quadro 4.8.1 - Mudanças climáticas e poluição atmosférica**

Embora seja comum tratar de poluição atmosférica e mudanças climáticas separadamente, é importante compreender a interação entre as duas questões ambientais. Conforme destacado pelo próprio Plano Setorial da Saúde para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima, alterações na variação de temperatura, umidade e no regime pluviométrico podem aumentar o risco de incêndios florestais, em

decorrência de estiagens extremas e o aumento da poluição atmosférica pode levar ao aumento de doenças respiratórias e cardiovasculares.

Além disso, as condições atmosféricas podem influenciar o transporte de microorganismos, assim como de poluentes emitidos por fontes fixas e móveis. As características físico-químicas dos poluentes definem seu tempo de permanência na atmosfera, sendo que temperaturas elevadas e baixa umidade favorecem seu transporte a longas distâncias. A alteração da direção e intensidade das correntes aéreas afetam a dispersão e as condições de exposição a poluentes atmosféricos, podendo produzir impactos sobre a saúde de populações distantes das fontes geradoras (BRASIL, 2008). Por fim, episódios de inversão térmica (alteração climática) podem exacerbar os efeitos da poluição sobre a saúde da população. Pelos motivos expostos, a interação entre poluição e clima também deve ser considerada como fator de risco para a saúde.

#### 4.8.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados

A fim de identificar os principais impactos e vulnerabilidades do setor saúde frente às mudanças climáticas, foram selecionados estudos elaborados por diversas instituições de renome no país. As informações que serão apresentadas nesta seção dizem respeito, principalmente, às publicações da FIOCRUZ, trabalhos científicos sobre o tema no âmbito da sub-rede Saúde da Rede Clima, resultados do INCT – Mudanças Climáticas, análises do CEDEPLAR, dados climáticos e análises do CCST/INPE e publicações da USP. Importante salientar que existem outros trabalhos no tema de instituições de igual importância para o conhecimento científico no país, mas estes adotam uma abordagem mais localizada.

Os trabalhos têm o objetivo de auxiliar no entendimento da relação entre clima e saúde, bem como atenuar os efeitos negativos dessa relação. Esses trabalhos utilizam dados ambientais, climáticos, epidemiológicos, socioeconômicos e de saúde pública.

##### Quadro 4.8.2 - Horizontes temporais utilizados

O estudo “Mudanças Climáticas, Migrações e Saúde: Cenários para o Nordeste Brasileiro, 2000-2050”, elaborado pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e FIOCRUZ (2008), utilizou os seguintes horizontes temporais: ano base 2000 e projeções para 2050. Já o estudo “Mapa de vulnerabilidade da população do estado do Rio de Janeiro aos impactos das mudanças climáticas nas áreas social, saúde e ambiente” elaborado pela Fiocruz (2011) considerou o período 2010-2040. Cabe ressaltar que grande parte dos estudos que relacionam clima e saúde utiliza dados ambientais, climáticos, epidemiológicos, socioeconômicos e/ou de saúde pública que possibilitam alertar e acompanhar situações de emergência na saúde geradas por eventos climáticos para o período de elaboração do estudo (horizonte temporal presente com dados do passado).

Os resultados dos estudos selecionados foram classificados por sua abrangência. A seguir são apresentados os resultados dos principais estudos sobre clima e saúde com **abrangência nacional**:

- **Doenças de veiculação hídrica, as transmitidas por vetores e as respiratórias:** o trabalho de Barcellos et al. (2009) verificou que os principais grupos de doenças que podem ser afetados pelas mudanças climáticas são as doenças de veiculação hídrica, as transmitidas por vetores e as respiratórias. No entanto, os riscos associados às mudanças climáticas globais não podem ser avaliados sem considerar o contexto da globalização, mudanças ambientais e precarização de sistemas de governo. Outro estudo sobre o impacto das mudanças climáticas sobre a distribuição de vetores de leishmaniose no Brasil mostra aumento no potencial de distribuição de *Lutzomyia*

*whitmani* (vetor) no Sudeste do Brasil (PETERSON e SHAW, 2003). Isso porque as maiores temperaturas e umidade favorecem a propagação do vetor.

- **Doenças Respiratórias – Afecções das Vias Aéreas Inferiores (AVAI):** no Brasil, alguns trabalhos mais específicos foram feitos utilizando modelagem estatística para estimar risco de internações a partir de variáveis meteorológicas. Os resultados permitem estimar cenários para extremos de temperatura e umidade. Na Tabela 4.8.1, estão descritas as capitais brasileiras e as estimativas de risco relativo a partir de variação de temperatura. O estudo fornece ferramentas para prevenção de eventos extremos a partir de informações de previsão de tempo, desta forma contribuindo para a tomada de decisões por parte dos órgãos públicos (COELHO-ZANOTTI, 2010). De acordo com a Tabela 4.8.1, a cada variação de 4 graus de temperatura pode-se estimar o risco relativo de internações nas capitais brasileiras descritas. Nota-se que, para grande parte das capitais brasileiras, o decréscimo de temperatura provoca um aumento no risco de internações por doenças respiratórias. As cidades de Fortaleza, Belém e Manaus, no entanto, mostram um padrão diferente, sugerindo que estas cidades não são impactadas pelas variações de temperatura. Este resultado sugere que outros fatores sejam responsáveis pelo aumento das internações por doenças respiratórias.

**Tabela 4.8.1 - Risco Relativo (RR) de internações hospitalares por doenças respiratórias (asma e bronquite) a partir da variação de Temperatura do ar. IC<sub>95%</sub> (+0,99 a -0,99)**

Cidades	Variação de temperatura (°C)				
	Δ1 (20 – 16)	Δ2 (16 – 12)	Δ3 (12 – 8)	Δ4 (8 – 4)	Δ5 (4 – 0)
Porto Alegre	0.61	0.67	0.74	0.82	0.91
Florianópolis	0.58	0.65	0.72	0.81	0.90
Curitiba	0.74	0.74	0.74	0.82	0.91
São Paulo	0.74	0.79	0.84	0.89	0.94
Vitória	0.82	0.85	0.89	0.92	0.96
Belo Horizonte	0.70	0.75	0.81	0.87	0.93
Goiânia	0.71	0.76	0.82	0.87	0.93
Brasília	0.60	0.66	0.73	0.81	0.90
Salvador	0.61	0.67	0.74	0.82	0.91
São Luiz	0.17	0.24	0.34	0.49	0.70
Fortaleza	1.08	1.07	1.05	1.03	1.02
Belém	1.79	1.59	1.42	1.26	1.12
Manaus	2.46	2.05	1.72	1.43	1.2
Palmas	0.71	0.76	0.82	0.87	0.93

\*Ajuste pela sazonalidade de longa e curta duração, dias da semana, feriados e estação do ano.

Fonte: COELHO-ZANOTTI & SALDIVA, 2011

**Doenças veiculadas por vetores – dengue:** o Índice de Breteau (IB) é um valor numérico que define a quantidade de insetos em fase de desenvolvimento encontrada nas habitações humanas pela quantidade de total vistoriada. Este índice é utilizado no Brasil para a determinação de infestação do mosquito da dengue. A distribuição de IB é semelhante à distribuição das chuvas no País, sugerindo uma relação importante entre precipitação e transmissão de dengue (SILVA et al., 2008). Os estudos mostram resultados segmentados por região:

- Região Norte:** apresentou núcleos com valores elevados do IB no verão e outono. No norte de Rondônia, noroeste do Pará e sudoeste do Amazonas/Acre,

onde o período chuvoso da região é compreendido entre Novembro e Março, com período de seca entre Maio e Setembro, o IB apresenta altos valores durante todo o ano (FIGUEROA E NOBRE, 1990). Há regiões na fronteira entre Brasil e Peru, Colômbia e Venezuela em que o total anual atinge 3500 mm (MARENGO, 1995). Nestas regiões não existe período de seca e os elevados valores de precipitação próximos à Cordilheira dos Andes, explicam a persistência dos altos valores de IB observado no sudoeste da Amazônia brasileira. A temperatura mostra pequena amplitude, com valores médios entre 24 e 26 °C, condição ideal para vida do mosquito.

- b) Nordeste:** na época do verão e do outono toda a região apresenta valores significativos do IB (período de chuvas convectivas do semiárido). A faixa litorânea da região é favorecida por fatores de grande escala como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (COELHO, 2002), frentes frias e de sistemas de mesoescala<sup>88</sup>. A alta incidência do IB no inverno na costa leste é associada às ondas de leste (YAMAZAKI, 1975). Há um enfraquecimento do IB na faixa litorânea apenas na primavera, época mais seca do Nordeste.
- c) Centro-Oeste e Sudeste:** verificam-se núcleos com significativos níveis de IB (altos valores de IB) no sul de Mato Grosso, norte do Mato Grosso do Sul e Noroeste de Minas Gerais e São Paulo na época do verão. Este é o período mais chuvoso destas regiões, com maior atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (ROCHA e GANDÚ, 1996). Em Minas Gerais e São Paulo, são observadas áreas isoladas onde o IB persiste em níveis elevados até o inverno.
- d) Região Sul:** não mostrou estar sujeita a altas taxas do IB, pois o mosquito da dengue não sobrevive a temperaturas abaixo de 16°C. A transmissão ocorre preferencialmente em temperaturas superiores a 20°C e a temperatura ideal para proliferação é em torno de 30 a 32 °C (SUCEN, 2004). Segundo Marengo et al. (2007), a Região sul do Brasil apresenta uma redução na frequência de dias frios, ou seja, indicando que a região está ficando mais aquecida, desta forma, tornando-se um ambiente favorável para o vetor da dengue. Esta alteração no clima da Região explica possivelmente os casos de dengue autóctone<sup>89</sup> já observados no sul do País (MENDONÇA, 2005).

A seguir são apresentados os resultados dos principais estudos sobre clima e saúde com **abrangência regional**:

- **Região Sudeste:** estudos para a cidade de São Paulo mostram que:
  - i. As doenças respiratórias podem ser influenciadas pelos poluentes PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, temperatura e umidade mínimas. Estas variáveis juntas explicam 71,5% do processo. Para doenças cardiovasculares, além dos poluentes acima citados o NO<sub>2</sub> também participa do processo e a temperatura máxima e umidade mínima são as variáveis meteorológicas que compõe o índice. Todas as variáveis juntas explicam 74.4% do processo (COELHO-ZANOTTI E SALDIVA, 2011).

---

<sup>88</sup> Brisa marítima, linhas de instabilidade e Sistemas Convectivos de Mesoescala.

<sup>89</sup> Significa que a doença é natural da região ou do território em que habita.

- ii. Também foi verificado acréscimo de internação de 0,26% para 0,64% quando a umidade diminui de 100% para 10% (COELHO-ZANOTTI et al., 2011). Apesar de parecer um valor pequeno, cabe frisar que este resultado é independente de outros fatores, como a poluição. Desta forma, os resultados sugerem que eventos meteorológicos extremos contribuíram para as mortes de idosos por doenças cardiovasculares na cidade.
  - iii. Análises de séries históricas de temperatura em São Paulo indicaram que seus habitantes têm enfrentado mais calor no mês de abril, ao passo que para o mês de maio, o aquecimento é mais suave. Antes das alterações climáticas na cidade, este contraste de temperatura era mais suave, visto que o mês de abril não estava tão “quente” como atualmente. Esta é uma evidência do impacto da alteração climática local refletido na alteração do padrão da temperatura da cidade (XAVIER, 2008). Como consequência na saúde da população, observou-se um pico de internação por Afecções das Vias Aérea Superiores (AVAS) em maio, possivelmente devido ao problema de termo-regulação em indivíduos adaptados ao clima/tempo mais ameno de abril, antes da mudança no clima (GONÇALVES E COELHO-ZANOTTI, 2010).
  - iv. Enchentes de verão têm importantes implicações sobre os sistemas de saúde. Além de contribuir para o caos urbano, perdas de produtividade e prejuízos econômicos, após duas semanas de exposição à água contaminada de uma enchente, os moradores de São Paulo ainda correm risco de adoecer por leptospirose. Segundo estudo feito por Coelho-Zanotti e Massad (2012), é possível que uma chuva de 100 mm ocorrida em um determinado dia, depois de 14 dias, implique em acréscimo de aproximadamente 150% nas internações por Leptospirose. O estudo mostrou que os meses de primavera e verão são os mais propícios para a ocorrência de leptospirose, sendo que o mês de fevereiro historicamente apresentou maior número de internações.
- **Região Norte:** resultados publicados pela Fiocruz em parceria com o subprojeto Amazônia do INCT para Mudanças Climáticas destacam efeitos, tanto diretos quanto indiretos, de partículas em suspensão (aerossóis) emitidas por queimadas nas florestas<sup>90</sup> tanto no clima (afetando o ciclo hidrológico) quanto na saúde da população local (aumentando doenças respiratórias). Mais ainda, os resultados indicam que parte desse material particulado pode estar sendo transportado para as regiões sul e sudeste do Brasil. Um dos principais destaques do subprojeto foi a avaliação do risco toxicológico do material particulado (PM) emitido por queimadas na Amazônia para grupos vulneráveis expostos para cenários de seca e chuva e sua associação às doenças respiratórias. A pesquisa evidenciou que somente a concentração do PM não é suficiente para representar a magnitude do efeito para a saúde humana. Esta informação contribui diretamente para o aprimoramento das práticas de vigilância ambiental das doenças respiratórias. O estudo de Ignotti et al. (2010), que avaliou os impactos na saúde humana de partículas emitidas por queimadas na Amazônia brasileira, concluiu que houve uma correlação positiva entre o indicador de exposição a material particulado proveniente de queimadas e taxa de hospitalização, sendo que

---

<sup>90</sup> As queimadas florestais são consideradas desastres naturais, quando causadas por eventos climáticos extremos, conforme apontado no Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2012 do Ministério da Integração Nacional.

para cada ponto percentual de aumento no indicador de exposição, houve aumento de 10% na taxa de hospitalização de idosos, 8% em internações de crianças, e 5% para a faixa etária intermediária. O indicador de poluição atmosférica mostrou associação com a ocorrência de doenças respiratórias, em especial nos grupos etários mais vulneráveis da Amazônia brasileira, podendo ser utilizado na abordagem dos efeitos da queima das florestas na saúde humana.

- **Região Sul:** foram avaliados, principalmente pela Fiocruz, os impactos de eventos climáticos extremos sobre a saúde. O caso das enchentes em Santa Catarina em 2008 mostrou que as notícias na mídia podem ser usadas para a recuperação de dados sobre estes impactos. No entanto, diversos agravos à saúde podem manifestar-se meses após o evento e por causas indiretas (devido à mudança na qualidade da água, do ar e dos alimentos), o que evidencia a necessidade de acompanhamento a longo prazo dos efeitos dos desastres.
- **Região Nordeste:** estudos da Fiocruz e Cedeplar (2008) e que utilizaram os modelos climáticos do INPE (MARENGO et al., 2012) evidenciaram:
  - i) Maior suscetibilidade ao surgimento de casos de desnutrição infantil no Maranhão e de mortalidade infantil por diarreia no Maranhão, em Alagoas e em Sergipe. Entre 2030 e 2050, os modelos mostraram aumento significativo (até 24%) na taxa de migração das áreas mais carentes para os grandes centros urbanos do Nordeste e de outras regiões em decorrência do aumento de temperatura/mudanças climáticas. Maior suscetibilidade à ocorrência de esquistossomose na Bahia, de leishmaniose tegumentar no Maranhão, de leishmaniose visceral no Maranhão e no Ceará, de leptospirose no Ceará e em Pernambuco, doença de Chagas em Sergipe.
  - ii) O número de pessoas com mais de 65 anos aumentará continuamente, passando de 3 milhões em 2005 para 13,5 milhões em 2050; relativamente esse valor representa que a proporção de idosos triplicará, passando de 6% para 19% da população. Uma das consequências dessa alteração do perfil populacional é o aumento da frequência de doenças crônico-degenerativas e dos gastos com internações hospitalares e atendimento ambulatorial para tratá-las. A estimativa é que, até 2040, esses gastos cresçam aceleradamente em todo o Nordeste. Em 2040, a despesa pública com saúde alcançará na região R\$ 4,35 bilhões – isto é, será R\$ 1,43 bilhão maior do que os gastos de 2005. As projeções indicam ainda um crescimento relativamente mais rápido dos gastos com internações hospitalares nas regiões metropolitanas. Impactos das mudanças climáticas, como ondas de calor, são um agravante nesse cenário, uma vez que tendem a afetar a população idosa de forma mais intensa.
  - iii) Com um clima mais quente e seco, quem não tiver condições econômicas de deixar suas terras terá de conviver com o provável aumento da desnutrição e das doenças associadas à falta de água tratada, como a esquistossomose e a leptospirose, além da mortalidade infantil por diarreia. Já as pessoas com condições econômicas melhores deverão migrar para municípios menos atingidos pelas alterações climáticas e com melhores perspectivas de vida. Essas migrações poderão acarretar problemas de saúde pública tanto no Nordeste como em outras regiões do país. O deslocamento humano pode redistribuir espacialmente focos – ou intensificar a transmissão – de doenças endêmicas como a dengue, a doença de Chagas, a



leishmaniose tegumentar e a leishmaniose visceral. Nos anos 1980 e 1990, por exemplo, secas provocadas pelo fenômeno El Niño forçaram o deslocamento de populações de áreas endêmicas de leishmaniose visceral para os municípios. Na sequência dessas migrações ocorreram surtos dessa enfermidade nas periferias de municípios como São Luís e Teresina. Algo semelhante aconteceu com a malária. Forçados a migrar para o Pará por causa da seca, trabalhadores rurais do Maranhão espalharam focos de malária ao retornar para suas terras de origem.

#### **Quadro 4.8.3 - Vulnerabilidades do Nordeste**

Os estados mais vulneráveis aos efeitos negativos da mudança do clima são Ceará e Pernambuco devido à maior perda de renda, dificuldade de acesso a água, taxas maiores de migração e mais casos de doenças. Em terceiro lugar aparece a Bahia. Medido pelo Índice Geral de Vulnerabilidade (IGV), que vai de 0 a 1, o grau de vulnerabilidade é 1 para o Ceará, 0,89 para Pernambuco e 0,75 para Bahia (mais detalhes sobre o IGV no subitem “Principais indicadores identificados” desse capítulo). Esse quadro deve aumentar os gastos com saúde e assistência social (CEDEPLAR/UFMG E FIOCRUZ, 2008).

#### **Principais informações do RAN 1 do PBMC para o tema Saúde**

A descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificadas na presente seção estão em conformidade com as informações compiladas no RAN 1 do PBMC. As principais conclusões dos autores do PBMC no tema saúde estão listadas no Quadro 4.8.4.

#### **Quadro 4.8.4 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema saúde**

- As alterações climáticas contribuem em larga escala para as secas e inundações que vem ocorrendo com mais frequência na última década e que afetam muito seriamente a produção alimentar, contribuindo assim para um agravamento do estado nutricional das populações de muitos países e muitas vezes ceifando vidas abruptamente nestas catástrofes.
- As comunidades mais pobres podem ser especialmente vulneráveis por se concentrarem em áreas de alto risco, terem menor capacidade adaptativa e por serem mais dependentes de recursos locais sensíveis ao clima. As mudanças climáticas colocam em risco a saúde humana.
- Eventos meteorológicos extremos como temporais, enchentes, ondas de frio e calor e secas tornam-se mais frequentes ano a ano. Os eventos extremos podem ocasionar mortes por desastres naturais, bem como pela ocorrência de doenças, perdas materiais, e representam vulnerabilidade dentro do contexto brasileiro.
- No Brasil as cidades crescem com grande velocidade, contudo sem planejamento urbano, o que implica na falta de condições adequadas de saneamento básico em muitos casos. Os cinturões de pobreza aumentam nas periferias dos grandes centros urbanos e a desigualdade socioeconômica torna os moradores mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas.
- Construções precárias e em áreas de risco, falta de saneamento básico e exposição a doenças são exemplos da vulnerabilidade dos mais pobres aos impactos dos extremos climáticos. Os aglomerados urbanos também sofrem com alterações de perfil climático relacionado às questões locais, como perfis de uso do solo.

### **4.8.2 Principais indicadores identificados**

#### **Indicadores FIOCRUZ**

A FIOCRUZ desenvolveu diversos indicadores para avaliar o impacto climático na saúde. Esses indicadores estão listados de acordo com o seguinte agrupamento: água, ar, vetores e eventos

extremos. Para os três primeiros agrupamentos, há um conjunto de doenças que têm sua disseminação impactada pelo fator de influência correspondente.

Água	Ar	Vetores
Cólera, Esquistossomose, Hepatite A e Leptospirose	Acidente Vascular Encefálico, Asma, Bronquite, Pneumonia, Insuficiência Cardíaca e Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica.	Doença de Chagas, Dengue, Malária e Leishmaniose

Os indicadores, listados abaixo, estão divididos em: saúde, ambiental, clima e socioeconômico. Cabe ressaltar que os indicadores ambientais, de clima e socioeconômicos podem também auxiliar no monitoramento dos riscos e impactos das mudanças climáticas sobre os sistemas de saúde.

