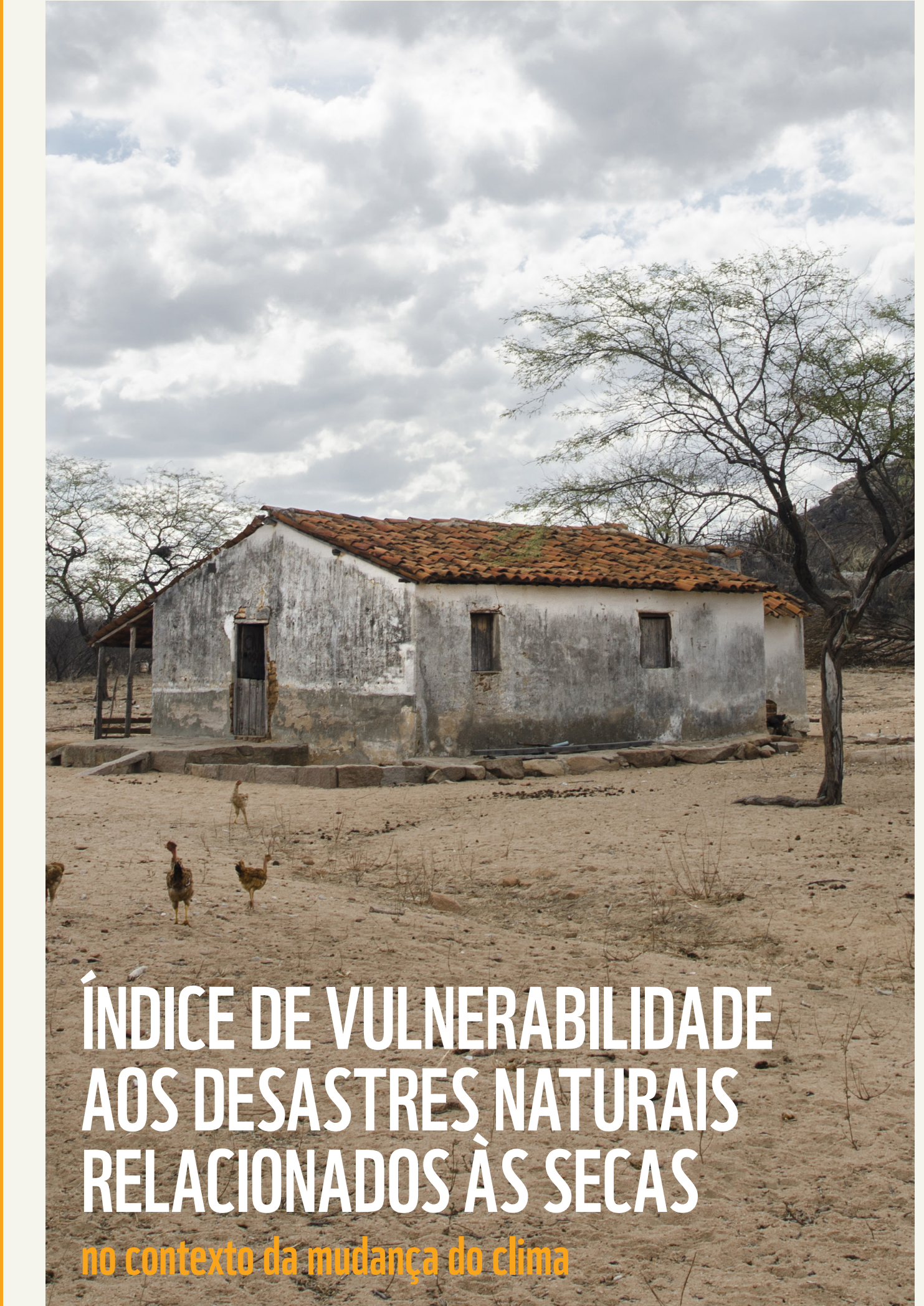




ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AOS DESASTRES NATURAIS RELACIONADOS ÀS SECAS

no contexto da mudança do clima

Presidência da República

Presidente Michel Temer

Ministério do Meio Ambiente

Ministro José Sarney Filho

Secretaria Executiva

Secretário-Executivo Marcelo Cruz

Secretaria de Mudança do Clima e Florestas

Secretário Everton Frask Lucero

Ministério da Integração Nacional

Ministro Helder Zahluth Barbalho

Secretaria Executiva

Secretário-Executivo Mário Ramos Ribeiro

Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

Secretário Renato Newton Ramlow

WWF-Brasil**Diretor Executivo**

Maurício Voivodic

Programa de Mudanças Climáticas e Energia

André Costa Nahur - Coordenador

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AOS DESASTRES NATURAIS RELACIONADOS ÀS SECAS NO CONTEXTO DA MUDANÇA DO CLIMA

ESTUDO COMPLETO

1ª edição

Brasília, Brasil

2017

Equipe

Ministério do Meio Ambiente

Secretaria de Mudança do Clima e Florestas

José Domingos Gonzalez Miguez – Diretor do Departamento de Políticas em Mudança do Clima
Celina Xavier de Mendonça – Gerente de Projeto
Karen Silverwood Cope – Gerente de Projeto
Jaqueline Madruga
Lia Mendes Cruz
Mariana Egler
Nelcilândia P. de Oliveira

Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável

Ricardo Padilha

Ministério da Integração Nacional

Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil – SEDEC

Cristiane Antunes
Ana Flávia Freire

Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres - CENAD

Tiago Molina Schnorr
Juliana Sobrinho dos Santos Moretti

WWF-Brasil

Programa de Mudanças Climáticas e Energia

André Costa Nahur
Alessandra da Mota Mathyas
Bruna Mello de Cenço
Eduardo Valente Canina
Evelin Karine Amorim
Juliana Marinho Pires de Freitas
Lídia Maria Ferreira Rodrigues
Mark William Lutes
Rafael Ferraz
Renata Camargo
Ricardo Junqueira Fujii

Apoio:

GIZ

Programa Políticas sobre Mudança do Clima

Michael Scholze
Ana Carolina Câmara

Autores:

ADAPTA – Assessoria Ambiental e Pesquisa

Pedro Ivo Camarinha
Nathan S. Debortoli
Marina Hirota

Revisão de texto: Amanda Gouveia

Diagramação: Bruna Mello de Cenço

Capa: Bruna Veríssimo

Foto de capa: Cassandra Cury /
Shutterstock.com

Dados Internacionais para Catalogação na
Publicação - CIP
Ministério do Meio Ambiente
Biblioteca

Dados Internacionais para Catalogação na Publicação - CIP

I39

Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima / Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Integração Nacional, WWF-Brasil. – Brasília, DF: MMA, 2017.

125 p., il. color. ; gráficos.

ISBN: 978-85-7738-312-2

1.Mudanças climáticas. 2.Seca meteorológica - Brasil. 3.Desastres naturais. 4.Dados climatológicos. I.Ministério do Meio Ambiente. II.Ministério da Integração Nacional. III.WWF-Brasil. IV.Título.

CDU: 551.583(81)

Ministério do Meio Ambiente
Biblioteca

Lista de Figuras

Figura 1: Estrutura representativa para definição da vulnerabilidade, no contexto de mudanças climáticas	14
Figura 2 - Períodos de retorno projetados para um evento diário de temperatura que foi ultrapassada no final do século XX em média uma vez durante um período de 20 anos (1981-2000).	21
Figura 3: Períodos de retorno projetados para um evento diário de precipitação que foi ultrapassado no final do século XX em média uma vez durante um período de 20 anos (1981-2000).	22
Figura 4: Grau de Severidade das Secas pelo Mundo entre 1901 e 2008..	28
Figura 5: Estrutura representativa para definição da vulnerabilidade, no contexto da mudança do clima.	43
Figura 6: Mapa de Desastres Causados por Estiagem e Seca no Brasil no período de 1991-2010.	52
Figura 7: Mapa de Uso e Cobertura do Solo, ponderado sob o ponto de vista da Sensibilidade às Secas, no contexto da Mudança do Clima.	57
Figura 8: Mapa da Taxa da População na Indigência – população com renda inferior a ¼ do salário mínimo.	58
Figura 9: Mapa da Taxa de Mortalidade Infantil.....	59
Figura 10: Mapa de Densidade Demográfica.....	60
Figura 11: Mapa Ponderado da condição de Oferta e Demanda de Água dos municípios brasileiros e sua sensibilidade aos efeitos das Secas.....	62
Figura 12: Mapa do IDHm.	65
Figura 13: Mapa da Taxa de Analfabetismo do Brasil.....	66
Figura 14: Mapa do Índice Gini.	68
Figura 15: Média de Precipitação Anual para o período de referência (Baseline - 1961-1990) dos modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5.	71
Figura 16: Coeficiente de Variação da Precipitação para o período de referência (Baseline - 1961-1990) dos modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5.	73
Figura 17: Potência das Secas para o Baseline (1961-1990) dos modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5.	74
Figura 18: Frequência de ocorrência de eventos críticos de Seca nos municípios brasileiros, entre os anos de 2003 e 2012.	76
Figura 19: Mapa de Risco Climático de Secas para o baseline (1961-1990) dos modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5.	78
Figura 20: Mapas de Anomalia da Média de Precipitação Anual no modelo Eta-20km para os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5 nos cenários 4,5 e 8,5 para o período de 2011-2040 do IPCC/AR5.	81
Figura 21: Mapas de Incremento da Variabilidade da Precipitação Médica Acumulada em 12 meses, utilizando os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5, para os cenários RCP 4,5 e 8,5 do IPCC/AR5, no período 2011-2040.	84
Figura 22: Mapas de Incremento da Potência das Secas no modelo Eta-20km para os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5 nos cenários 4,5 e 8,5 para o período de 2011-2040 do IPCC/AR5.	86
Figura 23: Mapas de Exposição Climática às Secas no modelo Eta-20km para os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5 nos cenários 4,5 e 8,5 para o período de 2011-2040 do IPCC/AR5.	89
Figura 24: Mapa do Subíndice de Sensibilidade aos Desastres Naturais relacionados às Secas.	94
Figura 25: Mapa do Subíndice de Capacidade Adaptativa aos Desastres Naturais relacionados às Secas. .	97
Figura 26: Mapas do IVDNS (composto pelos Subíndices: Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa), para o período de 2011-2040.....	101
Figura 27: Índice de Vulnerabilidade aos Desastres de Secas – IVDNS no contexto das Mudança do clima.	108

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Percentagem de municípios atingidos no Brasil por tipo de desastre - 2013	25
Gráfico 2: Percentagem de pessoas afetadas no Brasil por tipo de desastre - 2013.....	26
Gráfico 3: Porcentagem de óbitos por tipo de desastre no Brasil - 2013.....	26

Lista de Quadros

Quadro 1: Variáveis utilizadas para compor os Subíndices do IVDNS.	45
Quadro 2: Quadro comparativo da Gama de valores utilizada pelos índices SPEI, SPI e o índice de PALMER (PDSI).	49
Quadro 3: Box explicativo do cálculo da variável Potência das Secas.	50
Quadro 4: Ponderação das Classes de Densidade Demográfica.....	61
Quadro 5: Matriz de Ponderação utilizada para refletir a Sensibilidade dos municípios brasileiros no que se refere à demanda e oferta de água.	62
Quadro 6: Síntese dos resultados do Subíndice de Exposição Climática às Secas, para o período compreendido entre os anos de 2011-2040.	91
Quadro 7: Síntese dos resultados do cálculo do IVDNS (coluna Vulnerabilidade) e de seus Subíndices para o período entre 2011-2040.	104

Lista de siglas

ANA – Agência Nacional de Águas
AR4 - *Fourth Assessment Report* (em português Quarto Relatório de Avaliação do IPCC)
AR5 - *Fifth Assessment Report* (em português Quinto Relatório de Avaliação do IPCC)
CCSR - *Center for Climate System Research* (em português Centro de Pesquisas do Sistema Climático)
CO₂ – Dióxido de Carbono
CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
ECEs - Eventos Climáticos Extremos
EPT - evapotranspiração potencial
FRCGC - *Frontier Research Center for Global Change* (em português Centro de Pesquisa Frontier para a Mudança Global)
GCAM - *Global Change Assessment Model* (em português Modelo de Avaliação de Mudança Global)
GEE – Gás de Efeito Estufa
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHm - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (em português Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
IVDNS - Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais relacionados às Secas
MATSIRO - *Minimal Advanced Treatments of Surface Interaction and Runoff* (em português Tratamento Avançado Mínimo de Interação da Superfície e Escoamento)
MCGA - Modelo de Circulação Global da Atmosfera
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MPPT - Média de Precipitação Anual
NIES - *National Institute for Environmental Studies* (em português Instituto Nacional de Estudos Ambientais do Japão)
OMM - Organização Mundial Meteorológica
PCHs - Pequenas Usinas Hidrelétricas
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RCPs - *Representative Concentration Pathways* (em português Trajetórias Representativas de Concentração)
SPEI - *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* (em português Índice de Precipitação-Evapotranspiração Padronizado)
SRES - *Special Report on Emissions Scenarios* (em português Relatório Especial de Cenários de Emissões)
TCN - Terceira Comunicação Nacional do Brasil sobre Mudança do Clima
TRIFFID - *Top-down Representation of Interactive Foliage Including Dynamics* (em português Modelo de Vegetação Dinâmica Global)
TSM - Temperatura da Superfície do Mar
UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change* (em português Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)

Sumário

APRESENTAÇÃO 	9
1. INTRODUÇÃO 	12
2. PANORAMA GERAL SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA E AS SECAS 	16
2.1 O que dizem os Modelos Climáticos Globais.....	17
2.2 Impactos Regionais.....	18
2.3 Impactos Sazonais	19
2.4 Eventos climáticos extremos e a mudança do clima	20
2.4.1. Impactos Regionais dos Eventos Climáticos Extremos	22
2.4.2. Os Eventos Climáticos Extremos e os Diferentes tipos de Desastres	23
2.5 Os Desastres no Brasil	27
2.5.1. Seca Meteorológica Como Desastre no Brasil	27
2.5.2. A definição de Seca.....	33
3. CONSTRUÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AOS DESASTRES NATURAIS RELACIONADOS ÀS SECAS PARA O BRASIL NO CONTEXTO DA MUDANÇA DO CLIMA 	36
3.1. Objetivo	37
3.2. O conceito da vulnerabilidade às Secas.....	37
3.3. Dimensão Espaço-Temporal e os Cenários de mudança do clima do 5º Relatório do IPCC - AR5	39
3.3.1. O Modelo Hadgem2-ES	39
3.3.2. O Modelo MIROC5.....	40
3.3.3. O Modelo Eta	40
3.3.4. Os Cenários do 5º Relatório do IPCC - AR5	41
3.4. A metodologia de construção do Índice de Vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas – (IVDNS).....	43
3.4.1. Dimensões do IVDNS	43
3.4.2. O Subíndice de Exposição.....	45
3.4.3. O Subíndice de Sensibilidade	54
3.4.4. O Subíndice de Capacidade Adaptativa	63
3.4.5. Cálculo do Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais de Secas (IVDNS)	68
3.4.6. Validação do IVDNS	70
3.4.6.1. Mapa de Risco Climático para o período de referência (1961-1990)	70
3.4.6.2. Resultado agregado do Mapa do Risco Climático para o período de referência (Baseline)	77

4. RESULTADOS DOS ÍNDICES DE VULNERABILIDADE PARA O FUTURO ☞	79
4.1. Subíndice de Exposição	80
4.1.1. Variáveis que compõem o Subíndice de Exposição Climática	80
4.1.2. Subíndice de Exposição às Secas - 2011-2040	88
4.2. Subíndice de Sensibilidade	93
4.3. Subíndice de Capacidade Adaptativa	96
4.4. Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais relacionados à Secas (IVDNS)	100
4.4.1. IVDNS para o período entre 2011-2040 utilizando os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5	100
4.4.2. Destaques dos resultados para as regiões do Brasil	104
4.4.3. Apresentação de dados por município	106
4.4.4. IVDNS para os períodos 2041-2070 e 2071-2099 utilizando os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5	107
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS ☞	111
6. REFERÊNCIAS ☞	119

APRESENTAÇÃO 🐼



No período entre 2013 e 2016, o Ministério do Meio Ambiente coordenou um processo de construção coletiva para a elaboração do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima - PNA¹. Durante o processo, foi identificada a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre a vulnerabilidade do país à mudança do clima, especialmente em relação a algumas categorias de desastres que afetam, de forma transversal, diversos setores da sociedade.

Por ocasião da Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção do Clima (TCN), apresentada em 2016, foi realizado um amplo levantamento de dados, informações e estudos na busca pelo aprofundamento técnico-científico sobre impactos, riscos e vulnerabilidades relacionados à mudança do clima. Um desses estudos foi um diagnóstico da vulnerabilidade das diversas regiões do país à ocorrência atual e futura de dois tipos de desastres de natureza hidrometeorológica: a) inundações bruscas/enxurradas/alagamentos; e b) movimentos de massa/deslizamento.

Como resultado, foi possível evidenciar a relação entre a ocorrência de eventos extremos e possíveis desdobramentos para condições que caracterizam desastres naturais, e avaliar como a mudança do clima pode aumentar ou diminuir esses riscos. Além de questões climáticas, o estudo incluiu aspectos socioambientais e econômicos na análise e, por isso, foi especialmente importante.

Dada a relevância do conhecimento da vulnerabilidade do país no contexto de mudança do clima às diversas categorias de desastres, identificou-se que um estudo relacionado às secas e estiagens era uma lacuna importante que deveria ser preenchida, considerando que esta é a categoria de desastres naturais com maior registro de ocorrências no país.

A partir daí, foi iniciada uma ampla discussão entre o Ministério do Meio Ambiente, o Ministério da Integração Nacional e o WWF-Brasil, resultando no estudo aqui apresentado. O estudo foi financiado pelo WWF-Brasil e envolveu a participação de diferentes instituições que possuem interesse no tema, por meio de um processo de construção coletiva.

A presente publicação apresenta uma análise da vulnerabilidade do Brasil a secas, a partir de uma visão integrada do desastre, tendo como ponto de partida um índice composto

¹ <http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>

por variáveis e subíndices que fazem sua representação em três dimensões: i) climática; ii) socioeconômica; e iii) físico-ambiental.

Além disso, disponibiliza informações à sociedade e ao governo sobre cenários atuais e futuros da mudança do clima e seus impactos sobre as secas no país. Como resultado, foi espacializada a vulnerabilidade a esse tipo de desastre para todo o território brasileiro, em escala municipal, inclusive com projeções da evolução do aumento/diminuição da vulnerabilidade para três períodos: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. Uma análise mais detalhada foi feita para o primeiro período.

Uma das principais inovações do estudo está na criação de uma metodologia que permite a quantificação da vulnerabilidade - uma importante ferramenta que pode ser utilizada para promover a gestão da vulnerabilidade do país em escala local, no contexto da mudança do clima.

Acredita-se que esta publicação poderá contribuir para orientar a elaboração e/ou revisão de iniciativas e políticas públicas relacionadas e/ou influenciadas pelo tema.

1. INTRODUÇÃO 🐮



Alterações nos padrões climáticos trazem consequências que afetam diretamente os sistemas naturais e humanos (IPCC, 2013). Essas alterações fazem parte da variabilidade natural do clima ou podem ser uma resposta às ações antrópicas (emissão de gases de efeito estufa e mudanças do uso do solo), derivando nas mudanças climáticas. Muitas vezes essas alterações estão relacionadas ao regime de precipitação, as quais podem causar impactos negativos dependendo de sua intensidade. No que se refere à ocorrência de secas e estiagens, as tendências de decréscimo de precipitações têm se mostrado frequentes e severas em diversas partes do globo. Simulações climáticas efetuadas a partir de modelos de circulação global da atmosfera têm oferecido prognósticos de climas mais extremos no futuro, ora com chuvas abundantes e de curta duração, ora com longos períodos secos (IPCC REPORT, 2012).

Neste sentido, anomalias na variabilidade climática e na ocorrência de eventos extremos podem acarretar em diferentes consequências (positivas ou negativas e em diferentes graus de intensidade), exigindo um melhor conhecimento por parte do poder público e da sociedade para que os impactos sejam minimizados. Isso se faz mais necessário em regiões que possuem histórico de desastres naturais, pois nestes casos ficam evidenciadas as vulnerabilidades dos sistemas humanos frente aos fenômenos naturais. Esse cenário pode se tornar ainda pior com os efeitos da mudança do clima futuro e, também, daquela já em curso.

No Brasil, é comum observar desastres naturais de secas, principalmente no Nordeste, embora este seja um problema secular. Tais ocorrências trazem à tona a necessidade de serem estruturadas novas políticas públicas que considerem a mudança do clima, inserindo também o conceito de adaptação. É sobre esses argumentos que o presente trabalho foi estruturado, nos quais os resultados visam subsidiar as discussões relacionadas.

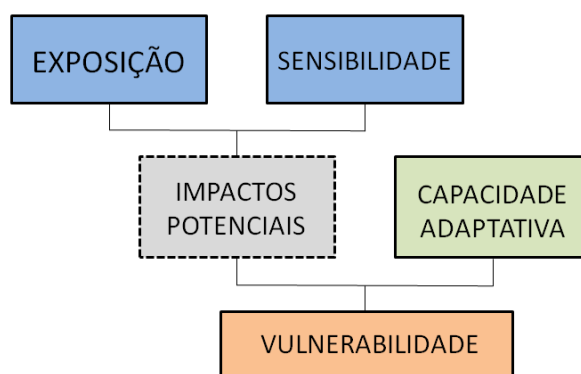
De qualquer forma, primeiramente é preciso ressaltar que a **Seca** é um termo relativo e depende do contexto no qual a análise está inserida. Portanto, qualquer discussão em termos de déficit de precipitação deve se referir às condições particulares relacionadas à quantidade de precipitação que está sobre análise em uma determinada região (CASTRO et al., 2003). Períodos com déficits anormais de precipitação são definidos como **Secas meteorológicas**, podendo ter consequências para atividades agrícolas ou para o ciclo hidrológico (IPCC REPORT, 2012). Numa visão socioeconômica dos desastres, a Seca depende

mais das vulnerabilidades dos grupos sociais afetados do que das próprias condições climáticas.

O aumento das secas e estiagens poderá colocar em risco a produção de alimentos, afetando fontes de energia e a saúde das populações. Em tal contexto de incertezas, faz-se necessário identificar e entender os possíveis cenários de impacto para melhor prever, prevenir e se preparar para os desastres de secas. Uma alternativa para esse tipo de análise consiste na avaliação do clima presente e em comparações com o clima futuro, simulado por modelos climáticos (PBMC, 2013).

Para fins desta publicação, o objeto de estudo dos impactos da mudança do clima foi a **Seca Meteorológica**, considerada como o principal agente deflagrador dos desastres de secas no Brasil. Já o conceito de **Vulnerabilidade** utilizado tem como base o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (do inglês: *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*), a partir de uma função composta de: **Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa** (IPCC, AR4, 2007).

Figura 1: Estrutura representativa para definição da vulnerabilidade, no contexto de mudanças climáticas



Fonte: Adaptado de IPCC, 2013.

Portanto, levando em consideração o *framework* apresentado na **Figura 1** e os desastres de Secas, utilizou-se as seguintes definições para este trabalho:

- **Exposição** representa todas as mudanças do clima relacionadas às componentes que causam a seca meteorológica, como a alteração da média de precipitação (acréscimo ou decréscimo), a variabilidade (maior dificuldade de manter o equilíbrio hidrológico,

sobretudo relacionado aos níveis de umidade do solo) e a ocorrência de extremos climáticos de secas (sua frequência/magnitude).

- **Sensibilidade** representa o efeito biofísico da mudança do clima, considerando o contexto socioeconômico e também ambiental.
- **Capacidade Adaptativa** representa a capacidade de resposta e de reordenamento dos sistemas humanos frente às possíveis mudanças do clima relacionadas às secas.

Na primeira parte desta publicação é apresentado o panorama geral sobre mudança do clima e sobre o desastre da Seca no Brasil. Em seguida, são ressaltados os aspectos metodológicos do estudo, sendo expostos os passos que levaram à construção do Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas – (IVDNS), e sua respectiva validação. Por fim, são apresentados os resultados da aplicação do IVDNS, considerando os cenários futuros e os distintos modelos climáticos. A análise dos resultados, focada no horizonte temporal de 2011-2040, tem um enfoque regionalizado e oferece dados em escala municipal.

2. PANORAMA GERAL SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA E AS SECAS 🐼



2.1 O que dizem os Modelos Climáticos Globais

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (do inglês: *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*), tanto variáveis de forçantes climáticas quanto não climáticas afetam o sistema global. Entretanto, é difícil estimar precisamente todos os impactos causados pela mudança do clima, uma vez que as alterações climáticas regionais observadas nos sistemas naturais e antrópicos são complexas, face à variabilidade do clima natural, e os efeitos provocados por essas interações, inclusive com fenômenos não naturais – ou forçantes não climáticas – como o uso da terra (IPCC, 2007). Essas variáveis não climáticas podem influenciar diretamente e indiretamente o sistema natural produzindo efeitos sobre as variáveis climáticas, a exemplo da temperatura do ar, da pluviosidade e da umidade do solo. Isso tende a ocorrer em virtude da supressão de florestas, do uso intensivo do solo para agricultura, do processo de urbanização e de industrialização, entre outros fatores.

Neste contexto, existem muitas incertezas em relação aos cenários futuros de precipitação nas diversas regiões do Brasil. Menos de 66%, de um total de doze modelos climáticos para o cenário A1B do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (do inglês *Fourth Assessment Report - AR4*), concordaram com o sinal de mudança de precipitação para grandes áreas das regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Norte do Brasil entre os períodos de 1980-99 a 2090-99 (PACHAURI & REISINGER, 2007; IPCC, 2007). Assim, verifica-se que um fator limitante para uma análise mais conclusiva a respeito da disponibilidade de água resultante dos cenários do IPCC é a divergência entre modelos climáticos para grande parte do território brasileiro.

Os modelos de representação do clima atual mostraram dificuldades em representar o balanço hídrico nas regiões hidrográficas do Nordeste Ocidental e Oriental do Oceano Atlântico. As vazões das regiões hidrográficas do Norte Ocidental e Oriental, e do Leste Atlântico, bem como dos rios Parnaíba, Tocantins, São Francisco e Amazonas, apresentaram diminuição em sua vazão até 2100. Entretanto, houve uma pequena alteração prevista nas regiões hidrográficas do Atlântico Sul, Atlântico Sudeste e Uruguai, com ligeira elevação identificada nas regiões das bacias hidrográficas dos rios Paraná e Paraguai até final do século XXI (SALATI et al., 2008).

2.2 Impactos Regionais

Há alguns anos o IPCC vem alertando para o aumento de temperaturas e a redução das chuvas ou intensificação dos eventos pluviométricos extremos nas diferentes regiões do Brasil. Segundo o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (do inglês *Fifth Assessment Report – AR5*), as projeções oriundas dos modelos climáticos globais regionalizadas para o país revelam um aumento da temperatura média em pelo menos 3°C no fim do próximo século, com uma redução nas precipitações em até 40% das médias anuais acumuladas nas regiões Norte e Nordeste. Essas projeções também indicam que as temperaturas médias aumentarão em todas as regiões de 3°C a 6°C perto do ano de 2100. Quanto às chuvas, as incertezas são maiores, mas os prognósticos indicam volumes maiores acumulados para as regiões Sul e Sudeste (IPCC, 2013; PBMC, 2013).

O incremento nas temperaturas e precipitações, positivo ou negativo, poderá resultar na intensificação de Eventos Climáticos Extremos (ECEs)², locais e regionais em longo prazo. Entretanto, ainda existem muitas incertezas quanto à magnitude, intensidade e periodicidade das ocorrências dos ECEs. No que tange aos efeitos da mudança do clima, estas poderão induzir a mudanças na frequência, na intensidade, na dimensão espacial, na duração e no calendário dos ECEs, resultando em extremos sem precedentes (IPCC, 2013).

Particularmente sobre o Brasil, tanto no caso de chuvas torrenciais como de Secas, o IPCC sinaliza uma baixa confiabilidade nas tendências encontradas e comportamentos variáveis em todas as sub-regiões do país. Ao que tudo indica, problemas com a disponibilidade de água e as Secas devem aumentar em regiões semiáridas em baixas latitudes (IPCC, 2007b). Estudos mostram que muitas dessas áreas, entre elas o Nordeste brasileiro, poderão sofrer decréscimo na disponibilidade dos recursos hídricos devido a alterações climáticas (KUNDZEWICZ, *et al.*, 2007), com aumento da variabilidade da precipitação com mais veranicos e secas e, também, um decréscimo na recarga das águas subterrâneas. Além disso, o rápido crescimento populacional e a consequente demanda por água, intensificaria a vulnerabilidade dos sistemas humanos inseridos nessa região.

²Neste documento Eventos Climáticos Extremos (ECEs) relacionam-se com os fenômenos extremos de ordem meteorológica e climatológica.

Situações de estresse hídrico já foram detectadas durante anos de ocorrência de Secas, causando desastres socioeconômicos, os quais poderiam se tornar mais frequentes em um clima mais quente e seco no futuro (MARENGO et al., 2009). Um pequeno incremento na temperatura pode expor a região semiárida tropical do Nordeste a riscos tangíveis, com claras repercussões sociais. E o menor tempo de residência da umidade no solo, o aumento da frequência e da intensidade das Secas, e períodos de precipitação com eventos de chuva mais concentrados e intensos, provavelmente diminuirão a disponibilidade de água no solo nessa região. Entre outros impactos, cenários de desertificação (ou aceleração da desertificação) são possíveis, tornando marginal a agricultura de terras áridas (forma atual da subsistência de mais de 10 milhões de habitantes).

Nas regiões de clima mais seco, há evidências que a mudança do clima possa levar à salinização e à desertificação de terras agrícolas, assim como também à diminuição da produtividade do gado e de algumas colheitas importantes com consequências adversas para a segurança alimentar. Na América Latina, a água doce das regiões áridas e semiáridas estaria particularmente exposta aos impactos da mudança do clima, como é indicado nos Relatórios dos Grupos de Trabalho I (do inglês *Working Group I - WGI*) e II (do inglês *Working Group II - WGII*) do IPCC (2007). Tanto as enchentes como as Secas afetam a qualidade e o acesso à água, podendo favorecer a incidência de doenças infecciosas como a leptospirose, as hepatites virais, as doenças diarreicas e não transmissíveis, que incluem desnutrição e doenças mentais (BRASIL, 2008).

2.3 Impactos Sazonais

Na perspectiva sazonal, uma estação chuvosa fraca ou extremamente forte, acompanhada por altas temperaturas relativas devido a anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico Tropical (El Niño, La Niña), ou no Atlântico Tropical ou Subtropical, podem ter fortes impactos sobre a população e sobre os setores econômicos dependendo da disponibilidade de água. Os efeitos da Seca afetam as atividades agrícolas e a geração hidrelétrica em áreas povoadas. Com a contínua redução da precipitação nessas áreas, os lagos podem secar, as vazões dos rios podem diminuir e, conseqüentemente, o abastecimento de água potável poderá ser reduzido, dificultando as opções de conservação dos recursos hídricos, e assim comprometendo as reservas de água.

Por exemplo, o déficit de chuva (seca meteorológica) durante o verão e outono de 2001 resultou em uma redução significativa das vazões dos rios em toda a região Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, reduzindo a capacidade para produzir energia hidrelétrica nessas áreas. Além disso, em um verão anormalmente seco e quente, o uso excessivo de energia por aparelhos de ar condicionado reduz os níveis dos reservatórios destinados para a geração hidrelétrica (CAVALCANTI E KOUSKY, 2004). Devido ao fato desse déficit ser de grande escala, afetando quase todo o país, uma crise energética instalou-se, forçando o governo a impor medidas de racionamento de energia para evitar a interrupção total no seu fornecimento durante parte do período 2001-2002.

2.4 Eventos climáticos extremos e a mudança do clima

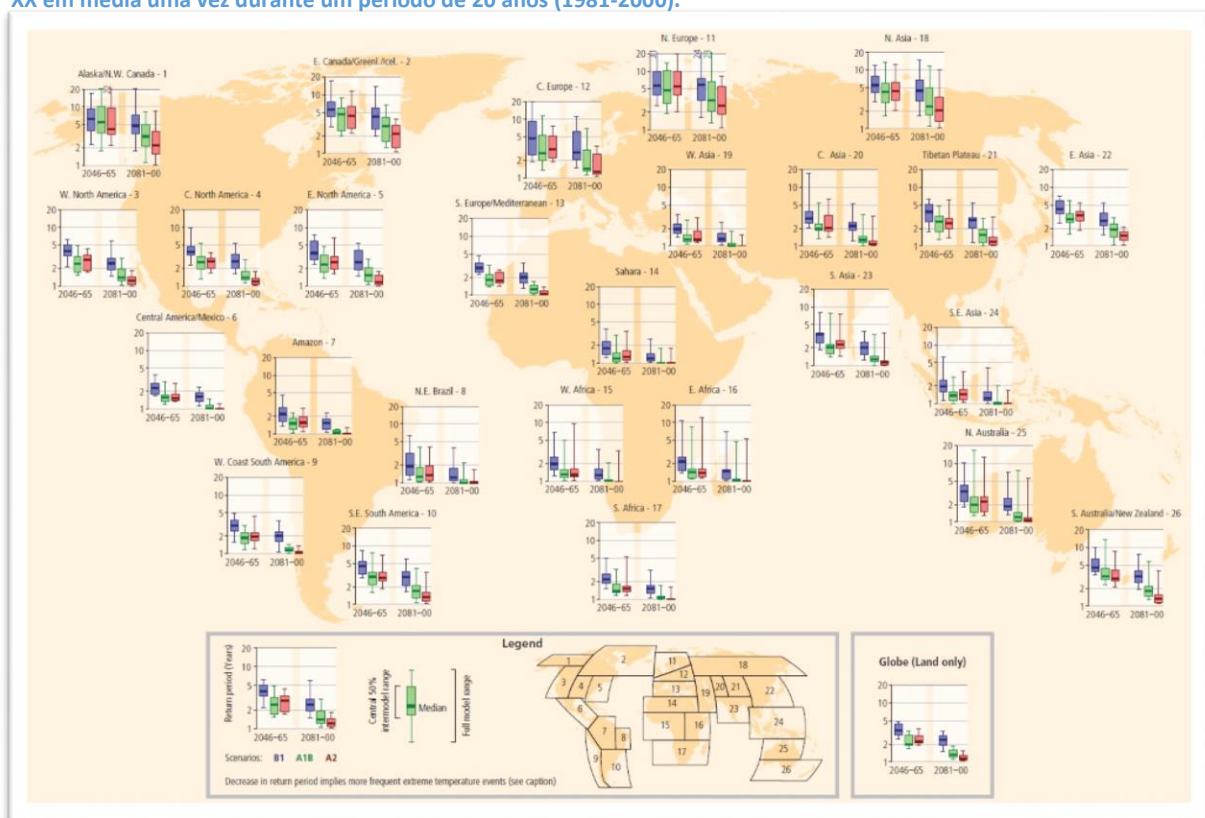
Os eventos climáticos extremos (ECEs) podem ser o resultado do acúmulo de eventos meteorológicos ou climáticos não extremos quando considerados de forma independente, logo, muitos ECEs continuam a ser o resultado da variabilidade natural do clima. A *variabilidade natural* é um fator importante na formação de futuros extremos, especialmente quando concatenada aos efeitos das alterações antrópicas no clima (GUIMARÃES *et al.*, 2012; IPCC, 2012). Os eventos extremos são raros, o que significa que existem poucos dados disponíveis para fazer avaliações referentes às mudanças na sua frequência ou intensidade. **Quanto mais raro o evento, mais difícil é identificar suas mudanças a longo prazo. As mudanças nos extremos podem estar associadas a alterações na média, variância, ou mesmo na forma de distribuição de suas probabilidades** (CARVALHO *et al.* 2007; IPCC REPORT, 2012; PBMC, 2013).

Há evidências, a partir de dados observados obtidos desde 1950, que indicam mudanças em alguns padrões dos eventos extremos. A "confiança" dessas mudanças observadas para os extremos depende diretamente da quantidade e qualidade dos dados, bem como da disponibilidade de estudos que analisem tais dados, o que varia de região para região e para diferentes tipos de eventos extremos. Ao atribuir "baixa confiança" nas mudanças observadas para um determinado tipo de extremo, seja em escalas regional ou global, não implica e nem exclui, a possibilidade de terem ocorrido mudanças para este extremo. Significa apenas que não existem dados suficientes, ou concordância entre os dados, para aumentar a confiança sobre tal constatação. Os eventos extremos são raros, e portanto,

existem poucos dados disponíveis para fazer avaliações sobre alterações na sua frequência ou magnitude. Quanto mais raro o evento, mais difícil é identificar tais mudanças a longo prazo. As tendências em escala global para determinado extremo podem ser mais confiáveis (por exemplo, temperaturas extremas) ou menos confiáveis (por exemplo, para secas) do que algumas tendências de escala regional, o que dependerá da uniformidade geográfica de tais tendências (IPCC, 2012; IPCC, 2013). O Relatório do IPCC (2012) apresenta os termos utilizados para descrever a confiança das evidências disponíveis, as quais são classificadas utilizando cinco qualificadores: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Esses níveis de confiança dependem tanto da robustez das evidências registradas quanto da concordância existente entre elas (ver Box SPM 2.0 do SREX do IPCC, 2012).

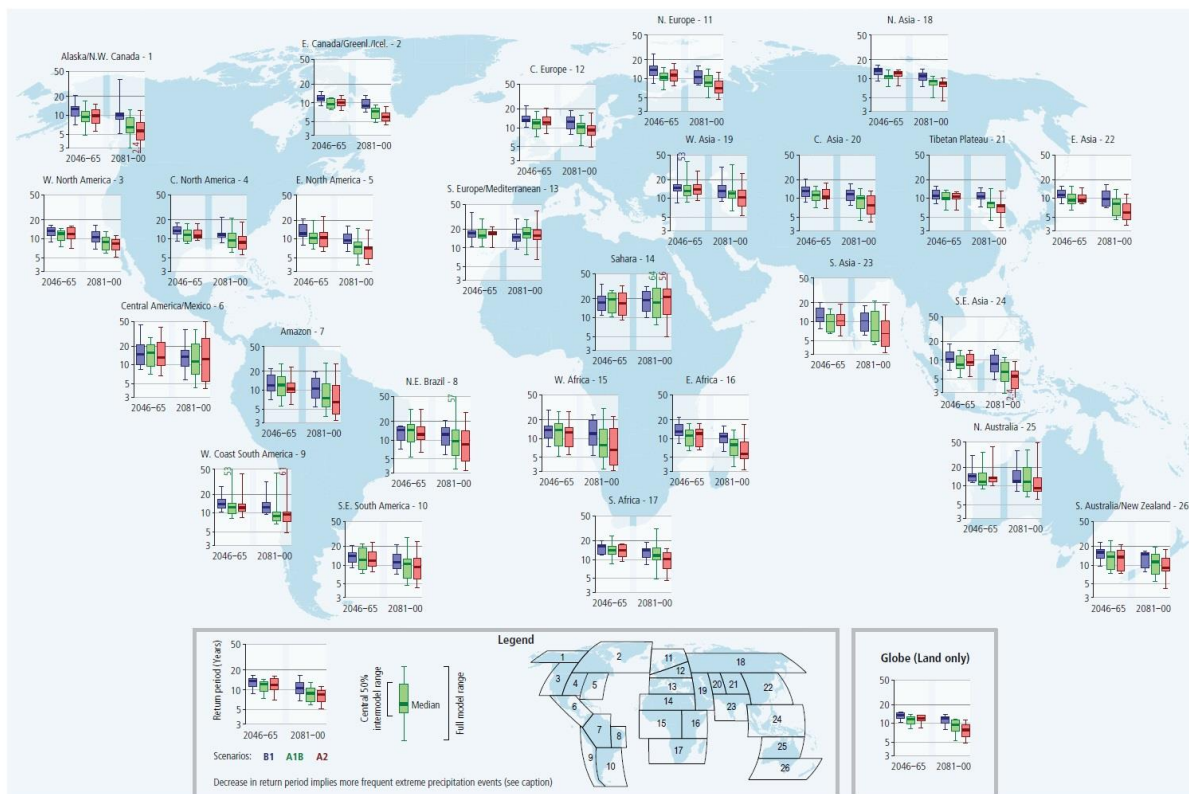
As **Figuras 2 e 3** (abaixo) mostram os períodos de retorno projetados para eventos diários de temperatura e precipitação, respectivamente, os quais foram ultrapassados no final do século XX, em média, uma vez durante um período de 20 anos (1981-2000). O decréscimo no período de retorno implica no aumento da frequência de eventos de temperaturas e precipitações extremas (ou seja, menos tempo entre os eventos em média).

Figura 2 - Períodos de retorno projetados para um evento diário de temperatura que foi ultrapassada no final do século XX em média uma vez durante um período de 20 anos (1981-2000).



Fonte: Adaptado de IPCC (2012).

Figura 3: Períodos de retorno projetados para um evento diário de precipitação que foi ultrapassado no final do século XX em média uma vez durante um período de 20 anos (1981-2000).



Fonte: Adaptado de IPCC (2012).

2.4.1. Impactos Regionais dos Eventos Climáticos Extremos

Os resultados apresentados nas **Figuras 2 e 3** de número (7), para a região Amazônica, demonstram que há uma *baixa confiança* nas projeções de temperatura máxima, o mesmo ocorre para temperatura mínima e ondas de calor. Essa baixa confiança justifica-se pela insuficiência e fragmentação de evidências. Há *média confiança* nos dados de precipitação extrema com variações espaciais das tendências (acréscimo em muitas áreas e decréscimo em algumas poucas). Quanto às Secas, há *baixa confiança* nas projeções, com tendências variadas e apresentando resultados divergentes (tendência de decréscimo da estiagem em grande parte da região, mas com inconsistências entre os estudos).

Para o Nordeste, região (8) das Figuras 2 e 3, há *média confiança* de aumento de temperaturas máximas e *média confiança* no aumento de temperaturas mínimas, com *baixa confiança* para os dados de ondas de calor. Quanto às precipitações, as tendências são de *média confiança* com acréscimo em muitas áreas e decréscimo em poucas. No que se refere

à estiagem e às Secas, há uma *baixa confiança* nos dados com tendências que variam no espaço e alguma inconsistência dos dados.

Na região (10) que diz respeito às regiões Sudeste e Sul do Brasil há *média confiança* no aumento das temperaturas com acréscimo em algumas áreas e decréscimo em outras. Nas temperaturas mínimas há *média confiança* com decréscimos na região mais ao Norte e acréscimos nas regiões ao Sul do domínio. Para as ondas de calor há *baixa confiança* com acréscimo em algumas áreas e decréscimo em outras. Há *baixa e média confiança* nos dados de precipitações intensas dependendo das sub-regiões (*média confiança* na parte norte do domínio e *baixa confiança* na parte sul do domínio). Para as Secas e estiagens há *baixa confiança*, com pequeno aumento das Secas e grande variabilidade, e decréscimo das estiagens em grande parte da região.

Em resumo, os efeitos cumulativos dos ECEs em nível local ou subnacional podem comprometer substancialmente os recursos e a capacidade das sociedades e comunidades de se preparar e responder a extremos futuros. O caráter e a gravidade dos impactos dos ECEs não dependem apenas de forçantes naturais, mas também da exposição e da vulnerabilidade das comunidades afetadas. Os ECEs, a exposição e a vulnerabilidade são influenciados por fatores que incluem: alterações climáticas antropogênicas, a variabilidade natural do clima e o desenvolvimento socioeconômico (IPCC, 2012; HÉTU, 2003; URBR, 2012; PBMC, 2013).

2.4.2. Os Eventos Climáticos Extremos e os Diferentes tipos de Desastres

Os ECEs, ao produzirem danos e impactos generalizados, são denominados de **Desastres Naturais ou Desastres**. Esses fenômenos incrementam, promovem e expõem a vulnerabilidade das populações alterando o funcionamento das sociedades e o bem-estar social (CASTRO, 1999abc; VEYRET, 2013). Nesse sentido, as ações e omissões humanas contribuem para intensificar ou agravar fenômenos potencialmente indutores de Desastres, os quais se caracterizam a partir da intercorrência de fenômenos naturais adversos, atuantes sobre condições ambientais já degradadas pelo homem.

Chuvas torrenciais e inundações estão se tornando mais comuns, e os danos causados por tempestades e ciclones tropicais vêm aumentando, como citado no relatório sobre eventos extremos do IPCC–SREX (IPCC, 2012). Mudanças nos padrões de enchentes e Secas

em algumas regiões indicam que as condições hidrológicas têm se alterado. Ameaças significativas em relação a enchentes, evaporação e evapotranspiração não têm sido bem detectadas globalmente e exigem estudos mais detalhados regionalmente. Algumas ameaças na redução dos níveis dos reservatórios e de lagos naturais têm sido reportadas, mas parecem estar muito mais associadas às atividades humanas do que propriamente a mudanças do clima global (IPCC, 2007).

A investigação dos perigos do passado e o monitoramento da situação presente possibilitam entender e prever a ocorrência de perigos futuros permitindo que a comunidade ou o poder público minimizem o risco de um desastre. O risco só existe quando há perigo potencial de causar dano a um elemento, ou a um sistema socioeconômico que possa ser atingido (VEYRET, 2013).

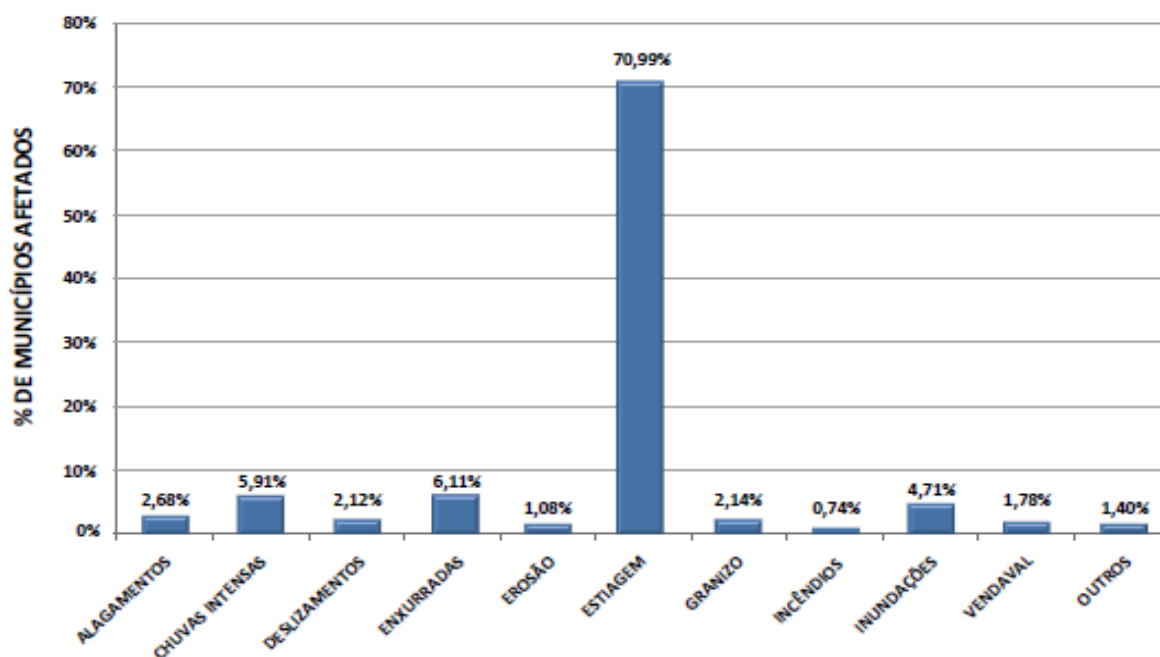
Nesse sentido, a intensa urbanização em áreas de risco nas cidades brasileiras, ainda desprovidas de planos diretores, gera questionamentos quanto às possíveis resoluções de conflitos entre o desenvolvimento socioeconômico e a preservação dos recursos naturais, o que torna o país vulnerável do ponto de vista dos ECEs. Essa vulnerabilidade é agravada, de forma significativa, devido à falta de planejamento urbano, ordenamento territorial e crescimento desordenado das metrópoles brasileiras. O incremento dos ECEs atrelados ao acréscimo populacional e à invasão de áreas de risco para assentamentos humanos, ou para produção agrícola, resultam em uma ameaça real para milhares de pessoas anualmente (GOLDEMBERG, 2000; ROBERTS, 2009; WORLD, 2010; FEARNside, 1989 e 1997; REIS e MARGULIS, 1991; HECHET, et al. 1993).

No Brasil, os ECEs mais frequentes estão relacionados aos fenômenos pluviométricos e hidrológicos. Esse fato se dá pelo território localizar-se em áreas tropicais de clima quente, propícias aos grandes acumulados de precipitação durante a estação chuvosa (verões austrais), e ao grande potencial de evapotranspiração relacionado às altas temperaturas e o déficit pluviométrico de suas regiões semiáridas (MARENGO 2007). Os ECEs de ordem pluviométrica são considerados os mais graves e os que produzem o maior número de mortes, mas não o maior número de afetados no território nacional, como pode ser visto nos **Gráficos 1 e 2**. Esses eventos pluviométricos atingem proporções catastróficas, seja pela geodinâmica natural dos solos e/ou a grande antropização de áreas de risco, seja por conta de deficiências estruturais e variáveis institucionais não-estruturais de planejamento e gestão urbana

(CASTRO, et al. 2002 e 2003; CARVALHO, et al. 2007; TOMINAGA, et al. 2009; PBMC, 2013; BRASIL, 2012).

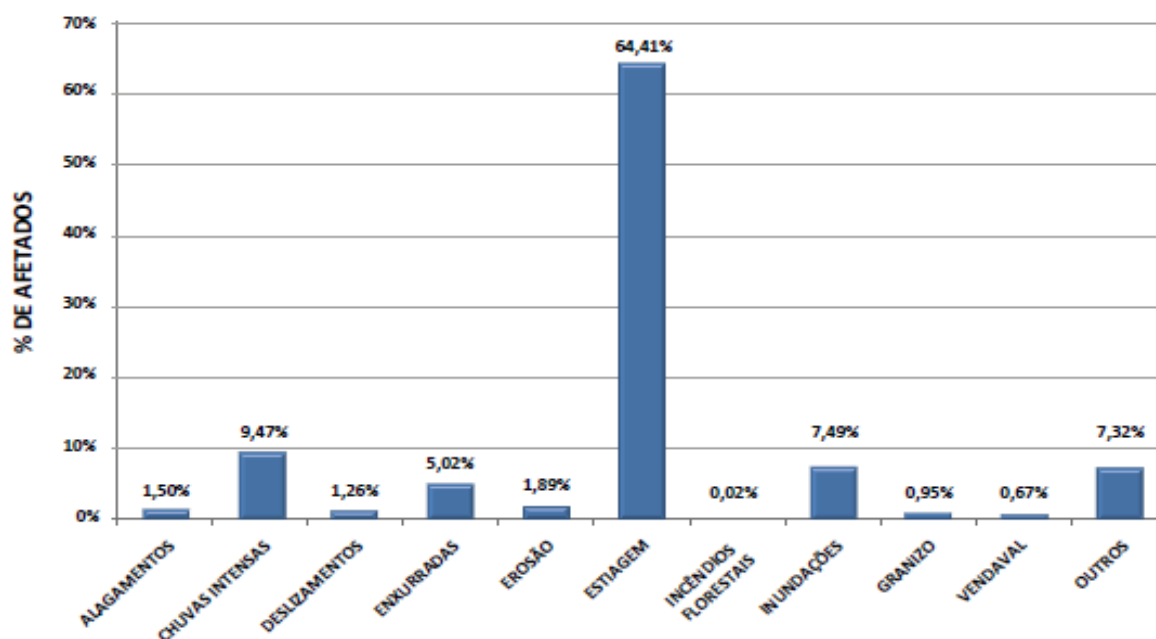
De acordo com o Anuário Brasileiro de Desastres Naturais, 4.433 municípios foram atingidos por algum tipo de desastre em 2013, dos quais 71% por seca/estiagem (Gráfico 1). Em relação ao número de pessoas, 18.557.233 pessoas foram afetadas por algum tipo de desastre, sendo a maioria, 64,41%, por seca/estiagem (Gráfico 2). Porém, esse tipo de desastre não causa tantos óbitos como os relacionados aos desastres hidrológicos e geológicos (Gráfico 3) (Brasil, 2014).

Gráfico 1: Percentagem de municípios atingidos no Brasil por tipo de desastre - 2013



Fonte: Anuário Brasileiro de Desastres Naturais: 2013 (BRASIL, 2014).

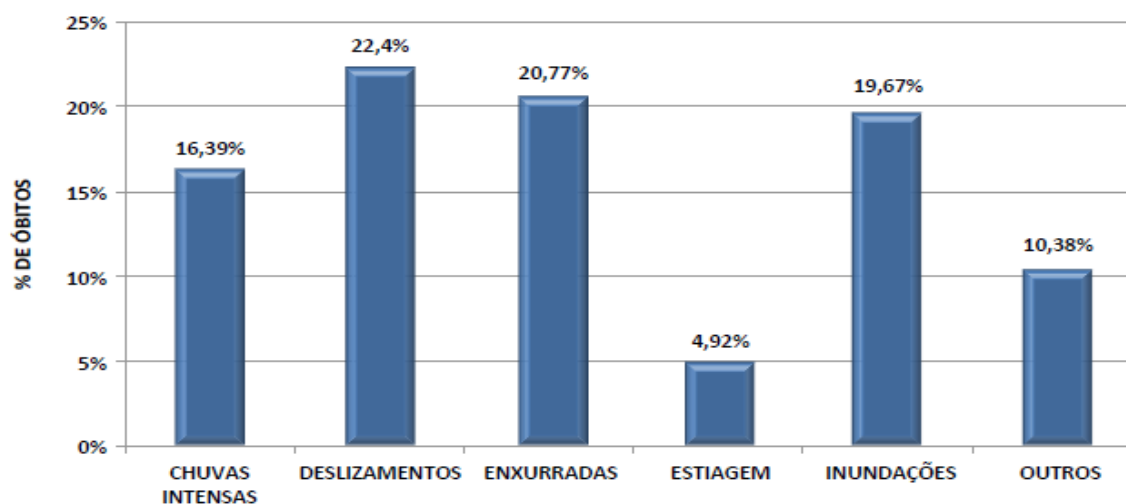
Gráfico 2: Percentagem de pessoas afetadas no Brasil por tipo de desastre - 2013



Fonte: Anuário Brasileiro de Desastres Naturais: 2013 (BRASIL, 2014).

Planos de gestão integrada das microbacias podem corroborar no apaziguamento das condicionantes naturais de fenômenos de origem pluviométrica extrema, como as inundações, enchentes e alagamentos. O alto risco desses eventos, por vezes, não reside nas condicionadas e forçantes naturais, mas no uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água, na disposição irregular do lixo nas proximidades dos cursos d'água, nas alterações nas bacias hidrográficas e no processo de erosão do solo e assoreamento dos corpos hídricos (ALMEIDA e PASCOALINO, 2009).

Gráfico 3: Porcentagem de óbitos por tipo de desastre no Brasil - 2013.



Fonte: Anuário Brasileiro de Desastres Naturais: 2013 (BRASIL, 2014).

Os extremos de escassez hidrológica/pluviométrica, em contrapartida, são considerados os responsáveis pelo maior número de municípios afetados, relacionando-se diretamente com a temperatura e a forte evapotranspiração e perda de umidade nos solos. Nos gráficos apresentados anteriormente, o Anuário Brasileiro de Desastres refere-se às “estiagens” como os períodos de Secas meteorológicas que causaram impactos socioeconômicos significativos.

2.5 Os Desastres no Brasil

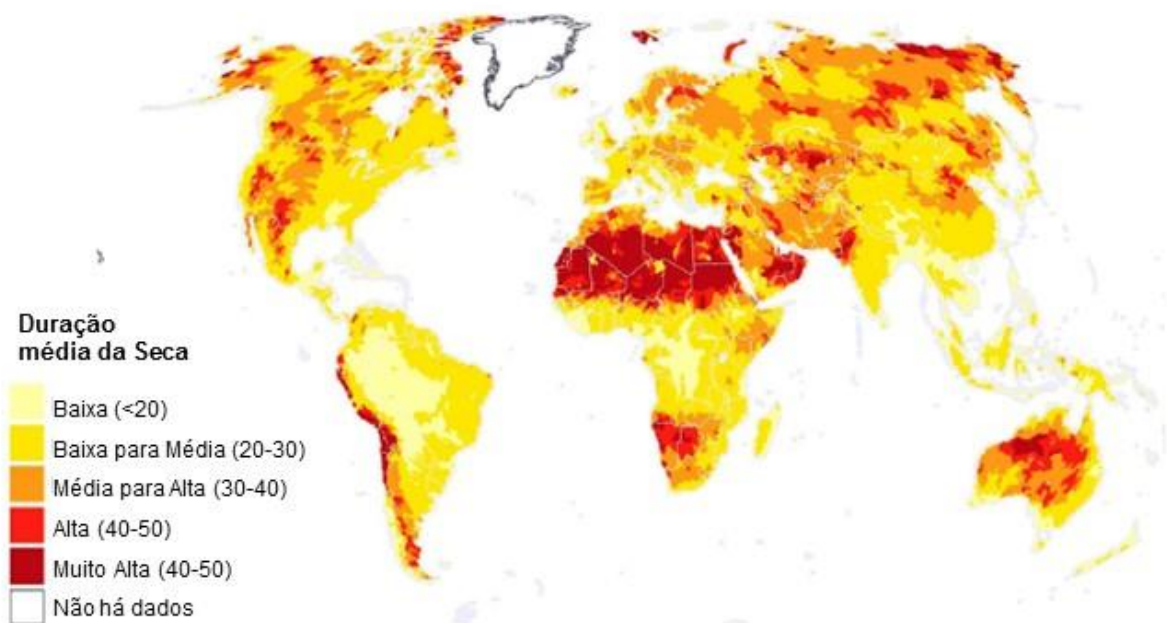
No Brasil, os Desastres que requerem maior atenção estão relacionados ao excesso ou à escassez de água e dependem da temporalidade com que essas situações críticas se desenvolvem. A ausência ou abundância, sobretudo em um curto período de tempo da água precipitada, funciona como dínamo indutor de Desastres de características tanto mistas, quanto secundárias, e de grande relevância nacional.

2.5.1. Seca Meteorológica Como Desastre no Brasil

De acordo com o Manual Nacional de Desastres, a Seca é um dos principais eventos que geram decretos de calamidade pública (CASTRO, et al. 2003). Esse evento é usualmente classificado como crônico-silencioso, devido a sua abrangência e periodicidade recorrente, a qual prejudica atividades industriais, agrícolas e as comunidades em geral. Frequentemente, o desastre da Seca é alvo de agendas nacionais de combate à desertificação e de políticas públicas estruturantes e não estruturantes no Nordeste e Sul do país (CASTRO, et al., 2002 e CASTRO, et al., 2003; BRASIL, 2012).

Ainda que a convivência com esse desastre não seja um problema apenas brasileiro, como demonstrado na **Figura 4** (HLPE, 2015; IPCC, 2012), ele se faz sentir com bastante intensidade no Brasil. Isso se deve, entre outros fatores, a questões de gestão e governança em políticas para enfrentamento do tema, que têm se mostrado ainda insuficientes diante da extensão de sua ocorrência e dos impactos diferenciados das Secas nas distintas regiões do país.

Figura 4: Grau de Severidade das Secas pelo Mundo entre 1901 e 2008.



Fonte: HLPE, 2015.

A Seca na Região Norte

A região Norte – a mais extensa do Brasil – abrange tipos climáticos muito diferentes no que se refere à pluviometria. Na parte mais ao norte e ao oeste caracteriza-se por apresentar uma estação chuvosa mais longa, de cerca de 1 a 4 meses, com breves períodos de estiagens, ou sem estiagem. Já a parte mais ao sul e ao leste da região, observa-se uma estação Seca mais longa, podendo variar de 3-6 meses. Na última década, entretanto, grande parte da região Norte vem sofrendo com Desastres de Seca, especialmente nos anos de 2005 e 2010 (eventos extremos). Secas menos extremas e recorrentes vêm chamando a atenção da sociedade, como por exemplo, o ressecamento de igarapés e de cursos de água maiores, assim como de diversos afluentes do Amazonas.

Tais efeitos tem uma implicação direta no meio de vida dos moradores dessa região, especificamente no que tange a sua mobilidade, a qual depende, em grande parte, das vias fluviais. Outro impacto direto das Secas tem sido sobre as comunidades de ribeirinhos e pescadores artesanais, os quais são afetados pela mortandade de peixes aprisionados em lagos e poças, sem oxigênio, reduzindo consideravelmente os estoques pesqueiros. As comunidades que praticam a agricultura familiar, por exemplo, ou de várzea, também têm

evidenciado uma menor disponibilidade de água, além de uma maior dificuldade em determinar o período mais adequado para a semeadura. Populações tradicionais como os indígenas e extrativistas vêm se mostrando temerários quanto aos indícios de períodos de Seca mais frequentes, as quais tem um impacto profundo nos hábitos do seu dia a dia (DUBREUIL, 2013). Em suma, todos esses grupos, em maior ou menor grau, apresentam algum tipo de Vulnerabilidade às Secas quando expostos aos efeitos da mudança do clima.

Além das questões anteriormente mencionadas, outros problemas no que toca a Seca vêm surgindo na região Norte como, por exemplo, a paralisação do funcionamento de usinas hidrelétricas devido à falta d'água (precipitações) (FEARNSIDE, 2006 e 2012). A mudança no padrão hídrico no norte do país, além de afetar seu potencial energético, pode afetar a resiliência de ecossistemas florestais. Alguns estudos já apontam para uma possibilidade de áreas de Floresta Ombrófila tornarem-se mais secas em suas bordas, devido à escassez de precipitação, transformando a Floresta Ombrófila em outra fitofisionomia arbórea com uma estação Seca mais marcada (Floresta Mesófila). Assim, é coerente a possibilidade de a Floresta Mesófila também tornar-se uma categoria de Cerrado.

A Seca na região Nordeste

A região Nordeste é conhecida em todo Brasil por apresentar uma Seca Meteorológica crônica. Nessa região, a alta variabilidade das precipitações é bem característica, tanto que a vegetação local (Caatinga) é altamente adaptada ao seu clima Semiárido. Contudo, a Caatinga, assim como muitos outros biomas brasileiros, tem sofrido um processo de destruição massivo, o que propicia a perda na qualidade dos ecossistemas locais e do solo, especialmente na região do Semiárido. A destruição da vegetação vem incrementando processos de desertificação e salinização na região do Polígono das Secas.

Ambos os processos afetam diretamente as populações locais, uma vez que dificultam o acesso a atividades econômicas rentáveis, principalmente a agricultura de subsistência, as quais constituem importantes fatores para diminuir a vulnerabilidade socioeconômica dessas populações.

Aos impactos destes processos (desertificação e salinização oriundos do uso do solo com práticas inapropriadas ao bioma Caatinga) somam-se os impactos que derivam de uma

gestão pouco eficaz dos recursos hídricos na região, tanto no que tange aos impactos de grandes empreendimentos e obras estruturais, quanto pelo desperdício ou mau uso de sistemas de distribuição. Apesar de a política de implantação de cisternas ter sido um avanço para o acesso à água no semiárido pelas populações rurais, ainda é insuficiente quando considerada a necessidade de água dessas populações para a manutenção dos seus sistemas produtivos, principalmente em situações de Seca persistente. Neste sentido, a questão da falta d'água parece estar bastante associada a um problema de gestão e de políticas públicas, falta de empoderamento e de cidadania das populações locais, falta de acesso à saúde e educação básica de qualidade, e a falta de políticas não estruturantes em favor da adaptação ao clima típico da região Nordeste brasileira.

A Seca na região Centro-Oeste

O clima da região Centro-Oeste caracteriza-se por apresentar duas estações bem definidas em praticamente todas áreas (exceto no sul do MS): uma estação Seca no período de inverno e uma chuvosa no período de verão. Entretanto, na última década, pesquisas têm evidenciado tanto um decréscimo no período da estação chuvosa como da precipitação anual total em grande parte dessa região, ocasionando uma extensão do período seco (DEBORTOLI et al., 2015). A intensificação de Secas nessa região poderá acarretar, no médio e no longo prazo, um aumento do risco de investimentos no setor de produção de grãos. A ocorrência de períodos de estiagem simultâneos às fases de semeadura e floração das monoculturas, extremamente dependentes da disponibilidade hídrica, estarão sujeitas a um aumento em sua vulnerabilidade. Ainda que exista tecnologia disponível para implementação de sistemas de irrigação, estes, em longo prazo, poderiam colapsar, em virtude da salinização do solo e da constante necessidade de ajustes dos níveis de acidez. Tanto o setor industrial como os grandes centros urbanos, tais como Goiânia, Cuiabá, Campo Grande e Brasília, poderiam ser afetados fortemente em seu abastecimento, haja visto que na atualidade essas cidades já operam em situação limítrofe durante a estação Seca.

O aumento da temperatura implica em uma maior evapotranspiração e perda de umidade no solo, podendo impactar as populações tradicionais (quilombolas, agricultores familiares e indígenas). Ecossistemas frágeis de áreas alagadas - *hotspots* da vida selvagem

tal como o Pantanal - poderiam ter seu estoque pesqueiro reduzido, a partir da interrupção dos fluxos de água entre os corpos hídricos, impossibilitando, desta forma, a reprodução e a distribuição do recurso pesqueiro. Adicionalmente, o desmatamento do Cerrado vem afetando a região Centro-Oeste e outras regiões brasileiras, em virtude de seus impactos diretos no equilíbrio hidrológico sobre as nascentes de vários rios, localizadas no Planalto Central, como o rio São Francisco, o rio Paraná, entre outros.

A Seca na região Sudeste

A região Sudeste caracteriza-se por apresentar um clima de contrastes sazonais relativamente bem definidos, com uma estação Seca mais ou menos marcada, principalmente na parte norte do seu território, e menos importante nas regiões litorâneas. O Sudeste, devido às suas localizações latitudinais, caracteriza-se por serem regiões de transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os climas mesotérmicos de tipo temperado das latitudes médias (NIMER, 1979). O sul da região Sudeste é afetado pela maioria dos sistemas sinóticos que atingem o sul do país, com algumas diferenças em termos de intensidade e sazonalidade do sistema. Vórtices ciclônicos em altos níveis, oriundos da região do Pacífico, organizam-se com intensa convecção associada à instabilidade causada pelo jato subtropical. Linhas de instabilidade pré-frontais, geradas a partir da associação de fatores dinâmicos de grande escala e características de mesoescala são responsáveis por intensa precipitação (CAVALCANTI et al., 1982).

Uma situação estacionária da circulação de grande escala em latitudes médias pode influir diretamente na precipitação e temperatura sobre o Sudeste, caso a Região esteja ou não sendo afetada por sistemas associados ao escoamento ondulatório da atmosfera. Esse tipo de situação é denominado de bloqueio e afeta, além do Sudeste, também a Região Sul do Brasil. A região Sudeste é caracterizada pela atuação de sistemas que associam características de sistemas tropicais com sistemas típicos de latitudes médias. Durante os meses de maior atividade convectiva, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um dos principais fenômenos que influenciam no regime de chuvas dessa região (ALGARVE, 1994). O fato da banda de nebulosidade e chuvas permanecerem semi-estacionárias por dias seguidos favorece a ocorrência de inundações nas áreas afetadas. Em geral, a precipitação distribui-se uniformemente nessa região com a precipitação média anual acumulada variando em torno

de 1500 e 2000 mm. Dois núcleos máximos de precipitação são registrados na região do Brasil Central e no litoral da Região Sudeste, enquanto no norte de Minas Gerais verifica-se uma relativa escassez de chuvas ao longo do ano.

É também a região com maior densidade demográfica do Brasil e detém o maior Produto Interno Bruto (PIB) e onde concentram-se os principais *hubs* industriais automobilísticos, manufatureiros e polos agrícolas de monoculturas como o café e a cana de açúcar. Recentemente, grande parte dos mananciais responsáveis pelo seu abastecimento urbano, principalmente nas grandes metrópoles São Paulo e Rio de Janeiro, têm operado abaixo de sua capacidade ideal, inclusive apresentando risco eminente de racionamento, comprometendo o potencial energético e o acesso à água por parte da população.