#### Quadro 4.8.5 - Indicadores de Água

##### 1. Saúde:

- Taxa de incidência, internação e mortalidade

##### 2. Ambiental:

- Nível do rio (cotas hidrológicas)
- Percentual de sistemas de abastecimento de água sem fluoretação
- Percentual de amostras com presença de coliformes totais
- Percentual de amostras de cloro fora do padrão
- Percentual de sistemas de abastecimento de água sem tratamento
- Percentual de sistemas de abastecimento de água com simples cloração
- Proporção de áreas inundáveis
- Proporção de produção agrícola do tipo alagável

##### 3. Clima:

- Precipitação
- Temperatura máxima, mínima e média
- Umidade relativa do ar

##### 4. Socioeconômico:

- Densidade demográfica
- Municípios abastecidos por curso d'água
- Municípios com abastecimento de água intermitente
- Municípios com coleta sistemática de lixo
- Municípios com esgoto a céu aberto
- Proporção de domicílios com banheiro
- Proporção de homens residentes com mais de 15 anos
- Proporção de populações condenadas (presídios, asilos, orfanatos, hospitais psiquiátricos, quartéis)
- Proporção de responsáveis pelo domicílio com pelo menos o ensino médio completo
- Proporção de responsáveis pelo domicílio que ganham menos de um salário mínimo por mês
- Proporção da população residente em áreas de favela
- Proporção de pessoas acima de 60 anos

#### Quadro 4.8.6 - Indicadores de ar

##### **1. Saúde:**

- Taxa de internação e mortalidade

##### **2. Clima:**

- Precipitação
- Temperatura
- Umidade relativa do ar
- Velocidade do vento
- Concentração de material particulado fino e monóxido de carbono na atmosfera

##### **3. Ambiental:**

- Percentagem de área urbana
- Presença de focos de queimadas
- Proporção de domicílios com arborização no entorno
- Taxa de desmatamento
- Cobertura vegetal e uso da terra
- Volume de extração vegetal de madeira

##### **4. Socioeconômico:**

- Densidade demográfica
- Percentual de população urbana
- Nível de escolaridade
- População total
- Proporção de menores de 5 anos de idade na população
- Proporção de pessoas acima de 60 anos
- Razão de sexos
- População de área rural

#### Quadro 4.8.7 - Indicadores de Vetores

##### 1. Saúde:

- Taxa de incidência, internação e mortalidade

##### 2. Clima:

- Precipitação
- Temperatura
- Pressão atmosférica
- Variabilidade na temperatura dos oceanos
- Umidade relativa do ar

##### 3. Ambiental:

- Cobertura vegetal e uso da terra
- Taxa de desmatamento
- Cobertura de coleta de lixo
- Cobertura de esgotamento sanitário
- Cobertura de redes de abastecimento de água
- Média de extração vegetal por produto de palmeira
- Nível do rio (cotas hidrológica)
- Índice de estado da vegetação (NDVI- *Normalised Difference Vegetation Index*)

##### 4. Socioeconômico:

- Densidade de habitantes por domicílio
- Densidade demográfica
- Percentual de população e área urbana
- Presença de atividades de garimpo
- Presença de focos de queimadas
- Proporção de áreas inundáveis
- Proporção de produção agrícola do tipo alagável
- Volume de extração vegetal de madeira
- Nível de escolaridade
- População total
- Proporção de pessoas acima de 60 anos
- Proporção de pessoas entre 15-18 anos
- Proporção de pessoas entre 18-60 anos
- Proporção de pessoas entre 5-14 anos
- Proporção de responsáveis pelo domicílio com pelo menos o ensino médio completo
- Proporção de responsáveis pelo domicílio que ganham menos de um salário mínimo por mês
- Proporção de domicílios com arborização no entorno
- Proporção de domicílios com valas de esgoto no entorno
- Proporção de domicílios com lixo acumulado em logradouros do entorno
- Proporção de domicílios com logradouros pavimentados
- Razão de sexos
- Renda familiar per capita média
- Taxa de analfabetismo
- Taxa de migração
- População de área rural
- Municípios com abastecimento de água intermitente
- Municípios com coleta sistemática de lixo
- Municípios com esgoto a céu aberto

#### Quadro 4.8.8 - Indicadores de Eventos Extremos: atingidos

#### **1. Saúde:**

- Taxa de internação por traumatismos, afogamentos, quedas
- Proporção de pessoas afetadas
- Proporção de pessoas gravemente feridas
- Proporção de pessoas levemente feridas
- Proporção de pessoas enfermas
- Proporção de pessoas desaparecidas
- Proporção de pessoas deslocadas
- Proporção de pessoas desabrigadas
- Proporção de pessoas desalojadas
- Proporção de gestantes atingidas
- Taxa de mortalidade por exposição as forças da natureza
- Taxa de incidência, internação e mortalidade de hepatite A
- Taxa de incidência, internação e mortalidade de leptospirose
- Taxa de internação e mortalidade por infarto agudo do miocárdio
- Taxa de internação e mortalidade por acidente vascular encefálico

#### **2. Clima:**

- Precipitação
- Temperatura
- Umidade relativa do ar
- Pressão atmosférica
- Velocidade do vento
- Variabilidade na temperatura dos oceanos

#### **3. Ambiental:**

- Nível do rio (cotas hidrológicas)
- Índice de estado da vegetação (NDVI)
- Presença de focos de queimadas
- Proporção de áreas inundáveis
- Cobertura vegetal e uso da terra
- Altitude

#### **4. Socioeconômico:**

- Densidade demográfica
- Percentual de população urbana
- Proporção de menores de 5 anos de idade na população
- Proporção de pessoas acima de 60 anos
- População de área rural
- Proporção da população residente em áreas de favela

Além dos indicadores citados acima, a FIOCRUZ desenvolveu outros indicadores ambientais voltados para a elaboração do Índice de Vulnerabilidade Ambiental descrito no item sobre Biodiversidade. Esses indicadores ambientais são igualmente importantes para a identificação de vulnerabilidades dos sistemas de saúde frente às mudanças climáticas.

#### **Indicadores Cedeplar/UFMG e Fiocruz**

Os indicadores apresentados abaixo foram elaborados a partir dos indicadores da Fiocruz e apresentados no estudo da Cedeplar em parceria com a Fiocruz para a Região Nordeste.

- **Indicador da vulnerabilidade às mudanças climáticas:** Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG). Indica o grau de suscetibilidade de cada Estado aos problemas impostos pelas transformações do clima por meio de valores que vão de 0 a 1 – sendo 0 pouco

vulnerável e 1 muito vulnerável. O IVG é composto por quatro indicadores mais específicos:

- i. Índice de Vulnerabilidade de Saúde (IVS): Aplicável a doenças específicas. Considera os seguintes parâmetros: número de casos existentes (prevalência), número de casos que surgem a cada ano (incidência), tendência de evolução (tendência), taxas de desnutrição infantil, morte por diarreia, número de casos do problema, proporção de casos na população infantil e tendência de evolução da doença;
- ii. Índice de Vulnerabilidade à Desertificação (IVD): estimado com base na área total do Estado e no nível de risco de se tornar desértica;
- iii. Índice de Vulnerabilidade Econômico-Demográfico (IVED): obtido a partir dos níveis de renda, emprego e migração;
- iv. Índice de Vulnerabilidade de Custo do Sistema Único de Saúde (IVC): calculado a partir dos gastos estimados com atendimentos ambulatoriais e hospitalares do sistema público de saúde, que variam de acordo com o tamanho e a estrutura etária da população.

### Percepções sobre indicadores

Os dados ambientais, climáticos, socioeconômicos e de saúde, para a confecção dos indicadores elaborados pela Fiocruz, são disponibilizados por diversas instituições para os mais variados territórios brasileiros – IBGE, Banco de Dados do Sistema Único de Saúde (DATASUS), INPE etc. Em contrapartida não se tem claro como está sendo (ou será) feita a integração de todos esses indicadores para auxiliar no monitoramento dos impactos das mudanças climáticas na saúde, nem os atores envolvidos nesse processo.

#### 4.8.3 Medida de adaptação identificada

A seguir serão elencadas algumas medidas adaptativas em curso e outras previstas no PPA 2012-2015 no país para o setor da Saúde.

- **Plano Setorial da Saúde de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSMC – Saúde):** foi desenvolvido visando estabelecer medidas em duas linhas de ação, mitigação e adaptação, com maior enfoque nas ações voltadas ao fortalecimento da capacidade de resposta dos serviços de saúde frente aos impactos da mudança do clima. O Plano tem como base quatro eixos de intervenção para ações de adaptação: Vigilância em Saúde, Atenção à Saúde, Promoção e Educação em Saúde e Pesquisa em Saúde. O setor busca como resultado de suas ações de adaptação, a redução das vulnerabilidades da população e o fortalecimento da capacidade de preparação, resposta e recuperação dos serviços de saúde. O Plano visa também o fortalecimento do Sistema Único de Saúde (SUS).
- **Fortalecimento da Força Nacional do Sistema Único de Saúde (FN – SUS):** criado em novembro de 2011<sup>91</sup>, a FN – SUS é um componente estruturante da Rede de Atenção à Urgências, tem por objetivo prestar assistência rápida e efetiva às populações em território nacional e internacional, atingidas por catástrofes, epidemias ou crises assistenciais que justifiquem seu acionamento.

---

<sup>91</sup> Decreto nº 7.616, de 17 de novembro de 2011.

### Medidas de adaptação previstas

No **PPA 2012-2015**, destacam-se algumas **medidas relevantes** para aumento da resiliência da população às mudanças climáticas:

- Ampliação do número de amostras de água analisadas para o parâmetro coliforme total;
- Ampliação do número de amostras de água analisadas para o parâmetro turbidez;
- Ampliação da cobertura vacinal adequada de tetravalente/pentavalente em menores de 1 ano;
- Apoio a estudos e pesquisas com vistas a sustentabilidade dos serviços e ações de saúde e saneamento ambiental;
- Melhorias habitacionais para controle da doença de Chagas em mais de 160 municípios;
- Implantação do Centro de Estudos e Pesquisas em Desastres Naturais - CEPED na FIOCRUZ;
- Implantação de técnicas de Biologia Molecular para diagnóstico de dengue, influenza e meningite bacteriana em todos os 27 Laboratórios Centrais de Saúde Pública (Lacen);
- Realização de pesquisas em medicina tropical e meio ambiente;
- Redução da incidência parasitária anual de malária (estimada pelo IPA) na Região Amazônica;
- Transferência de tecnologia de monitoramento da infestação do *Aedes aegypti* desenvolvida na FIOCRUZ para estados e municípios;
- Estruturar unidades de atenção especializada dentro das Redes de Urgência e Emergência até 2015;
- Implantar ou expandir novas centrais de regulação do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU);
- Reestruturação física e tecnológica completa de unidades de urgência e emergência; e Implantação e manutenção da Força Nacional de Saúde.

#### **4.8.4 Principais atores, projetos e modelos**

Os principais atores envolvidos na geração de dados sobre os impactos e vulnerabilidades das mudanças climáticas no setor da saúde no país são: Fiocruz, IAG, Rede Clima, INPE, INCT-Mudanças Climáticas, IBGE, Cedeplar/UFMG, além de participação de Universidades e outros Centros de Pesquisa nacionais, Redes Estaduais de Pesquisa e colaboração internacional.

Também são utilizadas as seguintes ferramentas para a geração de cenários futuros dos impactos do clima na saúde como:

- **Observatório Nacional de Clima e Saúde**<sup>92</sup>: essa iniciativa é uma parceria entre a FIOCRUZ e o INPE que visa reunir informações geográficas, populacionais e de atendimento nos sistemas de saúde de diversas instituições com o intuito de auxiliar as análises entre clima e saúde, bem como possibilitar, alertar e monitorar situações de emergência na saúde devido às mudanças climáticas. Para caracterizar as localidades brasileiras, o projeto utiliza a base de dados do IBGE, INPE e DATASUS, além de diversas instituições governamentais, ensino e pesquisa. No site do projeto é possível encontrar

---

<sup>92</sup> <http://www.climasaude.icict.fiocruz.br/index.php>

textos técnicos sobre o tema, indicadores de impactos e vulnerabilidades do setor da saúde frente às mudanças climáticas e mapas interativos das informações levantadas nas bases de dados do INPE, IBGE e DATASUS. Alguns estados brasileiros, como São Paulo<sup>93</sup> e Minas Gerais<sup>94</sup>, também possuem os seus “observatórios da saúde”. Esses observatórios identificados conduzem diversos projetos no tema que podem ser consultados no endereço eletrônico dos mesmos.

- **Combinação de modelos:** As projeções dos impactos do clima na saúde integram quatro modelos matemáticos básicos (CEDEPLAR/UFMG E FIOCRUZ, 2008):
  - Etapa 1 - modelo demográfico que projeta o crescimento populacional para as próximas décadas, a partir de séries históricas das taxas de fecundidade, mortalidade e migração;
  - Etapa 2 - incorporação de variáveis de um modelo econômico ao modelo demográfico que aborda os efeitos das mudanças climáticas sobre as atividades produtivas (emprego, produção e renda). A integração desses dois modelos permite projetar os impactos econômicos e populacionais provocados pelas alterações no clima e criar cenários de fluxos migratórios e de redistribuição populacional;
  - Etapa 3 - inclusão dos dados de cenários de evolução da temperatura e de emissão de GEE no modelo econômico-demográfico. Os cenários econômico-demográficos são novamente projetados com os efeitos das mudanças climáticas sobre o desempenho econômico, os fluxos migratórios e a redistribuição populacional;
  - Etapa 4 - avaliação dos impactos dos fluxos migratórios e da redistribuição populacional, projetadas na etapa anterior, na área de saúde. Para isso usa-se um indicador da vulnerabilidade às mudanças climáticas: o Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG). Mais detalhes sobre esse indicador foram descritos no subitem “Principais indicadores identificados” dessa seção.

#### 4.8.5 Lacunas identificadas

A seguir são elencadas as lacunas e limitações mais relevantes, principalmente para o avanço das análises dos impactos e vulnerabilidades, para o setor da Saúde.

- **Falta de metodologias adequadas:** a análise dos impactos da mudança do clima na saúde é prejudicada pelo uso de metodologias tradicionais inadequadas, além da ausência ou insuficiência de dados históricos sobre a incidência de doenças no Brasil (grande parte dos bancos de dados nacionais foi criada nas décadas de 1980 e 1990), impedindo uma análise de tendências de longo prazo. A maior parte das previsões das condições de saúde frente a mudanças globais é produzida pela extrapolação de estudos locais e de curta duração para cenários globais e de longo prazo, o que pode gerar inconsistências e imprecisões. Os desenhos de estudos epidemiológicos de base individual parecem não ser adequados para fazer extrapolações, uma vez que pressupõem a distinção entre grupos expostos e não-expostos, o que não é o caso dos estudos relacionados a mudanças globais.

---

<sup>93</sup> <http://observasaude.fundap.sp.gov.br/Paginas/Default.aspx>

<sup>94</sup> <http://medicina.ufmg.br/osubh/> e <http://saudecampofloresta.unb.br/nosso-portal/inicio/>



- **Falta de modelos que considerem, além dos fatores ambientais, fatores sociais e políticos:** para algumas doenças vetoriais como a malária, dengue e febre amarela, geralmente o clima não é o principal determinante para sua prevalência ou seu alcance geográfico. Nestes casos, os impactos antrópicos nos ecossistemas em nível local têm se mostrado mais influentes. A maioria dos modelos é baseada em dados restritos a alguns locais e variáveis ambientais vinculadas, sobretudo aos vetores ou ao plasmódio, sem levar em conta os fatores sociais e de políticas de desenvolvimento e controle que são igualmente importantes na dinâmica de doenças vetoriais.
- **Falta de Observatórios da Saúde em grande maioria dos estados brasileiros:** essa iniciativa, que já ocorre em Minas e São Paulo, ainda está ausente em estados prioritários no país, principalmente no Norte e Nordeste.
- **Falta de medidas adaptativas para o setor da saúde:** foram identificadas lacunas de medidas adaptativas, principalmente, nas regiões mais carentes do país, Norte e Nordeste. O Plano Nacional de Saúde, por exemplo, reconhece que “há grande desigualdade no acesso, resultante, entre outras, da concentração de serviços em determinadas regiões, bem como da carência ou mesmo inexistência em inúmeros municípios” (BRASIL, 2011, p. 40).
- **Baixa aplicabilidade prática dos indicadores elaborados pela Fiocruz:** não se tem claro como está sendo feita (ou será feita) a integração desses indicadores para auxiliar no acompanhamento dos impactos das mudanças climáticas na saúde.

#### 4.8.6 Sistematização das informações para o tema Saúde

As metodologias para sistematização das informações sobre impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação para o tema Saúde são as mesmas descritas no item 4.1.7 desse relatório.

A seguir é apresentada a sistematização dessas informações para o tema Saúde (Quadro 4.8.9).

**Quadro 4.8.9 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o setor Saúde**

VULNERABILIDADE
Sistema Vulnerável
<p><b>Brasil:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vulnerabilidade relacionada principalmente a doenças de veiculação hídrica, transmitidas por vetores e respiratórias;</li> <li>• As capitais mais vulneráveis a doenças respiratórias são: Florianópolis, Porto Alegre, Curitiba, São Paulo, Vitória, Belo Horizonte, Goiânia, Brasília, Salvador, São Luiz e Palmas;</li> <li>• Cidades brasileiras vulneráveis em razão da falta de planejamento urbano e de saneamento básico, principalmente nas regiões periféricas;</li> <li>• População pobre mais vulnerável devido a construções precárias em áreas de risco e à falta de saneamento básico e de atendimento médico.</li> </ul> <p><b>Região Norte:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vulnerabilidade relacionada à dengue: norte de RO, noroeste do PA e sudoeste do AM/AC;</li> <li>• População vulnerável ao risco toxicológico de material particulado emitido por queimadas na Amazônia e exposta a cenários de seca e chuva, acarretando em doenças respiratórias;</li> </ul>

**Região Nordeste:**

- Os estados mais vulneráveis são CE, PE, BA, MA e SE (de maior para menor vulnerabilidade), devido à perda de renda, dificuldade de acesso à água, taxas maiores de migração e índices elevados de doenças;
- Maior vulnerabilidade à ocorrência de esquistossomose na BA, de leishmaniose tegumentar no MA, de leishmaniose visceral no MA e CE, de leptospirose no CE e PE e de doença de Chagas em SE;
- População idosa mais vulnerável a doenças crônico-degenerativas nas regiões metropolitanas;
- Vulnerável aos efeitos da migração, principalmente, as periferias de São Luís e Teresina;
- Vulnerável aos efeitos da desnutrição.

**Região Sudeste:** Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) mais vulnerável a doenças respiratórias, cardiovasculares e leptospirose, devido às projeções de aumento de temperatura, baixa umidade relativa do ar e enchentes;

**Região Sul:** mais vulnerável aos eventos extremos como deslizamentos e enchentes, principalmente em SC com grandes extensões de encostas íngremes.

**Perigos (fatores de estresse)**

- Aumentos das temperaturas;
- Aumento das ilhas de calor;
- Aumento da migração;
- Aumento da velocidade do vento;
- Aumento do nível do rio (cotas hidrológicas);
- Proporção de áreas inundáveis;
- Alteração sem planejamento da cobertura vegetal e uso da terra;
- Alta declividade do terreno;
- Alta densidade demográfica;
- Alto número de pessoas residente em áreas de risco;
- Alto número de pessoas acima de 60 anos;
- Alto número de pessoas abaixo de 5 anos;
- Falta de saneamento básico (esgoto, coleta de lixo etc.).
- Aumento da frequência de eventos extremos que causam desastres naturais, como:
  - Tempestades: meteorológico e súbito;
  - Temperaturas extremas: meteorológico e súbito;
  - Deslizamentos de terra: geológico e súbito;
  - Enchentes e inundações: hidrológico e súbito ou gradual;
  - Estiagem: climatológico e gradual;
  - Incêndios/queimadas naturais: climatológico e súbito;
  - Diminuição da umidade relativa do ar: climatológico e gradual;
  - Aumento das ondas de calor e frio: meteorológico e súbito.

**Atributo(s) valorizado(s) ou variáveis de interesse**

- Qualidade de vida das populações;
- Qualidade do ar, água e alimentos;
- Pessoas feridas, enfermas, desaparecidas, deslocadas, desabrigadas, desalojadas;
- Doenças em população de idosos e crianças;
- Gastos com atendimentos ambulatoriais e hospitalares.

**Horizonte temporal**

- Ano Base 2000 e Projeções para 2050 para o Nordeste (longo prazo);
- Ano Base 2010 e Projeções para 2040 para o Rio de Janeiro (longo prazo).