Preliminarmente, tal situação foi considerada como excepcional, em virtude da ocorrência de períodos de estiagem nos últimos anos. Atualmente, considera-se que a gestão ineficiente dos recursos hídricos nessa região contribui adicionalmente para o agravamento da crise hídrica, levando, inclusive, a uma disputa entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo quanto aos direitos de outorga no vale do rio Paraíba do Sul para abastecimentos de suas respectivas regiões metropolitanas.

Na porção mais ao norte, encontra-se a região de clima Semiárido do Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, que se caracteriza por apresentar secas tão intensas como no semiárido da região Nordeste. Adicionalmente à forte sazonalidade natural do clima, essa região é impactada pelo uso de práticas inadequadas de manejo do uso da terra, tais como o desmatamento ilegal da Caatinga visando atender às carvoarias. A cobertura vegetal local, apesar de resistente à Seca, apresenta resiliência baixa às atividades antrópicas.

A Seca na região Sul

Apesar de uma redução substancial das precipitações no inverno nas porções ao norte do Paraná, a região Sul do Brasil não apresenta uma estação Seca bem definida. No Sul do Brasil a Seca é conhecida como um período de estiagem mais ou menos longo que pode chegar a um período máximo de 15 dias, chamado de veranico, e normalmente tem forte impacto no setor agrícola (lavouras temporárias, pecuária, suinocultura e avicultura). Na região Sul, a disponibilidade hídrica anual é abundante, sendo raros os anos com déficit de chuva na maior

parte de suas sub-regiões, ocorrendo uma fragmentação dos índices pluviométricos de forma concentrada temporalmente e fragmentada espacialmente. Para os anos em que os períodos de veranico ou de estiagem ocorrem durante o verão (evapotranspiração é maior devido às altas temperaturas), observam-se grandes perdas na agricultura, principalmente na porção ocidental dos três estados.

Apesar de deter alta tecnologia e boas práticas no uso da terra, a região ainda peca na utilização de seus mananciais subterrâneos, os quais são acionados ao menor sinal de Seca, além de apresentarem um alto grau de comprometimento em relação a sua qualidade. Adicionalmente, o elevado número de pequenas usinas hidrelétricas em áreas montanhosas vem comprometendo o fluxo da água, a migração de peixes e a oxigenação de diversos rios dessa região. Na região do Pampa no sul do Rio Grande do Sul, a Seca apresenta um problema atrelado ao mau uso do solo levando a áreas salinizadas ou em processo de desertificação.

2.5.2. A definição de Seca

No Brasil a Seca meteorológica se dá a partir de dois conceitos culturalmente aceitos - o das Secas e o das Estiagens - que têm como elementos norteadores o espaço temporal e seus possíveis impactos socioeconômicos. A Seca no Brasil é conhecida como uma estiagem³ prolongada (com intervalo de tempo de meses até anos). Tais eventos são capazes de produzir a ruptura do metabolismo hidrológico. Contudo, para ser caracterizada como um desastre, ela deve atuar sobre um sistema ecológico, econômico, social e cultural vulnerável à redução das precipitações pluviométricas (CASTRO, et al. 2003). Neste sentido, a Seca intensifica as atividades de consumo, reduz as atividades de acumulação, acarreta perdas por evapotranspiração, reduz a intensidade das precipitações, reduz os níveis de umidade do ar e incrementa a insolação e os ventos secos.

A Seca é um termo relativo, portanto qualquer discussão em termos de déficit de precipitação deve se referir às condições particulares relacionadas à quantidade de

³**Estiagem:** ocorre por período de tempo inferior e menos intenso que a Seca. Os danos da estiagem são proporcionais à magnitude do evento adverso e ao grau de vulnerabilidade da economia local ao evento. O seu monitoramento é crucial para o *agrobusiness* pois afeta regiões produtivas do Brasil. Considera-se que existe estiagem quando: o início da temporada de chuva em sua plenitude atrasa por prazo superior a 15 dias, e as precipitações dos meses chuvosos alcançam limites inferiores a 60% das médias mensais de longo período. Essa definição, entretanto, é genérica e pode variar muito dependendo da região do Brasil e o olhar que se dá ao fenômeno. Algumas medidas de prevenção aos impactos da estiagem são: a redução das vulnerabilidades socioeconômicas e ambientais, o manejo integrado de microbacias, o plantio direto e preservação dos estoques de forrageiras para o período seco (CASTRO et al. 2003).

precipitação, ao período e à região de análise. Por exemplo, um decréscimo de chuva durante a estação de crescimento das plantas limita a produção das culturas e o funcionamento dos ecossistemas em geral (devido ao déficit de umidade de solo, também chamada de **Seca agrícola**); esta reflete sobre a percolação e o escoamento superficial, que atinge prioritariamente mananciais hídricos (**Seca hidrológica**) bem como mudanças no armazenamento de umidade no solo, e águas subterrâneas, pelo aumento da evapotranspiração com redução da precipitação. Períodos com déficits anormais de precipitação são definidos como **Secas meteorológicas**, e podem derivar nas duas situações descritas anteriormente (a seca agrícola ou hidrológica). Quando esta se estende por tempo permanente, usualmente uma década ou mais, é considerada um “superseca” (termo original em inglês *super drought*, apresentado no documento do IPCC, 2012).

Algo a ser destacado é que a Seca pode ser definida a partir de diferentes perspectivas dependendo dos tomadores de decisão envolvidos. A literatura científica comumente distingue a seca em 3 tipos: (1) a meteorológica, referente ao déficit de precipitação; (2) a Seca agrícola, referente ao déficit de umidade no solo (particularmente na região das raízes) e (3) a Seca hidrológica, atrelada às anomalias negativas da vazão de lagos, rios e os baixos níveis das águas subterrâneas (e.g., HEIM Jr., 2002). Um quarto tipo estaria relacionado à escassez de água causada total ou parcialmente devido às atividades humanas (Seca socioeconômica). Mudanças na pressão sobre os recursos hídricos pelo uso humano podem influenciar o clima e possivelmente as condições de Seca, como por exemplo, por meio do declínio de aquíferos ou o aumento da evapotranspiração associada a *trocas* entre a terra-atmosfera.

A Seca não deve ser confundida com a aridez, que descreve, em geral, características de climas áridos. Nesse sentido, a Seca é considerada uma característica recorrente do clima, podendo ocorrer em qualquer região e é definida em relação às médias climáticas da área analisada (DAI, 2011). Contudo, os efeitos das Secas não são lineares, dada a existência de, por exemplo, discretos limiares de umidade do solo, os quais afetam a vegetação e fluxos de superfície (KOSTER et al., 2004b; SENEVIRATNE et al. 2010). Isto quer dizer que, mesmo com déficit de precipitação e excesso radiativo (de radiação solar), as regiões podem ser afetadas de forma distinta (como por exemplo, um período curto sem chuva em uma região muito

úmida pode não ser crítico para a agricultura, por conta da grande quantidade de umidade disponível no solo) (IPCC, 2012).

De acordo com a 5ª Edição do Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres, a seca pode ser caracterizada como: **1.** Ausência prolongada, deficiência acentuada ou fraca distribuição de precipitação. **2.** Período de tempo seco suficientemente prolongado para que a falta de precipitação provoque grave desequilíbrio hidrológico. **3.** Do ponto de vista meteorológico, a seca é uma estiagem prolongada caracterizada por provocar uma redução sustentada das reservas hídricas existentes. **4.** Numa visão socioeconômica, a Seca depende muito mais das vulnerabilidades dos grupos sociais afetados do que das condições climáticas (CASTRO, et al. s/d).

A designação de ocorrência de Desastre de Seca pode se dar em períodos temporais distintos:

(A) No Nordeste Brasileiro a seca é considerada, em grande parte, como um fenômeno de longa duração, estando atrelada à grande variabilidade climática do semiárido. O fenômeno nessa região apresenta impactos severos e bem conhecidos/documentados nos últimos séculos.

(B) Em outras regiões do país, a seca, apesar de não persistir por períodos muito longos (Estiagens/Veranicos), pode afetar brutalmente os aspectos socioeconômicos de diversas populações locais. A dificuldade de se lidar com períodos secos pode estar relacionada à falta de chuva para culturas agrícolas, à perda de pastagens para a pecuária, à falta de abastecimento hidrológico para o fornecimento de energia elétrica e para indústrias, ao abastecimento humano e à dessedentação animal.

*Para fins desta pesquisa, o objeto de estudo dos impactos da mudança do clima será a **Seca Meteorológica**, considerada como o principal agente deflagrador dos desastres de secas no Brasil.*

A partir de todos os aspectos apresentados anteriormente, há uma necessidade de determinar indicadores que possam mapear a vulnerabilidade das diversas regiões brasileiras aos Desastres relacionados às Secas visando subsidiar medidas futuras de adaptação. No contexto da mudança do clima, a vulnerabilidade depende dos elementos de exposição, de sensibilidade e da capacidade adaptativa das populações, os quais deverão ser avaliados de forma conjunta.

3. CONSTRUÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AOS DESASTRES NATURAIS RELACIONADOS ÀS SECAS PARA O BRASIL NO CONTEXTO DA MUDANÇA DO CLIMA 🐼

3.1. Objetivo

O Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais relacionados às Secas (IVDNS) no Brasil busca identificar, a partir de uma visão multidimensional, o fenômeno do Desastre da **Seca Meteorológica** em todo território nacional. O IVDNS é composto de três Subíndices formados a partir de dimensões climáticas, socioeconômicas e ambientais. A partir do IVDNS busca-se identificar os *hotspots* brasileiros (regiões/municípios) mais vulneráveis ao fenômeno de Secas/Estiagens.

O IVDNS complementa um estudo anterior realizado para a Terceira Comunicação Nacional do Brasil sobre Mudança do Clima (TCN/PNUD) focado nas análises dos Desastres relacionados às Inundações e Movimentos de Massa.

3.2. O conceito da vulnerabilidade às Secas

Existem diversas justificativas para examinar e mapear a vulnerabilidade à Seca. A avaliação da vulnerabilidade como um todo já foi aceita como requisito para o desenvolvimento efetivo da capacidade de gerir situações de emergência, sendo que a avaliação específica da vulnerabilidade social é reconhecida como sendo essencial para a compreensão dos riscos relacionados aos fenômenos e ECEs que podem alcançar a proporção de Desastres (BLAIKIE, et al. 1994). Nos EUA, por exemplo, uma das lições do furacão Katrina e, também de outros de intensidade devastadora, foi que os efeitos sociais associados às tempestades e inundações que impactaram populações socialmente vulneráveis foram, e têm sido, lamentavelmente negligenciados e subestimados (DUNNING, 2009).

Nestes, e em muitos outros exemplos, a vulnerabilidade social é mais aparente depois que um evento extremo acontece, quando diferentes padrões de sofrimento e de recuperação são observados entre certos grupos da população (CUTTER et al. 2003). Embora as pessoas que vivem em áreas de risco sejam vulneráveis, os impactos sociais da exposição ao risco recaem, desproporcionalmente, sobre os grupos mais vulneráveis da sociedade, sendo eles: os pobres, as minorias étnicas e sociais, as crianças, os idosos e pessoas portadoras de necessidades especiais. Tais grupos são considerados os menos preparados para uma situação de emergência, uma vez que, em geral, possuem menos recursos para enfrentarem uma situação de perigo, encontram-se em áreas de maior risco e em habitações precárias. Esses

fatores, quando somados à falta de conhecimento/aprendizado, bem como à inexistência de conexões sociais e políticas necessárias para tirar proveito dos recursos, desaceleram sua recuperação em uma situação de desastre (DUNNING, 2009; NRC, 2006).

Existe a compreensão de que a verdadeira prevenção de Desastres naturais e redução de seus impactos terão de abordar não apenas os fatores hidrometeorológicos e ambientais, mas também os fatores econômicos, sociais e políticos que influenciam a sociedade em geral e suportam os impactos causados por eventos extremos. Para desenvolver estratégias eficazes considera-se essencial compreender os processos e fatores específicos que podem alterar os impactos causados por Desastres naturais. Segundo VAN DER VEEN et al. (2009), alguns fatores podem ser identificados como significantes para mudar as abordagens de gestão de risco e de resposta aos Desastres, sendo eles:

- a) o custo econômico e financeiro crescente dos Desastres, bem como o aumento de impactos potenciais e a percepção de que não é possível se proteger contra todos os tipos de catástrofes naturais;
- b) a densidade de infraestrutura existente e o número absoluto de pessoas que vivem em áreas de risco;
- c) a expansão e intensificação do uso da terra, bem como o aumento dos conflitos entre o uso da terra para fins socioeconômicos e a existência de política de redução de riscos;
- d) a necessidade de uma melhor compreensão das inter-relações e dinâmicas sociais de percepção de risco, preparação e seus impactos;
- e) disparidades de riqueza e do status socioeconômico (desigualdade social);
- f) a compreensão da importância dos impactos considerados intangíveis e da necessidade crescente de apoio pós-desastre e recuperação.

Sendo assim, a definição de vulnerabilidade adotada neste trabalho é a mesma apresentada no Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (do inglês *Fourth Assessment Report - AR4*), sendo uma função composta das seguintes variáveis: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa (IPCC, 2007). Quando essa nomenclatura se aplica ao desastre de Seca, pode-se dizer que:

- A **Exposição** à seca representa todas as mudanças relacionadas aos componentes que causam a seca meteorológica, como a alteração da média de precipitação (acréscimo ou decréscimo), a variabilidade (maior dificuldade de manter o equilíbrio hidrológico, sobretudo relacionado à umidade do solo) e a ocorrência de extremos climáticos de Secas (sua frequência/magnitude).
- A **Sensibilidade** à seca representa o efeito biofísico da mudança do clima considerando o contexto socioeconômico e, também, ambiental.
- A **Capacidade Adaptativa** à seca representa a capacidade de resposta dos sistemas humanos frente à mudança do clima relacionada às Secas, seja na variabilidade ou na ocorrência de extremos.

3.3. Dimensão Espaço-Temporal e os Cenários de mudança do clima do 5º Relatório do IPCC - AR5

O IVDNS utilizará como período de base uma série temporal de 30 anos de dados meteorológicos (Precipitação e Temperatura) referentes aos anos 1961-1990 (*Baseline*), conforme instrução da Organização Mundial Meteorológica (OMM). Os dados climáticos utilizados são provenientes, direta ou indiretamente, dos dados brutos de dois modelos climáticos, sendo eles: o Eta-Hadgem ES 2 e o ETA-MIROC 5, que representam o aninhamento do modelo regional Eta, desenvolvido pelo INPE, com os respectivos modelos globais (CHOU et al., 2005; 2012). A versão do Eta utilizado possui *downscaling* (regionalização climática de 20km de resolução espacial para o Brasil) e foi adaptado para estudos de cenários de mudança do clima (PESQUERO et al. 2009).

3.3.1. O Modelo Hadgem2-ES

O modelo inglês HadGEM2-ES é composto de um Modelo de Circulação Global da Atmosfera (MCGA) na resolução horizontal N96 (aproximadamente 1.875° x 1.250° em longitude por latitude) e 38 níveis verticais, e um modelo oceânico, com resolução horizontal de 1 grau (aumentando para 1/3 de grau no equador) e 40 níveis verticais (COLLINS et al., 2011). As componentes do sistema terrestre no modelo incluem: o ciclo do carbono, terrestre e oceânico, e a química da troposfera. A vegetação e o ciclo do carbono terrestre são representados pelo modelo de vegetação dinâmica global TRIFFID (*Top-down Representation of Interactive Foliage Including Dynamics*; COX, 2001), que simula a cobertura e balanço do carbono de 5 tipos de vegetação (árvores de folhas grandes (*broadleaf tree*), coníferas (*needleleaf tree*), gramíneas C3 (*C3 grass*), gramíneas C4 (*C4 grass*) e vegetação arbustiva

(*shrub*). A biologia e a química do oceano são representadas pelo modelo Diat-HadOCC que inclui a limitação de crescimento do plâncton por macro e micronutrientes. Ele também simula a emissão de Dimetil Sulfeto (DMS) incluindo novas espécies de aerossóis (carbono orgânico e poeira).

3.3.2. O Modelo MIROC5

Neste trabalho é usada a versão 5 do modelo japonês MIROC (MIROC5; WATANABLE et al., 2010), que foi desenvolvido com base na versão 3.2 (MIROC3.2; HASUMI e EMORI, 2004). O modelo apresenta uma componente atmosférica representada pelo modelo de circulação geral da atmosfera do *Center for Climate System Research (CCSR) – National Institute for Environmental Studies (NIES) –Frontier Research Center for Global Change (FRCGC)* (NUMAGUTI et al., 1997); uma componente oceânica representada pelo Modelo de Circulação Geral do Oceano - COCO (*Ocean Component Model - CCSR*; HASUMI, 2006), que inclui um modelo de gelo marinho; e uma componente da superfície terrestre representada pelo modelo de superfície MATSIRO (*Minimal Advanced Treatments of Surface Interaction and Runoff*) (TAKATA et al., 2003). Essas componentes são acopladas interativamente por um acoplador de fluxo (K-1 MODEL DEVELOPERS, 2004). O maior detalhamento do modelo pode ser encontrado em Watanable et al. (2009).

3.3.3. O Modelo Eta

O modelo de Circulação Atmosférica Global regionalizado utilizado para este estudo é o modelo Eta. Este modelo usa a coordenada vertical definida por MESINGER et al. (1984), que se posiciona aproximadamente na horizontal em áreas de montanhas, o que torna a coordenada desejável para estudos em regiões com topografia acidentada, como na Cordilheira dos Andes na América do Sul. Esta versão usa um refinamento que permite fluxos de ondulação no topo das montanhas. A dinâmica do modelo está em volume finito (JANJIC, 1984; MESINGER et al., 2012). Convecções profundas e rasas são parametrizadas pelo esquema de Betts-Miller (BETTS e MILLER, 1986) modificado por JANJIC (1994). A microfísica das nuvens segue o esquema de Zhao (ZHAO et al., 1997). Os processos de interação superfície-atmosfera são representados pelo esquema NOAH (EK et al., 2003) com ciclos anuais de esverdeamento da vegetação. Neste último, a vegetação é categorizada em 12

classes com 9 tipos de solos. Os fluxos radiativos para ondas curtas são tratados pelo esquema de Lacis-Hansen (LACIS e HANSEN, 1974), e para ondas longas pelo esquema de Fels-Schwarzkop (FELS e SCHWARZKOP, 1975). O CO₂ é mantido constante a 330 ppm.

Esse modelo é utilizado operacionalmente pelo INPE/CPTEC desde 1997 para previsões meteorológicas (CHOU, 1996), a partir de 2002 para previsões climáticas sazonais (CHOU et al., 2005), e em 2010 foi utilizado para a Segunda Comunicação Nacional da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (do inglês: *United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC) (MCT, 2010). Algumas avaliações levadas a cabo pelo modelo Eta mostram o seu valor agregado para componentes de previsão nos modelos de circulação atmosféricos globais (CHOU et al., 2005). A versão do modelo Eta foi desenvolvida para estudos de mudança do clima (CHOU et al., 2012a; CHOU et al., 2012b; MARENGO et al., 2012). Essa versão foi validada e aplicada para estudos de impacto e vulnerabilidade (MATOS et al., 2012; RODRIGUES et al., 2011; RESENDE et al., 2011).

Neste trabalho, a versão atualizada do modelo Eta (MESINGER et al., 2012) é adaptada para estudos de mudança do clima. As temperaturas da superfície do mar são extraídas de modelos globais oceânicos acoplados: HadGEM2-ES e MIROC5, com atualizações diárias. A umidade inicial e temperaturas do solo são derivadas de modelos globais. Os limites das camadas são atualizados a cada 6 horas. O primeiro ano de integração é descartado da análise. O modelo foi configurado para uma resolução de 20 km com 38 níveis verticais. O topo do modelo está a 25hPa. O domínio da região do modelo cobre grande parte da América do Sul e da América Central, sendo que para este estudo serão utilizados apenas os dados sobre o território brasileiro.

3.3.4. Os Cenários do 5º Relatório do IPCC - AR5

Os cenários de níveis de emissão (denominados do inglês: *Representative Concentration Pathways* - RCPs) utilizados para as projeções dos dados climáticos (4,5 e 8,5) são oriundos do 5º Relatório do IPCC - AR5 (IPCC 2013). Estes RCPs são a terceira geração de cenários de mudanças climáticas do IPCC. O primeiro grupo foi publicado em 1992 e o segundo, chamado de Relatório Especial de Cenários de Emissões (do inglês: *Special Report on Emissions Scenarios* – SRES), em 2000. Assim como seus predecessores, os RCPs são um grupo de cenários padronizados utilizados primariamente pelos modeladores. Levando em

conta que as pesquisas ocorrem em muitos países, e os modelos corroboram na fundação da modelagem de mudança do clima, é importante que todos os modeladores comecem seus estudos a partir de um ponto comum. Os cenários representam esse ponto consensual para as modelagens.

Esses novos cenários do IPCC têm como objetivo direcionar as modelagens, otimizar gastos e comunicar os resultados de forma compreensível para um grande público de interesses distintos. Os RCPs referem-se ao número de forçantes radiativas (desequilíbrios de energia global) medidos em watts por metro quadrado por ano até 2100. A forçante (parâmetro chave dos RCPs), não é a única variável utilizada, também são inclusas taxas de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEEs) e a concentração em partes por milhão para cada um destes. Cada “*pathway*” fixa a trajetória de dois valores até o ano de 2100: (a) o quanto o planeta aqueceu, e (b) a concentração de gases de efeito estufa. Essas taxas ou trajetórias diferentes formam as “*pathways*” (IPCC, 2013).

O cenário RCP 4,5, por exemplo, estabiliza o forçamento radiativo em $4,5 \text{ Wm}^2$ no ano de 2100. Simulado com o Modelo de Avaliação de Mudança Global (do inglês: *Global Change Assessment Model* - GCAM), o cenário RCP 4,5 inclui, a longo prazo, as emissões globais de gases de efeito estufa de vida curta e o uso da terra em um quadro econômico global. O RCP 4,5 foi atualizado a partir de cenários GCAM anteriores para incorporar as emissões históricas e informações de cobertura da terra, seguindo um caminho de minimização de custo para alcançar o alvo radiativo forçado. Embora existam muitos caminhos alternativos para atingir um nível de forçamento radiativo de $4,5 \text{ Wm}^2$, a aplicação do RCP 4,5 fornece uma plataforma comum para os modelos climáticos, explorando a resposta do sistema climático ao estabilizar as componentes antrópicas de forçamento radiativo (THOMSON et al., 2011).

O cenário RCP8.5 levaria a uma estabilização da forçante radiativa de $8,5 \text{ Wm}^2$ no ano de 2100, sendo considerado um cenário, de certa forma, pessimista. Este cenário sugere um crescimento contínuo da população e um desenvolvimento tecnológico lento, resultando em elevadas emissões de dióxido de carbono. Considera também a ausência de políticas para reduzir as emissões e a forte dependência de combustíveis fósseis durante o século. Comparando com o conjunto total de TRCs o RCP 8,5 corresponde a via com as maiores emissões de gases de efeito estufa (RIAHI et al., 2011).

As projeções dos cenários 4,5 e 8,5 utilizadas na análise deste documento estão divididas nos seguintes períodos:

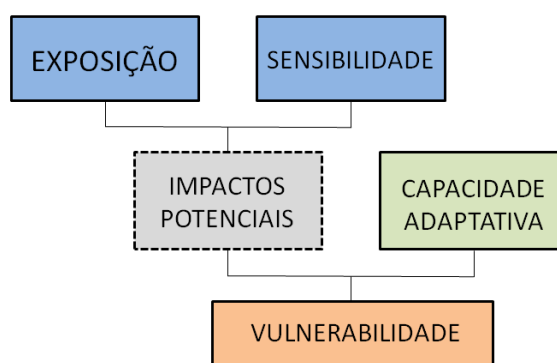
- 2011-2040
- 2041-2070
- 2071-2099

3.4. A metodologia de construção do Índice de Vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas – (IVDNS)

3.4.1. Dimensões do IVDNS

A metodologia para avaliar a vulnerabilidade do Brasil aos Desastres de Secas baseia-se em três componentes da vulnerabilidade, representadas a partir de três subíndices. Cada subíndice é composto por variáveis que se relacionam de forma complexa e, quando integradas, são capazes de refletir os aspectos de vulnerabilidade à mudança do clima. O *framework* utilizado para a construção do índice IVDNS baseia-se na definição utilizada pelo IPCC no relatório AR4, o qual define a vulnerabilidade conforme ilustrado na **Figura 5**, a seguir:

Figura 5: Estrutura representativa para definição da vulnerabilidade, no contexto da mudança do clima.



Fonte: Adaptada do 4º Relatório do IPCC - AR4 (IPCC, 2007).

O vetor **exposição** é definido como a natureza e a intensidade do estresse ambiental (climático) sobre um território ou sistema humano. As características desse estresse incluem a sua magnitude, frequência, duração e a abrangência espacial. No contexto da mudança do clima, o vetor exposição está diretamente relacionado com as variações do clima futuro

quando comparado com o comportamento observado para o período de referência (1961-1990). Para o presente estudo, o vetor exposição é representado por um subíndice, composto pelo incremento (anomalia) de três variáveis climáticas, conforme apresentado no **Quadro 1**. Primeiramente, é necessário conhecer o comportamento de tais variáveis para o período de referência do clima (*baseline*) e calcular sua diferença, em porcentagem, para os períodos futuros.

A **sensibilidade** é definida como a intensidade com a qual um sistema pode sofrer danos, ou ser afetado por perturbações (no caso, climáticas), levando em consideração suas características intrínsecas, e representando como o sistema responde no tempo presente. Esse vetor será representado por variáveis que possam refletir espacialmente a fragilidade dos grupos sociais e ambientes em receber os efeitos das Secas meteorológicas ao ponto desta se tornar um desastre. Foram utilizadas variáveis socioeconômicas e ambientais (**ver Quadro 1**) que, ao interagir com o vetor exposição, compreendem os impactos potenciais da mudança do clima, no que se refere à deflagração de Desastres relacionados às Secas.

A **capacidade de adaptação** é uma componente que representa a habilidade dos sistemas humanos em minimizar, abrandar, preparar e se recuperar dos impactos futuros. Ela é representada por variáveis que refletem estas características em nível municipal, pois não está relacionada diretamente com o sistema atingido (população), mas em como sua organização é capaz de promover os mecanismos de respostas aos impactos causados pelas Secas.

Neste sentido, a **exposição** e a **sensibilidade** dos sistemas humanos são componentes diretamente proporcionais aos impactos potenciais: quanto maior a exposição e a sensibilidade, maior será o potencial dos impactos e, consequentemente, a vulnerabilidade aos efeitos da mudança do clima. Por outro lado, a capacidade adaptativa é inversamente proporcional à vulnerabilidade. Em teoria, um sistema completamente desprovido de capacidade de adaptação seria diretamente vulnerável a todos os impactos potenciais impostos pela mudança do clima. É importante ressaltar que, por menor que seja a capacidade de adaptação, o sistema não é capaz de intensificar os impactos potenciais, ele apenas não conseguirá reduzi-los e, portanto, não tem a capacidade de se tornar menos vulnerável. Ou seja, a maior condição de vulnerabilidade será definida pela interação entre os vetores **exposição** e **sensibilidade**, sendo a capacidade de adaptação um vetor de “amortização” dos

impactos potenciais. Essas assertivas são necessárias para explicar a forma com que as variáveis do IVDNS se relacionam e como o resultado final poderá ajudar no diagnóstico das diferentes realidades encontradas por todo território brasileiro.

Quadro 1: Variáveis utilizadas para compor os Subíndices do IVDNS.

Subíndices	Variáveis
Exposição	• Incremento da Média da Precipitação Anual (-) • Incremento do Desvio Padrão (+) • Incremento da Potência das Secas – a partir do SPEI (+)
Sensibilidade	• Uso do Solo (ponderado) • % da População com Renda menor que ¼ do salário mínimo (+) • Mortalidade Infantil (casos/1000 hab) (+) • Densidade Demográfica (+) • Índice de Demanda e Oferta de Água (ANA) (+)
Capacidade Adaptativa	• IDHm (PNUD) (+) • Desigualdade Social – Índice GINI (-) • Analfabetismo (DATASUS) (-)

Os sinais de (+) representam que a variável é diretamente proporcional ao índice e o de (-) que é inversamente proporcional. Fonte: Autoria própria

3.4.2. O Subíndice de Exposição

Conforme apresentado anteriormente, a avaliação dos impactos potenciais da mudança do clima demanda o conhecimento das anomalias (incrementos) de determinadas variáveis que sejam representativas para explicar uma maior ou menor exposição a determinado perigo climático. Especificamente para o caso das Secas, existem diferentes anomalias climáticas que podem impactar os sistemas humanos e levar à condição de Desastre, tais como as alterações relacionadas à variabilidade climática (sazonal ou interanual), ao decréscimo da média do total de precipitação (que pode ser mensal, sazonal ou anual, conforme o olhar desejado) ou ainda ao aumento da magnitude, frequência e duração das Secas. É importante ressaltar que, embora tais fatores sejam favoráveis para a ocorrência de Secas como um Desastre, nem sempre eles acontecem de forma conjunta. Há

a possibilidade, por exemplo, de um determinado local ter aumento da precipitação média anual, mas aumentar a frequência e magnitude dos extremos de Secas.

Além disso, devido à grande extensão territorial brasileira e à sua diversidade de comportamentos climáticos, bem como de características socioeconômicas regionais, cada tipo de anomalia possui níveis de pertinência diferentes para explicar a ocorrência dos Desastres das Secas para diferentes localidades. Em alguns casos, um decréscimo significativo na média de precipitação em um determinado mês pode corresponder a uma grande quebra de safra e levar alguns municípios à condição de desastre. Esta mesma redução pode ser insignificante para outra região que, por exemplo, pode ser mais sensível a alterações referentes à variabilidade interanual, mesmo mantendo-se a mesma média de precipitação. Essas diferenças dificultam a criação de um único índice padronizado para todo o Brasil, pois a percepção da Seca como um Desastre varia muito no território brasileiro.

Assim, para avaliar a vulnerabilidade à mudança do clima é preciso conhecer como se dá o risco climático às Secas para o período de referência do tempo presente (*baseline*) e quais variáveis estão representando este risco. Somente a partir do conhecimento destas variáveis e entendendo como elas podem se relacionar, é que será possível calcular as anomalias para o clima futuro e, assim, refletir o vetor **exposição**. Buscando encontrar tais respostas, foi feito um levantamento bibliográfico a respeito dos diferentes perigos climáticos que podem desencadear Desastres de Secas no Brasil, bem como quais variáveis seriam representativas nesta avaliação. Para este estudo estabeleceu-se que o risco climático é definido pela **Equação 1**:

$$\text{Risco Climático} = \frac{\text{CV} + \text{Pot.Secas} + (1 - \text{MPPT})}{3} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- CV = Coeficiente de Variação da Média de Precipitação Anual. Este índice representa o quão variável é a variabilidade interanual da distribuição das chuvas.
- Pot. Secas = Potência das Secas: foi criada a partir dos dados do SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*) e considera a magnitude, frequência e duração das Secas extremas (SPEI < -2,0) durante o período analisado.

- MPPT = Média de Precipitação Anual (mm/ano): extraída diretamente das rodadas do modelo Eta-20km. Valor referente ao período de 1961-1990.

O Mapa de Risco Climático será um indicador para avaliar a acurácia dos modelos (no que se refere às Secas) apenas para o período de referência (1961-1990). Optou-se por utilizar o Coeficiente de Variação (CV), ao invés do Desvio Padrão, para avaliar a variabilidade da precipitação. Essa escolha foi realizada porque o CV é uma variável adimensional que permite avaliar a variabilidade em relação à média de precipitação e, por isso, é a mais adequada para comparar os resultados ao longo do território brasileiro nos casos em que a análise não é feita apenas para um período temporal. O desvio padrão seria capaz de representar apenas a magnitude da variabilidade de forma pontual e dificultaria a comparação entre as regiões.

Por exemplo, uma determinada localidade com baixa pluviometria anual possui um desvio padrão de 200mm e uma média de 400mm, enquanto outra, úmida, possui 300 mm e 3000 mm, respectivamente. Se comparados os valores absolutos do desvio padrão, a segunda localidade teria uma maior variabilidade (maior desvio padrão), o que seria uma inverdade. Ao avaliar o CV, temos os valores, respectivamente, de 0,50 e 0,10, o que mostra uma maior variabilidade (0,50) da primeira localidade. Afinal, uma variação de 200 mm é muito mais intensa para uma região com média de 400 mm (50%) do que o outro caso do exemplo. Do ponto de vista de desastres envolvendo Secas, locais com CV mais altos representam um risco maior, visto que a variação entre anos secos e úmidos é alta, dificultando que os sistemas humanos consigam estabelecer um equilíbrio, principalmente em situações onde a população é vulnerável e pouco adaptada a essas condições (devido às suas características socioeconômicas e de governança).

Desvio Padrão da Média de Precipitação Anual

Diferente do que foi feito para a análise do Risco Climático (apresentado anteriormente), para o Subíndice de **Exposição** no clima futuro, os incrementos/anomalias serão calculados tendo o **desvio padrão** como referência. Neste caso, o que importa é a variação (aumento ou decréscimo) do desvio padrão em relação ao período de referência (*baseline*). O incremento do desvio padrão representa uma relação entre dois períodos temporais que independe do seu valor absoluto, mas que é capaz de refletir o quanto a variabilidade está aumentando ou diminuindo naquele determinando ponto. A sua relação com a exposição climática e, conseqüentemente, com a vulnerabilidade às Secas, ocorre na medida em que o aumento da variabilidade interanual ou sazonal implica numa maior desregulação hidrológica com excessos e déficits hídricos mais constantes que no período de referência (*baseline*), o que aumenta diretamente os impactos potenciais.