<b>IMPACTO</b>
<b>Efeitos decorrentes das mudanças climáticas</b>
<p><b>Impactos biofísicos:</b></p> <p><b>Brasil:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Doenças de veiculação hídrica, as transmitidas por vetores e as respiratórias: são os principais grupos de doenças que podem ser impactados pelas mudanças climáticas;</li> <li>• Doenças Respiratórias: em grande parte das capitais brasileiras, o decréscimo de temperatura provoca um aumento no risco de internações por doenças respiratórias.</li> </ul> <p><b>Região Norte:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da infestação do mosquito da dengue, principalmente, no norte de RO, noroeste do PA e sudoeste do AM/AC;</li> <li>• Aumento de doenças respiratórias provenientes da interação entre partículas emitidas por queimadas na Amazônia e em períodos de seca.</li> </ul> <p><b>Região Nordeste:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior suscetibilidade ao surgimento de casos de desnutrição infantil no Maranhão e de mortalidade infantil por diarreia no Maranhão, em Alagoas e em Sergipe;</li> <li>• Aumento da ocorrência de esquistossomose na Bahia, de leishmaniose tegumentar no Maranhão, de leishmaniose visceral no Maranhão e no Ceará, de leptospirose no Ceará e em Pernambuco, doença de Chagas em Sergipe;</li> <li>• Aumento de ondas de calor afetando a população idosa de forma mais intensa;</li> <li>• Aumento da desnutrição e das doenças associadas à falta de água tratada, como a esquistossomose e a leptospirose, além da mortalidade infantil por diarreia;</li> </ul> <p><b>Região Sudeste:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento dos casos de internações por doenças respiratórias na RMSP;</li> <li>• Aumento das ondas de calor e como consequência na saúde da população, observou-se um pico de internação por Afecções das Vias Aéreas Superiores;</li> <li>• Aumento dos casos de leptospirose após duas semanas de exposição à água contaminada de uma enchente.</li> </ul> <p><b>Região Sul:</b> impactos de eventos climáticos extremos, como enchentes e deslizamentos, onde, diversos agravos à saúde podem manifestar-se meses após o evento e por causas indiretas (devido à mudança na qualidade da água, do ar e dos alimentos).</p> <p><b>Impactos socioeconômicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da frequência de doenças e dos gastos com internações hospitalares e atendimento ambulatorial para tratá-las. As projeções indicam um crescimento dos gastos com internações hospitalares nas regiões metropolitanas.</li> <li>• Aumento significativo (até 24%) na taxa de migração das áreas mais carentes para os grandes centros urbanos do Nordeste e de outras regiões;</li> <li>• Aumento da migração para municípios menos atingidos pelas alterações climáticas e com melhores perspectivas de vida, o que pode redistribuir espacialmente focos – ou intensificar a transmissão – de doenças endêmicas como a dengue, a doença de Chagas, a leishmaniose tegumentar e a leishmaniose visceral.</li> </ul>
<b>Indicadores de ocorrência e/ou magnitude de impactos e vulnerabilidade</b>
<p><b>Indicadores da Fiocruz:</b> Indicadores de água, vetores, ar e eventos extremos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clima (precipitação, temperatura, etc.);</li> <li>• Meio ambiente (cobertura vegetal, cobertura de coleta de lixo, etc.);</li> <li>• Saúde (números de internação, etc.);</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>Socioeconômicos (densidade demográfica, municípios com coleta sistemática de lixo, etc.)<sup>95</sup>.</li> </ul>
<b>ADAPTAÇÃO</b>
<b>Medidas de adaptação</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Plano Setorial da Saúde de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSMC – Saúde);</li> <li>Fortalecimento da Força Nacional do Sistema Único de Saúde (FN – SUS);</li> </ul> <p><b>Medidas de adaptação previstas no PPA 2012-2015:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ampliação do número de amostras de água analisadas para o parâmetro coliforme total;</li> <li>Ampliação do número de amostras de água analisadas para o parâmetro turbidez;</li> <li>Ampliação da cobertura vacinal adequada de tetravalente/pentavalente em menores de 1 ano;</li> <li>Apoio a estudos e pesquisas com vistas a sustentabilidade dos serviços e ações de saúde e saneamento ambiental;</li> <li>Melhorias habitacionais para controle da doença de Chagas em mais de 160 municípios;</li> <li>Implantação do Centro de Estudos e Pesquisas em Desastres Naturais - CEPED na FIOCRUZ;</li> <li>Implantação de técnicas de Biologia Molecular para diagnóstico de dengue, influenza e meningite bacteriana em todos os 27 Laboratórios Centrais de Saúde Pública (Lacen);</li> <li>Realização de pesquisas em medicina tropical e meio ambiente;</li> <li>Redução da incidência parasitária anual de malária (estimada pelo IPA) na Região Amazônica;</li> <li>Transferência de tecnologia de monitoramento da infestação do <i>Aedes aegypti</i> desenvolvida na FIOCRUZ para estados e municípios;</li> <li>Estruturar unidades de atenção especializada dentro das Redes de Urgência e Emergência até 2015;</li> <li>Implantar ou expandir novas centrais de regulação do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU);</li> <li>Reestruturação física e tecnológica completa de unidades de urgência e emergência;</li> <li>Implantação e manutenção da Força Nacional de Saúde.</li> </ul>
<b>Indicadores relacionados a medidas de adaptação</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de iniciativas como o “Observatório Nacional de Clima e Saúde” da FIOCRUZ e INPE ao longo do território nacional;</li> <li>Número de publicações no tema (saúde e adaptação);</li> <li>Número de atores envolvidos no tema (saúde e adaptação);</li> <li>Acompanhamento das medidas de adaptação previstas no PPA (elencadas acima).</li> </ul>

<sup>95</sup> Esses indicadores socioeconômicos de impactos listados também podem ser utilizados como indicadores de vulnerabilidade para o setor da saúde (locais com alta densidade demográfica e coleta de lixo insuficiente ou inexistente configuram uma região de alta vulnerabilidade para o aparecimento de doenças).

## 4.9 TRANSPORTES

O setor de transportes é caracterizado como uma das mais importantes forças motrizes da economia mundial, na medida em que permite o deslocamento de pessoas e escoamento de produtos (fundamental para a logística agrícola, por exemplo), contribuindo para o crescimento econômico do país. Apesar da evidente importância do setor de transporte para a economia brasileira e seu papel na estratégia de desenvolvimento econômico, o setor é prejudicado pelo baixo nível de investimento.

Segundo a Confederação Nacional de Transporte (CNT), o investimento do governo federal em infraestrutura de transporte cresceu 345% no período de 2002 a 2012, passando de R\$ 2,8 bilhões para R\$ 12,7 bilhões. Apesar deste considerável aumento de investimento no setor, a qualidade da infraestrutura no país continua sendo insuficiente e quando comparada à dos demais BRICS<sup>1</sup>, o Brasil se encontra à frente apenas da Índia no ranking publicado no Fórum Econômico Mundial em 2013. No ranking geral de infraestrutura internacional o Brasil ficou em 71º lugar demonstrado na Tabela 4.9.1.

**Tabela 4.9.1 - Ranking em infraestrutura dos BRICS**

País	Posição
África do Sul	66º
Brasil	71º
China	48º
Índia	85º
Rússia	45º

Fonte: WEF -THE GLOBAL COMPETITIVENESS INDEX, 2013-2014

Atualmente, o transporte rodoviário é responsável no País pela movimentação de 61,1% da carga total. O Brasil apresenta 1.584.104 km de rodovias, mas apenas 219.847 km (13,9%) são pavimentados (CNT, 2013). Da malha pavimentada, 57,4% estão em condições desfavoráveis, das quais 26,9% estão em situação crítica. O transporte ferroviário é o segundo modal mais relevante no transporte de cargas no país, sendo responsável por 25% da carga total (IPEA, 2009b). Este modal apresenta problemas frequentes de invasão de áreas de linhas férreas, gargalos físicos e operacionais, diminuindo sua contribuição para a logística nacional. Os portos foram responsáveis pela movimentação de cerca de 80% das importações e exportações brasileiras em 2007 (IPEA, 2009a) e tem grande importância potencial no transporte interno de mercadorias. Contudo, a infraestrutura portuária brasileira é deficiente, apresentando problemas de acesso e capacidade. Por fim, o transporte aéreo de cargas no Brasil representou somente 0,2% do volume transportado, mas 10,7% do valor transacionado em 2012 (FIRJAN, 2013).

A infraestrutura de transporte é vulnerável a condições extremas de temperatura, precipitação, enchentes e tempestades, que pode levar a danos no transporte rodoviário, ferroviário, aeroportos e portos. A capacidade de uma região ou cidade de adaptar suas operações e infraestrutura de transporte vulnerável aos impactos relacionados ao clima vai determinar a capacidade de resiliência do sistema de transporte daquela comunidade (KOCH E MACARTHUR, 2013).

O IPCC já adverte para a necessidade de adoção de medidas de adaptação consistentes com novos traçados ou realocação de vias, normas para projetos e planejamento de estradas,

ferrovias e outras estruturas, drenagem dos solos, para fazer frente ao aquecimento global (IPCC, 2007).

#### **4.9.1 Descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificados**

O setor de transporte apresenta grande sinergia com as mudanças do clima, gerando impactos que podem ser agrupados em duas categorias: i) aqueles originários pelo setor, como as emissões de GEE e poluentes; ii) e aqueles causados pelas mudanças climáticas sobre o setor de transporte. No presente relatório, serão considerados os impactos referentes ao segundo grupo.

##### **Quadro 4.9.1 - Horizontes temporais utilizados**

O planejamento de transportes opera em diversas escalas de tempo (PBMC, 2013):  
i) os planejadores de estradas tipicamente consideram a escala de tempo de 25 anos;  
ii) planejadores de ferrovias consideram 50 anos;  
iii) pontes e túneis subterrâneos geralmente são concebidos considerando um horizonte de 100 anos.

O Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT) publicado em 2011 possui horizonte das projeções até 2031. O Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM) publicado em 2013 possui horizonte das projeções até 2020.

O Brasil possui poucos estudos dedicados à investigação de impactos das mudanças climáticas sobre o setor de transportes especificamente. Importante ressaltar também que, até recentemente, a maioria dos resultados de pesquisas sobre clima e transportes apresentada foi relacionada à mitigação, com questão central sobre a eficácia e eficiência das medidas para reduzir os impactos ambientais dos transportes (KOETSE E RIETVELD, 2007; IPCC, 2007).

Desse modo, a avaliação apresentada nesta seção assumiu contornos mais abrangentes, além de ter utilizado estudos internacionais como referência, citados no RAN 1 do PBMC (PBMC, 2013). Os principais impactos diretos e indiretos do setor frente às mudanças climáticas são elencados abaixo.

##### **Impactos diretos**

- No Brasil, são observados episódios de danos causados nas ruas e estradas como consequência de enchentes e deslizamentos de terra, cenário este que poderá se agravar com a intensificação de eventos extremos (INPE, 2010).
- É projetado para algumas regiões do planeta um aumento na ocorrência de eventos extremos como intensa precipitação, fortes tempestades, incluindo furações, o que pode causar inundações locais. Com isso, a infraestrutura de transporte costeiro será impactada pelos efeitos combinados de tempestade e aumento do nível global do mar.
- Mudanças de temperatura afetam de alguma forma todos os componentes de projeto de infraestrutura de transporte, porque os materiais utilizados para construir as estruturas, geralmente, apresentam alguma contração e expansão de forma a resistir a mudanças de temperatura, tanto altas quanto baixas temperaturas e o intervalo entre estas (MEYER, 2008).

- Mudança nas zonas costeiras e aumento do nível do mar poderiam, em longo prazo, demandar a realocação de estradas, linhas férreas, ou pistas de aeroportos, com consequências significativas para as instalações portuárias e para a navegação costeira. Túneis subterrâneos com sistemas de trânsito, estradas e ferrovias poderiam estar sujeitas a inundações mais frequentes ou mais graves (USDOT, 2002).

### **Impactos indiretos**

Os impactos das mudanças climáticas ou da variação sazonal das condições meteorológicas no setor de transportes causam danos indiretos em outros setores da economia. Abaixo são listados alguns exemplos desses impactos indiretos:

- **Agropecuária:** Os problemas decorrentes da logística de escoamento da produção agropecuária devem ser agravados devido aos impactos das mudanças climáticas no setor de transporte, principalmente o modal rodoviário associado às condições precárias das estradas brasileiras, particularmente no Norte e Nordeste do País, onde os desastres naturais deverão ser mais intensos segundo as projeções climáticas futuras.
- **Saúde:** O agravamento dos eventos extremos nas cidades brasileiras irá dificultar a mobilidade no caso de desastres naturais com vítimas devido aos impactos na infraestrutura nas estradas, rodovias e ferrovias. No caso de ocorrência de fortes chuvas, enchentes e inundações, um sistema de transporte eficiente facilitaria a evacuação da população da área afetada, bem como o acesso a prestação de socorro a vítimas de desastres naturais e acidentes.
- **Cidades:** As mudanças climáticas poderão afetar os sistemas de transporte (ferroviário, aéreo, rodoviário e hidroviário) em todas as cidades, impedindo potencialmente a mobilidade urbana, com consequência para o crescimento da economia e qualidade de vida das populações. Outro impacto nas atividades de transporte sentido nas cidades, devido às condições meteorológicas adversas, é decorrente do aumento no tempo médio de viagem, em congestionamentos e numa maior probabilidade de ocorrência de acidentes. Por isso, os custos generalizados de transporte são afetados (KOETSE E RIETVELD, 2007). No País, projeções indicam que, se a tendência histórica de expansão for mantida na Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, a mancha urbana será o dobro da atual em 2030, aumentando os riscos de enchentes, inundações e deslizamentos, atingindo cada vez mais a população como um todo e, sobretudo, os mais pobres, com impactos negativos na mobilidade urbana, principalmente devido aos impactos nos transportes urbanos (automóveis, ônibus, trens, etc). Esses riscos e impactos serão potencializados pelo aumento do número de dias com fortes chuvas (INPE, 2010).

### **Vulnerabilidades do setor de transporte**

O conhecimento de vulnerabilidades associadas às previsões climáticas, os possíveis impactos e medidas de adaptação poderão subsidiar a elaboração e implementação de políticas públicas para transportes, bem como a integração com políticas de desenvolvimento e ambientais.

Um estudo realizado por Meyer (2008) nos Estados Unidos sobre os padrões de infraestrutura no setor de transporte aponta como vulnerabilidade os impactos por inundações.

So Hoo (2005) e Meyer (2008) descrevem os seguintes componentes do sistema de transportes como os mais vulneráveis aos eventos extremos:

- Ponte e bueiros: seriam impactados devido às projeções de aumento de eventos de precipitação e elevação do nível do mar;
- Calçadas e estradas costeiras: podem ser afetadas com o aumento do nível do mar e maior ocorrência de tempestades;
- Superfícies de pavimento: impactos devido ao aumento da temperatura anual;
- Drenagem superficial: impactos relacionados ao aumento da intensidade de eventos de precipitação.

O PBMC também aponta diversas vulnerabilidades para o setor conforme Quadro 4.9.2 abaixo.

#### **Quadro 4.9.2 - Vulnerabilidades e riscos identificados no RAN 1 do PBMC para o setor de transporte**

- A infraestrutura de transportes é extremamente vulnerável aos eventos extremos de temperatura e precipitação, o que pode resultar em danos nos setores rodoviário, ferroviário, aeroportos e portos, IPCC (2012).
- Todos os modos de transporte costeiros são considerados vulneráveis, mas a exposição e os impactos podem variar, por exemplo, por região, modo de transporte, localização/elevação e condição da infraestrutura de transportes (IPCC, 2012).
- É projetado para algumas regiões do planeta um aumento na ocorrência de eventos extremos como intensa precipitação, fortes tempestades, incluindo furacões, o que pode causar inundações locais. Com isso, a infraestrutura de transporte costeiro é vulnerável aos efeitos combinados de tempestade e aumento do nível global do mar (PETERSON et al., 2006);
- Os sistemas de transportes nas cidades são extremamente vulneráveis devido às inundações e ao aumento do nível dos lençóis freáticos, isso porque muitas das instalações estão localizadas em túneis subterrâneos (JACOB et al., 2007; MEYER, 2008);
- Verifica-se a vulnerabilidade da totalidade das obras de infraestrutura de transporte (rodoviária, ferroviária, portuária, aeroportuária, túneis e pontes) em todos os seus aspectos: pavimentos, trilhos, fundações, dentre outras;
- A falta de integração dos diferentes modos no sistema de transporte constitui uma vulnerabilidade.

#### **Principais informações do RAN 1 do PBMC para o setor de transportes**

A descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificadas na presente seção estão em conformidade com as informações compiladas no RAN 1 do PBMC. As principais conclusões dos autores do PBMC no tema transportes estão listadas no Quadro 4.9.3.



#### Quadro 4.9.3 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema transportes

- As mudanças climáticas deverão afetar os sistemas de transporte, com impactos na mobilidade urbana em grandes cidades, com consequência para o crescimento da economia e qualidade de vida das populações. As oportunidades de adaptação para o setor de transporte podem estar associadas às ações de mitigação, com investimentos na melhoria da infraestrutura e diversificação da matriz de transporte;
- O planejamento de sistemas de transportes deve considerar a análise de risco para o aumento de temperatura, aumento da frequência e intensidade de precipitação, inundações e tempestades. Para isso, é importante uma integração das políticas de clima, transporte e desenvolvimento, bem como o monitoramento de dados climáticos e uma reavaliação das políticas e padrões atuais para transportes.

#### 4.9.2 Principais indicadores identificados

Devido à carência de estudos sobre vulnerabilidades e impactos das mudanças climáticas no setor de transporte no País, os indicadores de impactos relacionados no quadro abaixo foram extraídos da literatura internacional, principalmente de experiências nos Estados Unidos e Canadá, mencionados no RAN 1 do PBMC (Quadro 4.9.4). Esses indicadores podem ser adotados por muitos municípios brasileiros e apresenta uma síntese das condições e variações climáticas que afetam o sistema de transporte, mencionadas na literatura.

#### Quadro 4.9.4 - Indicadores de impactos das mudanças climáticas para o setor de transportes

- Intensidade de precipitação (poderá afetar pavimentações e fundações);
- Nível do mar (pode forçar a realocação de estradas, linhas férreas e aeroportos);
- Variação na temperatura;
- Tempestades;
- Deslizamentos de terra;
- Dias muito quentes e ondas de calor.

Nos estudos consultados para a elaboração do presente relatório também foi possível identificar alguns indicadores relacionados à implantação ou não de medidas de adaptação para o setor de transporte, principalmente nas cidades brasileiras, conforme Quadro 4.9.5 abaixo.

#### Quadro 4.9.5 - Indicadores de medidas de adaptação às mudanças climáticas para o setor de transportes

- Obras de infraestrutura de transporte (rodoviária, ferroviária, portuária, aeroportuária, túneis e pontes) em todos os seus aspectos: pavimentos, trilhos, fundações, dentre outras;
- Medidas políticas (para reduzir os custos dos danos potenciais relacionados);
- Número de departamentos de transporte;
- Número de projetos de infraestrutura de longo prazo;
- Número de cidades com planejamento urbano;
- Existência de integração dos diferentes modos no sistema de transporte nas cidades.

## Medidas de adaptação

O IPCC alerta para a necessidade de adoção das seguintes medidas: elaboração de novos traçados ou realocação de vias, projetos, normas e planejamentos de estradas e ferrovias, drenagens dos solos como medidas de adaptação às mudanças climáticas (IPCC, 2007).

As medidas de adaptação às mudanças climáticas para o setor de transporte no Brasil ainda são incipientes. A seguir serão elencadas algumas medidas adaptativas previstas nos estudos consultados, bem como em políticas públicas no País para o setor.

- O PBMC relata a importância do modal ferroviário como alternativa para a redução do número de veículos do sistema viário, contribuindo para redução da queima de combustíveis e emissão de poluentes. Neste sentido, o INPE (2010) ratifica a necessidade de ampliação das linhas de trens e metrô, por serem transportes de grandes quantidades de passageiros, colaboram para redução do número de veículos nas ruas. É uma medida que ao reduzir o número de veículos contribui para mobilidade urbana em evento de emergência.
- Com relação às medidas de adaptação em transportes, algumas experiências foram identificadas: realocação de estradas e vias; mudanças nos projetos e substituição e adequação de estruturas como pontes, estradas e pavimentos, de forma a suportar os possíveis efeitos que as condições meteorológicas e a mudança do clima poderão acarretar para o setor (PBMC, 2013).
- As oportunidades de adaptação para o setor de transporte podem estar associadas às ações de mitigação, que contribuirão para a melhoria da qualidade do ar e redução da emissão de GEE, com impacto positivo na saúde das populações, nas condições de transporte, a partir de transporte público mais eficiente, menos carbono intensivo e seguro. Todavia, investimentos na infraestrutura necessária e adequada ao contexto das mudanças climáticas e em novos modais de transporte também serão essenciais (PBMC, 2013).
- Políticas de incentivo ao transporte público, metroviário, ferroviário e a integração modal são apontadas como medidas positivas para as cidades litorâneas, segundo estudos realizados por Confalonieri (2008), Barbieri e Confalonieri (2010), Nobre et al., (2010), Rosman (2010) e Brasil (2010). Este fato mostra a sinergia que existe entre alguns setores de infraestrutura, reforçando a necessidade de estudos integrados com o objetivo de determinar políticas de adaptação às mudanças climáticas no Brasil.
- **Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT):** Foi publicado em 2011. Não aborda diretamente a adaptação do setor de transporte às mudanças climáticas, mas menciona algumas iniciativas previstas no PPA que podem ser enquadradas como medidas de adaptação. Tem como principais objetivos orientar o planejamento das ações públicas e privadas no setor dos transportes; formalizar e perenizar instrumentos de análise para dar suporte ao planejamento de intervenções públicas e privadas na infraestrutura e na organização dos transportes; subsidiar a formulação dos Planos Plurianuais (PPA) e, eventualmente, a definição da composição do portfólio de projetos integrantes do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC). O Plano destaca que sua principal meta é paulatinamente dar maior equilíbrio à distribuição modal de transportes no País, com a

racionalização do uso do modal rodoviário para atender demandas com maior capilaridade e utilização dos demais modais de acordo com sua principal vocação.