Potência das Secas Extremas

Esta é uma variável de grande importância para a avaliação do risco climático do tempo presente e, posteriormente, da vulnerabilidade à mudança do clima. A construção desta variável demandou, primeiramente, uma busca na literatura atual sobre opções de índices disponíveis para medir com maior precisão os extremos de Seca (GUTTMAN, 1998; 1999; DOESKEN e KLEIST, 1993; PALMER, 1965; SERRANO et al., 2010; WU et al., 2005; LI et al., 2008; LLOYD-HUGHES e SAUNDERS, 2002). Dentre as opções revisadas verificou-se que o índice mais adequado para análise do território nacional seria o método conhecido como SPEI (do inglês: *Standardized Evaporation Precipitation Index*). O SPEI foi criado por SERRANO et al. (2010) e, ao contrário de outros índices de extremos de Secas, consegue capturar o balanço hídrico do déficit ou excesso pluviométrico, pois incorpora as temperaturas em sua análise - elemento crucial para representar extremos de seca em cenários de mudança do clima. Os demais índices não incluem essa variável (SPI⁴ e PDSI)⁵. Além desta vantagem, o SPEI também permite analisar o comportamento da variabilidade climática considerando diferentes

⁴ Para maiores detalhes ver: GUTTMAN NB (1998) Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. *Journal of the American Water Resources Association* 34:113–121.

⁵ Para maiores detalhes ver: PALMER, WC (1965) Meteorological Drought. Research Paper No. 45. US Weather Bureau: Washington, DC.

períodos temporais para seu cálculo (por exemplo: 3, 6, 8, 12, 60, 120 meses), traduzindo com eficácia resultados por estação (sazonal), anuais, decadais, etc.

Portanto, as vantagens da utilização do SPEI incluem sua sensibilidade à demanda evaporativa, facilidade de cálculo e adequação para análise de muitos períodos de tempo (semelhante ao SPI). O método de cálculo da evapotranspiração potencial EPT utilizado na análise do SPEI neste trabalho é o de THORNTHWAITE (1948). Os resultados do SPEI são classificados a partir de categorias de Seca, neutralidade e períodos úmidos. Os valores têm como referência os limites de escala em -2,5 desvios padrões para uma seca excepcional, e até + 2,5 desvios padrões - ou mais - para um episódio úmido excepcional (ver **Quadro 2** abaixo).

Para o cálculo do SPEI utilizou-se um *script* previamente desenvolvido (disponível em: <http://sac.csic.es/spei>) para ser utilizado através do **software R**. Esse *script* utilizado foi aperfeiçoado pelos consultores de modo a preencher as necessidades específicas para este trabalho. Os dados dos modelos climáticos utilizados foram obtidos por meio de solicitação formal efetuada à equipe da Dra. Chou Sin Chan do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a qual é responsável pela disponibilização dos dados do modelo Eta regional. Os arquivos foram recebidos em formato .bin e transformados em formato .netcdf ou .nc para o seu manuseio no ambiente R.

Quadro 2: Quadro comparativo da Gama de valores utilizada pelos índices SPEI, SPI e o índice de PALMER (PDSI).

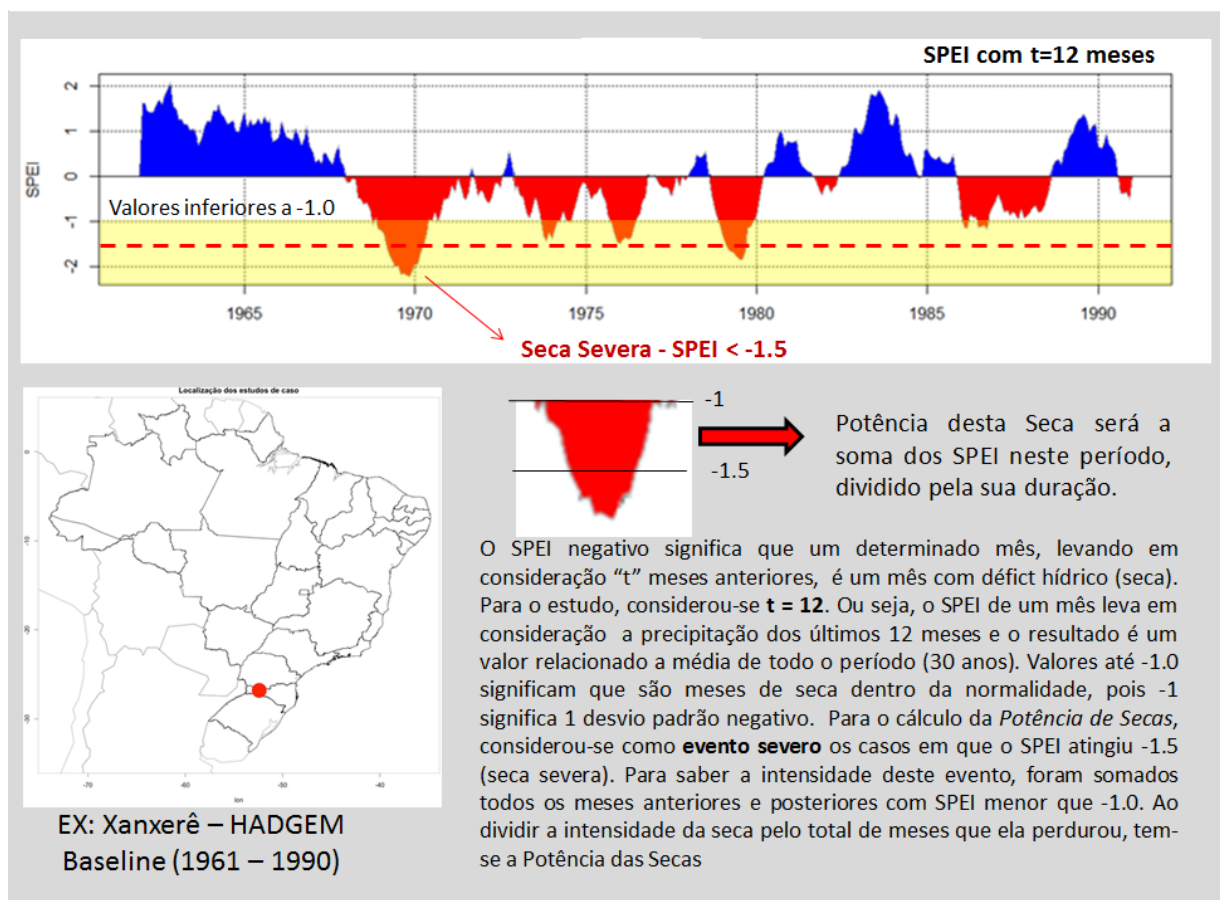
	Classificação	SPEI	SPI	PDSI
Úmido	Excepcional	$\geq 2,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$
	Extremo	2,0 a < 2,5	2,0 a < 2,5	4,0 a < 5,0
	Severo	1,5 a < 2,0	2,0 a < 2,0	3,0 a < 4,0
	Moderado	1,5 a < 2,0	1,5 a < 2,0	2,0 a < 3,0
	Médio	1,0 a < 1,5	1,0 a < 1,5	1,0 a < 2,0
Normalidade		0,5 a < 1,0	0,5 a < 1,0	> -1,0 a 1,0
Seca	Médio	> -1,0 a -0,5	> -1,0 a -0,5	> -2,0 a -1,0
	Moderado	> -1,5 a -1,0	> -1,5 a -1,0	> -3,0 a -2,0
	Severo	> -2,0 a -1,5	> -2,0 a -1,5	> -4,0 a -3,0
	Extremo	> -2,5 a -2,0	> -2,5 a -2,0	> -5,0 a -4,0
	Excepcional	$\leq -2,5$	$\leq -2,5$	≤ -5

Fonte: Autoria própria

A partir do conhecimento do SPEI para todos os pontos de grade do Brasil (escala 20 km x 20 km), foi possível calcular a variável **Potência das Secas**. Esta é uma variável exclusiva deste estudo, tendo recebido esse nome porque calcula a intensidade total das Secas extremas (força/magnitude) dividido pelo tempo de duração das mesmas.

Para o cálculo foram considerados apenas os eventos de Secas onde o SPEI foi inferior a -1,5 (Severamente Seco). Para cada evento identificado com essa característica, calculou-se o somatório do SPEI durante todos os meses que definiram o período de seca e que tiveram valores inferiores a -1,0. A potência das Secas é caracterizada por esse somatório, dividido pela duração (em meses) de todos os eventos de seca durante o período (1961-1990). Localidades identificadas com valores mais altos são caracterizados por possuir maior frequência de Secas e/ou Secas mais longas sendo, portanto, aqueles que possuem maior risco aos Desastres de Secas sob este olhar. Para uma melhor compreensão de como foi feito o cálculo dessa variável apresenta-se o **Quadro 3**, com um exemplo prático.

Quadro 3: Box explicativo do cálculo da variável Potência das Secas.



Fonte: Autoria própria

Precipitação Média Anual

Esta variável foi extraída diretamente das rodadas do modelo Eta-20km. Para o cálculo do Risco Climático, o valor da média do período refere-se à média de precipitação anual encontrada para o período de 1961-1990. O argumento para sua utilização é que localidades com uma média de precipitação baixa são mais sensíveis a variações no regime pluviométrico. Este fato facilita o desequilíbrio dos sistemas humanos e a ocorrência de desastres envolvendo Secas quando comparados com locais com médias elevadas (maior disponibilidade de água). Além disso, localidades com uma média de precipitação baixa possuem menor disponibilidade de água mesmo em períodos considerados dentro da normalidade.

Interação entre as variáveis para compor o Mapa de Risco Climático para o período de referência (Baseline)

Para que as três variáveis pudessem se relacionar (Equação 1) e compor o mapa de Risco Climático para o período do tempo presente, foi necessário transformar suas unidades em uma forma adimensional, em uma escala compatível. Para tal, normalizaram-se todas as variáveis em uma escala entre 0,00 e 1,00, utilizando-se a **Equação 2** apresentada a seguir:

$$x_{\text{norm}} = \frac{x - x_{\text{min}}}{x_{\text{máx}} - x_{\text{min}}}$$

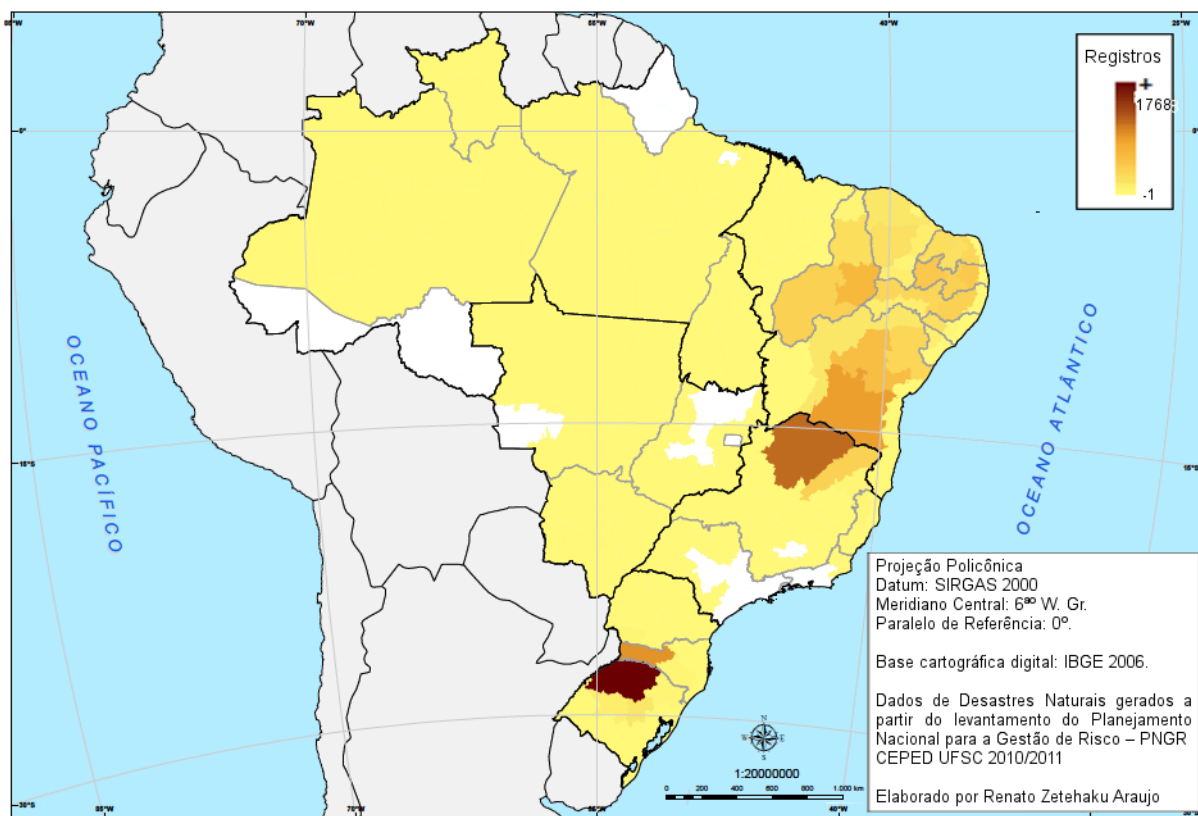
Equação 2

Validação do Mapa de Risco Climático

O mapa de Risco Climático deve ser validado com alguma informação de referência. Para tal, utilizou-se como base o Atlas de Desastres Naturais (UFSC, 2012) que contabiliza o total de ocorrência de Desastres de Secas/Estiagens no Brasil entre 1991 e 2010 (**Figura 6**). Cabe ressaltar que, embora o Atlas considere apenas as condições de Secas onde foram decretadas ocorrências de Desastres, considera-se adequado a comparação com a finalidade de verificar se a composição das variáveis explicativas consegue identificar as regiões mais impactadas. Mesmo considerando que são conceitos diferentes, espera-se que o Risco Climático do período do tempo presente apresente padrões espaciais próximos ao ilustrado

na Figura 6. O intuito nesta etapa restringiu-se a validar as pertinências das três variáveis climáticas escolhidas e a compreender como os modelos Eta-HadGem ES e Eta-MIRO 5 são capazes de representá-las.

Figura 6: Mapa de Desastres Causados por Estiagem e Seca no Brasil no período de 1991-2010.



Fonte: Adaptado de UFSC, 2012

Interação entre as variáveis para compor o Mapa de Exposição

Uma vez validada a pertinência das variáveis escolhidas através do Mapa de Risco Climático, foi possível partir para a elaboração do mapa do Subíndice de Exposição. Este é calculado a partir dos incrementos (anomalias) de cada uma das três variáveis utilizadas, através de uma relação simples entre o valor projetado para os períodos futuros quando comparado com aqueles observados no período de referência (*baseline*). A **Equação 3** representa como esse cálculo é feito, ressaltando o uso da ferramenta *Map Algebra* do ArcGIS 10.0 para proceder o cálculo:

$$\Delta(x)_{\text{período}} = \frac{(x)_{\text{período}} - (x)_{\text{baseline}}}{(x)_{\text{baseline}}}$$

Equação 3

Onde:

$\Delta(x)_{\text{período}}$: representa o incremento/anomalia da variável (x) em um determinado período futuro, tendo como referência o valor encontrado no *baseline* (1961-1990).

Portanto, para cada período futuro (2011-2040; 2041-2070; 2071-2099) calcula-se os incrementos das três variáveis climáticas. A forma com que elas se relacionam para compor o subíndice de exposição é através da média simples destes três incrementos, conforme apresentado na **Equação 4**.

$$\text{Exposição}_{\text{período}} = \frac{\Delta(\text{DP})_{\text{período}} + \Delta(\text{Pot.Secas})_{\text{período}} - \Delta(\text{MPPT})_{\text{período}}}{3}$$

Equação 4

Onde:

$\Delta(\text{DP})_{\text{período}}$: é o incremento do desvio padrão da série de precipitação média anual (variabilidade) em um determinado período futuro;

$\Delta(\text{Pot.Secas})_{\text{período}}$: é o incremento da variável *Potência das Secas*, calculada a partir do SPEI, para um determinado período futuro.

$\Delta(\text{MPPT})_{\text{período}}$: é o incremento da média de precipitação anual de um determinado período futuro (inversamente proporcional);

Mesmo sabendo que em algumas regiões o incremento de uma variável pode ter maior relevância para a deflagração das Secas, optou-se por utilizar a média simples com intuito de identificar as regiões críticas, onde o clima será alterado. Essa alteração pode causar a diminuição da precipitação anual, o aumento da variabilidade e também da magnitude e ocorrências das Secas. Para situações intermediárias, ou regiões com características específicas que possam ter sido mascaradas pelo índice nacional, optou-se por apresentar separadamente os mapas de cada incremento, visando compreender melhor o comportamento climático e as melhores estratégias de adaptação a serem empreendidas para a diminuição dos impactos naquelas localidades. Nestes casos, é sugerido que, em etapas

futuras, possam ser elaborados índices regionais específicos, que deem maior relevância (peso) para a variável e que melhor represente a vulnerabilidade regional.

3.4.3. O Subíndice de Sensibilidade

O Subíndice de Sensibilidade às Secas no contexto da mudança do clima foi elaborado a partir de variáveis socioeconômicas. A seleção dessas variáveis se deu, primeiramente, por sua pertinência e relação com o Desastre das Secas e, posteriormente, pela disponibilidade de dados em escala municipal para todo o território nacional. Dentre as variáveis selecionadas estão: a taxa de mortalidade infantil, a taxa de indigência, a densidade demográfica, o uso do solo e a demanda e oferta de água. Quando analisadas de forma isolada, cada uma dessas variáveis reflete, direta ou indiretamente, dificuldades e fragilidades específicas dos municípios quando os mesmos são expostos a situações de Secas. Contudo, quando analisadas de forma conjunta, conseguem refletir contextos socioeconômicos que representam uma maior ou menor sensibilidade dos municípios aos impactos provenientes das Secas meteorológicas.

Tomemos como exemplo ilustrativo a taxa de mortalidade infantil. Um elevado grau de mortalidade pode estar relacionado à ausência ou precariedade nos serviços de atenção à saúde básica, que por sua vez, estão associados com o grau de acessibilidade à água potável e ao saneamento. Quanto maior a exposição à água contaminada tanto para higiene, como para cozimento de alimentos e hidratação, maior a probabilidade de uma criança ser infectada. E, devido a sua condição de maior fragilidade, pode sucumbir a uma infecção como a diarreia, entre outros males transmitidos por veiculação hídrica. Nesse sentido, uma menor disponibilidade de água, associada à uma baixa cobertura de saneamento, propiciará a utilização de mesma fonte de água por vários indivíduos. E, em face da escassez de água e da precariedade das condições sanitárias presentes nessas localidades, incrementa-se o potencial de contaminação e, conseqüentemente, as taxas de mortalidade.

Quando esse indicador é analisado em conjunto com a taxa de indivíduos indigentes (ou com baixo poder aquisitivo), a situação poderá tornar-se mais crítica, haja visto que os grupos que integram as duas categorias possuem um baixo poder aquisitivo e/ou educacional que dificultam a busca por melhores condições de atendimento na saúde e saneamento. Esta

conjunção de características remete esses grupos para uma situação de maior sensibilidade/fragilidade diante dos efeitos das Secas, tornando-os, portanto, mais vulneráveis sob este ponto de vista.

Como um terceiro fator na composição do índice, a alta densidade demográfica remete a uma maior demanda de água a ser obtida a partir de um mesmo manancial hídrico, tornando-o mais suscetível ao déficit hídrico e vulnerável quando exposto à um decréscimo nas precipitações. Dentre outros aspectos, as regiões com maior densidade demográfica irão direcionar um aumento da Sensibilidade pelo fato de estarem expondo um maior número de pessoas aos impactos potenciais das Secas. Neste caso, a variável não explicitaria apenas uma nuance da Sensibilidade, mas também da Exposição.

Soma-se ainda às variáveis socioeconômicas e demográficas, a variável ponderada do uso do solo, que reflete uma maior ou menor Sensibilidade às Secas dependendo de suas características. Nestes casos, o tipo de manejo agrícola e as características do ordenamento territorial podem influenciar na qualidade da água, que está associada à integridade da cobertura vegetal nas nascentes e nas margens dos rios (matas ciliares), e também ao correto descarte de efluentes líquidos e resíduos sólidos nas bacias e reservatórios. Além disso, os múltiplos usos para fins econômicos também podem ser mais ou menos sensíveis à uma Seca meteorológica, dependendo da fragilidade, por exemplo, das culturas agrícolas utilizadas.

Por fim, um quinto elemento, relacionado à gestão dos mananciais, compõe o Subíndice. Esta variável é composta pelo diagnóstico de oferta/demanda de água estimado para cada um dos municípios brasileiros, elaborado pela ANA (2015). Além da questão de oferta/demanda, essa variável levou em consideração o tipo do manancial (superficiais e subterrâneos) que podem ser mais ou menos sensíveis aos efeitos das Secas e também da degradação antrópica. Esses fatores, juntos, determinam uma parcela importante para representar a Sensibilidade dos municípios aos desastres relacionados às Secas.

As variáveis supramencionadas foram normalizadas, entre 0,00 e 1,00 para que pudessem relacionar-se. Foram escolhidos diferentes métodos para cada uma das variáveis, os quais serão explicados nos próximos itens. O cálculo do Subíndice de Sensibilidade foi feito a partir da média das três variáveis socioeconômicas, visando evitar qualquer viés nesta dimensão. A este valor médio, denominado Subíndice Socioeconômico, somaram-se as

demais variáveis, sendo elas: Uso do Solo e Demanda e Oferta de Água, que representam os aspectos físico-ambientais e também de governança da sensibilidade aos Desastres relacionados às Secas. Desta forma, o Subíndice de Sensibilidade é a média destes três componentes, conforme apresentado na **Equação 5**.

$$\text{Sensibilidade} = \frac{\left[\left(\frac{\text{Mort. Inf} + \text{Tx. Indigência} + \text{Dens. Dem.}}{3} \right) + \text{Usolo} + \text{ODÁgua} \right]}{3}$$

Equação 5

Onde:

Mort. Inf – Mortalidade Infantil

Tx. Indigência – Taxa de Indigência

Dens. Dem. – Densidade Demográfica

Usolo – Uso do Solo

ODÁgua – Oferta e demanda de água

A seguir é apresentada cada variável, e seu uso no contexto deste trabalho.

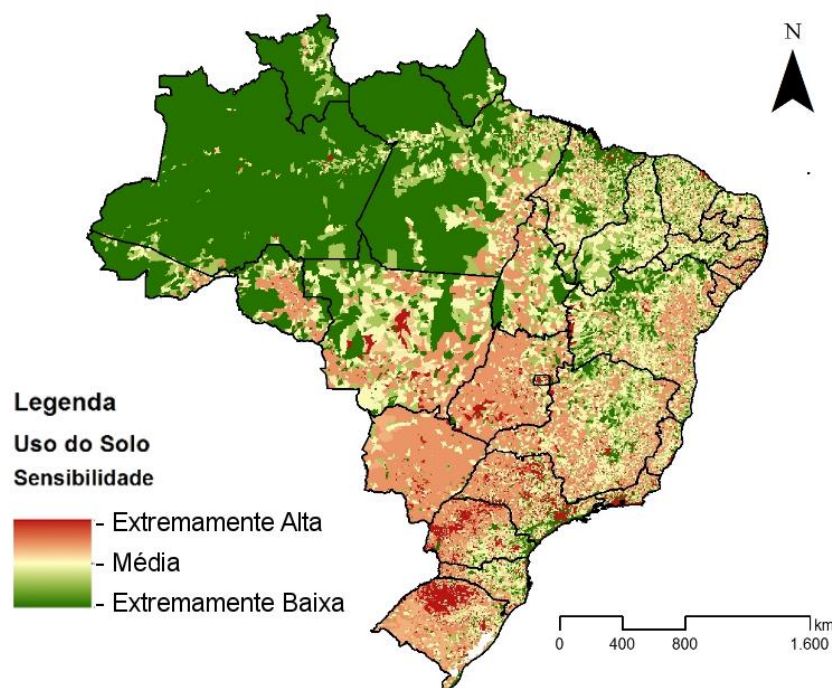
Mapa de Uso do Solo

A variável “Uso do Solo” foi utilizada de forma a representar a fragilidade/suscetibilidade dos diferentes usos em relação aos efeitos das Secas, sobretudo aqueles voltados às atividades econômicas, considerando seu importante papel no processo de avaliação da Seca como um Desastre.

A Seca apresenta consequências severas para as populações, particularmente para os agricultores que dependem da água para seus cultivos. Nesse sentido, regiões onde ocorre monocultura de grãos e que não dispõem do uso de técnicas de irrigação, apresentam um alto grau de vulnerabilidade à Seca ou às estiagens, principalmente quando a chuva não ocorre nos períodos de germinação e floração dessas culturas. Esse dado torna-se crucial visto que a Seca ou a estiagem não comprometem necessariamente o abastecimento das populações, indústrias etc. Entretanto, em alguns casos, apenas o setor agropecuário é afetado, levando os municípios a decretarem situação de calamidade pública.

Pensando nessas sensibilidades e outras relacionadas ao uso e manejo do solo, optou-se por utilizar o Mapa de Uso do Solo, o qual é oriundo do Mapeamento Sistemático do Uso da Terra, elaborado pelo IBGE na escala 1:250.000, disponível para todo o território nacional (IBGE 2010). Todas as 38 classes de uso do solo foram avaliadas e ponderadas, recebendo um valor numérico (peso) que reflete o nível de sensibilidade daquele determinado uso em relação à Seca. Para que a variável **uso do solo** possa se relacionar com as demais variáveis, utilizou-se uma escala de ponderação de 0,00 até 1,00, sendo que os usos mais sensíveis aos efeitos das Secas (como as lavouras temporárias, por exemplo) recebem pesos mais elevados. De forma geral, as áreas menos antropizadas (áreas de florestas naturais, por exemplo) recebem um peso menor. Para os usos mistos que contenham vegetação natural, sistemas agroflorestais, lavouras permanentes, lavouras temporárias etc., utilizam-se pesos médios. A **Figura 7** apresenta o Mapa de Uso do Solo já com as classes ponderadas.

Figura 7: Mapa de Uso e Cobertura do Solo, ponderado sob o ponto de vista da Sensibilidade às Secas, no contexto da Mudança do Clima.



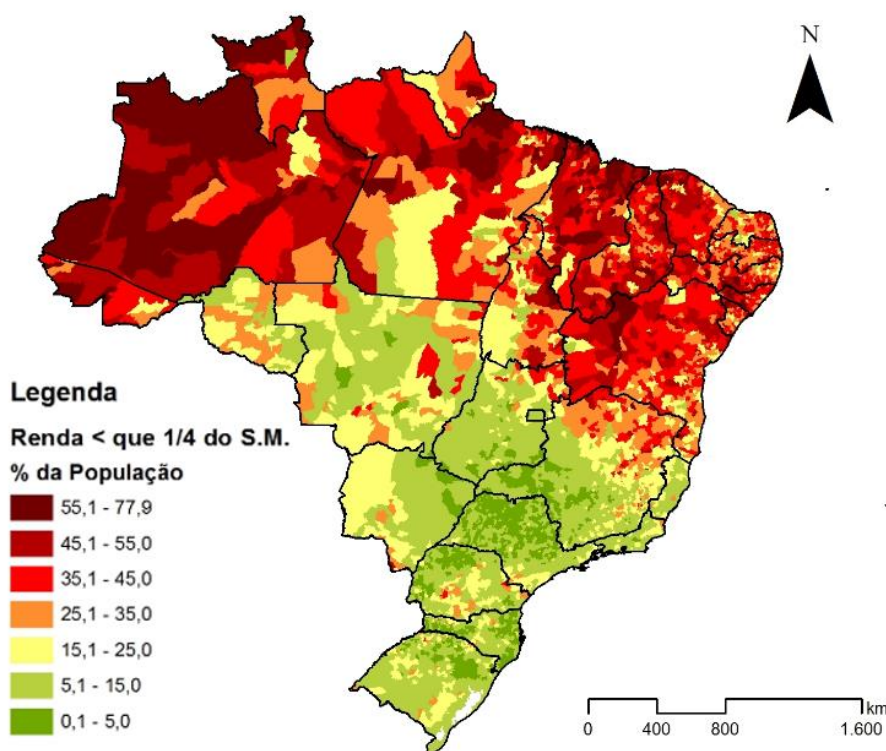
Mapa de Solo ponderado para expressar a Sensibilidade de cada classe, no contexto de Mudanças Climáticas. O mapa de base foi disponibilizado pelo IBGE – escala de 1:250.000. Todas as 31 classes originais foram ponderadas levando em consideração fatores de sensibilidade e fragilidade das Secas. Fonte: Adaptado do Mapa de Uso do Solo elaborado IBGE na escala de 1:250.000 (IBGE 2010).

Porcentagem da População abaixo da linha de indigência

Esta variável representa a parcela da população que recebe renda mensal menor que 25% do salário mínimo. Foi utilizada para representar os contrastes entre os municípios brasileiros no que tange a uma faixa da população extremamente sensível aos impactos das Secas. Cabe esclarecer que essa faixa da população abaixo da linha de indigência convive com uma série de dificuldades, e retrata o nível de carências de rendimento para compra, principalmente de alimentos, bens duráveis que poderiam ajudar a contornar situações de calamidade, entre outras privações.

Os dados utilizados são referentes ao CENSO 2010 e foram adquiridos na forma de dados tabulares fornecidos pela plataforma do Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013). A variável foi espacializada para todos os municípios brasileiros e o resultado é apresentado na **Figura 8**. Para que essa variável pudesse relacionar-se com as demais no cálculo do Subíndice de Sensibilidade, esses valores foram normalizados em uma escala entre 0,00 e 1,00 que é diretamente proporcional à sensibilidade (quanto maior, mais sensível e vulnerável será o sistema).

Figura 8: Mapa da Taxa da População na Indigência – população com renda inferior a ¼ do salário mínimo.

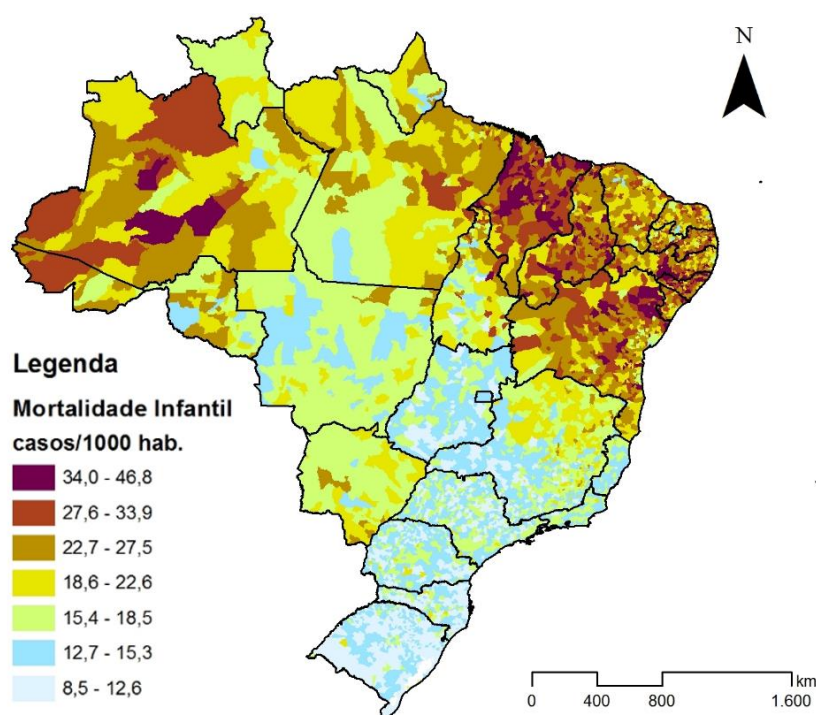


Mapa de Taxa de Indigência, elaborado a partir do percentual da população com renda inferior a ¼ do salário mínimo, disponibilizado pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD). Fonte: Autoria própria, com base nos dados do CENSO 2010, disponibilizados pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013).

Taxa de Mortalidade Infantil

Altas taxas de mortalidade infantil, dentre outros fatores, estão diretamente relacionadas a doenças de veiculação hídrica associadas à má qualidade da água, situação que se acentua durante as Secas. A população mais atingida é especialmente aquela que reside em zonas rurais e onde há precariedade (ou inexistência) de estruturas de tratamento de esgoto (CIRILO et al., 2010). Municípios que apresentam altas taxas de mortalidade infantil refletem, em parte, essas características quando comparados com outros de baixa mortalidade infantil.

Figura 9: Mapa da Taxa de Mortalidade Infantil.



Mapa de Mortalidade Infantil, elaborado a partir do percentual da população com renda inferior a ¼ do salário mínimo, disponibilizado pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD). Fonte: Autoria própria, com base nos dados do CENSO 2010, disponibilizados pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013).

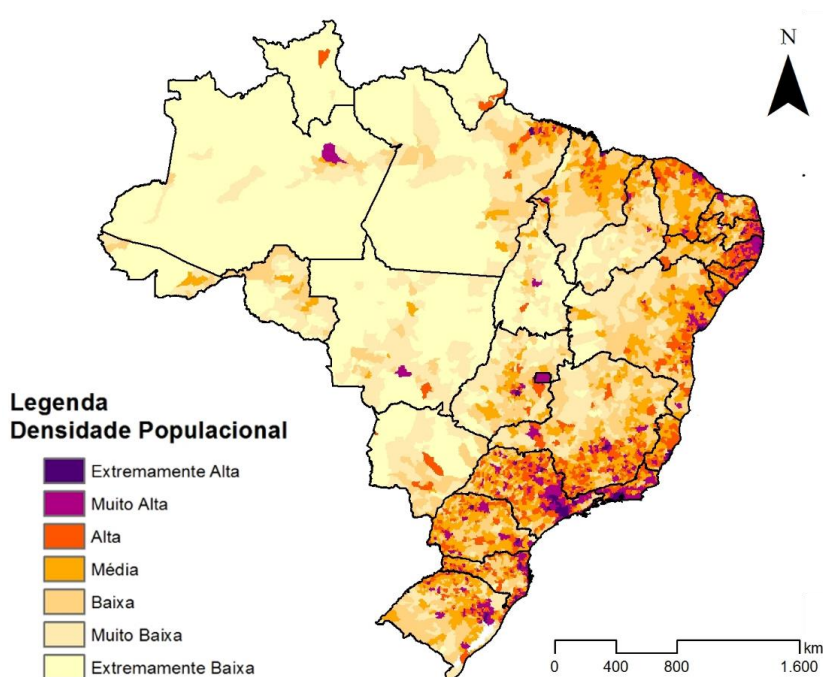
A partir dos dados tabulares fornecidos pela plataforma do Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013), essa variável foi espacializada para todos os municípios brasileiros, sendo os resultados apresentados na **Figura 9**. Para que essa variável pudesse relacionar-se com as demais no cálculo do subíndice de Sensibilidade, os valores foram normalizados em uma escala que varia entre 0,00 e 1,00 e é diretamente proporcional à sensibilidade (quanto maior a taxa, mais sensível e vulnerável será o sistema).

Densidade Demográfica

Esta variável representa os locais onde se encontram as maiores concentrações populacionais do país. Regiões com maior densidade populacional são consideradas mais sensíveis por apresentarem uma maior demanda de água e alimentos, os quais podem, em geral, ser diretamente impactados em situações de Seca. Essa variável reflete, também, a magnitude do impacto que uma Seca pode ocasionar, pois o foco deste estudo são os Desastres. Lembrando que esta variável, assim como as demais, não reflete isoladamente a sensibilidade, sendo de interesse ao estudo a identificação de localidades onde a alta densidade populacional coexista com outras realidades que intensificam a sensibilidade dos sistemas humanos às Secas.

Os dados brutos das populações municipais são provenientes do Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013). A área de cada município é proveniente dos dados do IBGE (2010) de modo que a densidade demográfica, apresentada na Figura 10, é a razão entre essas duas variáveis. Para que essa variável pudesse relacionar-se com as demais no cálculo do subíndice de Sensibilidade, os valores foram normalizados em uma escala que varia entre 0,00 e 1,00, conforme apresentado no **Quadro 4**.

Figura 10: Mapa de Densidade Demográfica.



Densidade calculada com base nos dados do IBGE – CENSO 2010. Razão entre a População total municipal (rural + urbana) e a área do município (km²). Fonte: Autoria própria, com base nos dados do CENSO 2010, disponibilizados pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013).

Quadro 4: Ponderação das Classes de Densidade Demográfica.

CLASSE	hab/km2		QTDE	PESO
Extremamente Alta	> 550		140	1,00
Muito Alta	100	550	554	0,85
Alta	400	100	1144	0,65
Média	18	40	1671	0,50
Baixa	7	18	1162	0,35
Muito Baixa	2,5	7	614	0,17
Extremamente Baixa	< 2,5		280	0,00
			5565	

Fonte: Autoria própria

Demanda e Oferta de Água

Esta variável é derivada do estudo “Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água de 2015” (ANA, 2015) e reflete a condição dos mananciais em relação à demanda municipal, e também a sensibilidade do principal tipo de manancial (superficial ou subterrâneo) utilizado por cada município. Essa variável reflete a sensibilidade municipal no tocante ao abastecimento urbano de água, o qual é diretamente influenciado pelas Secas e pode causar grandes prejuízos socioeconômicos e ambientais (Por exemplo: seca na região Sudeste em 2014 e 2015, que atingiu profundamente a região metropolitana de São Paulo).

O diagnóstico de oferta e demanda de água (ANA, 2015) teve como objetivo verificar a situação dos mananciais e dos sistemas produtores de água quanto ao atendimento das demandas hídricas futuras. Quando o manancial e o sistema produtor apresentaram condições de atendimento às demandas urbanas até o ano de 2015, o abastecimento de água para a sede municipal é considerado satisfatório. Por outro lado, quando o balanço entre a oferta e a demanda demonstrou um saldo negativo (déficit), foi identificada a necessidade de investimentos em obras para o aproveitamento de novos mananciais ou para adequação dos sistemas existentes (ANA 2015). Esse indicador se torna importante do ponto de vista da sensibilidade, pois possibilita identificar os municípios brasileiros cuja demanda e oferta d'água encontram-se em desequilíbrio. O dado está disponível no Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água (ANA, 2015).

Além do aspecto avaliado pelo diagnóstico, incluiu-se na análise de sensibilidade o principal tipo de manancial utilizado pelo município (superficial ou subterrâneo). Os

mananciais do tipo superficial foram considerados mais sensíveis aos efeitos das Secas do que os subterrâneos, devido ao fato de sofrerem, mais rapidamente, aos efeitos do déficit hídrico e de perda de volume pela alta evaporação em ambientes com baixa umidade. Desta forma, para representar parte do Subíndice de Sensibilidade elaborou-se uma matriz de relação entre o diagnóstico do abastecimento municipal e o principal tipo de manancial utilizado no município, conforme apresentado na **Quadro 5**, onde os valores mais próximos de 1,00 representam maior sensibilidade.

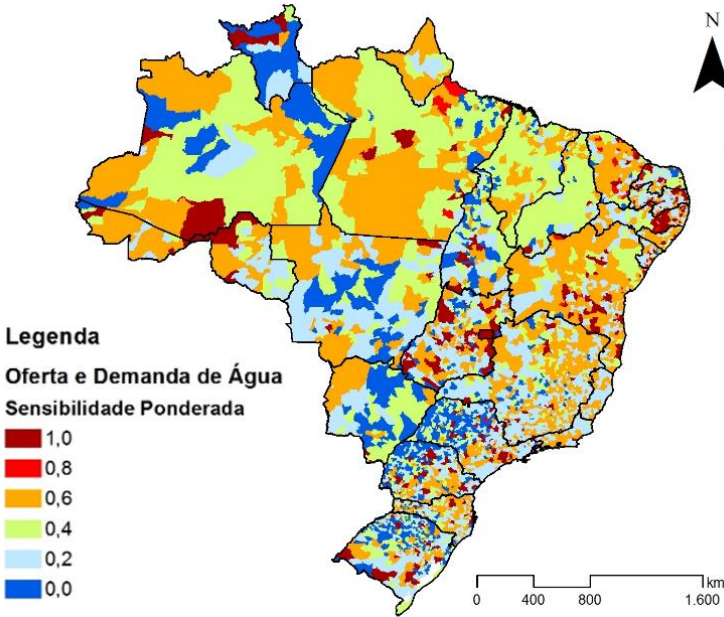
Quadro 5: Matriz de Ponderação utilizada para refletir a Sensibilidade dos municípios brasileiros no que se refere à demanda e oferta de água.

<i>Matriz de Ponderação</i>	Requer Novo Manancial	Requer Ampliação	Abastecimento Satisfatório
SUPERFICIAL	1,00	0,60	0,20
SUBTERRÂNEO	0,80	0,40	0,00

Fonte: Autoria própria

Estas informações foram trabalhadas inicialmente na forma tabular e, posteriormente, foram espacializadas para todos os municípios brasileiros. O resultado é apresentado na **Figura 11**, a seguir:

Figura 11: Mapa Ponderado da condição de Oferta e Demanda de Água dos municípios brasileiros e sua sensibilidade aos efeitos das Secas.



Oferta de Água e demanda ponderada a partir da avaliação feita pela ANA e também pelo tipo do manancial utilizado, conforme a tabela acima. Fonte: Autoria própria, baseado nas informações *Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água* (ANA, 2015).

3.4.4. O Subíndice de Capacidade Adaptativa

Tendo em vista os direcionamentos obtidos através da literatura e algumas definições previamente apresentadas, a etapa seguinte demandou a aquisição e organização de uma base de dados que permitisse a aplicação do Subíndice de Capacidade Adaptativa para todo o Brasil. Cabe ressaltar que, devido à inexistência de base de dados nacional que atenda especificamente os interesses deste trabalho, a construção do índice baseou-se em indicadores e variáveis socioeconômicas levantados para outras finalidades. Considera-se que, idealmente, os indicadores mais representativos seriam aqueles que expressassem aspectos relacionados às condições organizativas da coletividade, tais como o papel das instituições, governança e gestão de Desastres. Entretanto, dados dessa natureza não estão disponíveis para todos os municípios brasileiros durante o desenvolvimento desta pesquisa, não sendo possível reunir informações suficientes para compor uma base de dados completa. Desta forma, optou-se por utilizar outros indicadores socioeconômicos que apresentem, mesmo que indiretamente, relações com os aspectos de interesse. Assim, as três variáveis utilizadas para compor este índice são apresentadas nos próximos itens, de modo que **o Subíndice de Capacidade Adaptativa é a média simples das três variáveis utilizadas.**

Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

Este trabalho utilizou a base de dados disponibilizada pelo Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (PNUD, 2013), que é uma plataforma de consulta ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHm - dos 5.565 municípios brasileiros, além de mais de 180 indicadores de população, educação, habitação, saúde, trabalho, renda e vulnerabilidade, com dados extraídos dos Censos Demográficos de 1991, 2000 e 2010. Embora muitos destes indicadores reflitam outros tipos de fragilidades e dificuldades dos municípios, poucos se enquadram diretamente com as diretrizes firmadas na literatura a respeito da capacidade de adaptação. Por exemplo, os indicadores que envolvem educação, quando observados de maneira isolada, não são capazes de identificar alguma característica da sociedade que se relacione diretamente com facilidades ou dificuldades destes grupos em adaptarem-se à mudança do clima, pois as informações disponibilizadas são expostas por faixas etárias (taxa de analfabetismo entre 11 e 14 anos, por exemplo). Assim, para conseguir

definir o grau de significância desses indicadores para a vulnerabilidade como um todo, consideramos que seria uma análise muito complexa e demandaria um aprofundamento nessa temática que foge do escopo deste trabalho. Por outro lado, considera-se que esses componentes da vulnerabilidade não poderiam ser completamente excluídos da análise e, por isso, optou-se por utilizar como indicador o próprio IDHm. De acordo com PNUD, 2013:

O IDHm brasileiro segue as mesmas três dimensões do IDH Global – longevidade, educação e renda, mas vai além: adequa a metodologia global ao contexto brasileiro e à disponibilidade de indicadores nacionais. Embora meçam os mesmos fenômenos, os indicadores levados em conta no IDHM são mais adequados para avaliar o desenvolvimento dos municípios brasileiros. O IDHm também varia entre 0 (valor mínimo) e 1 (valor máximo).

Assim como no IDH global, o IDHM Educação é uma composição de dois indicadores: um indicador fornece informação sobre a situação educacional da população adulta e um referente à população em idade escolar (jovens). Entretanto, as variáveis são outras. No caso da população adulta, a média de anos de estudo de pessoas de 25 anos ou mais, tal como é medido no IDH Global, não pode ser obtida das informações do Censo 2010 e foi substituída pela proporção da população adulta de 18 anos ou mais que concluiu o ensino fundamental. Este indicador permite uma boa avaliação do nível de carência da população adulta em relação à escolaridade considerada básica (nível fundamental). No caso da população jovem, a metodologia aplicada pelo IDH Global a partir de 2010 – a expectativa de vida escolar – é uma medida de retenção das pessoas na escola, independentemente da repetência, e inclui o ensino superior. A adaptação do IDHM para os contextos nacional e municipal foi feita com uma combinação de 4 indicadores que permitem verificar até que ponto as crianças e os jovens estão frequentando e completando determinados ciclos da escola.

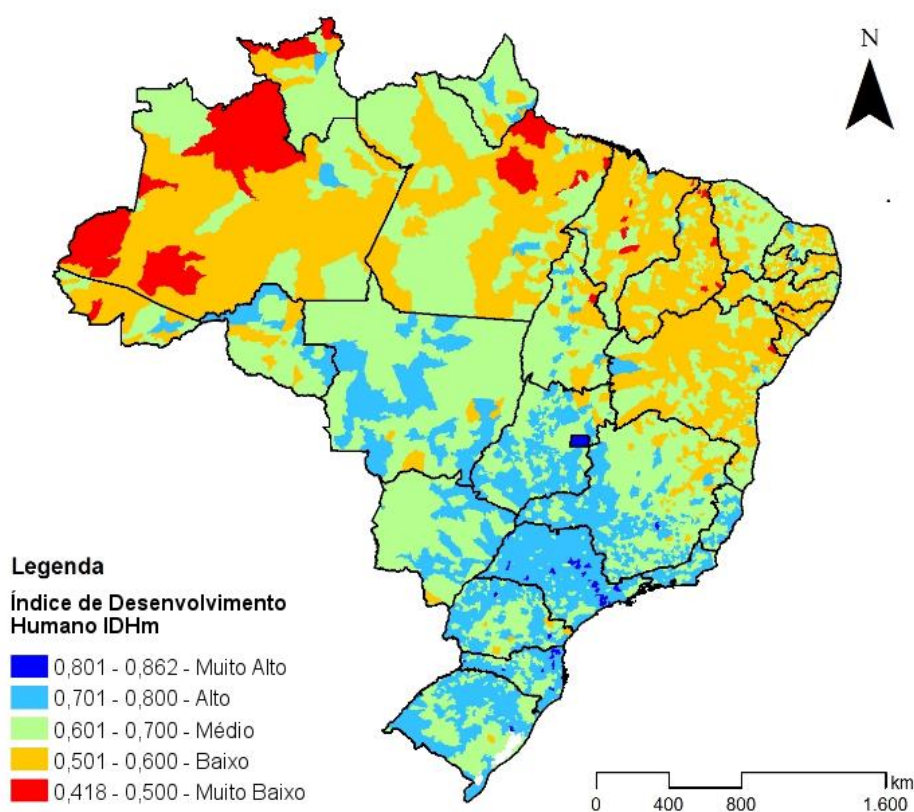
O subíndice resultante, o fluxo escolar da população jovem, é a média aritmética do percentual de crianças de 5 a 6 anos frequentando a escola, do percentual de jovens de 11 a 13 anos frequentando os anos finais do ensino fundamental (6º ao 9º ano), do percentual de jovens de 15 a 17 anos com ensino fundamental completo e do percentual de jovens de 18 a 20 anos com ensino médio completo.

Enquanto o IDH Global calcula o componente renda pela Renda Nacional Bruta per capita, em poder de paridade de compra (ppc Banco Mundial 2005), o IDHM Renda considera a renda municipal per capita, ou seja, a renda média mensal dos indivíduos residentes em determinado município, expressa em Reais por meio da renda per capita municipal. Assim como o IDH Global, o IDHM Longevidade é calculado pela esperança de vida ao nascer, ou seja, o número médio de anos que as pessoas viveriam a partir do nascimento, mantidos os mesmos padrões de mortalidade observados no ano de referência. Quando comparamos ambos os índices, um fator importante a ser destacado é a fonte de dados. Para o cálculo do IDHM, todos os dados foram extraídos dos Censos Demográficos do IBGE, ao passo que o IDH Global traz dados do Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da ONU, Instituto de Estatísticas da UNESCO, Banco Mundial e Fundo Monetário Internacional. A opção por restringir as informações municipais a uma única fonte garante a maior comparabilidade entre os 5.565 municípios do país.

Embora o IDHm seja um índice elaborado para ser representado entre 0,00 e 1,00, no Brasil os valores limites, tanto inferiores quanto superiores, são outros. Desta forma, para o

seu devido uso e interação com os demais subíndices e variáveis, o IHDm foi normalizado utilizando-se a Equação 2. No tocante à capacidade de adaptação, considera-se que o IDHm é diretamente proporcional. De uma forma geral, municípios com IDHm elevados possuem uma maior capacidade de se adaptarem quando comparados com outros municípios de IDHm baixos. A **Figura 12** apresenta o Mapa do IDHm para o Brasil, onde as classes utilizadas referem-se a categorização utilizada internacionalmente para demonstrar os diferentes níveis de desenvolvimento humano.

Figura 12: Mapa do IDHm.



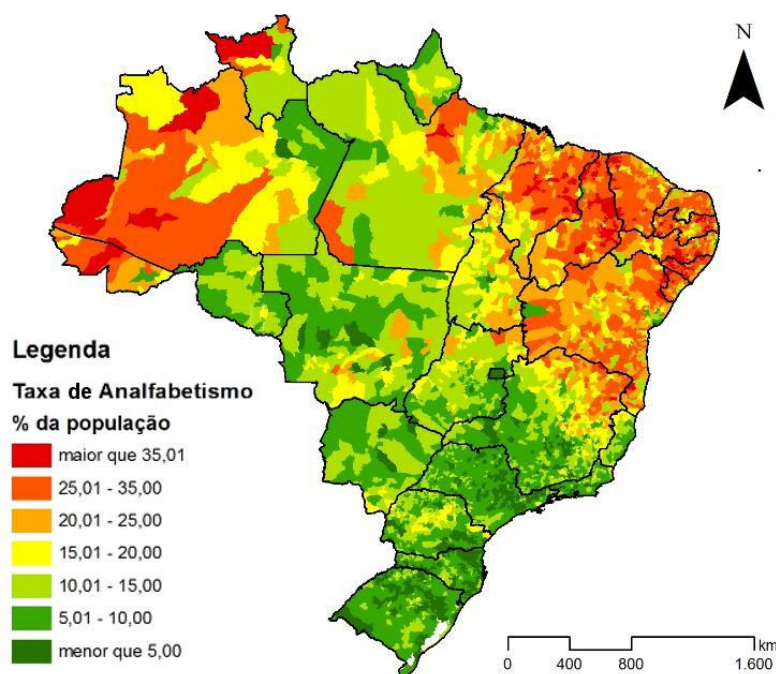
Mapa do Índice de Desenvolvimento Humano (IDHm) a partir de dados municipais disponibilizados pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD). Fonte: Autoria própria, com base nos dados disponibilizados pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013).

Taxa de Analfabetismo

O segundo indicador utilizado para compor o Subíndice de Capacidade Adaptativa é a Taxa de Analfabetismo, também proveniente da plataforma do Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013). Embora essa variável já componha, indiretamente, o IDHm, seu uso é pertinente justamente para que o Subíndice de Capacidade Adaptativa ressalte quais

municípios são mais críticos sob este aspecto. Além do analfabetismo estar relacionado com diversas outras incapacidades (ou baixa capacidade) dos grupos sociais atingidos, ele priva o cidadão do acesso a informações, do trabalho formal, do ensino de qualidade e de tantos outros valores sociais. Para o seu devido uso, as Taxas de Analfabetismo de todos os municípios brasileiros também foram normalizadas. Como é um indicador inversamente proporcional à capacidade de adaptação (quanto maior a taxa de analfabetismo, menor a Capacidade Adaptativa), foi preciso inverter sua escala para calcular o Subíndice de Capacidade Adaptativa. A **Figura 13** apresenta a distribuição da Taxa de Analfabetismo no território nacional.

Figura 13: Mapa da Taxa de Analfabetismo do Brasil.



Mapa de Taxa de Analfabetismo, elaborado a partir de dados municipais disponibilizados pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD). Fonte: Autoria própria, com base nos dados disponibilizados pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013).

Desigualdade Social – Índice Gini

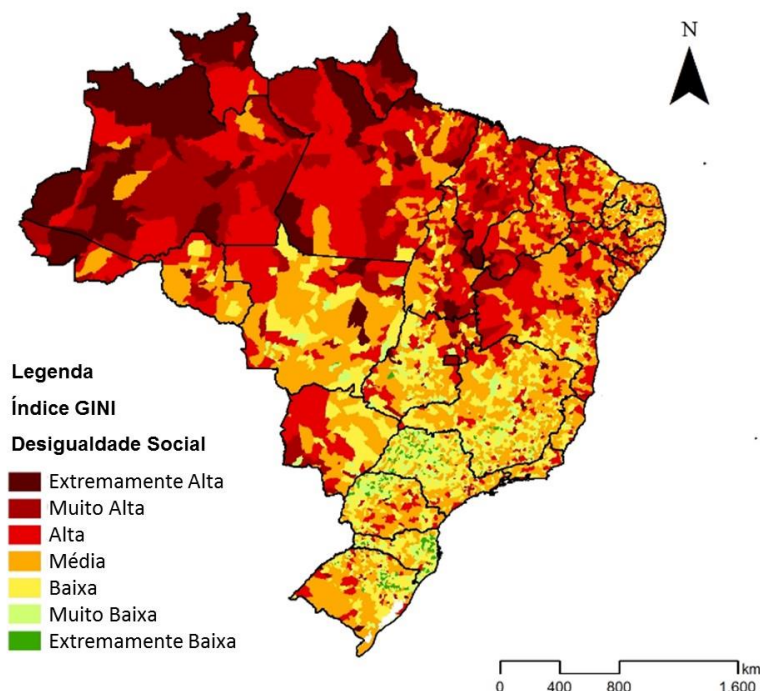
O Índice Gini (ou coeficiente Gini) é um cálculo usado para medir o grau de desigualdade social existente na distribuição de indivíduos segundo a renda domiciliar per capita. Seu valor varia de 0,00 - quando não há desigualdade (a renda domiciliar per capita de todos os indivíduos tem o mesmo valor) - até 1,00 - quando a desigualdade é máxima (apenas um indivíduo detém toda a renda). A base de dados utilizada foi a do Atlas de

Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013), de modo que a informação tabular foi especializada num banco de dados georreferenciado dos municípios brasileiros. O índice Gini também foi normalizado, seguindo o mesmo método apresentado na Equação 2. Esse índice também é inversamente proporcional à Capacidade de Adaptação (quanto maior desigualdade social, menor a capacidade adaptativa), o que demandou a inversão de sua escala.

Dentre outros fatores, o índice foi utilizado devido a sua relação com a fome que, embora não seja causada exclusivamente pela Seca, pode ser agravada em famílias que vivem em regiões/municípios onde a desigualdade social é significativamente presente (CASTRO, 1980 apud FISCHER; ALBUQUERQUE, 2002). De forma geral, relatórios internacionais indicam que as populações vulneráveis, como aquelas que convivem com a desigualdade social, serão os segmentos mais atingidos pelas alterações do clima (ACSELRAD et al., 2008). No tocante específico da capacidade de adaptação, a má distribuição de renda dificulta ainda mais o acesso a serviços, ao conhecimento, à educação de qualidade, à possibilidade de ter acesso a novas tecnologias, tornando esses grupos menos capazes de se adaptar à mudança do clima. Já nos municípios que possuem menor desigualdade social (baixo Índice Gini) as pessoas usufruem, de maneira geral, dos mesmos benefícios, facilitando que a adaptação ocorra de maneira conjunta e sinérgica entre a sociedade como um todo.

A **Figura 14** apresenta a espacialização do Índice Gini para todos os municípios brasileiros. As sete classes ilustradas no mapa foram fatiadas a partir do índice normalizado, onde a classe extremamente alta refere-se aos valores acima de 0,70, a classe extremamente baixa valores abaixo de 0,30, e as demais classes colocadas em um intervalo equidistante de 0,10 entre si.

Figura 14: Mapa do Índice Gini.



Mapa de Desigualdade Social, elaborado a partir do Índice GINI em escala municipal, disponibilizado pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD). Fonte: Autoria própria, com base nos dados disponibilizados pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013).

3.4.5. Cálculo do Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais de Secas (IVDNS)

Após a composição dos três Subíndices necessários para definir a vulnerabilidade às Secas no contexto da mudança do clima, foi preciso equacionar um modelo de relação entre eles. Na literatura atual encontram-se disponíveis diferentes métodos para fazer isso, aumentando sua robustez na medida em que reduzimos o tamanho da área de análise. De uma forma geral, ao avaliar os Desastres relacionados às Secas em grandes extensões territoriais, a composição de um único índice torna-se uma tarefa muito complexa. Quanto maior a área de estudo e a heterogeneidade das variáveis que compõe o índice, maior será a dificuldade de criar um modelo representativo para o todo. Sob este aspecto, e levando em consideração as diferentes definições e percepções sobre a Seca como um Desastre dentro do território nacional, o IVDNS deve ser considerado uma representação simplificada da vulnerabilidade, pois é elaborado a partir de uma interação linear dos seus componentes. Neste contexto, a **Equação 6** representa a definição do IVDNS ao relacionar seus subíndices:

$$IVDNS = \left(\frac{EXP + SENS}{2} \right) \times \left[0.5 + \frac{(1 - CA)}{2} \right]$$

Equação 6

Onde:

IVDNS: Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais Relacionados às Secas

EXP: subíndice de Exposição

SENS: subíndice Sensibilidade

CA: subíndice Capacidade Adaptativa

A **Equação 6** foi estruturada tendo como premissa a identificação dos contrastes de vulnerabilidade existentes no Brasil e representa como os subíndices de Exposição (EXP), Sensibilidade (SENS) e Capacidade Adaptativa (CA) se relacionam. Desta forma, o índice de vulnerabilidade tratado neste estudo tem como objetivo principal permitir a identificação de localidades críticas aos Desastres de Secas, considerando todos os aspectos previamente citados.

A primeira parte da Equação 6 representa os impactos potenciais da mudança do clima, especificamente no que diz respeito à deflagração de Desastres relacionados às Secas. Ela é composta pela média dos subíndices de Exposição e Sensibilidade. Embora, teoricamente, essa relação nem sempre seja linear, o intuito deste arranjo é encontrar regiões onde a alta sensibilidade e a alta exposição coexistam, pois essas localidades serão diretamente mais vulneráveis aos impactos das Secas meteorológicas no futuro.

A segunda parte da Equação 6 representa a parcela desses impactos potenciais que poderiam ser minimizados/abrandados, a partir da capacidade de adaptação dos municípios e suas respectivas populações. Desta forma, quanto maior for a capacidade adaptativa, maior será o abrandamento destes impactos potenciais. A Equação foi ajustada para que este abrandamento fosse, no máximo, de 50%. Este é um valor subjetivo que foi estipulado tendo em vista que a adaptação permite, principalmente, que os sistemas humanos se reorganizem ao ponto de conseguirem diminuir os impactos potenciais modificando as características que são explicitadas pelo vetor de Sensibilidade, o qual é responsável por uma parte dos impactos potenciais (primeira parte da Equação 6). Ou seja, considera-se que a parcela dos impactos

potenciais que são provenientes da Exposição (dos eventos climáticos) não são possíveis de serem alterados no curto e médio prazo.

A parte relacionada ao abrandamento dos efeitos da mudança do clima, como o aumento da frequência e magnitude dos eventos extremos, são tratadas em paralelo às discussões de vulnerabilidade, encaixando-se melhor na linha de conhecimento da mitigação. Embora seja um valor subjetivo, o intuito é deixar evidenciado que regiões com baixa capacidade de adaptação não conseguem reduzir os impactos potenciais provenientes da mudança do clima.

Desta forma, o IVDNS deve ser utilizado como uma ferramenta que pode indicar a vulnerabilidade dos municípios, mas que demandará uma análise pontual de cada subíndice para que se possa entender as diferentes nuances da vulnerabilidade. Quando analisado de forma fechada, o valor do IVDNS pode ser o mesmo para municípios que combinam exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa de formas diferentes e, portanto, necessitam de estratégias de adaptação distintas. Neste aspecto, é preciso analisar paralelamente cada um dos subíndices que o compõem, a fim de encontrar *hotspots* de vulnerabilidade que sejam suficientes para nortear as políticas públicas.

3.4.6. Validação do IVDNS

3.4.6.1. Mapa de Risco Climático para o período de referência (1961-1990)

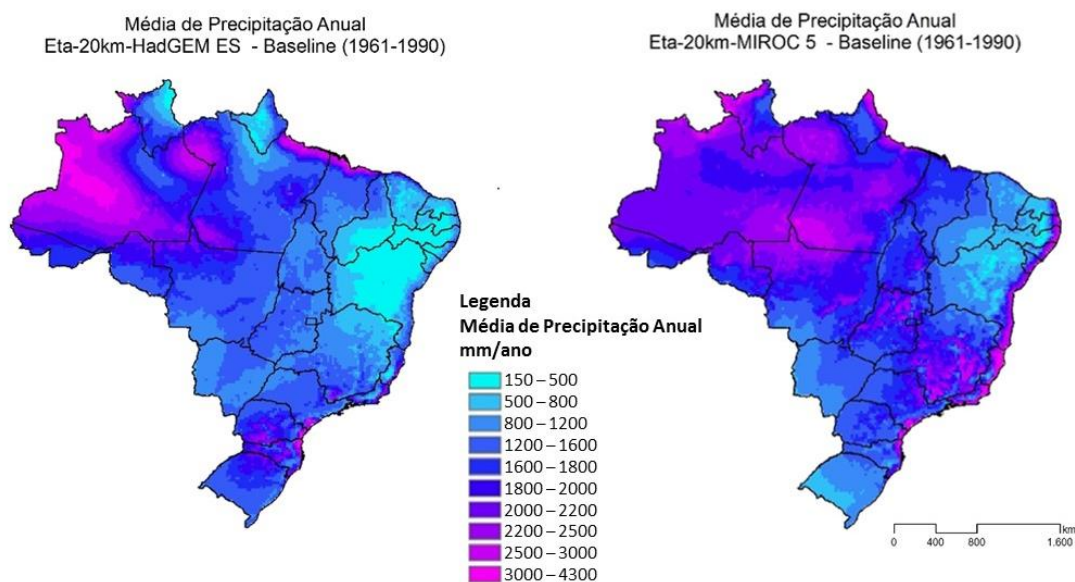
O Mapa de Risco Climático à Seca teve como base os dados de precipitação e temperatura para o período 1961-1990, considerado como período referência ao analisar a mudança do clima pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Conforme apresentado anteriormente, foram consideradas três variáveis climáticas para compor o Mapa de Risco Climático, as quais serão apresentadas e discutidas a seguir. O intuito de avaliar o Risco Climático às Secas para o período de referência (*baseline*) é verificar a representatividade das variáveis elencadas para inferir os Desastres de Secas que ocorrem no Brasil. Para tal, os mapas de Risco Climático devem ser comparados com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012 (UFSC, 2013), especificamente para as ocorrências de Secas e Estiagens. Espera-se que os mapas gerados consigam refletir as principais características observadas no

território brasileiro e, havendo discrepâncias, que estas sejam conhecidas e levadas em consideração nas análises dos períodos futuros.

- **Média de Precipitação Acumulada em 12 meses**

A variável da média de precipitação acumulada em 12 meses foi calculada para todos os meses do período de referência (1961-1990), onde o cálculo, para um determinado mês, considera o total acumulado nele e nos 11 meses que o antecedem. Este cálculo gerou uma estatística não apenas da média observada em todo o período, mas também do desvio padrão e, conseqüentemente, do coeficiente de variação, que são parâmetros também utilizados neste estudo. A **Figura 15** apresenta os mapas da média de precipitação acumulada em 12 meses com base nas simulações dos dois modelos climáticos utilizados: Eta-HadGEM e Eta-MIROC5.

Figura 15: Média de Precipitação Anual para o período de referência (Baseline - 1961-1990) dos modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5.



Média de Precipitação anual (mm/ano) extraída diretamente das rodadas do modelo Eta-20km MIROC 5. Valor referente ao período de 1961-1990). Fonte: Autoria própria.

Ambos modelos apresentam diferenças nos totais pluviométricos, apesar de concordarem nos contrastes da distribuição espacial dos diferentes regimes de precipitação existentes no Brasil. A análise da acurácia dos modelos em simular precipitação não faz parte

do escopo deste trabalho e pode ser melhor explorada no trabalho de Chou et. al. (2014). Entretanto, é importante destacar alguns aspectos dos modelos, para que as análises futuras sejam bem direcionadas. Segundo Chou et. al (2014), de forma geral, o modelo **Eta-HadGEM tende a apresentar valores acima do observado na região Norte do país**, sobretudo em sua porção mais ocidental.

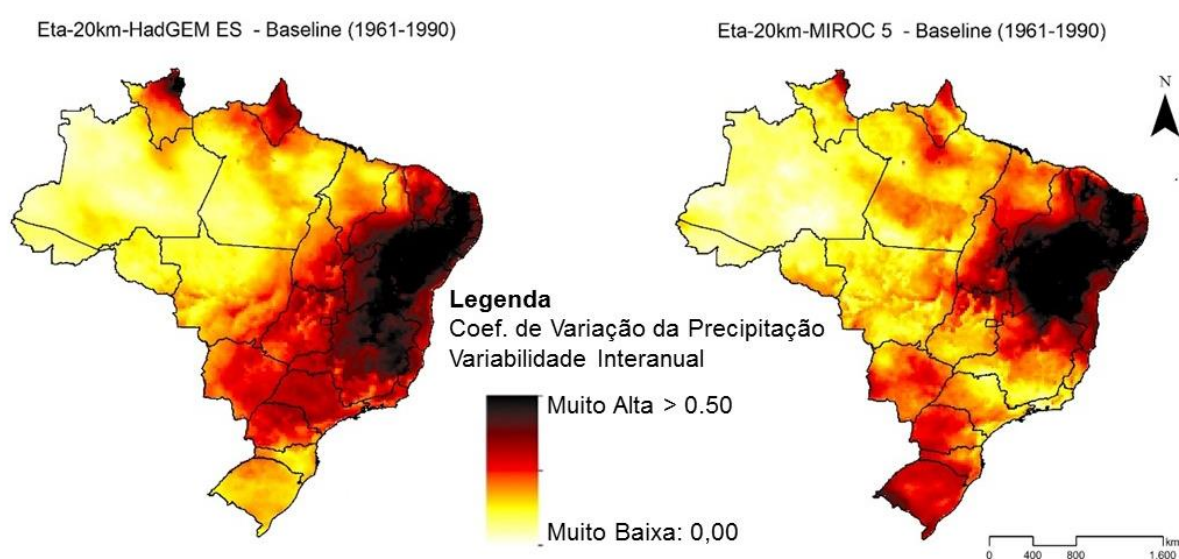
O Eta-MIROC5 é mais representativo para as regiões Norte e Nordeste, e possui viés positivo (acima do esperado) para a região Sudeste, provavelmente devido às parametrizações relacionadas aos efeitos de relevo. Pode-se dizer também que, para a **Região Sul do país o Eta-MIROC5 infere valores bem mais baixos que o observado, fazendo com que o Eta-HadGEM seja, portanto, mais representativo para esta região**. Dentre as regiões brasileiras, a região Norte é aquela em que ambos os modelos têm dificuldade em fazer simulações com precisão, principalmente devido à falta de dados observados ao longo da série histórica e das parametrizações sobre a Floresta Amazônica.