- **Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM):** Foi publicado em 2013. Tem como objetivo geral contribuir para a mitigação das emissões de GEE no setor, por meio de iniciativas que levam à ampliação da infraestrutura de transporte de cargas e à maior utilização de modos mais eficientes energeticamente e, no setor de mobilidade urbana, ao aumento do uso de sistemas eficientes de transporte público de passageiros. O PSTM reconhece que não aborda diretamente o tema adaptação, por isso recomenda que seja realizada uma oficina de capacitação sobre ações de adaptação à mudança do clima para o setor de Transportes, visando à introdução das mesmas no contexto brasileiro.

#### 4.9.3 Principais atores e projetos

Os principais atores envolvidos na geração de informações sobre os impactos das mudanças climáticas e vulnerabilidades no setor de transportes no País são: Rede Clima, INPE, INCT-Mudanças Climáticas, além de participação de Universidades e outros Centros de Pesquisa nacionais, Redes Estaduais de Pesquisa e colaboração internacional, bem como atores governamentais. Importante ressaltar também o interesse do Ministério dos Transportes no tema adaptação.

Devido à relevância do setor de transporte nas emissões totais de GEE no Brasil, as ações de mitigação têm recebido mais atenção do que as ações de adaptação.

De todo modo, sabe-se que existem outras organizações que estão envolvidas em discussões acerca das mudanças climáticas e adaptação e que podem ser indicadas como potenciais atores para fomentar o debate acerca da necessidade de adaptação do setor às mudanças climáticas. Nesse sentido, é possível adicionar outros atores e projetos relevantes como:

- **Confederação Nacional dos Transportes (CNT):** a organização coordena projetos para auxiliar no desenvolvimento do transporte no país. A mesma elaborou estudo com pré-projetos de análise de viabilidade de duplicação de rodovias. O diagnóstico, batizado de **Projetos Prioritários de Duplicação de Rodovias**, se baseia na aplicação de Parcerias Público-Privadas para suprir a necessidade premente de melhoria de corredores rodoviários. Considerando a falta de recursos federais, a proposta sugere pré-projetos para a manutenção das rodovias do país em boas condições e ampliá-las para manter a crescente demanda. Os trechos foram selecionados em função de sua importância estratégica para o desenvolvimento econômico, para a integração regional e, ainda, para a melhor qualidade de vida da população.

#### 4.9.4 Lacunas identificadas

A seguir são elencadas as lacunas e limitações mais relevantes, principalmente para o avanço das análises dos impactos e vulnerabilidades no setor de transporte para o País.

- **Ausência de estudos e projetos climáticos no setor de transportes:** no Brasil, a carência de estudos e projetos sobre vulnerabilidades e medidas de adaptação às mudanças

climáticas para o setor de transporte configura-se como uma lacuna para realização de políticas públicas para o setor. Faltam avaliações das vulnerabilidades de cada modal de transporte (dutoviário, aquaviário, aéreo, ferroviário e rodoviário) para que medidas de adaptação possam ser estabelecidas.

- **Falta de integração entre os setores de transporte, clima e meio ambiente:** a integração entre estes três temas pode permitir melhor compreensão dos impactos das mudanças climáticas sobre escalas regionais e/ou locais. Por consequência, as medidas de adaptação poderão ser adotadas com estratégias integradas avaliando os três setores citados.
- **Melhorar os sistemas de alerta às enchentes:** são poucas as cidades no país que possuem um sistema de alerta contra os eventos meteorológicos. Uma lacuna observada nas cidades que possuem estes sistemas diz respeito à falta de integração com outros setores vulneráveis aos eventos extremos (exemplo: hospitais, escolas, meios de transportes).
- **A falta de integração entre os diferentes modos no sistema de transporte** - O atraso no investimento em transportes interligados retarda a mobilidade resiliente perante às mudanças climáticas.
- **Falta de indicadores ambientais para a gestão portuária:** Não foram encontrados estudos recentes que apresentem os indicadores ambientais mais significativos para uma gestão portuária, ou que façam sugestões para acompanhamentos de indicadores ambientais para um porto (VALOIS, 2009).

#### 4.9.5 Sistematização das informações para o setor de Transportes

As metodologias para sistematização das informações sobre impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação para o setor de Transportes são as mesmas descritas no item 4.1.7 desse relatório.

A seguir é apresentada a sistematização dessas informações para o setor de Transportes (Quadro 4.9.6).

**Quadro 4.9.6 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o setor Transportes**

VULNERABILIDADE
Sistema Vulnerável
<p><b>Vulnerabilidade por modal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Costeiro e portos: vulnerável aos efeitos combinados de tempestade e aumento do nível global do mar;</li> <li>• Rodoviário: vulnerável aos efeitos de enchentes, inundações, aumento do nível do lençol freático e deslizamentos de terra;</li> <li>• Ferroviário: vulnerável aos efeitos do aumento de temperatura e inundações.</li> </ul> <p><b>Vulnerabilidade por estrutura:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pontes: vulneráveis aos efeitos do aumento da precipitação e elevação do nível do mar;</li> <li>• Túneis subterrâneos: vulneráveis aos efeitos das inundações e aumento do nível dos lençóis freáticos;</li> </ul>

- Calçadas e estradas costeiras: vulneráveis aos efeitos do aumento do nível do mar e maior ocorrência de tempestades;
- Superfícies de pavimento e trilhos: vulneráveis aos efeitos do aumento da temperatura (alteração nas estruturas metálicas);
- Pavimentações e fundações: vulneráveis aos efeitos do aumento da precipitação;
- Ruas e estradas: vulneráveis aos efeitos de enchentes e deslizamentos de terra.

#### Perigos (fatores de estresse)

- Aumentos da temperatura;
- Aumento do nível do mar e lençol freático;
- Aumento da frequência de eventos extremos que causam desastres naturais, como:
  - Inundações e enchentes: hidrológico e súbito ou gradual;
  - Tempestades: meteorológico e súbito;
  - Deslizamentos de terra: geológico e súbito.

#### Atributo(s) valorizado(s) ou variáveis de interesse

- Infraestrutura de transporte (rodoviária, ferroviária, portuária, aeroportuária, túneis e pontes) em todos os seus aspectos: pavimentos, trilhos, fundações, dentre outras;
- escoamento de produções agrícolas e industriais;
- Mobilidade urbana;
- Qualidade de vida das populações.

#### Horizonte temporal

- Anos base: 2011 e 2013;
- Projeções: 2020 e 2031 (médio e longo prazo).

### IMPACTO

#### Efeitos decorrentes das mudanças climáticas

##### Impactos socioeconômicos diretos:

- Danos na infraestrutura de transportes em geral: mudanças de temperatura afetam todos os componentes de projeto de infraestrutura de transporte. Materiais utilizados nas estruturas apresentam alguma margem para contração e expansão, de forma a resistir a mudanças de temperatura. Porém, tal variação pode não ser suficiente num cenário de mudança do clima;
- Danos na infraestrutura de transporte costeiro: impactada pelos efeitos combinados de tempestade e aumento do nível do mar;
- Danos em ruas e estradas: devido à consequência de enchentes e deslizamentos de terra, cenário este que poderá se agravar com a intensificação de eventos extremos;
- Danos em túneis subterrâneos com sistemas de trânsito, estradas e ferrovias: devido às inundações mais frequentes ou mais graves;
- Realocação de estradas, linhas férreas, ou pistas de aeroportos: devido à mudança nas zonas costeiras e aumento do nível do mar, com consequências significativas para as instalações portuárias e para a navegação costeira.

##### Impactos socioeconômicos indiretos:

- Agropecuária: impactos na logística de escoamento da produção agropecuária, principalmente no modal rodoviário associado às condições precárias das estradas brasileiras, particularmente no Norte e Nordeste do País, onde os desastres naturais deverão ser mais intensos segundo as projeções climáticas futuras;
- Saúde: interferências na mobilidade no caso de desastres naturais com vítimas, devido aos impactos na infraestrutura nas estradas, rodovias e ferrovias. No caso de ocorrência de fortes chuvas, enchentes e inundações, um sistema de transporte ineficiente dificulta a evacuação da população da área afetada, bem como o acesso a prestação de socorro a vítimas de desastres naturais e acidentes;

- Cidades:
  - Impactos na mobilidade urbana, com consequência para o crescimento da economia e qualidade de vida das populações;
  - Aumento no tempo médio de viagem, em congestionamentos e maior probabilidade de ocorrência de acidentes;
  - Aumento dos custos generalizados de transporte.

#### Indicadores de ocorrência e/ou magnitude de impactos

- Intensidade de precipitação (poderá afetar pavimentações e fundações);
- Nível do mar (pode forçar a realocação de estradas, linhas férreas e aeroportos);
- Variação na temperatura;
- Tempestades;
- Deslizamentos de terra;
- Ondas de calor.

#### ADAPTAÇÃO

##### Medidas de adaptação

- Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT);
- Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM).

##### Indicadores relacionados a medidas de adaptação

- Obras de infraestrutura de transporte (rodoviária, ferroviária, portuária, aeroportuária, túneis e pontes) em todos os seus aspectos: pavimentos, trilhos, fundações, dentre outras;
- Medidas políticas (para reduzir os custos dos danos potenciais relacionados);
- Número de departamentos de transporte;
- Número de projetos de infraestrutura de longo prazo;
- Número de cidades com planejamento urbano;
- Existência de integração dos diferentes modos no sistema de transporte nas cidades.

## 4.10 ZONAS COSTEIRAS

A zona costeira brasileira concentra 23,58% da população (IBGE, 2010), região que abriga grande biodiversidade e diversos interesses econômicos, muita das vezes relacionadas a uma expansão urbana desordenada. São ambientalmente frágeis, compondo uma região geográfica estreita sem características uniformes. Dentre os ambientes que fazem parte da zona costeira, os estuários e manguezais estão sujeitos aos vetores do desenvolvimento como turismo, implantação de parques eólicos, expansão industrial e portuária, dentre outros.

As regiões mais vulneráveis aos impactos associados às mudanças climáticas globais são as zonas costeiras, sendo atingidas pelo aumento do nível do mar, eventos extremos, elevação da temperatura e acidificação dos oceanos (REDE CLIMA, 2012). Como consequência destes eventos, o perfil da linha costeira brasileira pode ser alterado, atingindo áreas urbanas e instalações portuárias.

Desta maneira, torna-se essencial o estudo das interações entre o oceano e as zonas costeiras, levando em conta as variáveis associadas às mudanças climáticas, com o objetivo de construir estratégias de adaptação aos novos cenários de aquecimento global, elevação do nível do mar e erosão costeira.

### 4.10.1 Descrição dos Principais Impactos e Vulnerabilidades Identificados

Os principais impactos e vulnerabilidades nas zonas costeiras brasileiras frente às mudanças climáticas serão apresentados com base nos estudos realizados pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST/INPE), Núcleo de Estudos de População (NEPO/UNICAMP), Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Instituto Oceanográfico da USP (IO/USP), Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará (LABOMAR/UFC) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ); e também consultas a trabalhos realizados pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Importante salientar que existem outros trabalhos no tema de instituições renomadas no país, mas com uma abordagem mais localizada. A lista completa dos trabalhos utilizados para a confecção desse item se encontra no final da seção.

#### Quadro 4.10.1 - Horizontes temporais utilizados

Estudo da COPPE/UFRJ (2010) utilizou o ano de 2100 como projeção dos impactos das mudanças climáticas sobre as zonas costeiras. Outro estudo realizado também pela COPPE/UFRJ (grupo da Área de Engenharia Costeira e Oceanografia) utilizou o ano de 2050 para recomendar custos das ações de adaptação as mudanças climáticas. No trabalho coordenado pelo CCST/INPE e NEPO/UNICAMP o horizonte temporal é de 2030 a 2100.
--

A seguir são apresentados os principais resultados dos estudos consultados:

- Trabalhos do Instituto Oceanográfico da USP (IO/USP) confirmam o aumento do nível do mar na costa de Cananéia (litoral Sul de São Paulo), entre 1955 e 1990, a uma taxa da ordem de 4,1 mm/ano, (FBDS/2013).

- Estudos indicam uma significativa erosão ocorrendo no litoral norte do Rio de Janeiro (LINS DE BARROS, 2005; RIBEIRO et al., 2006; RIBEIRO et al., 2004), processo que pode ser agravado por futuras alterações decorrentes das mudanças no clima.
- Um estudo realizado pela COPPE/UFRJ (2010) avaliou as zonas potencialmente inundáveis e possíveis danos em relação às mudanças climáticas. Foram utilizados os cenários climáticos A2 e B1 do IPCC para o ano de 2100 e cenários associados à ocorrência de eventos extremos (ciclones extratropicais) sobre o litoral brasileiro. O cenário A2 indicou um aumento na ordem de 0,23 m a 0,51 m e o cenário B1 um aumento de 0,18 m a 0,38 m. Este estudo utilizou duas metodologias distintas para valoração de patrimônio perante as mudanças climáticas:

i) O estudo trabalhou o conceito de Extensão Equivalente de Linha de Costa, onde o valor monetário estimado de cada tipo de patrimônio (urbanização, redes de serviços públicos, etc.) é convertido em uma extensão de linha de costa cuja proteção teria o mesmo valor. Conhecendo a população por unidade de comprimento de linha de costa, PLC, e o valor do PIB per capita, pode-se estabelecer um valor do PIB/km de linha de costa (PIB-LC). Assim, as cidades com alto valor de PIB-LC seriam aquelas com maior valor de patrimônio potencialmente impactado pela elevação do nível do mar (ROSMAN, 2010).

ii) Com o objetivo de estimar os custos decorrentes do aumento do nível do mar, adaptou-se a metodologia de Nicholls et al. (2008) sobre a vulnerabilidade de 136 cidades portuárias, incluindo dez cidades brasileiras, em que o valor dos bens ou benfeitorias em risco corresponde aos investimentos em benfeitorias urbanas, da ordem de 25% do PIB, taxa de crescimento de 3% ao ano e vida útil de 40 anos. Estima-se que os valores se situem na faixa de 4 a 5 vezes o valor do PIB *per capita* multiplicado pela população que vive nas áreas de risco.

A Tabela 4.10.1 a seguir apresenta o resultado comparativo entre as duas metodologias utilizadas para valoração dos patrimônios das cidades ameaçadas pelas mudanças climáticas.

**Tabela 4.10.1 - Principais cidades com patrimônios ameaçados pelas mudanças climáticas**

Estado	Microrregião	Valor estimado pela metodologia de NICHOLLS et al. (2008)	Valor estimado pela metodologia Linha de Costa (PLC)
		(R\$ milhões)	(R\$ milhões)
RJ	Rio de Janeiro	R\$ 55.646,73	R\$ 84.313,23
BA	Salvador	R\$ 13.995,11	R\$ 21.204,71
RS	Porto Alegre	R\$ 11.148,55	R\$ 16.891,74
ES	Vitória	R\$ 9.716,13	R\$ 14.721,42
SP	Santos	R\$ 9.522,65	R\$ 14.428,25
PE	Recife	R\$ 8.673,03	R\$ 13.140,96
CE	Fortaleza	R\$ 8.008,74	R\$ 12.134,45
Outras microrregiões		R\$ 19.789,06	R\$ 30.655,24

Fonte: COPPE/UFRJ, 2010

O Estado do Rio de Janeiro possui grande vulnerabilidade segundo as duas metodologias utilizadas, refletindo perdas econômicas, culturais e sociais. No entanto, as possíveis perdas ambientais não foram contabilizadas em virtude da dificuldade de valorar e prever estes cálculos de perdas.



Dos estados brasileiros, o Rio de Janeiro apresenta a mais alta relação entre população exposta aos riscos das mudanças climáticas e população total, com uma taxa de 78%, o que equivale a um contingente de 11.194.150 habitantes, sendo aproximadamente cinco milhões na capital (MDZCM, 2008).

Na região Nordeste, a elevação do nível do mar poderá criar áreas de risco ou impróprias à manutenção da infraestrutura urbana. O valor do patrimônio do litoral nordestino está estimado em R\$ 21,2 bilhões em Salvador, R\$ 13,1 bilhões em Recife e R\$ 12,1 bilhões em Fortaleza, segundo a metodologia população por unidade de comprimento de linha de costa.

### **Vulnerabilidades da Zona Costeira nas cinco regiões brasileiras**

- Um estudo realizado pela FURG (NICOLODI E PETERMANN, 2010) utilizou o Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha (MDZCM)<sup>96</sup>, para determinar as regiões de maior vulnerabilidade aos efeitos das mudanças climáticas na zona costeira do Brasil. Para este estudo foram elaborados mapas de vulnerabilidades de acordo com as informações geradas no MDZCM (NICOLODI E ZAMBONI, 2008) no que se refere ao risco natural, risco social e risco tecnológico. Os dados obtidos do cruzamento dessas informações foram agrupados, em quatro intervalos de classes que representam os potenciais de risco tecnológicos (baixo, médio, alto e muito alto), definidos valores relativos a estas classes: Muito Baixa < Baixa >1 e < 2; Média >2 e < 3; Alta >3 e < 4; Muito alta >4 e < 5. Foram adotadas ferramentas de Geoprocessamento mediante o uso dos softwares IDRISI e ARCGIS<sup>97</sup> para elaborar os mapas apresentados a seguir.

O resultado deste estudo foi dividido por Regiões:

- **Região Norte**

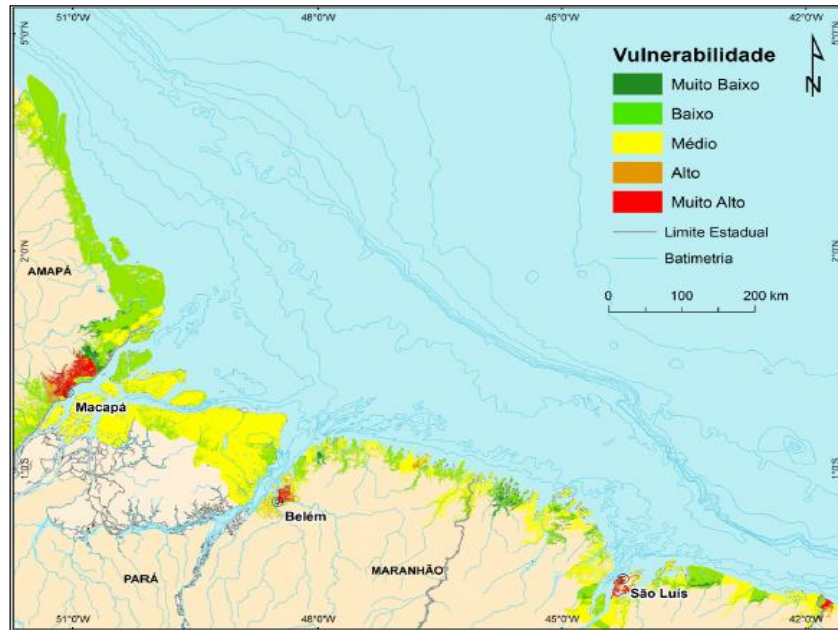
A Região Norte apresentou grau de vulnerabilidade baixo, com exceções das adjacências das três grandes cidades ali existentes: Macapá (AP), Belém (PA) e São Luiz (MA). Nestes casos a vulnerabilidade foi classificada como alta ou muito alta devido a fatores de caráter físico (dinâmica costeira e geomorfologia), socioeconômico (renda média da população, carências de serviços básicos) e tecnológico (tipo de indústria, tipologia de poluição e representatividade das mesmas quanto ao número de empregados). A Figura 4.14 a seguir indica a vulnerabilidade na Região Norte.

---

<sup>96</sup> Instrumento previsto pela Lei 7661/88 que instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e publicado pelo Ministério do Meio Ambiente em 2008.

<sup>97</sup> Software de geoprocessamento que inclui análise de atributos em bancos de dados georreferenciados e avaliação com critérios múltiplos

Figura 4.14 -Vulnerabilidade da Costa Norte Brasileira



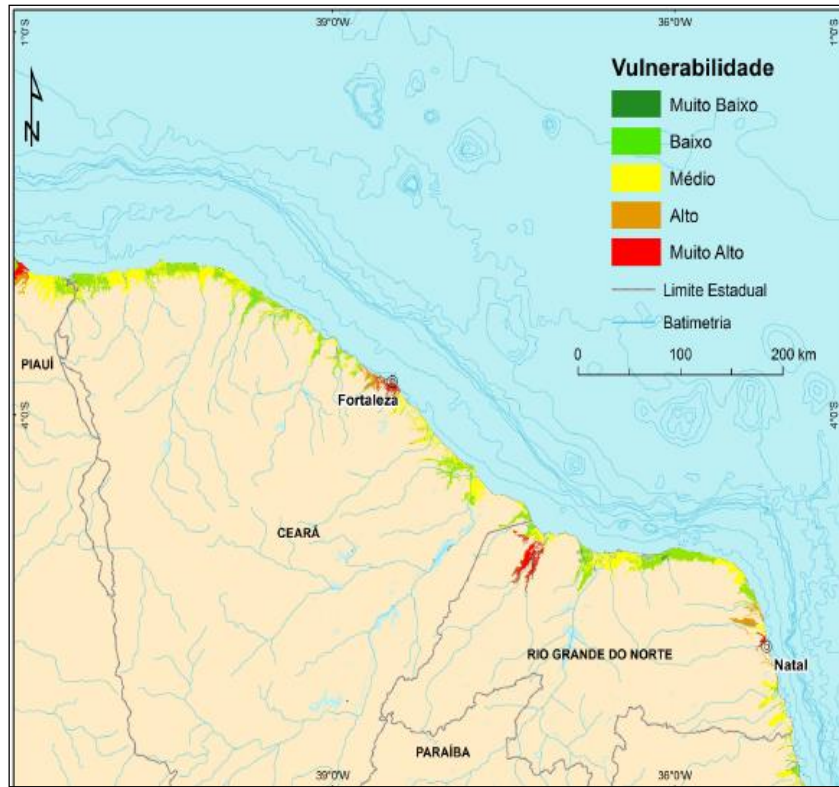
Fonte: NICOLodi E PETERMANN, 2010

- **Região Nordeste**

A Região Nordeste, ao contrário da Região Norte, onde apenas as regiões metropolitanas apresentam vulnerabilidade alta, demonstra uma alternância entre os cinco níveis de vulnerabilidade os quais não têm, necessariamente, relação direta com a dinâmica da população.

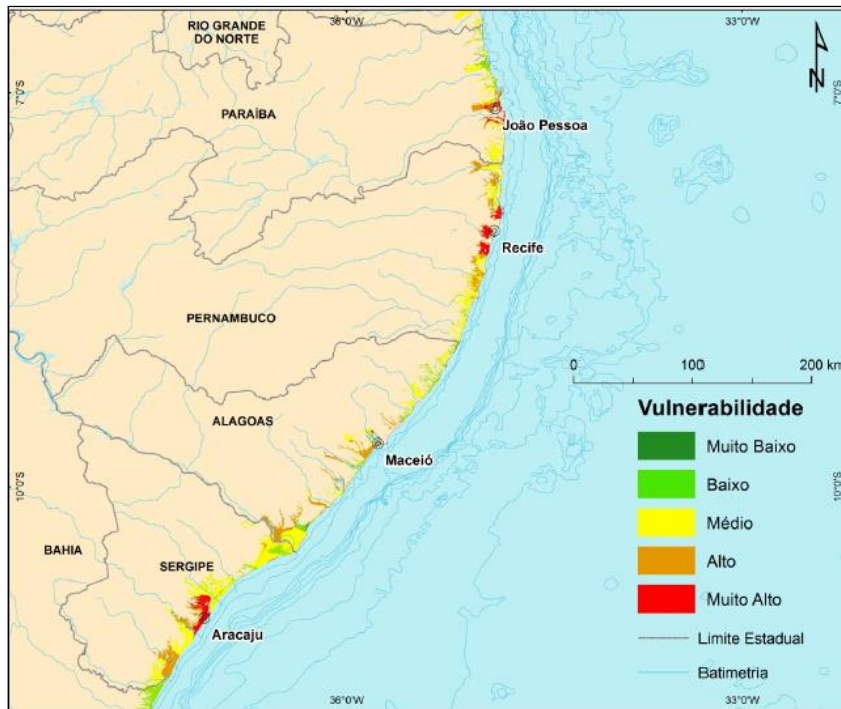
O litoral do Ceará é marcado pontualmente por terrenos com cotas altimétricas elevadas, possui um grande número de segmentos costeiros submetidos a processos erosivos associados a campos de dunas. As figuras a seguir indicam as vulnerabilidades na Região Nordeste (Figura 4.15, Figura 4.16, Figura 4.17 e Figura 4.18).

**Figura 4.15 - Vulnerabilidade da Costa Nordeste Brasileira. Estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte**



Fonte: NICOLodi E PETERMANN, 2010

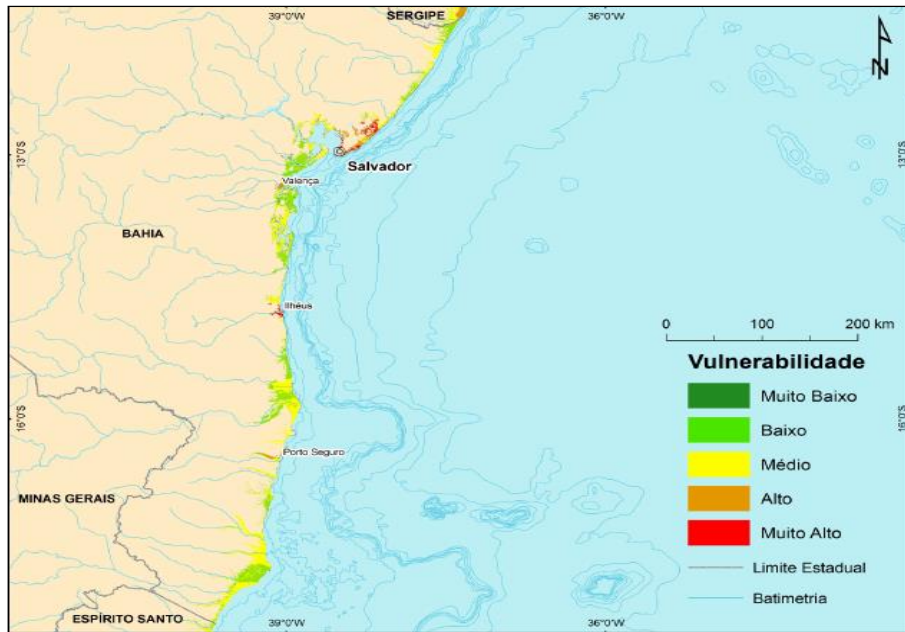
**Figura 4.16 - Vulnerabilidade da Costa Nordeste Brasileira. estados da Paraíba, Pernambuco, alagoas e Sergipe**



Fonte: NICOLodi E PETERMANN, 2010

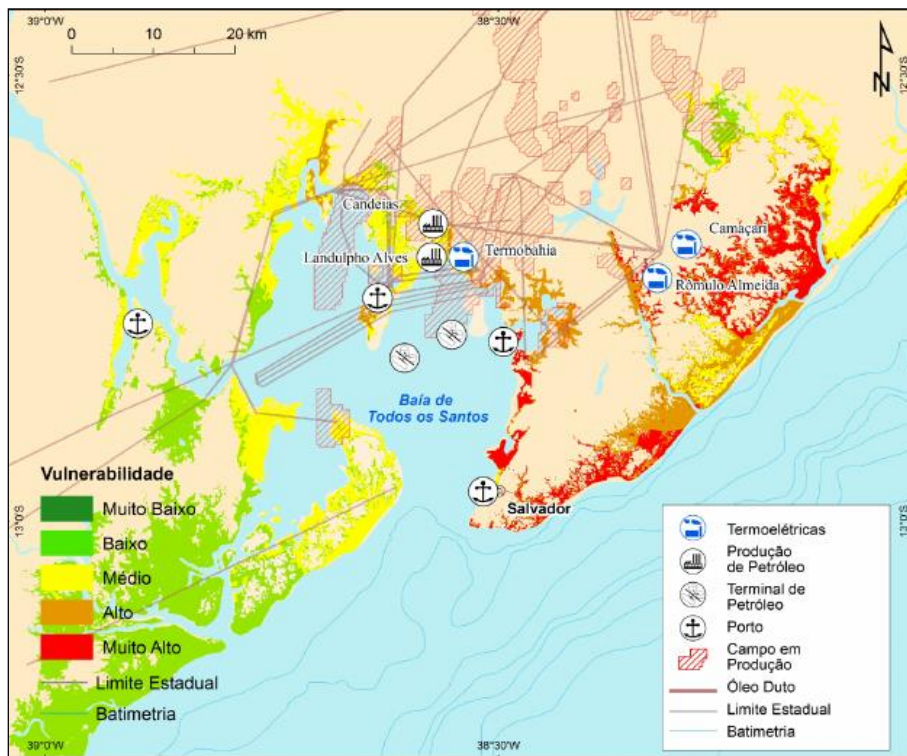
No estado da Bahia, o grau de vulnerabilidade é elevado devido à alta densidade populacional e as condições de saneamento básico deficitárias.

**Figura 4.17 - Vulnerabilidade da Costa Nordeste Brasileira no estado da Bahia**



Fonte: NICOLodi E PETERMANN, 2010

**Figura 4.18 - Região metropolitana de Salvador. Altos índices de vulnerabilidade associados a um cenário de alto risco tecnológico**



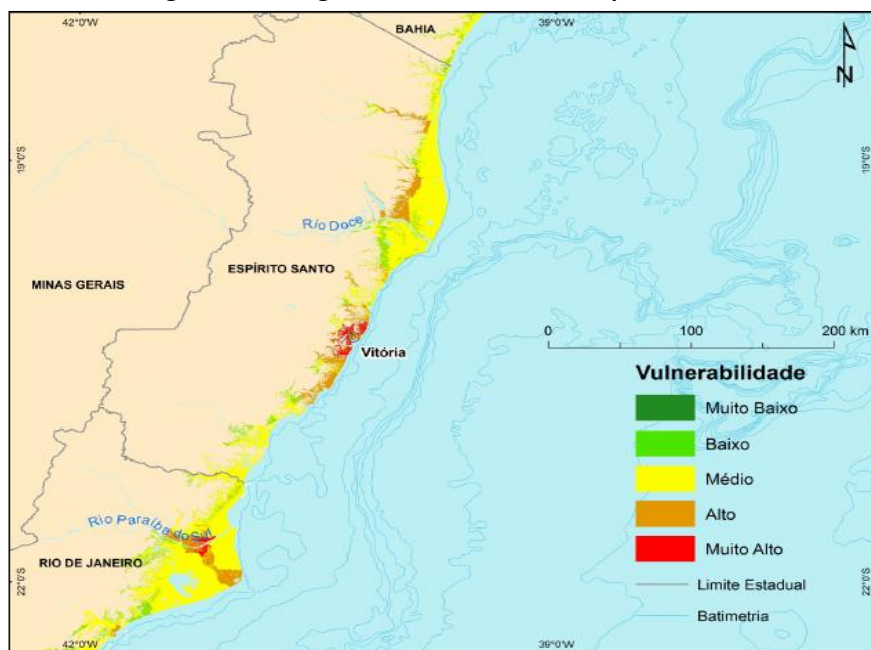
Fonte: NICOLodi E PETERMANN, 2010

- **Região Sudeste**

Os graus de risco mais elevados estão relacionados a fenômenos potenciais de inundação em terrenos rebaixados, de ocupação humana pouco mais elevada do que a média de ocupação da região. Vitória, Vila Velha e Guarapari possuem as maiores densidades populacionais instaladas em áreas litorâneas rebaixadas, com índices de densidade demográfica superiores a média.

As localidades com classificação de vulnerabilidade média a muito alta são Rio Doce, Região da Grande Vitória e as áreas interiores da drenagem do Rio Paraíba do Sul (Figura 4.19).

**Figura 4.19 - Região Sudeste, estado do Espírito Santo**

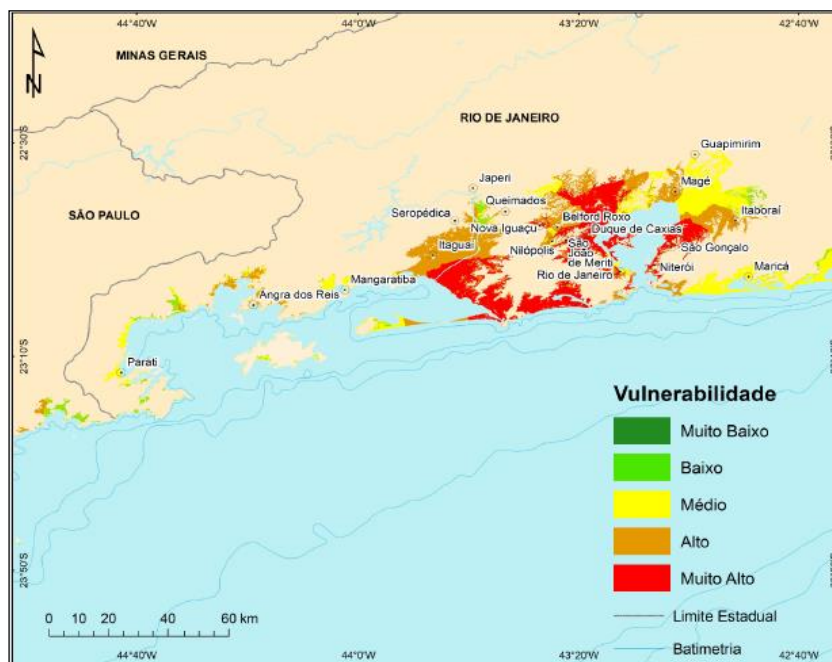


Fonte: NICOLODI E PETERMANN, 2010

Condiciona-se o alto grau de vulnerabilidade ao fato da região metropolitana do Rio de Janeiro abrigar um dos mais importantes polos petroquímicos do país, com a existência de uma intrincada rede de refinarias<sup>98</sup>, unidades de produção de gás natural, dutovias, campos de exploração *offshore* e portos. Como se observa na Figura 4.20 a seguir:

<sup>98</sup> Refinarias Duque de Caxias e Mangueiras

**Figura 4.20 - Região Sudeste, estado do Rio de Janeiro**

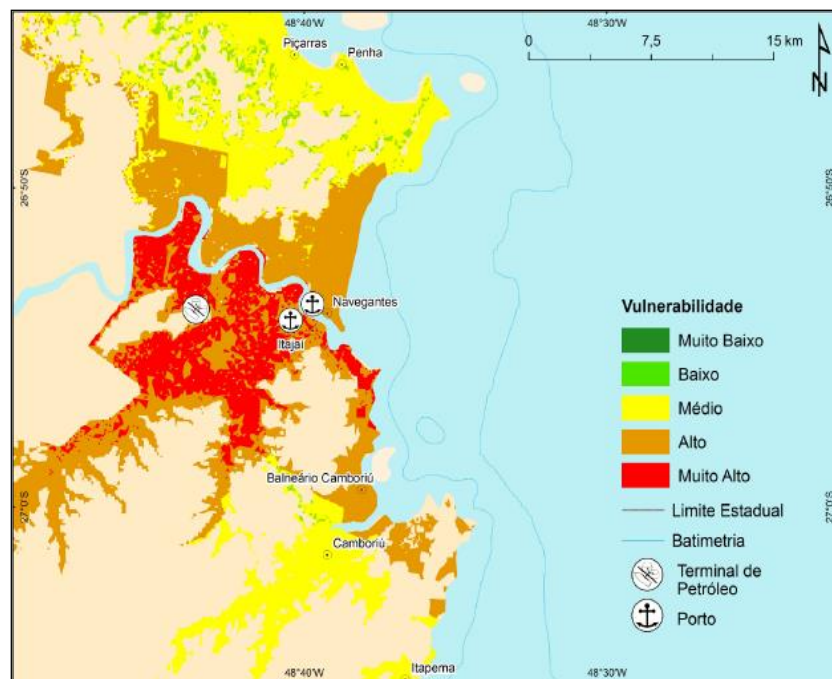


Fonte: NICOLodi E PETERMANN, 2010

- **Região Sul**

Entre o sul do estado de Santa Catarina e o limite com o Uruguai essa região é crítica para a incidência de eventos extremos de magnitude pouco tradicionais, como foi o caso do furacão Catarina, ocorrido em 2004 e que devastou a região limítrofe entre os dois estados mais meridionais (Figura 4.21).

**Figura 4.21 - Região Sul, estado de Santa Catarina**



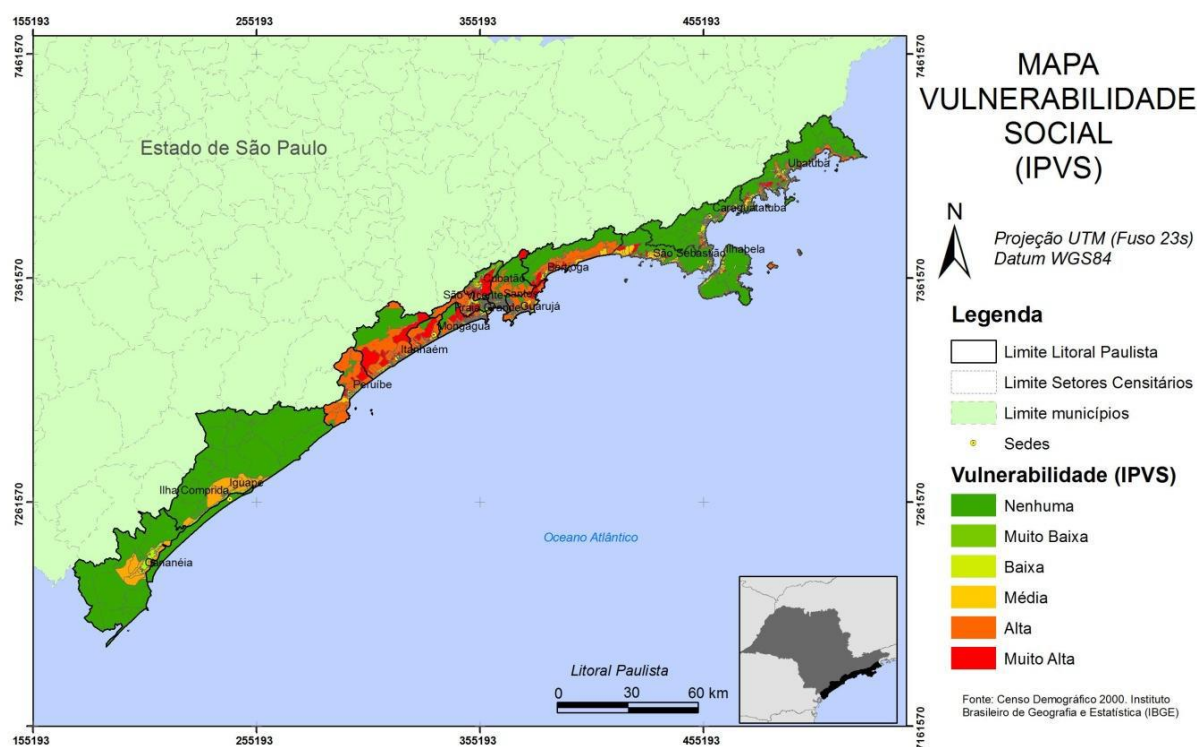
Fonte: NICOLodi E PETERMANN, 2010

## Vulnerabilidades Socioambientais

A partir de trabalho publicado pelo NEPO/UNICAMP que avaliou as vulnerabilidades socioambientais de populações residentes em zonas costeiras do litoral paulista foram compilados os principais resultados descritos abaixo (ALVES et al, 2010).

- Vulnerabilidade social:** Entre as variáveis socioeconômicas, selecionou-se o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS), que reúne indicadores de renda, escolaridade e representa uma síntese das condições socioeconômicas e demográficas dos municípios do Litoral Paulista na escala dos setores censitários. Observa-se que as áreas consideradas de *Alta* ou *Muito Alta* vulnerabilidade social estão situadas nas regiões costeiras de Ubatuba, Caraguatatuba, Ilhabela e São Sebastião (Litoral Norte), Guarujá, São Vicente, Santos e Praia Grande (Baixada Santista) e regiões centrais das áreas urbanas de Iguape e Cananéia (Litoral Sul). No entanto, cabe destacar que mesmo as áreas de *Média* vulnerabilidade social, como aquelas situadas na região central do município de Cubatão, e regiões costeiras de Mongaguá, Itanhaém, Peruíbe e Bertioga, exigem atenção tão importante quanto as áreas consideradas de *Alta* ou *Muito Alta* vulnerabilidade, sobretudo por apresentarem um perfil socioeconômico caracterizado por altas proporções de responsáveis pelo domicílio com renda inferior a 5 salários mínimos e escolaridade inferior a 10 anos de estudo (Figura 4.22).