Ao avaliar a variável de precipitação total acumulada em 12 meses e as ocorrências de Desastres de Secas no Brasil, pode-se dizer que baixos índices pluviométricos possuem uma boa correlação positiva para explicar as ocorrências na região Nordeste. Entretanto, não se pode afirmar que este seja um fator que, exclusivamente, responderia pelas Secas ocorridas no país. Especificamente para o Nordeste, os baixos índices pluviométricos são típicos da região e são representativos somente vinculados a uma alta variabilidade interanual (que possibilita a ocorrência de anos ainda mais secos que o normal) e interdecadal. Para a região Sul do país, entretanto, não há evidências para explicar os desastres de Secas, sendo mais adequado avaliar a média da precipitação na estação Seca ou nas estações de plantio de algumas culturas. Assim, uma melhor compreensão da significância das variáveis nas diferentes regiões brasileiras é fundamental para garantir a correta interpretação dos resultados do IVDNS, contribuindo na avaliação de pertinência do uso desse índice para todo território nacional e permitindo que sejam identificadas as limitações para alguns casos específicos.

- **Coeficiente de Variação da Precipitação**

A **Figura 16** representa o Mapa do Coeficiente de Variação (CV) da Precipitação acumulada em 12 meses, que indica a variabilidade interanual das precipitações ao relacionar o Desvio Padrão com a Média de Precipitação. Um CV elevado significa que a variabilidade é grande, refletindo que há considerável variação do total precipitado ao longo do período analisado para aquela determinada localidade.

Figura 16: Coeficiente de Variação da Precipitação para o período de referência (Baseline - 1961-1990) dos modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5.



Coeficiente de Variação (CV) da Média de Precipitação acumulada em 12 meses. Por definição, o CV é a razão entre o Desvio Padrão e a Média da variável. Quanto mais alto (cor preta) maior a variabilidade das precipitações nas áreas. Fonte: Autoria própria.

Pode-se dizer que, embora sejam muito semelhantes quanto ao comportamento da variabilidade, o modelo Eta-HadGEM tende a apresentar valores absolutos maiores em todo território nacional, quando comparado ao modelo Eta-MIROC5. Embora os valores absolutos do CV sejam relativamente diferentes para cada um dos modelos utilizados, ambos são convergentes ao apontar a região Nordeste (destacando-se o Semiárido Brasileiro) como a região com a maior variabilidade. Destaca-se, também, o extremo norte do país e o norte de Minas Gerais, onde os dois modelos também indicam uma variabilidade acentuada. As maiores diferenças entre os dois modelos estão na região Sudeste e em parte do Centro-Oeste, onde o Eta-HadGEM indica uma variabilidade mais alta que o Eta-MIROC5; e no Rio Grande do Sul, onde o Eta-MIROC5 indica uma variabilidade maior para este estado. Os

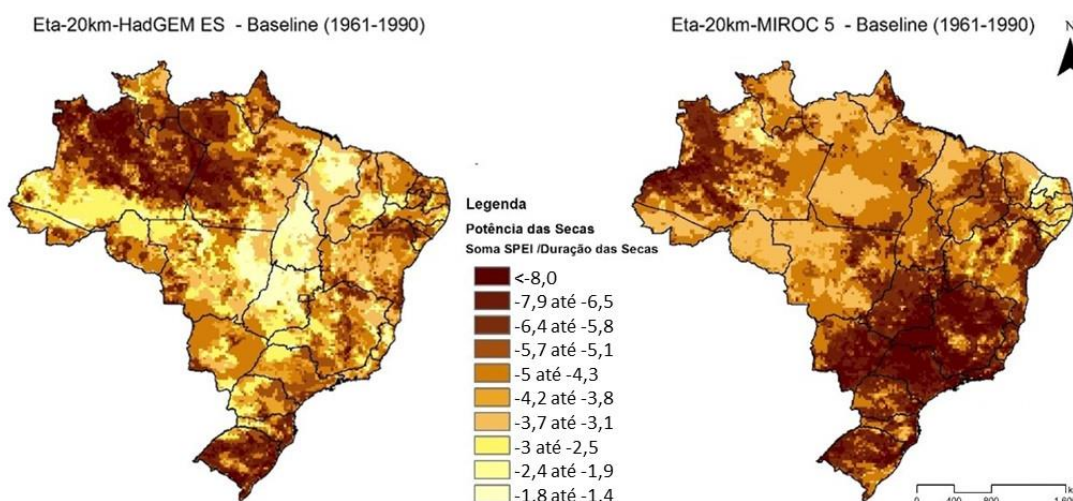
valores mais elevados do CV no modelo Eta-HadGEM estão relacionados ao seu viés positivo com o total de precipitação acumulada, o que tende a resultar em anos com totais acumulados acima da média e, com isso, o aumento do CV.

Levando em consideração que as maiores ocorrências de Desastres de Secas no país estão na região Nordeste e na porção oeste da região Sul (UFSC, 2012), pode-se dizer que a variabilidade interanual é um dos fatores determinantes para os Desastres que ocorrem no Nordeste, enquanto no Sul do país esta variável apresenta-se, a priori, com uma menor significância.

- **Potência das Secas Extremas**

O cálculo da Potência das Secas (**Figura 17**) foi apresentado anteriormente. Neste momento, cabe lembrar que esta variável foi determinada a partir do SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*) levando em consideração apenas os eventos de Secas onde o SPEI fosse inferior a -1,5 (Severamente Seco). Para cada evento identificado, calculou-se o somatório do SPEI durante todos os meses que definiram o evento e tiveram valores inferiores a -1,0. A Potência das Secas é caracterizada por este somatório, dividido pela duração (em meses) de todos os eventos de Seca durante o período de (1961-1990).

Figura 17: Potência das Secas para o Baseline (1961-1990) dos modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5.



A variável das Secas foi criada a partir de dados do SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index). Para o cálculo, foram considerados apenas os eventos de secas onde o SPEI foi inferior a -1.50 (Severamente Seco). Para cada evento identificado, calculou-se o somatório do SPEI durante todos os meses que definiram o evento e tiveram valores inferiores a -1.0. A Potência das Secas é caracterizada por este somatório, dividido pela duração (em meses) de todos os eventos da seca durante o período (1961-1990). As tonalidades de marrom escuro indicam maior frequência e severidade das Secas, calculado a partir da soma dos SPEI. Fonte: Autoria própria.

A **Figura 17** ilustra grandes diferenças entre os dois modelos utilizados, provavelmente porque a contabilização dessa variável depende de *thresholds* (limiares), o que normalmente traz um comportamento espacial não homogêneo da variável. Para o Eta-HadGEM, a Potência das Secas é mais elevada na região Norte e Sul do Brasil, concentrando-se no norte do Amazonas, Oeste do Pará, Leste de Santa Catarina e o Rio Grande do Sul, com pequenas áreas situadas nas divisas ocidentais do Brasil, o norte de Minas Gerais e o norte baiano. Para o Eta-MIROC5, a potência das Secas é mais acentuada no Oeste da Amazônia, nos estados da região Sul e em toda a região Sudeste, na faixa leste e sul da região Centro-Oeste, no sul e no leste da Bahia, no interior do Piauí e no leste do Maranhão. Basicamente, o Eta-MIROC5 apresenta valores mais elevados da Potência das Secas extremas em todo o território nacional. As regiões onde os resultados dos dois modelos convergem são: Rio Grande do Sul, leste de Santa Catarina, porções ao norte do Estado do Amazonas, o leste do Amapá e o norte baiano.

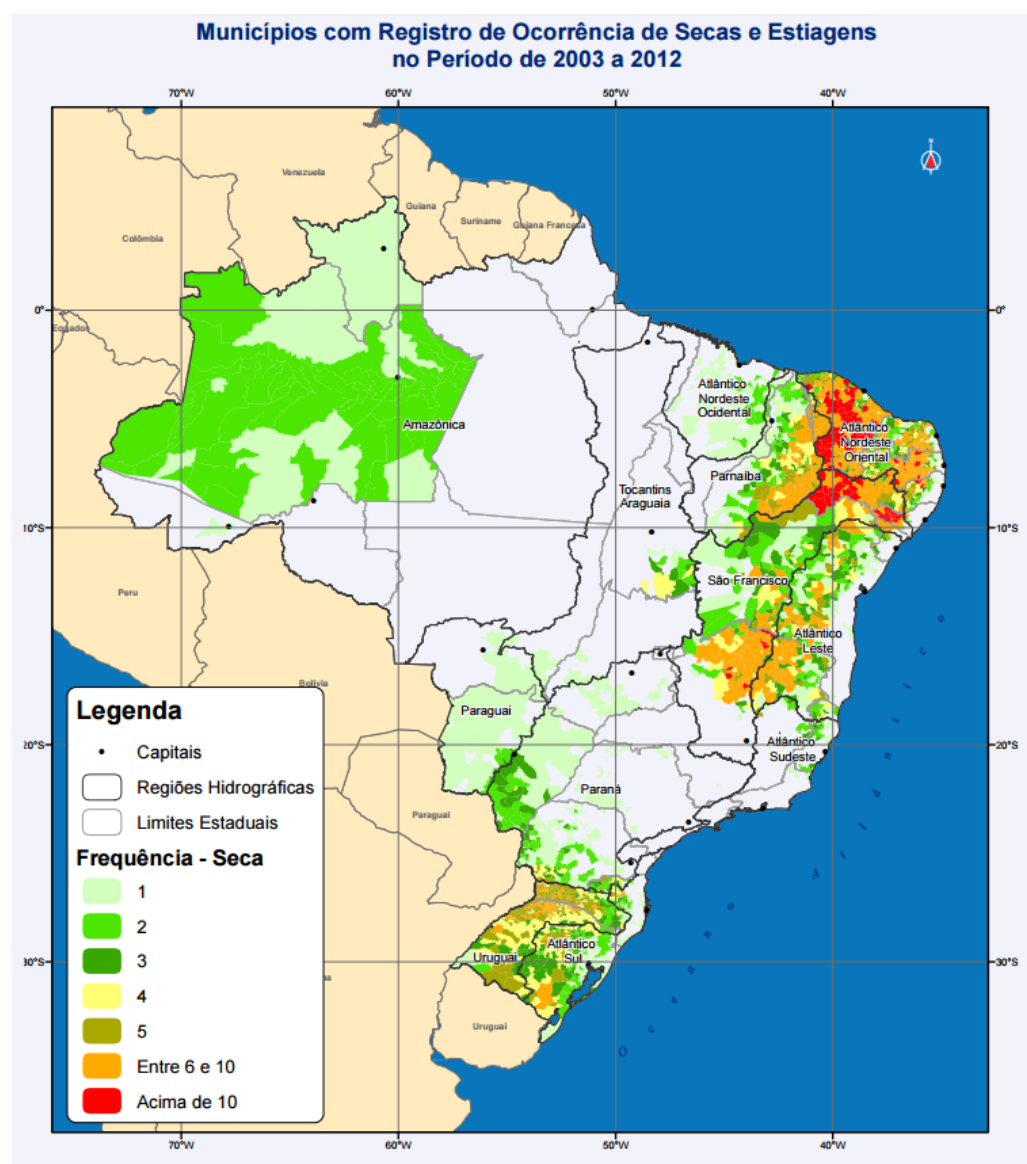
É importante ressaltar o viés positivo relacionado à precipitação do modelo Eta-MIROC5 para as regiões Centro-Sul do Brasil, evidenciado nos estudos apresentados por Chou et. al. (2014). Os autores identificaram que, para essas regiões, o modelo Eta-MIROC5 tem sua pior acurácia quando comparado com as demais regiões do país. No caso específico dos meses de inverno austral (junho, julho e agosto), quando ocorrem os períodos mais longos de estiagem nessas regiões, é provável que o alto índice de Potência das Secas identificados pelo Eta-MIROC para o período de referência (*baseline*) esteja relacionado a este fator, aumentando as incertezas relacionadas a este índice nessa região.

Levando em consideração as ocorrências de Desastres de Secas no Brasil, apresentados no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012 (UFSC, 2013), pode-se dizer que as Secas extremas possuem mais representatividade para explicar os Desastres que acontecem na região Sul do país, principalmente aqueles vinculados às Secas agrícolas e que representam grandes perdas de culturas temporárias. Para a região Nordeste, a tendência observada é de que essas Secas extremas não possuem alta significância, quando comparadas às outras variáveis na ocorrência dos desastres do passado. Provavelmente porque as ocorrências de desastres nessas regiões estejam associadas a fatores socioeconômicos e problemas de gestão dos recursos ambientais (solo e água).

Há de se destacar também que a Potência de Secas é a única das variáveis que representaria os desastres que eventualmente acontecem na região Amazônica. Embora

esses desastres não apareçam claramente no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012 (UFSC, 2013), é de conhecimento que a região já passou por Secas severas nas últimas décadas, como pode ser visto na publicação intitulado “Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil” (ANA, 2013) e apresentado de forma ilustrativa na **Figura 18**. Ou seja, a variável Potência de Secas, baseada nos resultados do SPEI, é altamente explicativa para os desastres que ocorrem nessa região e também na região Centro-Oeste, sobretudo no Estado do Mato Grosso do Sul.

Figura 18: Frequência de ocorrência de eventos críticos de Seca nos municípios brasileiros, entre os anos de 2003 e 2012.



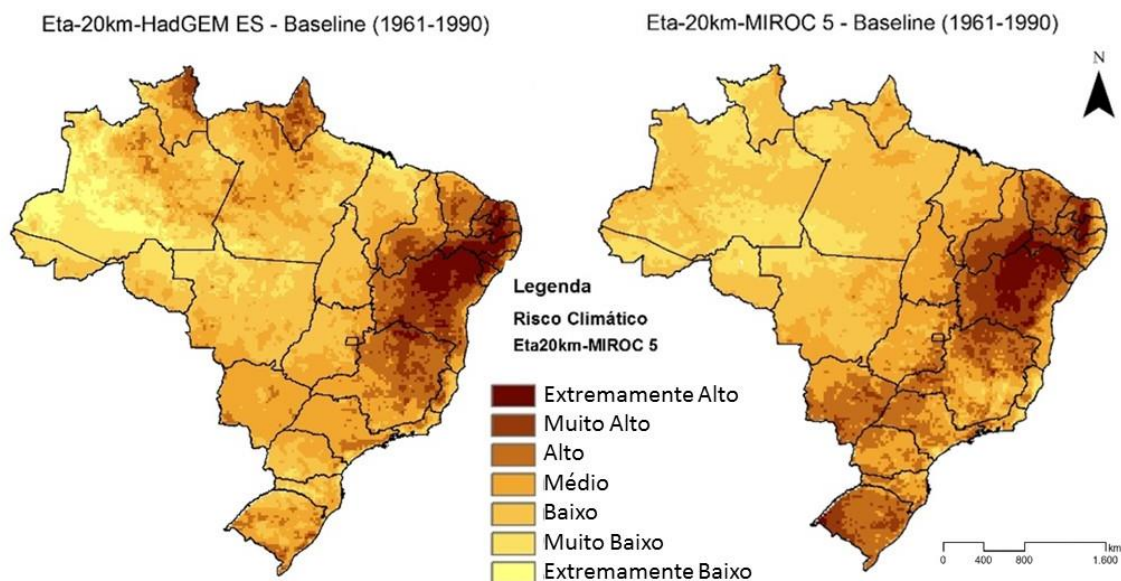
Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2013).

3.4.6.2. Resultado agregado do Mapa do Risco Climático para o período de referência (Baseline)

Os mapas de Risco Climático apresentados na **Figura 19** representam a média linear das três variáveis climáticas relacionadas às Secas apresentadas anteriormente, após as mesmas terem sido normalizadas em uma escala de 0,00 até 1,00. Esses mapas permitem a identificação de regiões que seriam mais propensas a serem impactadas pelas Secas meteorológicas, levando em consideração apenas os fatores climáticos, para o período 1961-1990. Cabe ressaltar que as hipóteses consideradas para indicar um maior risco climático estão associadas a três diferentes características: valores baixos para a média do total de precipitação acumulada, alta variabilidade dos valores de precipitação total anual e a alta Potência das Secas extremas. Um detalhe a ser destacado nos dois mapas apresentados na Figura 19 é que, ao fazer uma análise apenas para o período de referência (*baseline*), os erros sistemáticos dos modelos são mantidos, o que possibilita haver algumas inconsistências nos resultados gerados. Em contrapartida, o contrário acontece nas análises de Exposição (clima futuro) onde as anomalias/incrementos são utilizadas para o cálculo do respectivo subíndice para este caso, ao subtrair os valores futuros daqueles encontrados no *baseline*, os erros sistemáticos do modelo climático são automaticamente anulados.

A validação desses mapas é limitada, uma vez que o mapa utilizado como referência para esta análise - o Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012 (UFSC, 2013) - considera apenas as ocorrências de desastres registrados oficialmente pela Secretaria Nacional de Defesa Civil – SEDEC. Outro aspecto que deve ser considerado na interpretação desses mapas é a diversidade entre as regiões brasileiras no que tange aos impactos das Secas, que variam de região para região. De modo geral, pode-se dizer que o modelo Eta-MIROC5 tende a representar melhor o Risco Climático que o modelo Eta-HadGEM ES, indicando que grande parte do semiárido e o oeste da região Sul são as áreas mais propícias aos Desastres de Secas entre os anos de 1961-1990.

Figura 19: Mapa de Risco Climático de Secas para o baseline (1961-1990) dos modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5.



Índice de Risco Climático às Secas Meteorológicas, calculado a partir da média linear das três variáveis (ponderadas) relacionadas à ocorrência de secas: i) Média de Precipitação Acumulada em 12 meses; ii) Coeficiente de Variação da Precipitação Acumulada iii) Potência das Secas – Calculada a partir do SPEI Fonte: Autoria própria.

Cabe ressaltar que os fatores determinantes para cada região são diferentes e devem ser explorados com cautela a partir dos três mapas apresentados previamente (**Figuras 15, 16, 17**). O modelo Eta-HadGEM ES apresenta um risco mais elevado, sobretudo na região Nordeste e no norte da região Norte, convergindo, em parte, com os dados apresentados no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012 (UFSC, 2013). Já o modelo Eta-MIROC5 representa bem as áreas elencadas pelo Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012 (UFSC, 2013) como as mais afetadas por desastres de Secas (regiões Nordeste e Sul do Brasil). Ainda que com essas diferenças, considera-se as três variáveis escolhidas como relevantes para análise de Vulnerabilidade às Secas em cenários de mudanças do clima.

4. RESULTADOS DOS ÍNDICES DE VULNERABILIDADE PARA O FUTURO 🐼

4.1. Subíndice de Exposição

4.1.1. Variáveis que compõem o Subíndice de Exposição Climática

Ainda que as precipitações no território brasileiro venham a diminuir ou apresentar diferenças nas médias normais, seja por mudanças relacionadas à variabilidade natural do clima ou aos efeitos antrópicos, o Brasil continuará a receber grandes volumes pluviométricos devido à sua localização geográfica (região equatorial, tropical e subtropical). Entretanto, os impactos futuros associados à mudança do clima dependem de como se dará essa distribuição, seja de forma regular (bem espaçada temporalmente e espacialmente), ou irregular (esporádica e com eventos extremos, tanto de excesso quanto de escassez de chuva).

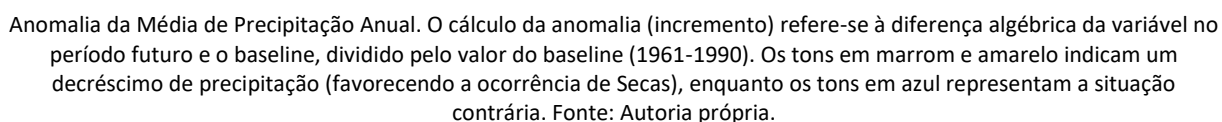
Para melhor identificar os aspectos relativos à vulnerabilidade às Secas no contexto da mudança do clima, optou-se por construir um Subíndice de Exposição Climática à Seca Meteorológica, o qual se encontra baseado nas anomalias/incrementos de três variáveis climáticas, já apresentado anteriormente. A seguir serão elencados, primeiramente, os resultados oriundos dessas três variáveis do Subíndice de Exposição e, em seguida, o resultado composto/integrado. Os resultados serão apresentados por variável, por modelo (Eta-HadGEM ou Eta-MIROC5), e por cenários do IPCC/AR5 (4,5 ou 8,5). Ressalta-se que a análise para compor o IVDNS foi realizada para todos os períodos futuros até o final do século XXI. Entretanto, as discussões do Subíndice de Exposição serão efetuadas apenas para o horizonte de maior interesse (2011-2040).

- **Anomalia da Precipitação Acumulada (12 meses) – período 2011-2040**

Os resultados desta variável referem-se à anomalia da média de precipitação acumulada em 12 meses durante todo o período analisado (**Figura 20**). O cálculo da anomalia (incremento) refere-se à diferença algébrica da variável no período futuro e no período de referência (*baseline*), dividido pelo valor no período de referência (*baseline*-1961-1990) de modo que as cores de tons avermelhados representam um decréscimo do total precipitado, o branco a neutralidade, enquanto o azul indica um aumento.

A Figura 20 apresenta os resultados das anomalias de Precipitação Total Acumulada para 12 meses calculadas para os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5. Os padrões de distribuição espacial das precipitações observados demonstram relativa concordância entre

Figura 20: Mapas de Anomalia da Média de Precipitação Anual no modelo Eta-20km para os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5 nos cenários 4,5 e 8,5 para o período de 2011-2040 do IPCC/AR5.



81

máximo 10% para o Eta-HadGEM e de até 30% para o Eta-MIROC5. Observa-se discordância entre os modelos na região Amazônica, com acréscimo de precipitação anual de até 10% no norte do Amazonas, quando utilizado o Eta-HadGEM e resultado que varia de neutro a decréscimos de precipitação de 5%-10% quando utilizado o modelo Eta-MIROC5.

Para o cenário RCP 8,5, o modelo Eta-HadGEM indica uma redução entre 30% e 50% da média de precipitação em grande parte das regiões Nordeste, Centro-Oeste e a porção norte da região Sudeste, com decréscimo considerável em grande parte do estado de São Paulo. Já o Eta-MIROC5 indica uma menor redução de precipitação, sendo que as maiores reduções compõem uma faixa que se estende da Amazônia brasileira, Centro-Oeste, o Semiárido, grande parte de Minas Gerais, chegando até o litoral do Espírito Santo. Quanto ao incremento das anomalias de precipitação positivas, a maior discrepância entre os dois modelos se dá no Rio Grande do Sul, onde o Eta-HadGEM indica neutralidade de anomalia, enquanto o Eta-MIROC5 indica um aumento de até 30%.

- **Anomalia do Desvio Padrão da Precipitação Acumulada em 12 meses—período 2011-2040**

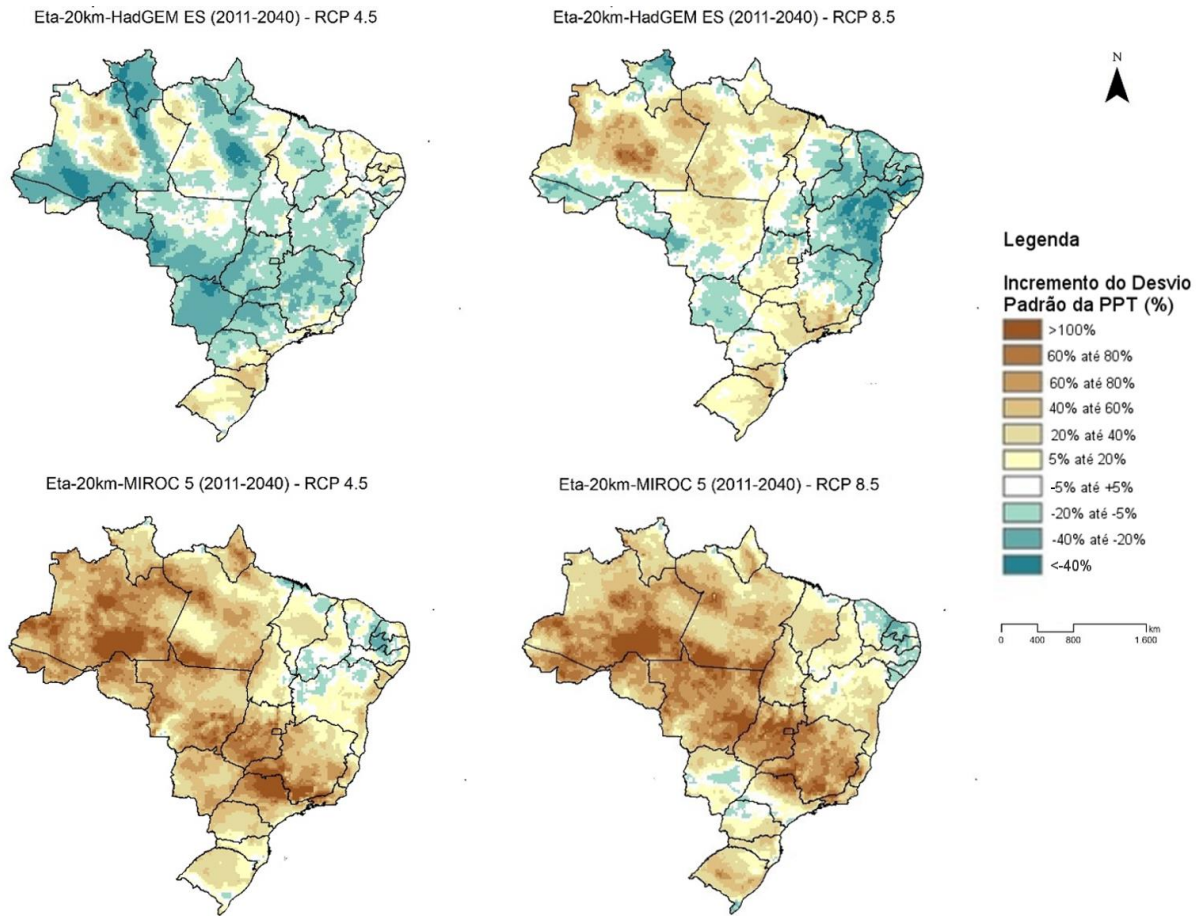
A avaliação desta variável indica o aumento ou diminuição da variabilidade da Precipitação Anual Acumulada em 12 meses. O cálculo da anomalia (incremento) refere-se à diferença algébrica entre o Desvio Padrão referente ao período futuro e o período de referência (*baseline*), dividido pelo valor do *baseline* (1961-1990). Uma maior variabilidade dos valores de precipitação indicará uma maior Exposição à mudança do clima e ao Desastre da Seca. Na região Nordeste, por exemplo, há uma grande incerteza espacial e temporal das precipitações ao longo do ano, caracterizando um clima Semiárido típico. Adaptações naturais a essa variabilidade nas precipitações já estão presentes na vegetação da Caatinga, decorrentes do processo evolutivo ao longo de milhares de anos. Entretanto, o mesmo não se aplica a todos os sistemas humanos que habitam essa região, visto os recorrentes impactos que as secas causam nessas localidades. Se considerada a tendência apresentada nos cenários futuros para a região (decrécimo das chuvas), do ponto de vista da Seca Meteorológica, espera-se uma transição do clima Semiárido para um clima com características mais áridas. Neste caso, tais mudanças impõem desafios maiores para adaptação, tanto dos sistemas naturais, quanto dos sistemas humanos, caso sejam mantidos os mesmos preceitos de desenvolvimento socioeconômico observado ao longo das últimas décadas.

Em outras regiões do país, onde o clima é mais estável e de menor variabilidade (com uma variabilidade menor do total das precipitações acumuladas), o indicativo de um aumento na variabilidade nas precipitações resultaria em um aumento exponencial da Exposição à Seca, tanto nos sistemas naturais como nos humanos, haja visto estes sistemas não estarem adaptados a índices pluviométricos variados (consistem em anos ora úmidos, ora secos).

O aumento na variabilidade poderá resultar em um maior número de eventos extremos, embora não se tenha comprovação de que isso irá ocorrer. Em alguns casos, o aumento da variabilidade pode ocorrer dentro da normalidade, isto é, o total precipitado interanualmente oscilará dentro dos limites do desvio padrão. Em outros casos, os extremos de precipitação podem concentrar-se em um curto período de tempo, seguidos de longos períodos sem precipitações (estiagem), para novamente retornar com grandes acumulados de curta duração (IPCC REPORT, 2012). Eventos meteorológicos, como os citados, acarretam um aumento na Exposição, principalmente em relação às atividades agrícolas, aos desastres de inundações/Secas, assim como no abastecimento de água e produção de energia hidrelétrica. Deve-se ter cautela quando da avaliação das anomalias do desvio padrão, sendo recomendável utilizar, conjuntamente, as anomalias da Potência de Secas, para que seja possível identificar como a variabilidade da precipitação relaciona-se com os extremos de Secas.

Os resultados apresentados na **Figura 21** indicam divergência entre os modelos quanto à anomalia da variabilidade da precipitação acumulada em 12 meses, avaliada pelo desvio padrão. Para o cenário RCP 4,5, em geral, o modelo Eta-HadGEM demonstra relativa neutralidade ou decréscimo da variabilidade em praticamente todo o território brasileiro, exceto para grande parte da região Sul e Serra do Mar paulista, e em faixas espacialmente heterogêneas entre o estado do Pará e o oeste do Amazonas. Para o cenário RCP 8,5, o modelo indica uma forte queda da variabilidade em praticamente todo o Nordeste, chegando até 30%, acompanhando os mesmos padrões dos decréscimos de precipitação apresentados na **Figura 20**. Quando comparado com o cenário 4,5, observa-se uma grande diferença nos padrões observados na faixa que vai do Pará e Mato Grosso, seguindo até o litoral de São Paulo, onde o modelo passa a indicar aumento do desvio padrão. Cabe destacar, ainda, a porção central do Amazonas, onde se observam os maiores incrementos positivos, acima de 50%.

Figura 21: Mapas de Incremento da Variabilidade da Precipitação Média Acumulada em 12 meses, utilizando os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5, para os cenários RCP 4,5 e 8,5 do IPCC/AR5, no período 2011-2040.



Incremento da Variabilidade da Precipitação Anual, calculada através do Desvio Padrão da variável. O cálculo da anomalia (incremento) refere-se à diferença algébrica do Desvio Padrão no período futuro e o baseline, dividido pelo valor do baseline (1961-1990). A cor marrom indica anomalias positivas, e os tons de azul indicam anomalias negativas e o branco indica neutralidade. Fonte: autoria própria.

Os resultados do modelo Eta-MIROC5, para os dois cenários analisados, indicam um aumento da variabilidade em praticamente todo o território nacional, quase sempre acima dos 30%, exceto para a região Nordeste, onde se observa um decréscimo de aproximadamente 15%. Cabe destacar a faixa que vai do sul do Amazonas e Pará e estende-se até o litoral do Rio de Janeiro e Espírito Santo, que apresenta anomalias positivas superiores à 60%, com ocorrências que ultrapassam 100%.

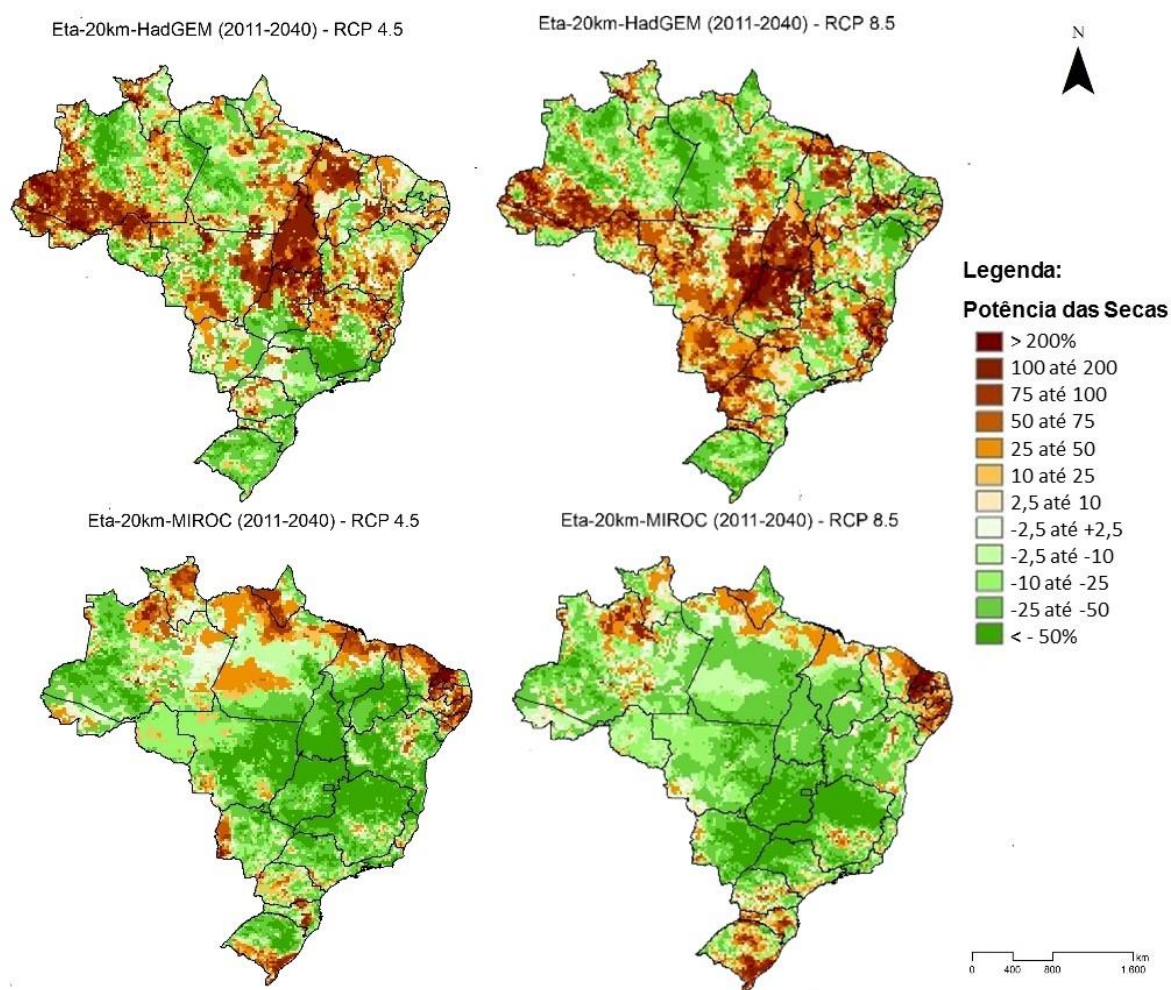
A região Sul é uma das poucas regiões do Brasil onde os modelos convergem, nos dois cenários analisados, apresentando um aumento da variabilidade entre 20% e 40%, padrão este que avança um pouco sobre o estado de São Paulo, sobretudo na região da Serra do Mar, e que segue em direção ao Rio de Janeiro (onde estão localizados importantes mananciais de

abastecimento das capitais dos respectivos estados). Os modelos convergem, ainda, no noroeste da Amazônia onde apresentam um aumento da variabilidade, com uma média em torno de 50%.