**Figura 4.22 - Mapa de distribuição de setores de acordo com a vulnerabilidade social, segundo o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS)**

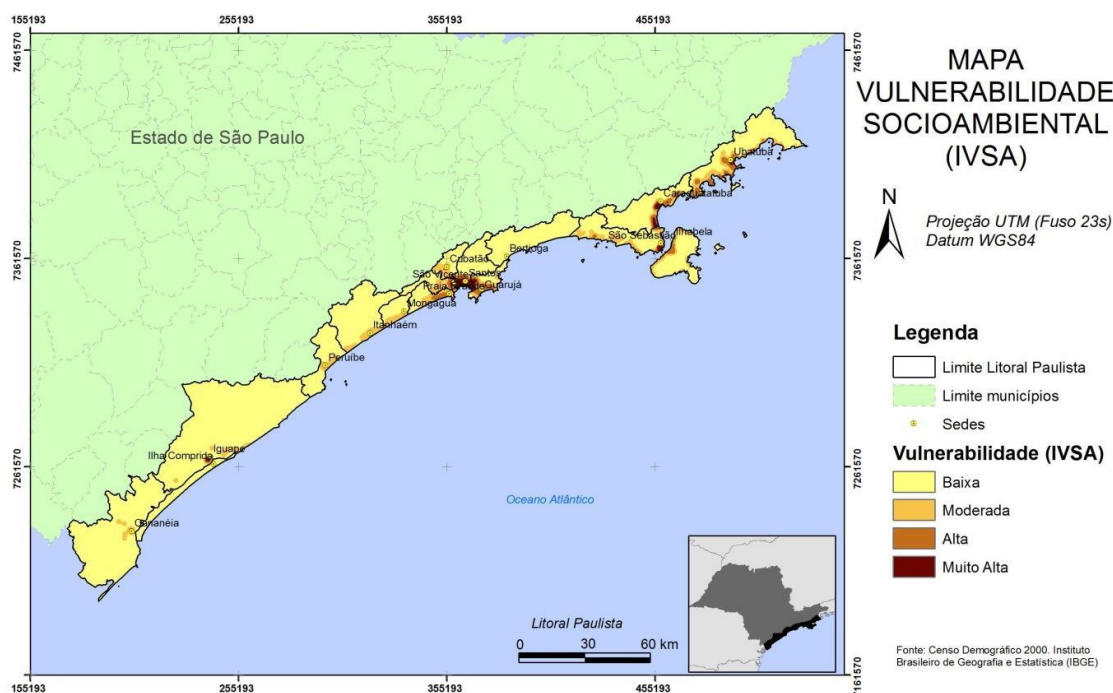


Fonte: ALVES et al, 2010

- Vulnerabilidade socioambiental:** Duas variáveis – IPVS e declividade (dividida em duas faixas – superior e inferior a 30° -, para representar as áreas expostas e não expostas ao

risco de deslizamento) – foram utilizadas para representar as duas dimensões da vulnerabilidade socioambiental: susceptibilidade e exposição ao risco ambiental. Deste modo, foi possível identificar as áreas de *Muito Alta*, *Alta*, *Moderada* e *Baixa* vulnerabilidade socioambiental no litoral paulista, por meio da sobreposição espacial entre o IPVS e áreas expostas ao risco de deslizamento (declividades superiores a 30°). A Figura abaixo mostra o resultado final deste esforço de buscar uma melhor seleção e ponderação de variáveis socioeconômicas e ambientais para a identificação e caracterização de áreas de vulnerabilidade socioambiental no Litoral de São Paulo no contexto das mudanças climáticas (Figura 4.23).

**Figura 4.23 - Mapa de distribuição de vulnerabilidade socioambiental (Índice de Vulnerabilidade Socioambiental - IVSA)**



Fonte: ALVES et al, 2010

- **Outros trabalhos:** O NEPO/UNICAMP publicou outros trabalhos com o objetivo de apresentar uma análise temporal da vulnerabilidade no litoral paulista, mas com uma abordagem mais localizada, como por exemplo, o trabalho nos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião (ANAZAWA et al., 2013). Analisando as superfícies de vulnerabilidade socioecológica, a partir da construção do índice sintético IVSE (Índice de Vulnerabilidade Socioecológica) e seus componentes para os anos de 1991 e 2000, foi possível observar a heterogeneidade das condições de vulnerabilidade nas distintas regiões dos municípios.



#### **Quadro 4.10.2 - Principais conclusões inerentes à elevação do nível dos oceanos (IPCC, 2007)**

1. O nível do mar deverá subir entre 18 cm e 59 cm no século XXI;
2. 90% de chances de haver mais derretimento glacial;
3. Aumento de 66% nas ocorrências de ciclones tropicais e de elevação das marés meteorológicas<sup>99</sup>.

#### **Principais informações do RAN 1 do PBMC para o tema Zonas Costeiras**

A descrição dos principais impactos e vulnerabilidades identificadas no presente trabalho estão em conformidade com as informações compiladas no RAN 1 do PBMC. As principais conclusões dos autores do PBMC no tema zonas costeiras estão listadas no Quadro 4.10.3.

#### **Quadro 4.10.3 - Principais informações compiladas do RAN 1 do PBMC sobre o tema zonas costeiras**

- Destaca a necessidade de estudos relacionados às interações entre os oceanos e as zonas costeiras para melhor compreender os impactos das mudanças climáticas no litoral brasileiro.
- Os estudos mais recentes sobre a vulnerabilidade das zonas costeiras consideram os impactos associados à erosão, aos riscos de inundações devido à elevação do nível médio do mar e a eventos extremos (MUEHE, 2010; NICOLODI & PETERMANN, 2010).
- A metodologia empregada por Soares et al. (2011) para avaliar a vulnerabilidade dos manguezais na Região Metropolitana do Rio de Janeiro pode ser aplicada para outras áreas urbanas como, por exemplo, a Região Metropolitana de Recife.
- Como medida adaptativa, o PBMC alerta para ações que reduzam a vulnerabilidade dos ecossistemas costeiros, aumentando sua resiliência às mudanças climáticas. Por exemplo, para o ecossistema manguezal são indicadas as seguintes estratégias de adaptação: (i) Eliminar fontes de estresse que incidam sobre o ecossistema a fim de aumentar sua resiliência; (ii) incorporar no processo de gestão e planejamento urbano e de licenciamento ambiental as variáveis relacionadas às mudanças climáticas; (iii) evitar que as medidas de adaptação às mudanças climáticas adotadas por outros setores interfiram na capacidade de resiliência das florestas de mangue e (iv) garantir através do planejamento das unidades de conservação dos manguezais
- Considerando as incertezas sobre os cenários climáticos, é necessário estabelecer programas de monitoramento contínuo nas zonas costeiras, incluindo estratégias de adaptação às mudanças climáticas.
- O PBMC conclui o referido capítulo relatando a carência de informações sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas costeiros no Brasil e apontando como maior impeditivo de estudos mais assertivos a falta de uma série histórica de dados na maioria dos campos da ciência.

#### **4.10.2 Principais indicadores identificados**

A partir dos estudos consultados (FBDS, CCST/INPE, NEPO/UNICAMP, FURG e COPPE/UFRJ) foram extraídos alguns indicadores de impactos das mudanças climáticas nas zonas costeiras do país conforme Quadro 4.10.4 abaixo.

---

<sup>99</sup> A diferença entre a maré prevista, baseada nas variáveis astronômicas, e a maré observada. Essa diferença ocorre por efeitos meteorológicos e pode ocasionar uma sobrelevação do nível do mar (BAUM, 2004).

#### Quadro 4.10.4 – Indicadores dos impactos das mudanças climáticas nas Zonas Costeiras

- Impacto na qualidade de vida das populações costeiras (Índice de Desenvolvimento Humano (IDH));
- Impacto nas comunidades de pescadores artesanais; (quantidade e qualidade do pescado).
- Frequência de deslizamentos de encostas ou de falésias;
- Frequência de enchentes e inundações nas áreas costeiras;
- Alterações nos ecossistemas costeiros (manguezais, marismas, estuários, praias, recifes de corais, pradarias de ervas e algas marinhas);
- Produção de alimentos em zonas agrícolas costeiras.

Também foram mapeados alguns indicadores de vulnerabilidades a partir de trabalhos do NEPO/UNICAMP no litoral paulista conforme Quadro 4.10.5 abaixo.

#### Quadro 4.10.5 - Indicadores de vulnerabilidades nas Zonas Costeiras

- Renda (salários mínimos);
- Escolaridade;
- Rede de esgoto;
- Rede de água;
- Coleta de resíduos sólidos;
- Declividade do terreno (acima de 30°);
- Forma do terreno;
- Proximidade a rios e ao mar;
- Domicílios próprios;
- População potencialmente ativa;
- Idade média da família.

### 4.10.3 Medidas de adaptação identificadas

As medidas de adaptação às mudanças climáticas nas Zonas Costeiras do Brasil ainda são incipientes. Abaixo são listadas algumas medidas em curso no País e outras em fase de planejamento.

- **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC - Lei nº 7.661):** Apesar de não abordar especificamente o tema adaptação às mudanças climáticas, o PNGC forma o conjunto de diretrizes gerais aplicáveis nas diferentes esferas de governo e escalas de atuação, orientando a implementação de políticas, planos e programas voltados ao desenvolvimento sustentável da zona costeira. Dentre os seus objetivos se destacam: uso ordenado dos recursos naturais e da ocupação de espaços costeiros; gestão integrada, descentralizada e participativa de atividades socioeconômicas na Zona Costeira; desenvolvimento sistemático de diagnósticos sobre a qualidade ambiental da Zona Costeira; incorporação da dimensão ambiental em políticas setoriais que tratam da gestão integrada de ambientes costeiros e marinhos; controle efetivo de agentes causadores de poluição e degradação ambiental; produção e difusão do conhecimento necessário para ações de gerenciamento costeiro (CIRM, 1997).
- **Plano Setorial para Recursos do Mar 2012-2015 (PSRM - Decreto nº 5.377):** O Plano foi preparado em estreita relação com o Programa Temático “Mar, Zona Costeira e Antártida” (PT 2046), parte integrante do PPA 2012-2015 do Governo Federal. Os principais objetivos são promover a adequada utilização dos meios existentes e da

capacidade instalada, defesa dos interesses político-estratégicos do Brasil no mar, nos âmbitos nacional e internacional; desenvolver ações que promovam o conhecimento, a conservação e o uso sustentável dos recursos vivos marinhos em águas nacionais e internacionais; estimular o planejamento e a gestão ambiental territorial da zona costeira, visando à redução de suas vulnerabilidades ambientais, sociais e econômicas; promover estudos e pesquisas para conhecimento, avaliação e uso sustentável do potencial biotecnológico e energético dos recursos marinhos; ampliar e consolidar sistemas de monitoramento dos oceanos, da zona costeira e atmosfera, a fim de aprimorar o conhecimento científico e contribuir para reduzir vulnerabilidades e riscos decorrentes de eventos extremos, da variabilidade do clima e das mudanças climáticas.

- **Medidas de adaptação recomendadas pela COPPE/2010:** Recuo (abandono de casas e das benfeitorias); acomodação (reconstrução periódica das benfeitorias e aproveitamento de áreas inundadas para aquicultura) e proteção (engordamento de praias, fixação da costa com blocos artificiais, construção de muros de proteção, construção de quebra-mares ou estruturas no mar e recuperação de estruturas portuárias).

#### **Quadro 4.10.6 - Possíveis ações para combater às mudanças climáticas nas zonas costeiras segundo o IPCC**

De acordo com os resultados do Grupo III do IPCC (e.g. IPCC, 1994; IOC/UNESCO, 1999), as possíveis respostas às mudanças climáticas na zona costeira dividem-se em três categorias: proteção, acomodação e recuo. Nas áreas com maior grau de urbanização, são indicadas soluções de proteção. Em regiões medianamente ocupadas, há a possibilidade de acomodação de novos usos (por exemplo: transformar áreas vulneráveis em parques ou criar ambientes para aquicultura). Projetos de zoneamento são indicados em medidas de planejamento futuro no manejo das áreas costeiras. Em último caso as situações onde os custos de realocação de casas e benfeitorias sejam econômica e ambientalmente mais recomendáveis, inclusive em benefício da segurança da população.

#### **4.10.4 Principais atores e projetos**

Os principais atores envolvidos com a geração de dados sobre os impactos e vulnerabilidades das mudanças climáticas nas zonas costeiras são: INPE, CCST, CPTEC, NEPO/UNICAMP, Rede Clima, INCT, COPPE, CGEE, ONG's, FURG, IO/USP, Fundações Nacionais e Internacionais; além de participação de Universidades e outros Centros de Pesquisa nacionais, Redes Estaduais de Pesquisa e colaboração internacional.

Os principais projetos em andamento no País com a temática Zonas Costeiras e Mudanças Climáticas estão listados abaixo:

- **ReBentos<sup>100</sup>:** A Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros, ReBentos, foi criada com o objetivo de implementar uma rede integrada de estudos dos habitats bentônicos do litoral brasileiro, vinculada à Sub-Rede Zonas Costeiras da Rede Clima (MCT) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-MC). A ReBentos tem como objetivo detectar os efeitos das mudanças ambientais regionais e globais sobre esses organismos, dando início a uma série

<sup>100</sup><http://www.bv.fapesp.br/pt/auxilios/30122/rede-de-monitoramento-de-habitats-bentonicos-costeiros-rebentos/>

histórica de dados sobre a biodiversidade bentônica ao longo da costa brasileira. Esta Rede está dividida em grupos de trabalhos nas seguintes áreas: Estuários, Praias, Fundos Submersos Vegetados, Recifes e Costões, Manguezais e Marismas, Educação Ambiental.

- **PIRATA – BRASIL:** *Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic* (PIRATA) é uma rede de observação in situ composta por boias fundeadas planejadas para monitorar uma série de variáveis dos processos de interação oceano-atmosfera no oceano Atlântico Tropicais. O objetivo deste trabalho é descrever e compreender a evolução temporal e espacial da temperatura da superfície do mar, a estrutura térmica superficial e as transferências de quantidade de movimento, de calor e de água doce, entre o oceano e a atmosfera. Os institutos envolvidos no programa PIRATA – BRASIL: FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos), INPE, o Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) e Universidade de São Paulo do lado brasileiro. Mais detalhes sobre esse projeto no item “Cenários Climáticos” do presente relatório.
- **Programa GLOSS-Brasil:** Este projeto realiza medições permanentes do nível do mar para apoiar a pesquisa em ciências ambientais voltadas para a melhoria do planejamento social e econômico. Coordena este projeto o Centro Hidrográfico da Marinha (CHM), em parceria com universidades, empresas portuárias e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados das estações maregráficas estão disponíveis no site: <http://www.goosbrasil.org/gloss/dados2.php>. A Tabela 4.10.2 a seguir resume as estações em maregráficas em operação no Brasil.

**Tabela 4.10.2 - Estações maregráficas em operação no Brasil**

Estação	Localização		Série de dados
	Estado	Situação	
Rio Grande	RS	estuário	1981 – 2003
Imbituba	PR	costa aberta	2001 a 2006 e 2008 a 2010
Cananéia	SP	estuário	1954 a 2006
Ilha Fiscal	RJ	baía	1963 a 2007
Imbetiba ( Macaé)	RJ	costa aberta	2001 a 2006 e 2008
Barra do Riacho	ES	costa aberta	Sem dados
Salvador	BA	baía	2004 a 2010
Fortaleza	CE	costa aberta	1995 a 1998 e 2008 a 2010
Ponta da Madeira	MA	baía	1985
Trindade	-	Ilha	1983 a 1983
Fernando de Noronha	-	Ilha	1985 a 1986
São Pedro e S. Paulo	-	Ilha	1982 a 1985 e 2009 a 2010

Fonte: <http://www.goosbrasil.org/gloss/dados2.php> (2013)

- **Programa Nacional de Boias (PNBOIA):** O Subcomitê de Gerenciamento do Programa Nacional de Boias (PNBOIA) do Programa Piloto do Sistema Global de Observação dos Oceanos (GOOS) 101 foi criado pela Portaria nº 020 de 10 de setembro de 1998 da Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM). Este programa consiste na distribuição de uma rede de boias de deriva fundeadas na região costeira rastreadas por satélite que visa fornecer dados meteorológicos e oceanográficos em tempo real para a comunidade científica. O foco do PNBOIA é

<sup>101</sup> GOOS: Sistema de Observação Global dos Oceanos. É uma plataforma que tem como objetivo possibilitar a cooperação internacional de observações sustentáveis dos oceanos, para gerar produtos e serviços oceanográficos e para interação entre pesquisa, operacionalidade e comunidades usuárias.

melhorar o conhecimento da circulação oceânica do Atlântico Sul através da análise das trajetórias lagrangeanas provenientes de dados coletados por boias de deriva ou fundeadas na região costeira. Este programa é a contribuição brasileira para o GOOS.

- **SIMCosta:** Aprovado em dezembro de 2011 pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira tem como objetivo a estruturação e manutenção de uma rede de monitoramento em fluxo contínuo das variáveis oceânicas e meteorológicas ao longo da costa brasileira. Inicialmente, serão atendidos os contemplados neste monitoramento os estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os dados obtidos pela rede de monitoramento serão utilizados para:
  - i) Estabelecer um sistema de alerta em casos de ocorrência de eventos extremos;
  - ii) Antever os processos ligados aos efeitos climáticos, como os eventos de El Niño/La Niña;
  - iii) Identificar tendências de longo período;
  - iv) Mapear vulnerabilidades da zona costeira;
  - v) Prever impactos sobre os meios físico, biótico e socioeconômico da zona costeira;
  - vi) Gerar cenários futuros;
  - vii) Avaliar as alternativas de mitigação;
  - viii) Fornecer informações para modelagens e análises de variáveis e estado dos ecossistemas costeiros;
  - ix) Expandir da capacidade nacional de desenvolver e administrar sistemas de observação oceanográfica.

#### 4.10.5 Lacunas identificadas

A seguir são elencadas as lacunas e limitações mais relevantes, principalmente para o avanço das análises dos impactos e vulnerabilidades nas Zonas Costeiras.

- **Ambientes naturais não contabilizados:** Os estudos de vulnerabilidade das zonas costeiras não consideram os ambientes naturais em virtude das dificuldades de caracterizar a vulnerabilidade destes ambientes com as cadeias socioeconômicas. Isto indica que os resultados estão subestimados.
- **Poucos estudos de vulnerabilidade às mudanças climáticas da costa existentes no País.**
- **Limitação de estudos:** Em relação à vulnerabilidade das zonas costeiras, os avanços esperados estão relacionados principalmente ao desenvolvimento de novas pesquisas e metodologias. São poucos estudos que abordam os impactos das mudanças climáticas sobre o litoral brasileiro e o seus ecossistemas. A ausência de trabalhos mais detalhados sobre os impactos das mudanças climáticas nas zonas costeiras dificulta a valoração destes eventos climáticos.
- **Série de dados adequados:** não existe uma base cartográfica unificada para a zona costeira brasileira e faltam informações climáticas. Os dados disponíveis no país são insuficientes para a construção de cenários de impactos nas zonas costeiras decorrentes das mudanças climáticas.

- **Estudos que relacionem ecossistema manguezal com elevação do nível médio do mar:**  
No que se refere ao Brasil, apenas duas regiões possuem informações reais que relacionem alterações no ecossistema manguezal com uma possível elevação do nível médio do mar. Esses estudos referem-se a manguezais nos estados do Rio de Janeiro e no Pará. Todavia, encontramos ainda alguns estudos relativos a manguezais do nordeste do Brasil, que apontam a possibilidade de alterações em áreas de manguezal associadas à elevação do nível médio do mar.

#### 4.10.6 Sistematização das informações para o tema Zonas Costeiras

As metodologias para sistematização das informações sobre impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação para o tema Zonas Costeiras são as mesmas descritas no item 4.1.7 desse relatório.

A seguir é apresentada a sistematização dessas informações para o tema Zonas Costeiras (Quadro 4.10.7).

**Quadro 4.10.7 - Dimensões das avaliações de vulnerabilidades e impactos para o tema Zonas Costeiras**

<b>VULNERABILIDADE</b>
<b>Sistema Vulnerável</b>
<p><b>Região Norte:</b> Macapá (AP), Belém (PA) e São Luiz (MA): vulnerabilidade alta devido a fatores de caráter físico (dinâmica costeira e geomorfologia), socioeconômico (renda média da população, carências de serviços básicos) e tecnológico (tipos de indústrias estabelecidas em zonas costeiras).</p> <p><b>Região Nordeste:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Litoral do Ceará: vulnerável devido à existência pontual de terrenos com cotas altimétricas elevadas. Possui um grande número de segmentos costeiros submetidos a processos erosivos associados a campos de dunas;</li> <li>• No estado da Bahia: alta densidade populacional e condições de saneamento básico deficitárias;</li> <li>• Todos os estados nordestinos apresentam algum grau de vulnerabilidade.</li> </ul> <p><b>Região Sudeste:</b> vulnerabilidades relacionadas à inundação em terrenos rebaixados e alta densidade populacional. Principais localidades vulneráveis: Vitória, Vila Velha e Guarapari (maiores densidades populacionais instaladas em áreas litorâneas rebaixadas), áreas interiores da drenagem do Rio Paraíba do Sul, região metropolitana do Rio de Janeiro, litoral norte e sul de São Paulo e Baixada Santista.</p> <p><b>Região Sul:</b> A região mais vulnerável fica entre o sul do estado de Santa Catarina e o limite com o Uruguai, devido à incidência de eventos extremos como furacões.</p>
<b>Perigos (fatores de estresse)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da temperatura atmosférica e oceânica;</li> <li>• Aumento do nível do mar;</li> <li>• Aumento da acidez de oceanos;</li> <li>• Aumento da frequência de eventos extremos que causam desastres naturais, como: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempestades: meteorológico e súbito;</li> <li>• Deslizamento de terra: geológico e súbito;</li> <li>• Erosão costeira: geológico e gradual.</li> </ul> </li> </ul>

Atributo(s) valorizado(s) ou variáveis de interesse
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualidade de vida das populações costeiras;</li> <li>• Quantidade e qualidade de recursos do mar vivos e não vivos e de recursos naturais de zonas costeiras;</li> <li>• Produção de alimentos em zonas agrícolas costeiras.</li> </ul>
Horizonte temporal
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeções de impactos para 2050 e 2100 (longo prazo).</li> </ul>
IMPACTO
Efeitos decorrentes das mudanças climáticas
<p><b>Impactos biofísicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento do nível do mar e erosão costeira atingindo áreas urbanas: estudos indicam um aumento de 0,18 a 0,51 m até 2100 no País;</li> <li>• Perdas de biodiversidade marítima e de zonas costeiras.</li> </ul> <p><b>Impactos socioeconômicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Impactos na mobilidade urbana, com consequência para o crescimento da economia e qualidade de vida das populações;</li> <li>• Danos à infraestrutura habitacional, industrial, energética e de lazer em áreas litorâneas.</li> <li>• Principais cidades com patrimônios ameaçados pelas mudanças climáticas: Salvador, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Vitória, Santos, Recife, Fortaleza;</li> <li>• Alto custo estimado decorrente do aumento do nível do mar em cada tipo de patrimônio (urbanização, redes de serviços públicos, etc.);</li> <li>• Impactos na infraestrutura de transporte costeiro devido aos efeitos combinados de tempestade e aumento do nível global do mar.</li> </ul>
Indicadores de ocorrência e/ou magnitude de impactos e vulnerabilidade
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto na qualidade de vida das populações costeiras (Índice de Desenvolvimento Humano (IDH))<sup>102</sup>;</li> <li>• Impacto nas comunidades de pescadores artesanais; (quantidade e qualidade do pescado);</li> <li>• Frequência de deslizamentos de encostas ou de falésias;</li> <li>• Frequência de enchentes e inundações nas áreas costeiras;</li> <li>• Alterações nos ecossistemas costeiros (manguezais, marismas, estuários, praias, recifes de corais, pradarias de ervas e algas marinhas);</li> <li>• Produção de alimentos em zonas agrícolas costeiras.</li> </ul>
ADAPTAÇÃO
Medidas de adaptação
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro;</li> <li>• Plano Setorial para Recursos do Mar 2012-2015;</li> <li>• Medidas de adaptação recomendadas pela COPPE/2010: Recuo (abandono de casas e das benfeitorias); acomodação (reconstrução periódica das benfeitorias e aproveitamento de áreas inundadas para aquicultura) e proteção (engordamento de praias, fixação da costa com blocos artificiais, construção de muros de proteção, construção de quebra-mares ou estruturas no mar e recuperação de estruturas portuárias).</li> </ul>
Indicadores relacionados a medidas de adaptação
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Renda (salários mínimos);</li> <li>• Escolaridade;</li> </ul>

<sup>102</sup> IDH: Esse indicador de impacto também pode ser utilizado como Indicador de vulnerabilidade das populações costeiras (quanto menor o IDH maior a vulnerabilidade dessa população).

- Rede de esgoto;
- Rede de água;
- Coleta de resíduos sólidos;
- Declividade do terreno (acima de 30°);
- Forma do terreno;
- Proximidade a rios e ao mar;
- Domicílios próprios;
- População potencialmente ativa;
- Idade média da família.



## 5 BIBLIOGRAFIA

ABNT. **NB 1350 - Normas para elaboração de plano diretor**. Rio de Janeiro. 1991.

ADAMS, R. M.; MCCARL, B. A.; L.O., M. The effects of spatial scale of climate scenarios on economic assessments: An example from U.S. agriculture. **Climate Change**, v. 60, p. 131-148, 2003.

ADGER, W. N. Social Vulnerability to climate change extremes in coastal Vietnam. **World Development**, n. 27, 1999.

ADGER, W. N. et al. **Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity**. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom, p. 717-743. 2007.

ADGER, W. N.; KELLY, M. Social Vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. **Mitig. Adapt. Strat. Global Change**, n. 4, 1999.

ALEIXO, A. **"Incerteza taxonômica" na biodiversidade amazônica: por que resolvê-la é imprescindível para a conservação do bioma?** 4. ed. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, v. 10, 2010.

ALVES, H. P. F.; MELLO, A. Y. I de; D'ANTONA, A. de O.; CARMO, R. L. do. **Vulnerabilidade socioambiental nos municípios do litoral paulista no contexto das mudanças climáticas**. XVII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, realizado em Caxambu- MG – Brasil, de 20 a 24 de setembro de 2010.

AMBRIZZI, T. R. et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais**. Brasília. 2007.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional**. [S.l.]. 2010.

ANAZAWA, T. M. **Vulnerabilidade e território no litoral norte de São Paulo: indicadores, perfis de ativos e trajetórias**. INPE. São José dos Campos, p. 218. 2012.

ANAZAWA, T. M.; FEITOSA, F. da F.; MONTEIRO, A. M. V. Vulnerabilidade socioecológica no litoral norte de São Paulo: medida, superfícies e perfis de ativos. **Geografia**, Rio Claro, v.38, n.1, p.189,208, 2013

ANTONELLI, A. et al. **Molecular studies and phylogeography of Amazonian tetrapods and their relation to geological and climatic models**. [S.l.]: Blackwell Publishing Ltd, v. 24, 2010.

**Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2012** - CENAD. Brasília, p. 84. 2013.

ARNOLD, J. G.; ALLEN, P. M. Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds. **Journal of Hydrology, London**, v.176, n.1, 1996. 57-177.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Embrapa e Unicamp. São Paulo, p. 82. 2008.

ASSAD, E. et al. **Impactos das Mudanças Climáticas na Produção Agrícola Brasileira**. 2013 no prelo.

BALTOKOSKY, V. et al. Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos Rios Conrado e Pinheiro - Pato Branco (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo v.176**, p. p. 253-261, 2010.

BARBIERI, A. et al. **Mudanças Climáticas, Migrações e Saúde: Cenários para o Nordeste Brasileiro, 2000-2050**. CEDEPLAR e LABES/FIOCRUZ. 2008.

BARBIERI, A. F. E. U. C. **Migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050**. Recife: Linceu, 2010. 45-65 p.

BARCELLOS, C. E. A. **Mudanças Climáticas e Ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. Epidemiologia e Serviços de saúde**. Brasília, p. 285-304. 2009.

BATES, B.; KUNDZEWICZ, Z. W.; PALUTIKOF, J. **Climate Change and Water**. IPCC, 2008.

BAUM, S. K. **Glossary of physical oceanography and related disciplines**. Texas A & M University. Texas, p. 539. 2004.

BESKOW, S. **LASH Model: A Hydrological Simulation Tool in GIS Framework**. Lavras. 2009.

BESKOW, S. et al. **Performance of a distributed semi-conceptual hydrological model under tropical watershed conditions**. 2011b.

BESKOW, S.; MELLO, C. R. D.; NORTON, L. D. **Development, sensitivity and uncertainty analysis of LASH model**. 2011a.

BIEMANS, H. et al. **Water and Climate Risks: A Plea For Climate Proofing of Water Development Strategies and Measures**. 2006.

BLAIKIE, P. et al. **At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters**, 1994.

BOS, M. G.; BURTON, **Irrigation and Drainage Performance Assessment**. Practical guidelines. **CABI Publishing, Cambridge, USA**, 2005. 158.

BRASIL, G. **Recursos Hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e expectativas do meio ambiente no Brasil**. Brasília: MMA; ANA 2007. 264p. il (GEO Brasil Série Temática: GEO Brasil Recursos Hídricos). 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Mudanças Climáticas e Ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil**. Organização Pan Americana da Saúde. Brasília, 2008. 40p.

BRASIL, GOVERNO FEDERAL. **Lei nº 12.187 de 29 de Dezembro de 2009**. 2009.

BROOKS, N. **Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework**. **Tyndall Centre for Climate Change Reserach, Norwich, UK**, n. 38, 2003.

BROWN, A.; DAYAL, A.; DEL RIO, C. R. **From practice to theory: emerging lessons from Asia for building urban climate change resilience**. IIED, p. 531-556. 2012.

CALLIARI, L. J., SPERANSKI, N. S., TORRONTÉGUY, M., ET AL. 2000. "The mud banks of Cassino Beach, southern Brazil: characteristics, processes and effects", **Journal of Coastal Research**, pp. 1–9. ICS 2000 Proceedings.

CONFALONIERI, U; MARINHO, D. P. Mudança climática global e saúde: perspectivas para o Brasil. Revista Multiciência, Edição no. 8: Mudanças Climáticas. Campinas, Maio 2007 CARNAVAL, A. C. et al. Stability Predicts Genetic Diversity in the Brazilian Atlantic Forest Hotspot. **Science**, v. 323, p. 785-789, 2009.

CARTWRIGHT, A. et al. Economics of climate change adaptation at the local scale under conditions of uncertainty and resource constraints: the case of Durban. **Environment and Urbanization**, v. 25, p. 139-156, April 2013.

CARVALHO, L. et al. Extreme precipitation events in Southeast South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate** n.15, 2002. 2377-94.

CCST/INPE E NEPO/UNICAMP. **Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas**. São Paulo, p. 185. 2011.

CEDEPLAR/FIOCRUZ. **Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste, 2000-2050**, p. 46. 2008.

CENAD. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2012**. Brasília, p. 84. 2013.

CEPED/UFSC. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**, p. 94. 2012.

CGEE. Brasil: de política de ciência e tecnologia para política de inovação? Evolução e desafios das políticas brasileiras de ciência, tecnologia e inovação. In: Centro de Gestão e Estudos Estratégico (CGEE). **Avaliação de políticas de ciência, tecnologia e inovação: diálogos entre experiências estrangeiras e brasileira**. Brasília: CGEE, 2008.

CIRM. Segundo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC II). Brasília, MMA, 2007.

CLARKE, R.; KING, J. O Atlas da Água: O mapeamento completo do recurso mais precioso do planeta. **São Paulo - SP: Publifolha**, 2005. 128.

CNI. **Competitividade Brasil 2012: comparação com países selecionados**. Confederação Nacional da Indústria. Brasília, p. 114. 2012.

CNT. **Boletim Estatístico**. Brasília. 2013.

COELHO, M. S. **Estudo da Estrutura Vertical e Horizontal da Precipitação e da Circulação atmosférica na região da Zona de Convergência Intertropical**. Dissertação de Mestrado. 2002.

COELHO-ZANOTTI, M. S. S. Statistical Analysis Aiming at Predicting Respiratory Tract Disease Hospital Admissions from Environmental Variables in the City of São Paulo. **Journal of Environmental and Public Health**, p. 11, 2010.

COELHO-ZANOTTI, M. S. S.; MASSAD, E. The impact of climate on Leptospirosis in São Paulo. **International Journal of Biometeorology**, v. 55, p. 1-9, 2012.

COELHO-ZANOTTI, M. S. S.; SALDIVA, P. H. N. **Estimate of the Hospital Admissions for Respiratory Diseases in Brazil Using Hybrid Model**. 19th Congress International of Biometeorology. Auckland. 2011.

COELHO-ZANOTTI, M. S. S.; SALDIVA, P. H. N.; PASQUALUCCI, C. A. **Extreme Weather Events and Human Health in Urban Area: A Case Study in São Paulo**. 10th International Conference on Urban Health. Belo Horizonte. 2011.

COLLEVATTI, R.; NABOUT, J.; DINIZ-FILHO, J. Range shift and loss of genetic diversity under climate change in Caryocar brasiliense, a Neotropical tree species. **Springer Link**, v. 7, p. 1237-1247, December 2011.

COLOMBO, A. **Conseqüências potenciais das mudanças climáticas**. Dissertação de Mestrado. UNICAMP. Campinas, p. 86. 2007.

CONFALONIERI, U. E. C. Mudança climática global e saúde humana no Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 27, p. 323-350, 2008.

CONFALONIERI, U. E. C. et al. **Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o nordeste, 2000-2050**. CEDEPLAR/FIOCRUZ. Belo Horizonte e Rio de Janeiro. 2008.

COPPE. **ECONOMIA DA MUDANÇA DO CLIMA NO BRASIL: CUSTOS E OPORTUNIDADES**. Disponível: [http://www.colit.pr.gov.br/arquivos/File/Publicacoes/Economia\\_do\\_clima.pdf](http://www.colit.pr.gov.br/arquivos/File/Publicacoes/Economia_do_clima.pdf). 2010.

COX, P. E. A. Increase risk of Amazonian Drought due to decreasing aerosol pollution. **Nature (London)**, v.453, 2008. 212-16.

CUTTER, S. L. Living with Risk, 1993.

CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards , 1996.

D'ANTONA, A.; CARMO, R. L. **Dinâmicas demográficas e ambiente**. NEPO/UNICAMP. Campinas, p. 238. 2011.

DÍAZ, J. A. R. et al. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Sapin. **Regional Environmental Change**, v.7, 2007. 149-159.

DORMAN, J. L.; SELLERS, P. J. A global climatology of albedo, roughness length and. **Journal of Applied Meteorology**, v. 28, p. 833-855, 1989.

DOW, K. Exploring differences in our common future(s): The meaning of vulnerability to global environmental change. **Geoforum**, n. 23, 1992.

DOWNING, T. E. et al. Climate Change Vulnerability: Linking Impacts and Adaptation. **Report to the Governing Council of the United Nations Programme**, 2001.

DOWNING, T. E.; PATWARDHAN, A. Vulnerability Assessment for Climate Adaptation. **APF Technical Paper**, n. 3, 2003.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R.; NAGHETTINI, M. Applicability of the SWAT model for hydrologic simulation in Paraopeba River Basin, MG. **Cerne**, v.17, 2011. 481-488.

EAKIN, H. Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: cases from Central Mexico, n. 33, 2005.

EAKIN, H.; LUERS, A. L. Assessing the Vulnerability of Social-Environmental Systems, 2006.

ELLA. **Evidences and Lessons of Latin America. Brazil's public policy package for successful farmer adaptation.** 2012. 5p. Disponível em: [http://ella.practicalaction.org/sites/default/files/120106\\_ENV\\_AdaSemReg\\_BRIEF%203.pdf](http://ella.practicalaction.org/sites/default/files/120106_ENV_AdaSemReg_BRIEF%203.pdf)

EM-DAT. The International Disaster Database. **Annual Disaster Statistical Review: Numbers and Trends 2006.** CRED Brussels. p. 55. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil. **São Paulo: Embrapa**, 2008. Disponível em: <http://www.embrapa.br/publicacoes/institucionais/titulos-avulsos/aquecimentoglobal.pdf>  
Acesso em outubro de 2013.

EPE. **Plano Nacional de Energia 2030.** Brasília. 2007.

EPE. **Plano Decenal de Energia 2021.** Brasília. 2013.

FANKHAUSER, S. Protection versus retreat: the economic costs of sea-level rise. **Environ. Plann. A**, v. 27, p. 299-319, 1995.

FBDS. **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil.** Disponível em: <http://fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>. [S.l.]. Acesso em setembro de 2013.

FBMC. **Mudanças climáticas, desigualdades sociais e populações vulneráveis no Brasil: construindo capacidades**, p. 719. 2011.

FERNANDES, E. et al. **Climate change and agriculture in Latin America (2020-2050).** World Bank. Washington DC. 2011.

FIESP. **Panorama da Indústria de Transformação Brasileira.** Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. São Paulo. 2013.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. **Climanálise**, v. 5, p. 36-45, 1990.

FIOCRUZ. **MAPA DE VULNERABILIDADE DA POPULAÇÃO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO AOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS ÁREAS SOCIAL, SAÚDE E AMBIENTE**, p. 162. 2011.

FIRJAN. **Brasil mais competitivo: ganhos com o funcionamento 24 horas dos órgãos anuentes nos aeroportos**. Nota Técnica. Diretoria de Desenvolvimento Econômico, Gerência de Competitividade Industrial e Investimentos. Rio de Janeiro. 2013.

FISHER, P. F.; TATE, N. J. Causes and consequences of error in digital elevation models. **Progress in Physical Geography** **30(4)**, 2002. 467-489.

FORD, J. Vulnerability: Concepts and Issues. **Ph.D. Scholarly Field Paper, University of Guelph, Guelph, Canada**, 2002.

FÜSSEL, H.-M. Vulnerability in Climate Change Research: A Comprehensive Conceptual Framework, 2005.

FÜSSEL, H.-M. Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons, 2007.

FÜSSEL, H.-M.; KLEIN, R. J. T. Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking, 2006.

GALLOPÍN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Journal of Global Environmental Change**, v. 16, p. 293–303, 2006.

GIORGI, F. et al. **Regional climate information - evaluation and projections**. 2001.

GONÇALVES, F. L. T.; COELHO-ZANOTTI, M. S. S. Variação da morbidade de doenças respiratórias em função da variação da temperatura entre os meses de abril e maio em São Paulo. **Ciência e Natura**, v. 32, p. 103-118, 2010.

GONDIM, R. S. et al. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe no estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.12, p. 1657-1664, 2008.

GOOSBRASIL. **Componente GOOS brasileira da Aliança Regional para a Oceanografia no Atlântico Sudoeste Superior e Tropical**. Disponível em: <http://www.goosbrasil.org/gloss/dados2.php>. [S.l.]. Acesso em outubro de 2013.

GOUBESVILLE, P. Challenges for integrated water resources management. **Physics and Chemistry of the Earth, Amsterdam**, v.33, p. 284-289, 2008.

GROISSMAN, P. et al. Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, n.18, 2005. 1326-1350.

GROPPO, J. D. **Estudo de tendências nas séries temporais de qualidade de água de rios no Estado de São Paulo com diferentes graus de intervenção antrópica**. Piracicaba. 2005.

HADDAD, E. et al. **IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL**. CEDEPLAR. Belo Horizonte/ São Paulo, p. 26. 2010.

HAYLOCK, M. R. E. A. Trends in total and extreme South America rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate** n.19, 2006. 1490-1512.

HOUGHTON, J. T. et al. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, 2001.

HYDRO-CLIMATIC and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences**, v.21, 2008b. 1-16.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2000**. 2000.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2002**. Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro, p. 195. 2002.

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Síntese dos Indicadores de 2009**. Rio de Janeiro. 2010.

IBGE. **Censo Demográfico 2010: Cadastro de Municípios da Zona Costeira**. 2011.

IGNOTTI, E. et al. Air pollution and hospital admissions for respiratory disease in the subequatorial Amazon: a time approach. **Cad. Saúde Pública**, v. 26, p. 747-761, 2010.

INCT. **Relatório de Atividades 2011.2012 no prelo**. São José dos Campos. 2013.

INNOCENTINI, V.; ARANTES, F. O. Ondas do mar: conhecer para explorar. *Ciência Hoje*, v. 39, n. 231, p. 40-46, 2001.

INPE. **Sumário Executivo Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo**. Brasil. 2010.

IOC/UNESCO. **Intergovernmental Oceanographic Commission 1999**. Disponível em: [http://www.jodc.go.jp/info/ioc\\_doc/Annual/124598e.pdf](http://www.jodc.go.jp/info/ioc_doc/Annual/124598e.pdf). [S.l.]. Acesso em outubro de 2013.

IPCC. **IPCC Special Report to the First Session of the Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change. Working Group III**. University College London and Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, p. 59. 1994.

IPCC. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. A contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001.

IPCC. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. United Kingdom, p. 976. 2007.

IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Switzerzerland. 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers*. IPCC Geneva, 2007.

IPCC. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge, UK, 976pp. 2007a.

IPCC. **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.** United Kingdom and USA, p. 582. 2012.

IPCC. **Summary for Policymakers Climate Change 2013.** Switzerland. 2013.

IPEA. **Gargalos e demandas da infraestrutura portuária e os investimentos do PAC: mapeamento IPEA de obras portuárias.** Brasília. 2009.

IPEA. Gargalos e demandas da infraestrutura portuária e os investimentos do PAC: mapeamento IPEA de obras portuárias. **Desafios do Desenvolvimento**, Brasília, Dezembro 2009.

IPEA. **Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios** / editores: Ronaldo Seroa da Motta... [et al.]. Brasília: Ipea, 2011. 440 p.

JACOB, K., V. GORNITZ, AND C. ROSENZWEIG, 2007: Vulnerability of the New York City metropolitan area to coastal hazards, including sea-level rise: Inferences for urban coastal risk management and adaptation policies. In *Managing Coastal Vulnerability*. L. McFadden, R. Nicholls, and E. Penning-Rowsell, Eds. Elsevier, 139-156.

KABAT, P. et al. **Coping with Impacts of Climate Variability and Climate Change In: Water Management: A Scoping Paper.** 2002.

KASPERSON, J. X.; KASPERSON, R. E. International Workshop on Vulnerability and Global Environmental Change, 2001.

KASPERSON, R. E. et al. Vulnerable people and places. In: HASSAN, R.; SCHOLLES, R.; ASH, N. **Ecosystems and Human Wellbeing: Current State and Trends** vol 1. Washington, DC: Island Press, 2005.

KOCH E MACARTHUR, 2013. **Assessing public transportation agencies' climate change adaptation activities and needs.** Submitted for presentation and publication to the 92th Annual Meeting of the Transportation Research Board.