- **Variável de Potência das Secas (provenientes do SPEI) – período 2011-2040**

As anomalias desta variável indicam a resposta direta do clima ao aumento/diminuição, tanto da frequência, quanto da magnitude das Secas extremas. Embora o método elaborado para calcular a variável seja robusto e representativo dos períodos de Secas severas, a utilização de *thresholds* (limiares) no cálculo da variável pode indicar valores absolutos das anomalias (em porcentagem) mais elevados que as outras duas variáveis (chegando até 200% em alguns casos). Isso ocorre porque para aquelas localidades que tiveram poucos eventos durante o período de referência, *baseline* (ex: 1 ou 2 ocorrências no período de 30 anos, por exemplo) pode-se ter incrementos superiores à 100%, quando da ocorrência de apenas 1 ou 2 eventos de Secas no futuro. Embora a variável calcule a potência (severidade dividida pela duração do evento), o que comanda os valores das anomalias é a frequência com que as Secas ultrapassaram o limiar do SPEI equivalente a -1,5. Deve-se considerar o exposto durante o processo de análise dos resultados apresentados na **Figura 22**. As cores mais claras indicam neutralidade, os tons em marrom indicam aumento e os tons de verde o decréscimo da variável Potência das Secas.

Figura 22: Mapas de Incremento da Potência das Secas no modelo Eta-20km para os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5 nos cenários 4,5 e 8,5 para o período de 2011-2040 do IPCC/AR5.



Anomalia da Média de Precipitação Anual. O cálculo da anomalia (incremento) refere-se à diferença algébrica do Desv. Pad. no período futuro e o baseline, dividido pelo valor do baseline (1961-1990). Os tons em marrom representam as localidades onde está previsto o aumento da frequência e/ou da severidade das Secas meteorológicas, enquanto o verde representa a situação contrária. Fonte: Autoria própria.

Os resultados para o incremento de Potência das Secas indicam para o Modelo Eta-HadGEM, no cenário RCP 4,5, uma proporção maior de ocorrência de Secas extremas, chegando a superar um aumento de 200% em grande parte do estado do Tocantins, no leste do Mato Grosso, no norte e oeste do estado de Goiás, no estado do Acre, no oeste de Rondônia, no sudoeste do estado do Amazonas, no norte de Minas Gerais e no estado do Maranhão. Para a região Centro-Oeste e o Tocantins, a grande anomalia observada provavelmente está relacionada ao intenso aumento de temperatura previsto nas projeções futuras, onde se estima um aumento das médias de até 4º C (CHOU et al., 2014b), o que eleva a evapotranspiração e, consequentemente, causa desequilíbrios ao regime hidrológico.

Ainda analisando o Eta-HadGEM, para a região Nordeste, observa-se um padrão predominante de decréscimo na Potência de Secas. Entretanto, pode-se observar aumentos desse índice no Maranhão, na região central do Ceará, no leste do Piauí e no interior da Bahia. O Estado de Minas Gerais apresenta um comportamento errático, mas que em geral indica um aumento no índice de cerca de 30% nas porções norte e noroeste. No cenário RPC 8,5, o modelo converge em relação aos resultados observados no cenário RC 4,5 para a região Centro-Oeste, o oeste do Estado do Amazonas, o norte de Minas Gerais e do Maranhão. Além desses pontos, o modelo indica uma intensificação das Secas que se estende também para o oeste das regiões Sudeste e Sul, e incrementos mais brandos na região Norte, quando comparados com o cenário RCP 4,5. Os decréscimos seguem os mesmos padrões espaciais do cenário RCP 4,5, sendo maiores no oeste do Pará e no norte da Bahia. Mas de forma geral, o cenário RCP 8,5 indica valores absolutos da Potência das Secas mais altos em praticamente todo o território nacional.

Os padrões espaciais de anomalia das projeções dos modelos Eta-MIROC5 e Eta-HadGEM para o cenário RCP 4,5 apresentam-se pouco convergentes em praticamente todo Brasil, exceto para o norte do Maranhão e o oeste do Mato Grosso do Sul, onde ambos os modelos apresentam um aumento nas anomalias e para a porção norte do Rio Grande do Sul, onde os resultados convergem para um decréscimo das anomalias. Cabe destacar que essa divergência entre os modelos pode ser observada nos resultados para o período de referência, *baseline* (Figura 17).

Avaliando-se o Eta-MIROC5 para os dois cenários RCP 4,5 e 8,5), observa-se alta convergência entre os resultados para todo o território brasileiro. As projeções para ambos os cenários demonstram um decréscimo da variável Potência de Secas na maior parte do território, sobretudo nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e parte da região Nordeste. Destaca-se a concentração do aumento das Secas Extremas no norte das regiões Norte, Nordeste e o sul do Brasil.

Em relação às maiores anomalias da Potência de Secas, cabe ressaltar o oeste do Rio Grande do Norte, apresentando valores acima de 200%. Esses resultados devem-se ao fato de que, no *baseline*, essa ter sido a localidade com o menor valor encontrado em todo território nacional, na faixa de -1,50. No período entre 2011-2040, os valores absolutos da Potência de Secas não foram tão altos (aproximadamente -5,0), mas em comparação com o baixo valor

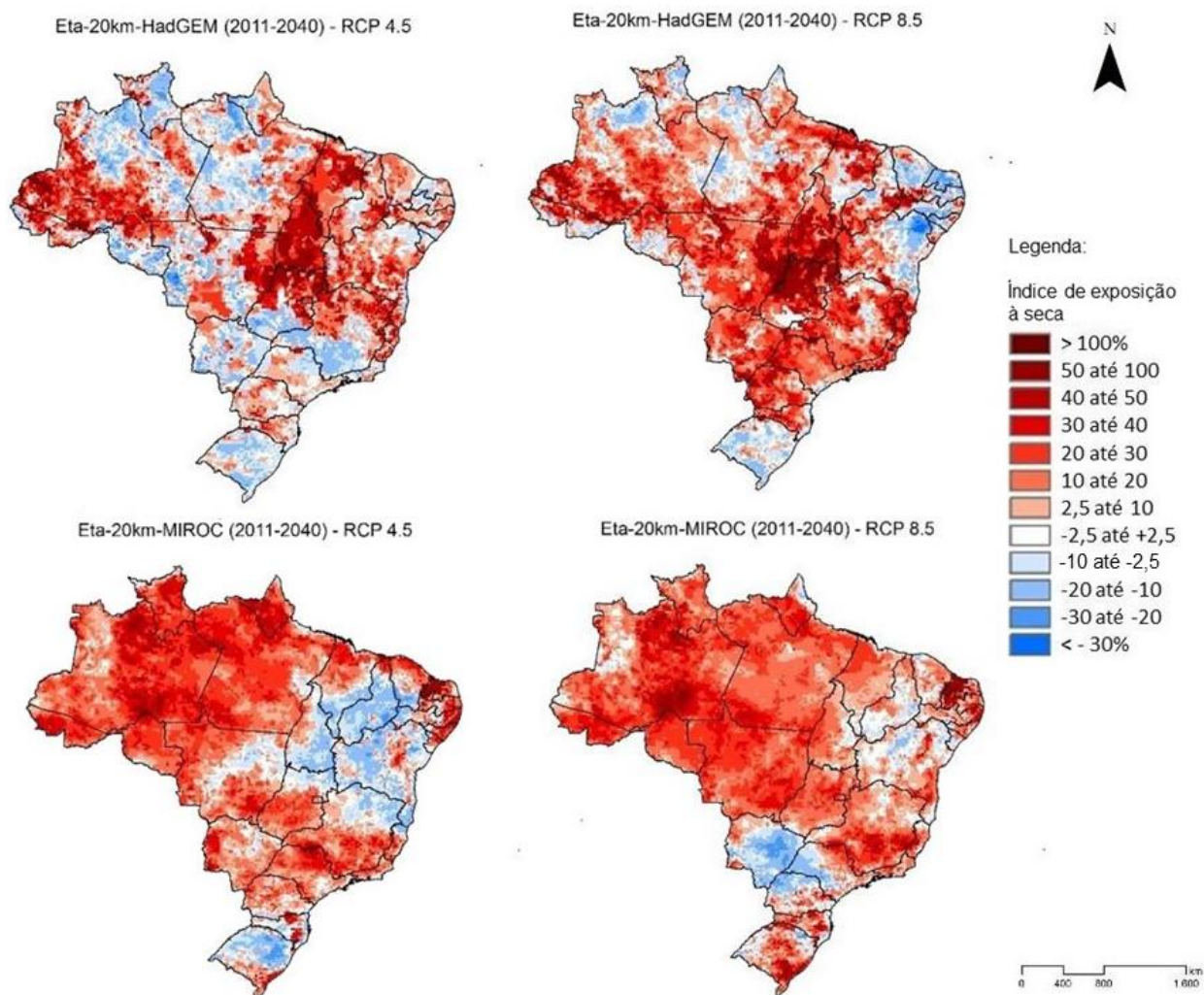
encontrado no período de referência (*baseline*), a anomalia ultrapassa os 200%. Esta ocorrência merece destaque porque terá grande influência no cálculo do Subíndice de Exposição e, consequentemente, no cálculo do IVDNS.

4.1.2. Subíndice de Exposição às Secas - 2011-2040

Este Subíndice é o ponto-chave de toda a análise de vulnerabilidade, pois corresponde à conjunção dos diferentes tipos de impactos associados à mudança do clima que podem intensificar ou atenuar os desastres relacionados às Secas. Embora as variáveis que compõem o Subíndice de Exposição às Secas tenham sido apresentadas de forma isolada, a integração das três anomalias permite identificar as regiões brasileiras mais suscetíveis às futuras Secas meteorológicas, sendo o cenário mais severo aquele para o qual está previsto: o decréscimo dos totais de precipitação; o aumento da variabilidade da precipitação anual; e o aumento da Potência das Secas Extremas (frequência e magnitude). Entretanto, é possível que outras combinações caracterizem situações de alta vulnerabilidade do ponto de vista climático. Isso ocorre quando uma das variáveis apresenta valores de anomalia muito elevado, a ponto de caracterizar um alto índice de Exposição, por mais que as outras variáveis tenham incrementos medianos ou até mesmo negativos.

É importante ressaltar que a caracterização de uma localidade com valores de Exposição extremamente altos não significa, necessariamente, que a mesma será amplamente impactada por desastres relacionados às Secas no futuro, haja visto a existência de outros fatores determinantes para a construção de um “Desastre”, tais como as características de Sensibilidade e Capacidade Adaptativa. Além disso, o mapa de Exposição demonstra onde o cenário futuro terá mais alterações nas variáveis que favorecem a Seca, mas tendo como base comparativa a situação observada no período de referência, *baseline* (1961-1900). Desta forma, a Exposição Climática futura é um fator adicional às atuais condições de vulnerabilidade do período presente (Por exemplo: o Risco Climático, apresentado anteriormente), as quais devem ser levadas em consideração para não haver interpretações equivocadas. Os resultados para o Subíndice de Exposição são apresentados na **Figura 23**.

Figura 23: Mapas de Exposição Climática às Secas no modelo Eta-20km para os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5 nos cenários 4,5 e 8,5 para o período de 2011-2040 do IPCC/AR5.



Índice climático de Exposição às Secas elaborado a partir da média linear do incremento de três variáveis climáticas relacionadas às secas: i) Média de Precipitação Anual; ii) Desvio padrão de Precipitação; iii) Índice de Potência das Secas. Autoria: Adapta Assessoria Ambiental e Pesquisa. Os tons em vermelho indicam o aumento da exposição climática às Secas meteorológicas ("vulnerabilidade climática"), enquanto os tons em azul representam a situação contrária. Fonte: Autoria própria.

Na **Figura 23** nota-se que o modelo Eta-HadGEM, no cenário RCP 4,5, indica uma maior Exposição às Secas com incrementos acima de 100% em grande parte do leste da região Centro-Oeste, do norte da região Sudeste, do interior da região Nordeste e do oeste da região Norte. Nas demais regiões apresentam-se valores próximos ao zero, ou até mesmo negativos, e valores mais brandos de anomalias positivas entre 25% até 30%. No cenário RCP 8,5, o modelo Eta-HadGEM apresenta padrões espaciais mais abrangentes e severos para o aumento da Exposição. Uma das principais diferenças do cenário RCP 8,5 é o aumento da

Exposição em praticamente todo o Centro-Oeste, Sudeste, Norte e Sul do País, e um decréscimo no Nordeste (**ver Figura 22**).

Os resultados do modelo Eta-MIROC5 tanto para o cenário RCP 4,5 quanto 8,5 apresentam um comportamento diferente. A Exposição não atinge valores tão altos quanto àqueles observados em alguns pontos do modelo Eta-HadGEM, mas, por outro lado, praticamente todo território nacional apresenta índices acima de 40%. Ou seja, há uma maior abrangência espacial de áreas climaticamente vulneráveis às Secas futuras. Em ambos cenários citados, os estados e regiões mais expostos são: Amazonas, Goiás, Minas Gerais, Pará, Roraima, a faixa leste das regiões Nordeste e do Sudeste e o extremo sul do Rio Grande do Sul, sendo que os maiores valores encontrados estão no Rio Grande do Norte, devido ao incremento da variável Potência de Secas, discutida anteriormente. Contudo, diferentemente do HadGEM, o modelo Eta-MIROC5 apresenta baixa exposição às Secas no Semiárido nordestino no cenário RCP 4,5. Dentre as regiões que mais merecem destaque na análise da Exposição Climática futura às Secas para ambos os modelos se tem: a faixa leste e litorânea do Nordeste; o Centro-Oeste, com destaque para a região próxima à divisa de Goiás, Mato Grosso e Tocantins; praticamente toda a região Norte, com destaque para sua porção sudoeste; a faixa leste do Sudeste, com destaque para o Espírito Santo, e algumas localidades pontuais da região Sul. O **Quadro 6** apresenta de forma sintetizada as principais informações observadas nos mapas de Exposição Climática às Secas para as regiões brasileiras.

Quadro 6: Síntese dos resultados do Subíndice de Exposição Climática às Secas, para o período compreendido entre os anos de 2011-2040.

Regiões de Análise	Anomalias/Incremento												Índice			
	Média de Precipitação				Desvio Padrão				Potência das Secas				Exposição			
	HadGEM		MIROC		HadGEM		MIROC		HadGEM		MIROC		HadGEM		MIROC	
	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5
NORTE																
CENTRO-OESTE																
NE: Zona da Mata e Agreste																
Semiárido (NE + MG)																
SUDESTE*																
SUL																

FAVORECE OCORRÊNCIA DE SECAS

Comportamento diferente na porção Norte

Comportamento diferente na porção Sul

Localidades pontuais espalhadas pela região

Comportamento heterogêneo

Comportamento diferente na porção oeste / leste

O Semiárido considera a porção encontrada no Nordeste e a porção Norte de Minas Gerais. Desta forma, as informações referentes à região Sudeste não contam com esta porção de Minas Gerais. Os tons em marrom estão relacionados com o aumento da ocorrência de Secas, enquanto os tons em azul representam a situação contrária. Fonte: Autoria própria.

O que os modelos sugerem no Subíndice de Exposição para grande parte do interior da região Nordeste, principalmente nos cenários RCP 8,5 do Eta-HadGEM e RCP 4,5 do Eta-MIROC5, é uma redução considerável de água na atmosfera dessa região, associada com um aumento de temperatura (e evapotranspiração), levando o estado de equilíbrio climático para uma condição mais árida. Desta forma, ao considerar a definição de “Secas meteorológicas” utilizada neste estudo, como sendo uma anomalia dos padrões normais de precipitação que indicam um déficit hídrico ou períodos de estiagem fora da normalidade, verifica-se que essa condição não é identificada através do método utilizado para compor o Subíndice.

Isso não significa, entretanto, que a região passará a ser menos vulnerável climaticamente às Secas nos períodos futuros. Pelo contrário, significa que, provavelmente, o clima passará a ter um novo comportamento, mais seco, com um regime de precipitação com valores acumulados abaixo daqueles observados durante o período de referência (*baseline*), com novos limiares para caracterizar o que seria, por definição, uma “Seca Extrema”. Portanto, a variabilidade interanual das chuvas diminuirá, fazendo com que o novo equilíbrio estabelecido seja com totais acumulados variando em torno de uma média inferior à do período presente. Cabe ressaltar que essa é uma limitação do Subíndice criado, pois este

comportamento é diferente nas demais regiões brasileiras, que não possuem evidências de ter uma mudança drástica no equilíbrio climático. De uma forma geral, pode-se dizer que os modelos sugerem que o clima para o período entre 2011-2040 (se observado com o olhar do tempo presente) tende a ser uma grande Seca que poderá perdurar por décadas.

Para a região Sudeste, os padrões observados são bem distintos espacialmente, sendo que o predomínio para toda a região é de diminuição dos totais acumulados de precipitação e do aumento da variabilidade interanual. A variável Potência de Secas não apresenta um padrão predominante, tendo a maior variabilidade espacial e de magnitude dentre as três variáveis analisadas. A região Sudeste apresenta alta convergência entre os modelos para ambos os cenários, especialmente para a porção que se estende do leste de Minas Gerais, passando pelos estados do Espírito Santo e do Rio de Janeiro, chegando a porção norte e nordeste do estado de São Paulo, que apresentam um aumento da variável Exposição climática. Esse aumento sugere que o clima, no período entre 2011-2040, tende a ser mais seco no inverno e com chuvas concentradas durante o verão, indicando alteração nos padrões de variabilidade interanuais da estação chuvosa, acarretando períodos de Secas (não extremas). Essa região caracteriza-se por apresentar alta densidade demográfica, concentrar a maior parte das atividades econômicas do país e, conseqüentemente, por apresentar alta demanda de água. Diante do exposto sugere-se que essas características sejam devidamente consideradas na análise final de vulnerabilidade.

A região Centro-Oeste e parte da região Norte (sobretudo a porção sudoeste), apresentam um padrão de alto Subíndice de Exposição, o qual está fortemente vinculado à uma intensificação tanto da frequência como da magnitude das Secas extremas.

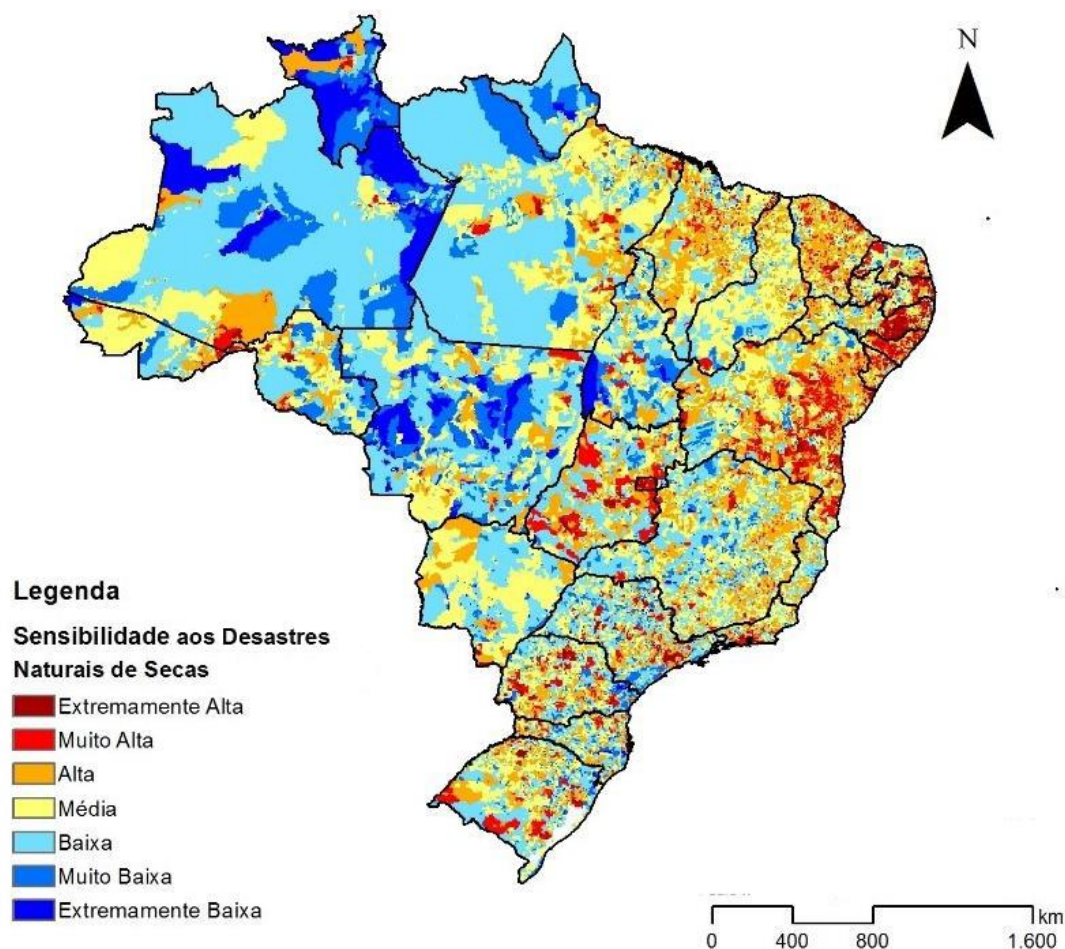
Os modelos sugerem que os totais acumulados anualmente não devem sofrer um decréscimo considerável, entretanto haverá um aumento em sua variabilidade, sobretudo devido à recorrência de períodos de Secas severas. Nesse contexto, a distribuição das chuvas tende a ser alterada, acentuando-se os períodos mais secos e aumentando as estiagens, juntamente com um considerável aumento da temperatura da atmosfera. Essa combinação aumenta consideravelmente a evapotranspiração, desequilibrando o balanço hídrico dessas regiões, que ainda podem sofrer impactos devido às mudanças futuras do uso e cobertura da terra. Este é um ponto que deve ser avaliado com cuidado, visto que essas regiões compõem não somente a atual fronteira agrícola da Amazônia, como também importantes fragmentos

do Cerrado que sofrem pressão de diversos usos, tais como o plantio da soja e a pecuária (VERBURG, 2014 a-b).

4.2. Subíndice de Sensibilidade

Conforme o mapa de Sensibilidade apresentado na **Figura 24**, o cruzamento destas variáveis aponta para uma Sensibilidade extremamente alta às Secas em grande parte da região Nordeste, com destaque para o Estado de Alagoas, o leste dos estados de Pernambuco e da Paraíba, e as regiões mais ao leste dos estados da Bahia, do Ceará e o interior do Maranhão. Nos estados do Nordeste, quando pouco eficientes, as práticas de uso e manejo da terra tendem a um comprometimento da cobertura vegetal nativa e, conseqüentemente, a perda da qualidade do solo. Nesse sentido, o aumento populacional tenderá a incrementar estas condições em função da necessidade de novas áreas para expansão agrícola e urbana. A precariedade na assistência técnica e extensão rural visando o uso de tecnologias e cultivos adequados às condições do Bioma Caatinga, somadas a uma inadequada gestão das Secas, e uma Exposição maior a um clima mais árido que o atual, incrementará a vulnerabilidade nesta região.

Figura 24: Mapa do Subíndice de Sensibilidade aos Desastres Naturais relacionados às Secas.



Mapa do Índice de Sensibilidade às Secas, no contexto de Mudanças Climáticas. Elaborado a partir de dados socioeconômicos (Taxa de Mortalidade Infantil, Taxa de Indigência e Densidade Demográfica), Uso do Solo e Oferta / Demanda de Água. É elaborado a partir de dados socioeconômicos (Taxa de Mortalidade Infantil, taxa de indigência, densidade demográfica, uso do solo, e demanda e oferta de água). Os tons de vermelho indicam uma Sensibilidade alta, o amarelo representa a situação intermediária, e os tons de azul indicam baixa Sensibilidade. Fonte: Autoria própria.

Tal condição pode levar ao crescimento dos núcleos de desertificação⁶. Os núcleos sofrem um processo de degradação progressiva da cobertura vegetal, e dos horizontes superficiais do solo, o qual é acelerado por ações antrópicas. A partir deles, o processo tende a se expandir até alcançar grandes áreas de desertificação. As áreas de desertificação difusas

⁶ Desertificação: Depende de fatores climáticos, geomorfológicos, pedológicos, geológicos e antrópicos. As áreas em processo de desertificação estão localizadas em regiões próximas aos desertos atuais ou regiões semiáridas, ou também, áreas que foram desertos em períodos geológicos. Com o aumento das Secas, as áreas desertificadas perdem suas propriedades agrícolas a serem identificadas pelas seguintes condições: evapotranspiração local (EPT), nível do lençol freático, quantidade e qualidade de água de superfície, profundidade dos solos agricultáveis, grau de salinização e alcalinização do solo, intensidade de erosão hídrica, crostas salinizadas sob o solo, intensidade da erosão eólica, índice de albedo ou reflectância.

são amplas e menos concentradas. No Brasil incluem-se, entre algumas destas: o Núcleo Gilbués no Piauí, o Seridó entre a Paraíba e o Rio Grande do Norte, e o Irauçuba no Ceará. Além destes, outros processos difusos também ocorrem como, por exemplo, a salinização no Cabrobó (Ceará). Algumas das medidas preventivas em combate ao processo de desertificação incluem: a proteção ambiental de matas ciliares, a preservação ambiental dos núcleos de desertificação, uso restrito e controlado da terra e a promoção de santuários ecológicos (CASTRO et al., 2003).

Além do Nordeste, outras regiões do país também apresentam uma Sensibilidade extremamente alta ou muito alta, sendo elas: as regiões metropolitanas do Sudeste, uma parcela importante do Goiás, alguns pontos do interior do Paraná e do extremo sul do Rio Grande do Sul. No que tange ao uso da terra, o fator de irrigação nestas regiões, se não conduzido de forma adequada, pode levar a salinização dos solos e a perda de grandes monoculturas, tais como: cana de açúcar, café, laranja e pastagens. Além disso, a irrigação utilizada sem uso controlado pode levar a indisponibilidade de água potável em aquíferos e sistemas subterrâneos de armazenamento. Em caso de uma incidência maior de Secas, o processo de salinização pode esterilizar o solo e promover a desertificação. A recuperação de terrenos salinizados é extremamente onerosa, devendo-se evitar tal grau de degradação.

Por sua vez, as áreas urbanas também apresentam grande Sensibilidade às Secas, principalmente no que tange o seu abastecimento. A deterioração e a falta de manutenção dos sistemas de drenagem, de escoamento, de captação, de tratamento e de distribuição de água aumentam o desperdício nos centros urbanos e contamina as águas pluviais que poderiam ter outras utilidades.

Quanto às localidades com Sensibilidade alta e média, estas estão presentes na maior parte do território brasileiro, salvo nas regiões mais ao oeste da região Norte e em grande parte do Mato Grosso do Sul. A Sensibilidade é muito baixa em praticamente toda região Norte, no Mato Grosso e na faixa litorânea sul dos estados de São Paulo e do Paraná. No caso das regiões Sudeste e Sul, os baixos valores do Subíndice podem estar relacionados a topografia destas áreas, que restringem a sua ocupação inviabilizando, portanto, o adensamento urbano e consequentemente auxiliando a preservação da vegetação nas áreas das nascentes e dos mananciais hídricos. Quanto à baixa Sensibilidade da região Norte e do Mato Grosso, esta pode remeter à grande quantidade de áreas florestadas e abundância de

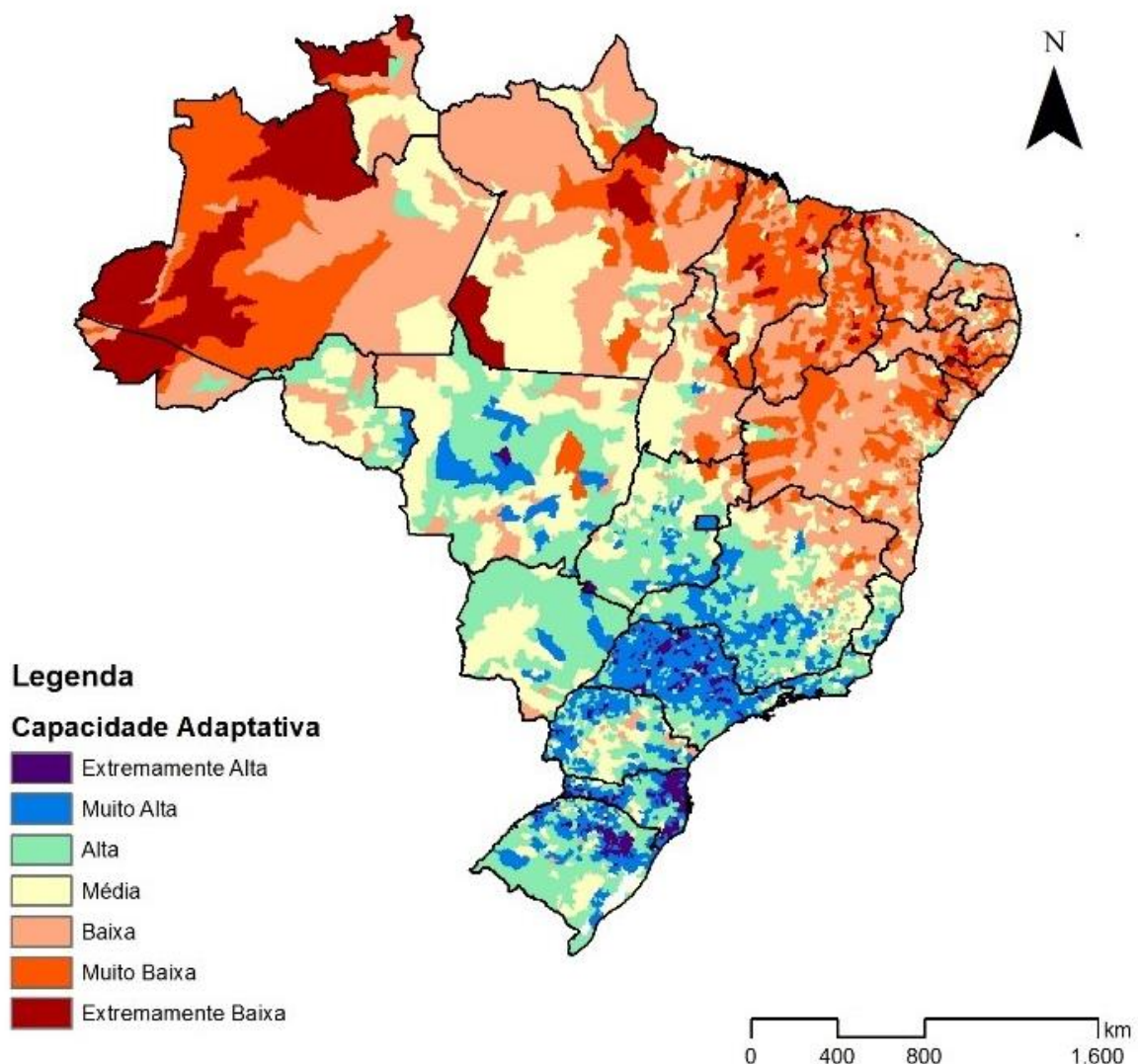
recursos hídricos em toda região, aliada à uma grande oferta de água e uma demanda relativamente baixa por parte de suas populações e atividades econômicas (pequenos adensamentos populacionais).

Entretanto, essas regiões abrigam grande parte dos povos tradicionais e populações mais sensíveis às modificações ambientais. Tais grupos necessitam de um meio ambiente equilibrado, pois dele depende sua sobrevivência. A menor modificação causada, seja por atividades antrópicas não-sustentáveis, seja pela influência de uma maior Exposição associada à mudança do clima, conduziria a uma perda de resiliência tornando estas populações mais sensíveis do que na atualidade. Atividades como o desmatamento, também poderão comprometer o abastecimento hídrico no futuro, devido, por exemplo, à supressão das florestas que armazenam grande parte da água, a contaminação hídrica por agrotóxicos, a construção de hidrelétricas e lagos de represamento.

4.3. Subíndice de Capacidade Adaptativa

O mapa de Capacidade Adaptativa relacionada aos impactos potenciais das Secas no contexto de mudanças do clima foi elaborado a partir das médias das seguintes variáveis: Índice de GINI, Taxa de Analfabetismo e o Índice de Desenvolvimento Humano para escala municipal (IDHm). Essas três variáveis, quando cruzadas, são representativas da Capacidade Adaptativa, a qual está especializada no mapa da **Figura 25**. O índice de Gini torna-se relevante para os desastres de Seca por demonstrar o nível de desigualdade social. Em geral, uma maior desigualdade social representa uma menor acessibilidade a recursos disponíveis entre as partes da população. Logo, uma maior concentração de renda em uma pequena parcela da população representa uma menor acessibilidade aos recursos pela maioria. No contexto das Secas, a concentração de terras ou de recursos que tenham acessibilidade a água, representam uma maior desigualdade e, portanto, uma menor Capacidade Adaptativa para essas populações. Em contrapartida, uma melhor distribuição de renda permite a aquisição de infraestrutura e acessibilidade aos recursos e demais facilidades de acesso aos serviços públicos (quando equilibrada entre as partes), representa uma maior Capacidade Adaptativa frente aos desastres de Secas.

Figura 25: Mapa do Subíndice de Capacidade Adaptativa aos Desastres Naturais relacionados às Secas.



Mapa de Capacidade Adaptativa, elaborado a partir das médias das variáveis: Índice GINI; Taxa de Analfabetismo e Índice de Desenvolvimento Humano – no nível municipal (IDHm). Os tons em vermelho representam baixa Capacidade Adaptativa, enquanto os tons em verde/azul representam a situação contrária. Neste caso, quanto maior a Capacidade Adaptativa, menor poderá ser a vulnerabilidade. Fonte: Autoria própria.