KOETSE, M. J.; RIETVELD., P. **Climate Change, Adverse Weather Conditions, and Transport: A Literature Survey.** Vrije Universiteit. Amsterdam. 2007.

LEHNER, A. B.; CZISCH, G.; VASSOLO, S. The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis. **Energy Policy**, v. 33, p. 839-55, 2005.

LEMOS, M. et al. **Perspectivas do Investimento na Dimensão Regional.** Instituto de Economia. Rio de Janeiro, p. 241. 2009.

LIVERMAN, D. M. Vulnerability to global environmental change. In: KASPERSON, R. E., et al. **Understanding Global Environmental Change: The Contributions of Risk Analysis and Management** (Chapter 26). Worcester, MA: Clark University, 1990.



LOYOLA, E. A. et al. Severe loss of suitable climatic conditions for marsupial species in Brazil: challenges and opportunities for conservation. **PlosOne**, v. 7, p. 1-9.

LUCENA, A. et al. The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. **Energy Policy**, 2009.

LUCENA, A.; SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S. Least-cost adaptation options for global climate change impacts on the Brazilian. **Global Environmental Change - Human and Policy Dimensions**, United Kingdom, v. 20, p. 342-350, Maio 2010.

LUCENA, A.; SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. Least-cost adaptation options for global climate change impacts on the Brazilian Electric Power System. **Global Environmental Change - Human and Policy Dimensions**, United Kingdom, v. 20, p. 10, May 2010.

MACARTHUR, K. E. **Assessing public transportation agencies' climate change adaptation activities and needs**. Submitted for presentation and publication to the 92th Annual Meeting of the Transportation Research Board. 2013.

MAGRIN, G. et al. Latin America. In: PARRY, M. L. et al. (Ed.) **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. p.581-615.

MARCELINO, E. V.; GOERL, R. F. **Distribuição espaço-temporal de inundações bruscas em Santa Catarina (período 1980-2003)**. Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. Florianópolis. 2004.

MARENGO, J. Interannual variability of deep convection in the tropical South American sector as deduced from ISCCP C2 data. **International Journal of Climatology**, v. 15, p. 995-1010, 1995.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas Globais e Regionais: Avaliação do Clima Atual do Brasil e Projeções de Cenários Climáticos do Futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, a.1, p. 01-18, 2001b.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. MMA. Brasília. 2006.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade - caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. MMA. Brasília, p. 214. 2007.

Marengo, J.A; Valverde, M.C. **Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4**. **Revista Multiciência | Campinas, Edição no. 8, Mudanças Climáticas, Maio 2007, p. 5-28**.

MARENGO, J. A. et al. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v.21, p.495-516, 2008a.

MARENGO, J. A. et al. Hydro-climatic: and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences*, v.21, p.1-6, 2008b.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. FBDS, p. 76. 2009.

MARENGO, J. A. E. A. The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, v.21, 2008a. 495-516.

MARENGO, J. A. et al. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Sumário Técnico**. CPTEC/INPE e IAG/USP. São Paulo. 2007.

MARENGO, J. A. et al. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, 2009.

MARENGO, J. A. et al. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analysis for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. *Climate Dynamics*, v.35, n.6, p. 1073-1097, 2011.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAYA, G. E. A. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon. *Clim Dyn*, v. 38, p. 9-10, 2012.

MARENGO, J.; TOMASELLA, C. R. U. Longterm streamflow and rainfall fluctuations in tropical South America: Amazonia, Eastern Brazil and Northwest Peru. *J. Geophys. Res.*, v. 103, 1998. 1775-83.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S.. **Economia da Mudança do Clima no Brasil. Custos e Oportunidades**. São Paulo, p. 82. 2010.

MARTINE, G. O lugar do espaço na equação população/meio ambiente. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 24, 2007.

MCCARTHY, J. J. et al. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, 2001.

MCT. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília. 2010.

MDZCM. Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha (MDZCM), instrumento previsto pela Lei 7661/88 que instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e publicado pelo Ministério do Meio Ambiente em 2008.

MEEHL, G. Global Climate Projections. In: SOLOMON, S. D. E. A. ( . ). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2007.

MEES, H. P.; DRIESSEN, P. J. **Adaptation to climate change in urban areas: Climate-greening London, Rotterdam, and Toronto**, p. 251-280. 2011.

MELLO, C. R. D. et al. Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazilian head water basin. **Catena**, v.75, p. 235-247, 2008.

MENDONÇA, F. Clima, Tropicalidade E Saúde: Uma Perspectiva A Partir Da Intensificação Do Aquecimento Global. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 100-112, 2003.

MENDONÇA, F. Clima, Tropicalidade E Saúde: Uma Perspectiva A Partir Da Intensificação Do Aquecimento Global. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 100-112, 2005.

MEYER, M. D. **Design Standards for U.S. Transportation Infrastructure: The Implications of Climate Change**. Georgia Institute of Technology. Atlanta, p. 30. 2008.

MILLY, P. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. **Nature**, v.438, p. 347-50, 2005.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Island Press, Washington, DC. World Resources Institute, p. 137.

MME. **Balanco Energético Nacional 2013**. Brasília. 2013.

MORAES, G. I.; FERREIRA FILHO, J. B. S. **Impactos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura brasileira**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 48, 2010, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Anais...Brasília: Sober, 2010.

MORALES, A. B. et al. Estudios de Vulnerabilidad de los recursos hidricos de alta montania en el Peru. **Peru: vulnerabilidad frente el cambio climático. Aproximaciones en la experiencia com el fenómeno El Niño**. Lima, Perú: Instituto de Estudios Avanzados da USP, 1999.

MOSS, R. H.; BRENKERT, A. L.; MALONE, E. L. **Vulnerability to Climate Change: A Quantitative Approach**, 2011.

MS. **Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil**. Ministério da Saúde. 2007.

MS. **Plano Nacional de Saúde – PNS : 2012-2015**. Subsecretaria de Planejamento e Orçamento. Brasília, p. 114. 2011.

MUEHE, D. Brazilian coastal vulnerability to climate change. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, p. 173-183, 2010.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NCDC. **Global Analysis – Annual 2009**. Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2009/13>. Acesso em setembro de 2013.

- NEVES, C. F. e MUEHE, D. (2008). **Vulnerabilidade, impactos e adaptação às mudanças do clima: a zona costeira**. Parcerias Estratégicas. CGEE, Brasília, v. 27, p. 217-295, 2008.
- NICHOLLS, R. J. et al. Ranking Port Cities with High Exposure and Vulnerability to Climate Extremes - Exposure Estimates. **OECD Environment Working Papers**, v. 1, 2008.
- NICHOLLS, R. J.; TOL, R. S. J. Impacts and responses to sea-level rise: A global analysis of the SRES scenarios over the 21st Century. **Philos. T. Roy. Soc. A**, v. 364, p. 1073-1095, 2006.
- NICOLODI, J. L.; R.M. PETERMANN, 2. Potential vulnerability of the Brazilian coastal zone in its environmental, social, and technological aspects. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, p. 184-204, 2010.
- NICOLODI, J. L.; ZAMBONI, A. **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil**. MMA. Brasília, p. 213-241. 2008. (9788577381128).
- NOBRE, C. A. et al. **Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo**. UNICAMP. Campinas. 2010.
- NOBRE, C. A. et al. **Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo**. INPE. São Paulo. 2010.
- NOBRE, P. **Brazilian Earth System Model**. INPE. 2013.
- OBERMAIER, M.; ROSA, L. Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise crítica. **SciELO**, São Paulo, v. 27, p. 24, 2013. ISSN 0103-4014.
- O'BRIEN, K. et al. What's in a Word? Conflicting Interpretations of Vulnerability in Climate Change Research. **CICERO Working Paper**, n. 4, 2004.
- OLMOS, S. Vulnerability and Adaptation to Climate Change: Concepts, Issues, Assessments Methods. **Climate Change Knowledge Network**, 2001.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 30, p. 4, Dezembro 2003.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A simple potencial vegetation model for coupling with the Simple Biosphere Model (SIB). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 203-216, 2004.
- PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. **Synthesis Report - Fourth Assessment Report**. Geveva, Switzerland, 104p. 2007.
- PBMC. **Sumário Executivo do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional**. Brasília. 2013.
- PEREIRA, E. et al. The Impacts of Global Climate Changes on the Wind Power Density in Brazil. **Renewable Energy**, v. 49, 2013.
- PETERSON, A. T.; SHAW, J. Lutzomyia vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distribution, and climate change effects. **J. Parasitol**, v. 33, p. 919-931, 2003.

PETERSON, T; C., M. MCGUIRK, T. G. HOUSTON, A. H. E HORVITZ, M. F. WERNER, 2006: **Climate Variability and Change with Implications for Transportation**, 90p.

PEZZA, A. B.; SIMMONDS, I. The First South Atlantic Hurricane: Unprecedented blocking, low shear and climate change. **Geophysical Research Letters**, v.32, 2005.

PILOTTO, I.; CHOU, C.; NOBRE, P. Seasonal climate hindcasts with Eta model nested in CPTC coupled ocean–atmosphere general circulation model. **Springer**, April 2012. 20.

PINTO, D. B. F. **Aplicação do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação hidrossedimentológica em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira, MG**. Lavras. 2011.

PIVETTA, M. Extremos do Clima. **Revista FAPESP**, São Paulo, n. 210, p. 19, Agosto 2013.

PROWSE, M. Towards a Clearer Understanding of Vulnerability in Relation to Chronic Poverty. **CPRC Working Paper No 24**, 2003.

REDE CLIMA. **Modelagem Climática**. São José dos Campos. 2012.

REDE CLIMA. Disponível em: <http://redeclima.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2013/04/Rede-Clima-2011-2012-mais-baixa.pdf>. Acesso em outubro de 2013.

REILLY, J. et al. US agriculture and climate change: new results. **Climatic Change**, v. 57, p. 43-69.

RIBEIRO, G. P. et al. Análise espaço-temporal no suporte à avaliação do processo de erosão costeira em Atafona, São João da Barra (RJ). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 16, p. 129-138, 2004.

RIBEIRO, G. P.; FIGUEIREDO JR, A. G.; ROSAS, R. O. **Processos costeiros: erosão em Atafona e progradação em Grussaí, São João da Barra (RJ)**. Goiânia , p. 12. 2006.

RIBEIRO, W. C. **Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil**. Brasília, p. 297-321. 2008.

ROBERTS, D. et al. Exploring ecosystem-based adaptation in Durban, South Africa: ‘learning-by-doing’ at the local government coal face. **Environment and Urbanization**, v. 24, p. 1-29, April 2012.

ROCHA, A. M. G. C.; GANDÚ, A. W. The south Atlantic Convergence Zone. **Climanálise**, v. Special Edition, p. 140 – 142, 1996.

ROSENZWEIG, C.; PARRY, M. L. Potential impact of climate change on world food supply. **Nature**, v. 367, p. 133-138, 1994.

ROSMAN, P. C. C. **Economia da Mudança do Clima no Brasil: custos e oportunidades**. IBEP Gráfica. São Paulo, p. 38-39. 2010.

ROSMAN, P. C. C. et al. **Vulnerabilidades da Zona Costeira Brasileira Às Mudanças Climáticas**. PENO/COPPE/UFRJ. 2009.

SALATI, E. et al. **Economia da mudança do clima no Brasil: estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima (2015-2100)**. 2009.

SALAZAR, L.; NOBRE, C.; OYAMA, M. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. **34**, 2007.

SANTHI, C. et al. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. **Journal of the American Water Resources Association**, v.**37**, 2001. 1169-1188.

SANTOS, A. M. **Degradação ambiental dos sistemas de nascentes na cidade de Santo Antônio de Jesus - BA**. Santo Antônio de Jesus. 2008.

SCHAEFFE, R. et al. **Climate change: energy security**. PPE/COPPE/UFRJ. 2008.

SCHAEFFER, R., SZKLO, A.S., LUCENA, A.F.P., SOUZA, R.R., BORBA, B.S.M.C., COSTA, I.V.L., PEREIRA Jr., A.O., CUNHA, S.H.F., 2010, Segurança Energética – Relatório Técnico. In: Margulis, S., Marcovitch J., Dubeaux, C.B.S. (org), **Economia das Mudanças do Clima no Brasil: custos e oportunidades**, 2010.

SCHAEFFER, R. et al. **Energy sector vulnerability to climate change: A review**. **Energy** **38**, p. 1-12. 2012.

SCHAEFFER, R. et al. The Impact of Climate Change on the Untapped Potential of Hydropower Systems. **Ieee power & energy magazine**, p. 22-31, 2013.

SHIKLOMANOV, I. A. E. A. The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean. In: LEWIS, E. L. E. A. **The Freshwater Budget of the Arctic Ocean**. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 281-96.

SILVA, F. et al. **Relação entre a incidência do dengue e as variáveis meteorológicas no Brasil**. XVIII Congresso Mundial de Epidemiologia. Porto Alegre. 2008.

SILVA, J.; KERNAGHAN, S.; A., L. **A systems approach to meeting the challenges of urban climate change**. International Journal of Urban Sustainable Development 4, p. 125-145. 2012.

SILVA, M. E. S.; GUETTER, A. K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná.

SILVA, V. A. et al. Uso da terra e perda de solo na bacia hidrográfica do Rio Colônia, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.**15**, p. 310-315, 2011.

SIQUEIRA, M. F.; PETERSON, A. T. Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado tree species. **Biota Neotrop.**, São Paulo, v. 3, 2003.

SMAKHTIN, V. E. A. et al. Taking into account environmental water requirements in global scale water resources assessments. **Comprehensive Assessment Research Report 2.**, 2004.

SOARES, M. L. G. et al. **Vulnerabilidade das florestas de mangue à elevação do nível médio do mar: o caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. XIV Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar. Camboriú, p. 1-3. 2011.

SOARES-FILHO, B. et al. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, p. 4, March 2006.

SOO HOO, W. K.; SUMITANI, M. **Climate Change will Impact the Seattle Department of Transportation**. University of Washington. Washington, p. 49. 2005.

SOUSA, H. T. **Sistema computacional para Regionalização de Vazões - SisCoRV 1.0.** Viçosa, UFV. 2009.

SOUZA, V. et al. Redistribution of threatened and endemic Atlantic Forest birds under climate change. **Natureza & Conservação**, v. 9, p. 214-218, 2011.

SUCEN. **Saiba Mais Sobre a Dengue**. Disponível em: [http:// www.sucen.sp.gov.br/doencas/index.htm](http://www.sucen.sp.gov.br/doencas/index.htm). [S.l.]. 2004.

TEIXEIRA, A. et al. Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology (Print)**, v.148, p. 1524-1537, 2008.

**Terra Livre**, Sao Paulo, v. 1, p. 111-126, jan/jul 2003.

THE GLOBAL COMPETITIVENESS INDEX 2013-2014. Disponível em: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GlobalCompetitivenessReport\\_2013-14.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2013-14.pdf). Acesso em outubro de 2013.

TIMMERMANN, P. Vulnerability, Resilience and the Collapse of Society. **Environmental Monograph**, n. 1, 1981.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (. ). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo. 2009.

TRENBERTH, K. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: SOLOMON, S. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report fo the Intergovernmental Panel on Cliamte Change. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2007.

TURNER, B. L. et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science, 2003.

UNEP. Assessing Human Vulnerability due to Environmental Change: Concepts, Issues, Methods and Case Studies, 2002.

UNFCCC. **Essential Background, Publications, Climate Change Information Kit**. 2012.

UNITED NATIONS. Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. **United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland**, 2004.

UNITED NATIONS. **The Fourth Edition of the World Water Development Report: Managing Water Report under Uncertainty and Risk**. 2012.

USDOT. **The Potential Impacts of Climate Change on Transportation**. Center for Climate Change and Environmental Forecasting. USA, p. 3-28. 2002.

VALE, M. et al. Effects of Future Infrastructure development on threat status and occurrence of amazonian birds. **Conservation Biology**, v. 22, 2008.

VALOIS, N. A. L. **TESE DE MESTRADO: PROPOSIÇÃO DO USO DE INDICADORES AMBIENTAIS NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE PORTOS BRASILEIROS**. UFPE. Recife, p. 135. 2009.

VICENTE, A. K.; NUNES, L. H. Extreme precipitation events in Campinas. **Terrae**, Brazil, v. 1, p. 60-62, 2004.

BARROS, F. Vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada do Município de Maricá. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 6, p. 83-90, 2005.

WILLBANKS, T. et al. **Industry, settlement and society**. Climate change 2007: Impacts adaptation and vulnerability. contribution of working group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom. 2007.

WRI. **SYNTHESIS ECOSYSTEMS AND HUMAN WELL-BEING: WETLANDS AND WATER**. Washington DC, p. 68. 2005.

XAVIER, T. **Mudanças Climáticas nas cidades e interferências com aquecimento global**. Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia, p. 61-68. 2008.

XIAOPEI, Y.; DESHENG, X.; XIAOYING, Y. **Urbanization research in China: many opportunities and challenges**. IHDP. Bonn. 2006.

YAMAZAKI, Y. Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. **J. Meteor**, Japan, v. 55, p. 204-207, 1975.

YOHE, G. W.; SCHLESINGER, M. E. Sea-level change: The expected economic cost of protection or abandonment in the United States. **Climatic Change**, v. 38, p. 447-472, 1998.

YOUNG, O. et al. The globalization of social-ecological systems: an agenda for scientific research. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 304-316, 2006.



## ANEXO: INFORMAÇÕES ACERCA DE RISCOS CLIMÁTICOS E DISTRIBUIÇÃO DE ATIVOS

As mudanças climáticas estão tornando cada vez mais frequentes os eventos climáticos extremos no País que causam os desastres naturais, afetando de maneira significativa diversos setores da economia, bem como os recursos naturais e a sociedade. Esses fenômenos climáticos também acarretam em perturbações na distribuição dos ativos naturais<sup>103</sup>, fixos<sup>104</sup> e sociais<sup>105</sup>.

A avaliação da distribuição desses ativos frente aos impactos das mudanças do clima pode ser realizada por meio da aplicabilidade de cenários socioeconômicos, podendo ser valorado/precificado. Os cenários socioeconômicos são descrições aceitáveis de eventuais estados futuros do país, e analisam e quantificam o impacto das alterações climáticas na agenda de desenvolvimento do país. Essa avaliação também dá subsídios aos tomadores de decisões a adotarem ferramentas para gerenciar, da melhor maneira possível, os riscos das mudanças climáticas e auxiliar na adesão de medidas preventivas e adaptativas com melhor custo-benefício.

Verifica-se, no entanto, uma dificuldade de sistematizar informações acerca de riscos climáticos e distribuição de ativos presentes nos estudos e relatórios analisados, sendo que os mesmos possuem estruturas diferentes e as informações estão integradas com avaliações de impactos e vulnerabilidades mais amplas.

Diante disso, o presente relatório apresentou as informações acerca de riscos climáticos e distribuição de ativos ao longo das seções do Produto 2.0.1: “Diagnóstico preliminar das principais informações sobre projeções climáticas e socioeconômicas, impactos e vulnerabilidades disponíveis em trabalhos e projetos dos atores mapeados”.

A distribuição dos ativos diante das mudanças do clima foi apresentada direta e indiretamente em cada recorte temático analisado no presente relatório, sendo eles: Agropecuária, Água, Biodiversidade, Cidades, Desastres Naturais, Energia, Indústria, Saúde, Transportes e Zonas Costeiras.

Alguns exemplos de distribuição de ativos impactados pelas alterações climáticas em curso e projetadas apresentados no Produto 2.0.1 são:

- Energia: impactos na geração de energia de grandes usinas existentes, em construção e projetadas na Bacia do Rio Amazonas (Belo Monte, Santo Antônio, Jirau e outras);
- Agropecuária: perdas de produção agrícola, principalmente no Nordeste brasileiro; em termos de área total de baixo risco climático, a região Sul será a mais afetada, podendo perder quase cinco milhões de hectares em 2030;

---

<sup>103</sup> Recursos naturais: água, fauna, flora, etc.

<sup>104</sup> Itens relativos à infraestrutura e patrimônio, tais como terrenos, prédios, plantas industriais, transportes, máquinas, mobiliário, etc.

<sup>105</sup> Educação, saúde, segurança, meios de subsistência, etc.

- Água: no Nordeste é projetada redução na frequência de chuvas de até 2,5mm/dia até 2100, resultando em perdas nas produções agrícolas e diminuição nas vazões dos rios importantes para geração de energia;
- Desastres Naturais: danos materiais e econômicos em todas as regiões do País;
- Cidades: impactos na infraestrutura habitacional, de transporte, industriais, etc, nas capitais brasileiras e grandes centros urbanos;
- Indústria: a maioria dos parques industriais brasileiros se encontra em planícies fluviais e costeiras, suscetíveis a riscos de desastres causados por eventos climáticos extremos;
- Zonas Costeiras: danos à infraestrutura habitacional, industrial, energética e de lazer em áreas litorâneas; principais cidades com patrimônios ameaçados pelas mudanças climáticas - Salvador, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Vitória, Santos, Recife, Fortaleza; impactos na infraestrutura de transporte costeiro devido aos efeitos combinados de tempestade e aumento do nível global do mar.