Aliado ao fator desigualdade, acrescenta-se o IDHm que considera em sua composição três Subíndices: longevidade, educação e renda. A composição desses Subíndices representa uma maior ou menor capacidade do município em suportar um impacto de Exposição às Secas, haja visto que, uma população com boa saúde, boa escolaridade e acesso a recursos terá maior probabilidade de ter acesso à informação, alimentação, água tratada e/ou valor monetário em caixa para acessar benesses e recursos, portanto, suportar períodos de maior escassez.

A taxa de Analfabetismo, por sua vez, representa um fator determinante na capacidade de articulação e compreensão da situação de risco. Um indivíduo analfabeto tem menor acesso à informação escrita e interpretativa. Tal dificuldade implica na menor acessibilidade aos canais de informação atuais e, conseqüentemente, subsídios e recursos. Essa limitação inibe o potencial de transformação da própria condição de vulnerabilidade, por este não conhecer ou conseguir assimilar a informação necessária no momento de reação, à iminência de um desastre. A maior taxa de analfabetismo também implica, indiretamente, em taxas mais elevadas de pobreza, pois dificulta o acesso ao trabalho digno/justo e de qualidade. Conseqüentemente, quanto menor a renda, menor a perspectiva de adaptação (na maioria dos casos).

Nota-se que, apesar das regiões Sul e Sudeste brasileiras também apresentarem Desastres de Seca, essas detêm uma Capacidade Adaptativa muito superior à grande parte do país. Na maior parte da região Sul e em grande parte do Sudeste, principalmente em São Paulo e no Rio de Janeiro, as taxas de analfabetismo são baixas, bem como são menores os índices de desigualdade social. O acesso à saúde, educação e renda, apresentam níveis mais elevados que a média nacional. Essas condicionantes tornam as populações dessas regiões menos suscetíveis aos impactos potenciais da mudança do clima por sua Capacidade Adaptativa intrínseca (RODRIGUES-FILHO et al., 2013).

Por outro lado, as regiões Norte, Nordeste e o extremo norte de Minas Gerais denotam uma baixa, muito baixa ou extremamente baixa Capacidade Adaptativa. Esse fator negativo pode ser explicado, por exemplo, pelos problemas socioeconômicos que essas regiões enfrentam (representados pelos índices), e a própria variabilidade climática do presente. A região Nordeste e a região Semiárida brasileira como um todo apresentam os maiores índices de analfabetismo e os piores índices de IDHm municipal e GINI do país. Ou seja, essas regiões apresentam um somatório de fatores negativos que decrescem sua capacidade de resposta à mudança do clima. Assim, um pequeno incremento de Exposição às Secas que perpassasse o limite de sua resiliência, pode deflagrar desastres de grandes proporções.

Portanto, caso a mudança do clima venha a propiciar um incremento dos períodos de Seca, há uma grande probabilidade de o clima Semiárido local tornar-se cada vez mais árido e, por conseqüência, resultar em grandes desastres ambientais e socioeconômicos, podendo

induzir a uma migração para outras regiões do Brasil com clima menos inóspito do ponto de vista da disponibilidade hídrica.

As regiões Norte e Nordeste do Brasil têm sua Capacidade Adaptativa extremamente baixa em função dos baixos índices de desenvolvimento humano e socioeconômico. Apesar de as populações locais serem mais adaptadas às condições ambientais em suas localidades (principalmente os grupos tradicionais), uma maior Exposição Climática devido à mudança do clima implicaria na perda dessa capacidade de resposta, uma vez que estariam enfrentando novas condições de stress climático (DUBREUIL et al., 2013).

Tal premissa deve-se ao fato dessas populações apresentarem um contexto socioeconômico mais vulnerável, apresentando fatores relevantes como a distância de suas moradias dos principais centros urbanos, os meios de transporte e locomoção deficientes (rodovias, ferrovias e hidrovias em condições não apropriadas e a inexistência de serviços públicos de transporte), e maiores dificuldades para o fluxo de serviços de saúde, alimentação, saneamento e infraestrutura urbana básica em áreas de florestas. Um exemplo dessa baixa Capacidade Adaptativa às Secas foi o episódio da Seca de 2005 e 2010 (MARENGO 2008 e 2011), onde várias regiões da Amazônia ficaram isoladas devido à impossibilidade de navegação dos rios, bem como a mortandade de milhares de peixes que são uma das fontes de proteína mais importantes para essas populações.

Já a região Centro-Oeste aparece como uma área de transição entre o centro/sul brasileiro, com Subíndice de Capacidade Adaptativa alto, e o norte/nordeste com valores baixos. Essa região, apesar de apresentar um resultado bom em relação à Capacidade Adaptativa, requer atenção especial pois apresenta um Subíndice de Exposição Climática severo no que se refere ao incremento das Secas. Atenção especial deve ser dada aos grandes centros urbanos dessa região e sua gestão de recursos hídricos, bem como a conservação de seus aquíferos (devido ao fato dessa região apresentar um longo período de estação Seca e ser a origem das nascentes de rios importantes que abastecem outras regiões do Brasil). As áreas de fronteira agrícola consolidadas já consomem água subterrânea para a agricultura, especialmente no Mato Grosso e em Goiás durante o período Seco.

4.4. Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais relacionados à Secas (IVDNS)

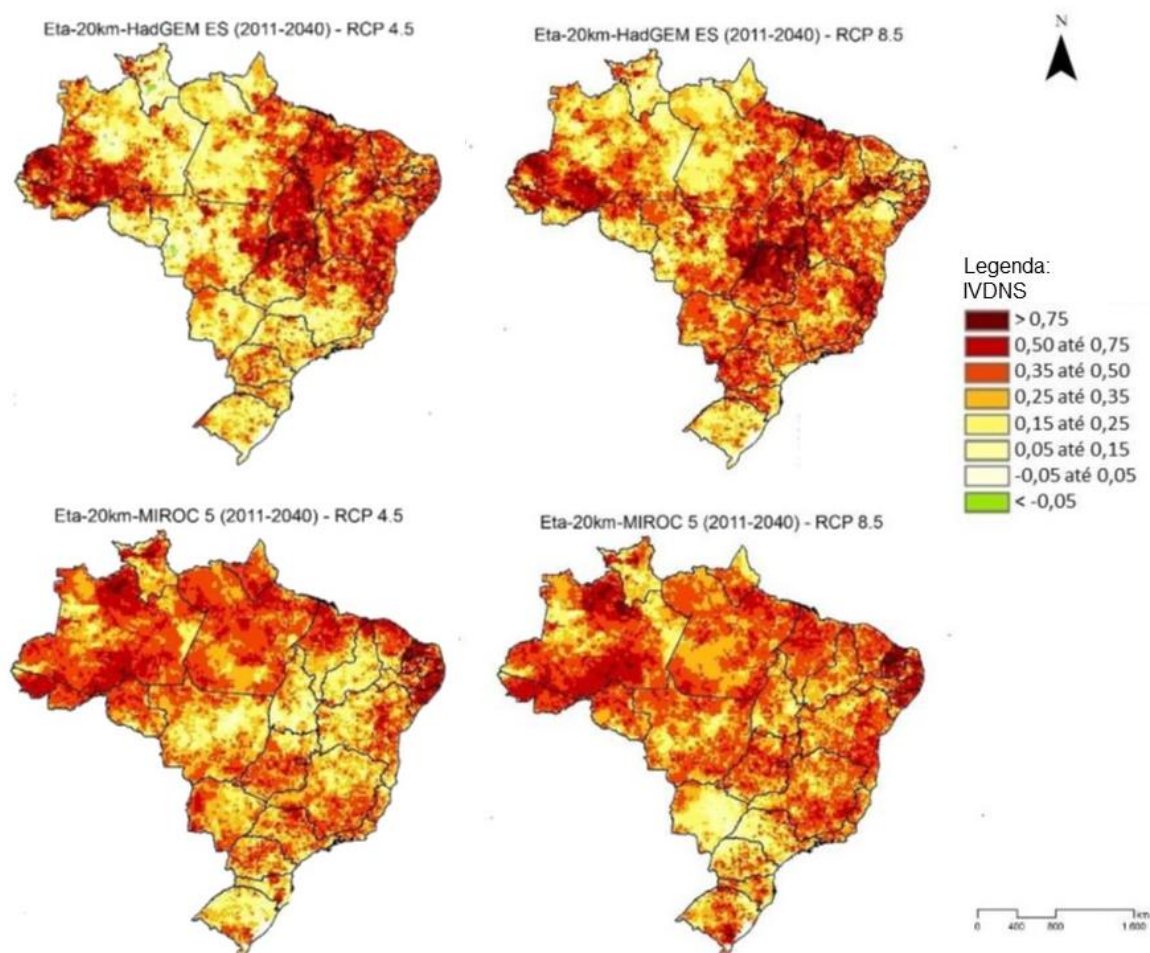
4.4.1. IVDNS para o período entre 2011-2040 utilizando os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5

Nesta seção serão apresentados os resultados finais do IVDNS. O índice foi elaborado para todo o território nacional a partir da conjugação dos Subíndices de Exposição com Sensibilidade, interagindo também com o de Capacidade Adaptativa. Os valores do índice variam em uma escala aproximada de 0,00 até 1,00, com algumas exceções negativas e outras superiores a uma unidade, sendo que quanto maior for este valor, maior é a vulnerabilidade daquela determinada localidade.

A interpretação dos mapas, apresentados a seguir **(Figura 26)**, requer um olhar sobre a Seca a partir do prisma das diferentes regiões do Brasil. Esses mapas são a síntese agregada dos Subíndices e refletem tanto a Exposição, como a Sensibilidade, e a Capacidade Adaptativa da sociedade brasileira frente aos impactos da mudança do clima na deflagração de Desastres de Secas. Entretanto, os mapas devem ser analisados com cautela, baseando-se em todas as informações apresentadas previamente, pois refletem dados oriundos de modelos climáticos, os quais dispõem de graus de incerteza relacionados à probabilidade futura de ocorrência das variáveis do Subíndice de Exposição Climática.

Para a composição do Índice de Vulnerabilidade em períodos futuros, há de se ter em conta as peculiaridades de cada região do país. Neste caso, o olhar da Seca para a região Norte do país deve ser distinto do olhar para as regiões Nordeste ou Sul, justamente porque a percepção da Seca, como um desastre, é diferente para cada uma dessas regiões. Uma análise minuciosa sobre cada região faz-se necessária, pois a Seca Meteorológica tem impactos ambientais e socioeconômicos de características diversas e que dependem fortemente de arranjos culturais, político-institucionais e ambientais locais e regionais.

Figura 26: Mapas do IVDNS (composto pelos Subíndices: Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa), para o período de 2011-2040.



Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais relacionados às Secas no contexto das Mudanças Climáticas. Elaborado a partir dos índices de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa. Os tons em vermelho indicam os locais com maior vulnerabilidade, sendo que as regiões mais críticas aparecem em tons de vermelho escuro. Fonte: Autoria própria.

Os resultados da espacialização do IVDNS possuem padrões espaciais bem semelhantes aos mapas de Exposição Climática apresentados anteriormente (Figura 23), diferindo apenas quando alguns contrastes são acentuados em função das características de Sensibilidade, podendo refletir em um abrandamento do índice, que depende da Capacidade Adaptativa.

Ao analisar os resultados que utilizam os dados climáticos provenientes do Eta-HadGEM (nos dois cenários RCP) para compor o IVDNS, os municípios mais vulneráveis aos efeitos da mudança do clima relacionadas às Secas estão localizados, de uma forma geral, na região Centro-Oeste, em algumas partes da região Norte (Oeste do Amazonas e Tocantins), no Nordeste (principalmente no Maranhão, Piauí, Bahia e Ceará) e no norte de Minas Gerais.

A alta Exposição Climática coexiste com as fragilidades socioeconômicas das populações que habitam essas regiões. Embora, em alguns casos, sejam regiões com baixa densidade populacional, podem apresentar problemas de gestão dos recursos hídricos e também uma baixa Capacidade Adaptativa. Além dessas regiões, os resultados obtidos a partir do cenário RCP 4,5 demonstram que o Espírito Santo e o sul do Mato Grosso também se destacam por se apresentarem altamente vulneráveis, com IVDNS chegando a valores de 0,40 e 0,50 em alguns municípios. Nos casos citados do oeste dos estados do Amazonas, do Tocantins e da região Nordeste, a Exposição Climática elevada quando combinada com os problemas sociais, média densidade populacional, problemas relacionados à oferta/demanda de água e a baixa Capacidade Adaptativa, tornam essas regiões extremamente vulneráveis. Para a porção que engloba os estados do Goiás e o Tocantins, a alta vulnerabilidade é predominantemente decorrente da alta Exposição Climática, média Sensibilidade e média Capacidade Adaptativa.

Os resultados obtidos a partir dos dados climáticos do modelo Eta-HadGEM, cenário RCP 8,5, destacam o norte de Goiás, o leste do Mato Grosso e o Sul do Tocantins, grande parte do território ao norte e nordeste de São Paulo (incluindo a capital) e a porção centro-sul do Rio de Janeiro, o leste de Minas Gerais e o Espírito Santo. Essas localidades devem ser observadas com cuidado, uma vez que apresentam uma Exposição Climática alta nesse cenário, e também nos dois outros cenários do modelo Eta-MIROC5. Cabe ressaltar que, por mais alta que seja a Capacidade Adaptativa nessas regiões, elas apresentam alta densidade demográfica, muitas vezes são ambientalmente degradadas e com problemas de gestão dos recursos hídricos. Tais fatos sugerem que a vulnerabilidade, nestes casos, está diretamente relacionada a possíveis impactos no abastecimento público (como observados em 2014-2015, em São Paulo e no Rio de Janeiro), além de impactos de segunda ordem no setor produtivo. Na região Sul, há um incremento da vulnerabilidade no cenário RCP 8,5 para a região oeste do Paraná e praticamente toda região oeste e central de Santa Catarina.

Nos casos em que se utilizaram os dados de Exposição Climática provenientes do modelo **Eta-MIROC5**, os dois cenários (RCP 4,5 e 8,5) apresentam padrões espaciais distintos ao do modelo Eta-HadGEM para a maior parte do território brasileiro. O modelo Eta-MIROC5 apresenta valores de Vulnerabilidade que variam entre média e alta em praticamente todo o Brasil, com uma abrangência espacial maior do IVNDS médio e alto. As áreas consideradas mais críticas estão prioritariamente sob o leste da região Nordeste, o norte e oeste da região

Norte, a região Centro-Oeste, o leste da região Sudeste e o extremo sul da região Sul. Apenas as regiões do leste do Amazonas, leste do Amapá e alguns pontos do Rio Grande do Sul (cenário RCP 4,5) e do Mato Grosso do Sul (cenário RCP 8,5) apresentam vulnerabilidade baixa. As características dos municípios que apresentam baixa Sensibilidade, em geral, devem-se à preservação do ambiente da floresta ainda pouco povoada, com abundância de água durante quase todo ano, ou por uma baixa Exposição Climática. Por outro lado, territórios não muito povoados também são ocupados por populações tradicionais que se tornam frágeis (devido à baixa Capacidade Adaptativa) quando submetidas aos efeitos da mudança do clima, apontando para novos cenários de risco para esses grupos (elevada Exposição Climática).

O IVDNS, que utilizou dados do Eta-MIROC5, também indicou uma alta-média Vulnerabilidade para a faixa do sudeste-leste do Mato Grosso, do Goiás, do oeste do Mato Grosso do Sul e do sul-leste de Minas Gerais, chegando até os estados do Rio de Janeiro, do Espírito Santo, do norte de São Paulo e do Vale do Paraíba com padrões em convergência com aqueles apontados pelo Eta-HadGEM no cenário RCP 8,5, descrito anteriormente. Ainda se destacam, no caso do Eta-MIROC5, toda a porção da Zona da Mata nordestina e o Agreste que, embora apresentasse uma Exposição Climática média-alta, apenas em sua porção baiana e baixa/neutra nos demais estados, são localidades com alta densidade populacional onde coexistem muitos problemas socioeconômicos, de gestão do uso da água e do solo, além da baixa/média Capacidade Adaptativa. Ou seja, o vetor que depende da mudança do clima (Exposição) não é necessariamente suficiente para indicar sua alta Vulnerabilidade, a qual fica explícita quando há o cruzamento com os demais vetores. Neste sentido, fica evidente que grande parte dos impactos potenciais das Secas podem ser evitados com medidas, ações e políticas públicas que independem do clima.

Pode-se citar, ainda, a faixa que se estende do Maranhão, passa pelo norte do Piauí e abrange praticamente todo o Estado do Ceará, a qual apresenta uma Vulnerabilidade alta/muito alta para ambos os modelos e cenários utilizados. Nessas localidades, o subíndice de Exposição não é o mais significativo para representar o IVDNS (com exceção do Maranhão), mas tem sua Vulnerabilidade exacerbada em função de suas características socioeconômicas e demográficas, que correspondem a uma alta Sensibilidade aos sistemas humanos, além de demonstrar uma baixa Capacidade Adaptativa a partir dos indicadores utilizados.

Para facilitar a interpretação dos resultados de vulnerabilidade, o **Quadro 7** a seguir ilustra de forma sintetizada os principais resultados dos mapas do IVDNS para as regiões brasileiras.

Regiões de Análise	Exposição				Sensibilidade	Capacidade Adaptativa	Vulnerabilidade			
	HadGEM		MIROC				HadGEM		MIROC	
	4.5	8.5	4.5	8.5			4.5	8.5	4.5	8.5
NORTE										
CENTRO-OESTE										
NE: Zona da Mata e Agreste										
Semiárido (NE + MG)										
SUDESTE*										
SUL										

+

FAVORECE OCORRÊNCIA DE SECAS

comportamento diferente na porção Norte

comportamento diferente na porção Sul

localidades pontuais

Espalhadas pela região

comportamento heterogêneo

comportamento diferente na porção oeste / Leste

Fonte: Autoria própria.

Algumas áreas cultivadas na **região Norte** podem ser impactadas devido aos elevados índices de Exposição Climática e, consequentemente, de Vulnerabilidade. Impactos esses que também podem ser cruciais para a operação de usinas hidrelétricas instaladas nessa região (FEARNSIDE, 2012). Considerando que a região Norte do país é coberta em grande parte por florestas, do ponto de vista socioeconômico, espera-se um menor impacto da mudança do clima relacionada às Secas. Entretanto, há de se considerar que essas áreas são ricas em biodiversidade e recursos naturais, os quais suportam populações tradicionais que dependem do equilíbrio climático atual para sua subsistência. Esses grupos seriam diretamente afetados por alterações no regime hídrico regional. Neste contexto, deve-se dar especial atenção ao

desmatamento, ao rompimento da resiliência e da capacidade de suporte das populações tradicionais aí residentes (RODRIGUES-FILHO et al., 2015). Os impactos associados à mudança do clima teriam implicações diretas nos mananciais hídricos e na manutenção dos ecossistemas de grande valor como a Amazônia.

Os resultados dos IVDNS para cenários futuros na **região Nordeste** apontam para um decréscimo da variabilidade climática, o que poderia ser considerado positivo caso os totais pluviométricos obtivessem um acréscimo. Entretanto, o que parece ocorrer é o decréscimo da variabilidade climática conjugada ao decréscimo das precipitações (aspecto negativo). Esses resultados levam a crer que as regiões de clima Semiárido, em um futuro próximo, poderão se tornar mais áridas. Essa situação seria prejudicial para as populações locais (com base na Capacidade Adaptativa atual). Ademais, ainda que os totais pluviométricos obtivessem um acréscimo, temperaturas mais elevadas contribuiriam para uma evapotranspiração excessiva, o que por sua vez prejudicaria o balanço hídrico regional. Fato este identificado através do incremento da variável Potência de Secas. Desse modo, considera-se que o mais prudente para a região Nordeste seria direcionar seus esforços para a prevenção de desastres e a adaptação à mudança do clima, buscando aprimorar os instrumentos de gestão hídrica-ambiental integrada entre as três esferas governamentais, a partir de uma visão sistêmica.

Na **região Centro-Oeste** apresenta altos valores de IVDNS para o período de 2011-2040, indicando um alto grau de Vulnerabilidade às Secas em toda a região. Atenção específica deve ser dada à gestão das microbacias e à preservação de nascentes dos rios que nutrem regiões à jusante. Deve-se concentrar esforços para o monitoramento e o combate ao desmatamento no Cerrado, visto que esse bioma vem perdendo áreas com vegetação nativa em ritmo acelerado nas últimas décadas, estando reduzido a menos de 50% de sua cobertura original. A migração populacional de outras regiões do Brasil para áreas de fronteira agrícola já consolidadas ou em estágio de consolidação, quando não adequadamente planejada, torna-se um vetor de risco para esses ecossistemas que apresentam padrões de forte sazonalidade hídrica e/ou são fragilizados por práticas predatórias de desenvolvimento.

Os resultados dos IVDNS para cenários futuros na **região Sudeste** demonstram um alto grau de Vulnerabilidade às Secas para a região norte de São Paulo, todo o estado de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo. Ressalta-se a importância da atuação integrada das

instituições governamentais que, dentre as suas atribuições, possuem ações em diversas frentes na área de combate à Seca, tais como: mudança na outorga da água para diversos setores industriais, um maior controle na utilização desse recurso pela população, incentivo a práticas sustentáveis de uso da terra, contenção do desmatamento em regiões de nascentes e próximas aos corpos hídricos, fomento da rede de monitoramento de controle dos mananciais e despoluir mananciais degradados e/ou praticamente comprometidos pelo descarte de poluentes. Os maiores problemas dessa região estão relacionados à Sensibilidade. Se avaliadas, isoladamente, as variáveis que compõem o Subíndice de Sensibilidade, verifica-se que a vulnerabilidade está fortemente ligada à gestão de recursos hídricos, no que se refere à grande demanda de água e a exposição dos mananciais às ações antrópicas.

Na **região Sul** do Brasil apresentam-se valores com grau baixo-moderado de Vulnerabilidade às Secas, sendo mais elevado na região do extremo Sul do Rio Grande do Sul, e nas porções centrais dos estados do Paraná e de Santa Catarina. Nessa região deve ser dada uma atenção especial ao fomento das boas práticas e manejo do uso da terra, a conservação dos mananciais subterrâneos, a contenção do desmatamento de áreas de nascentes e margem de rios. Recomenda-se limitar a quantidade de Pequenas Usinas Hidrelétricas (PCHs) e lagos de reservatórios em áreas montanhosas, uma melhor utilização e armazenamento da água da chuva por parte dos proprietários rurais e nas áreas de intenso turismo (litoral de Santa Catarina), e a recuperação das pastagens naturais e dos solos degradados na região do Pampa. Cabe destacar a importância de sistemas de alertas precoces de Secas visando antecipar os possíveis impactos e, assim, subsidiar a elaboração de estratégias para a agricultura local na próxima estação. Ações como as mencionadas acima, podem minimizar os prejuízos causados por períodos longos de estiagem e veranicos que afetam essa região.

4.4.3. Apresentação de dados por município

Para todos os municípios brasileiros foram gerados os Subíndices de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa, bem como os IVDNS. O Subíndice de Exposição e o IVDNS são apresentados para cada um dos modelos (Eta-HadGEM e Eta-MIROC5) e para cada

um dos cenários de emissões (RCP 4,5 e 8,5), considerando o período compreendido entre 2011-2041. Todos esses valores estão tabelados e disponíveis como anexo deste Relatório⁷.

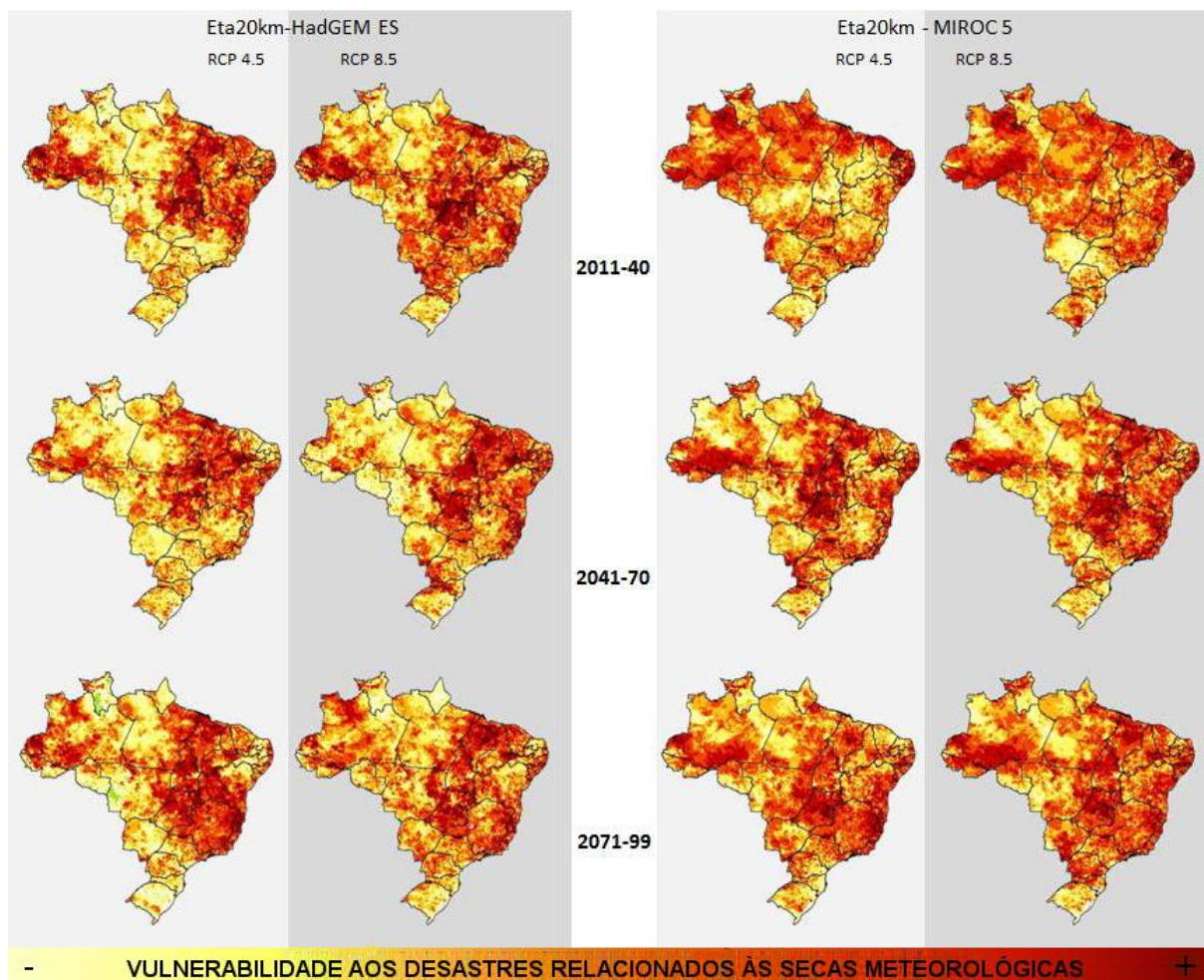
Cumprе ressaltar que o IVDNS é uma ferramenta que pode indicar os municípios mais críticos e os diferentes contrastes regionais no que tange à vulnerabilidade aos desastres naturais de Secas. No entanto, é necessário desenvolver uma análise individual de cada subíndice para que seja possível entender as diferentes nuances da vulnerabilidade. Neste sentido, é preciso analisar paralelamente cada um dos subíndices que o compõem, a fim de encontrar *hotspots* de vulnerabilidade propícios para nortear políticas públicas. Quando esses subíndices são analisados isoladamente, a identificação do peso de cada um dos três aspectos da vulnerabilidade é facilitada. Isso se explica pelo fato dos municípios combinarem exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa de formas diferentes e, portanto, necessitam de estratégias de adaptação distintas. Quando agregados, os subíndices compõem o resultado final do IVDNS.

4.4.4. IVDNS para os períodos 2041-2070 e 2071-2099 utilizando os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5

Os resultados do IVDNS foram calculados também para os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5 nos cenários RCP 4,5 e 8,5 do IPCC/AR5, nos períodos de 2041-2070 e 2071-2099. Como forma de facilitar a evolução do índice ao longo do século, a **Figura 27** apresenta os mapas de todos os períodos de interesse. Para sua correta interpretação, deve-se destacar que a diferença entre todos os mapas apresentados se dá exclusivamente devido à variação do Subíndice de Exposição Climática, o qual utiliza as variáveis provenientes das simulações feitas com os dois modelos climáticos mencionados.

⁷ Os índices de vulnerabilidade aos desastres naturais de secas para cada município para o período de 2011-2041 para os dois modelos (Eta-HadGEM e Eta-MIROC) e para os dois cenários (RCP 4.5 e 8.5) encontram-se disponíveis nos seguintes endereços eletrônicos: <http://wwf.org.br/estudoseca> e <http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/projetos#sobre-6>.

Figura 27: Mapas dos IVDNS para os períodos 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099



- **VULNERABILIDADE AOS DESASTRES RELACIONADOS ÀS SECAS METEOROLÓGICAS** +

O índice foi calculado para os períodos 2011-2040; 2041-2070 e 2071-2099, a partir das projeções climáticas simuladas pelos modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5, nos cenários RCP AR5 4,5 e 8,5 do IPCC/AR5. Fonte: Autoria própria.

Resultados a partir dos dados do Eta-HadGEM

Os resultados do IVDNS utilizando os dados climáticos do modelo Eta-HadGEM mostram que os períodos mais severos estão entre 2011-2040 (RCP 8,5) e entre 2071-2099 (RCP 4,5). Nota-se que nos dois casos os maiores valores de Vulnerabilidades concentram-se em uma faixa que se estende do estado do Goiás até o norte do Maranhão e grande parte da região Nordeste. Outra área que apresenta grande Vulnerabilidade para o período de 2011-2040, no cenário RPC 4,5, é a porção oeste do Amazonas e do Acre. O período de 2041-2070, sobretudo no cenário RCP 4,5, apresenta um abrandamento dos níveis críticos de vulnerabilidade na maior parte das regiões, salvo no oeste do estado de Pernambuco e a região centro-leste do Piauí, onde há um acréscimo.

No cenário RCP 8,5 há indicação de um acréscimo da Vulnerabilidade já no primeiro período (2011-2040) em todo país, especialmente para as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Esse padrão perde intensidade no período entre 2041-2070 e retoma valores de alta Vulnerabilidade no último período, sendo esta mais crítica, para os estados do Goiás, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Maranhão, Piauí e Ceará. A porção oeste do Amazonas também apresenta uma queda considerável da Vulnerabilidade no período entre 2041-2070, retomando também no período final e somando-se a uma maior Vulnerabilidade na região noroeste do Amazonas.

De uma forma geral, o padrão observado é que os efeitos da mudança do clima, somados às características regionais brasileiras, já caracterizam alta Vulnerabilidade aos desastres de Secas logo no primeiro período de análise (2011-2040). O decréscimo da exposição climática e, conseqüentemente, da vulnerabilidade no segundo período (2041-2070) também é um padrão observado, de modo que há novamente uma elevação entre 2071-2099. Ao avaliar todos os períodos e seus respectivos cenários, as regiões que mais se destacam com as maiores vulnerabilidades médias são: a faixa que vai do interior de Goiás e divisa com Mato Grosso, passando pelo Distrito Federal, Tocantins chegando até o Norte do Maranhão; parte do Polígono das Secas que vai do extremo Oeste de Pernambuco a uma grande porção do Leste do Piauí; regiões espaçadas que se encontram no interior da Bahia, o Norte do Espírito Santo com o Nordeste de Minas Gerais, e o Sudoeste do Amazonas juntamente com porção central do Acre.

Resultados a partir dos dados do Eta-MIROC5

Os resultados do IVDNS utilizando os dados do modelo Eta-MIROC5 indicam que o período de 2011-2040 e o de 2071-2099 são aqueles com maior vulnerabilidade, de modo que há maior abrangência espacial das classes de vulnerabilidade mais elevada pelo território brasileiro. No primeiro período (2011-2040), as áreas mais vulneráveis estão espalhadas pelo Norte e Nordeste, sendo que no cenário RCP 8,5 há indicação também da região Centro-Oeste e Sudeste apresentarem vulnerabilidade média-alta. No período de 2071-2099 o comportamento é um pouco diferente, onde há o predomínio das regiões mais vulneráveis estarem localizadas no Centro-Oeste e Sudeste, grande parte do Nordeste e até mesmo no

Paraná. Em todos os períodos e cenários, o Sudoeste do Amazonas e sua divisa com o Acre aparecem também como sendo uma das regiões mais vulneráveis.

O período intermediário, de 2041-2070, apresenta um abrandamento da vulnerabilidade às Secas em grande parte do país. De modo geral, nota-se que há concentração das áreas mais vulneráveis na faixa que vai de Goiás até o norte do estado do Maranhão e nordeste do Pará, destacando-se também parte do Polígono das Secas. No cenário RCP 8,5 há uma abrangência maior das classes mais altas de vulnerabilidade, onde o Nordeste aparece com alguns incrementos superiores à condição observada no RCP 4,5.

Ao analisar todos os períodos e cenários, as regiões que apresentam os maiores IVDNS são: o sul e sudoeste do Amazonas, juntamente com a porção central do Acre; grande parte do interior de Goiás e uma pequena porção ao leste do Mato Grosso, o nordeste e sudeste do Pará, próximo à divisa com Tocantins, localidades isoladas em Tocantins, o norte do Maranhão, parte do Polígono das Secas que se encontra no leste de Piauí, extremo sul do Ceará e oeste de Pernambuco, e a porção que vai do centro-sul da Bahia, nordeste da Bahia e norte do Espírito Santo. O padrão entre os períodos é o mesmo observado através da análise dos resultados do Eta-HadGEM: levando em consideração todo o território nacional. Já no primeiro período de análise (2011-2040), é possível identificar uma alta vulnerabilidade em diversas regiões, de modo que em 2041-2070 há um abrandamento, seguido de uma nova elevação no final do século, onde a região mais vulnerável é o Centro-Oeste brasileiro. Ao analisar cada período, há poucas alterações de um cenário para o outro, de modo que no cenário RCP 8,5 há uma intensificação, de forma geral, da vulnerabilidade observada no RCP 4,5, mantendo-se os mesmos padrões espaciais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 🐼



Nos últimos anos, o Brasil tem constatado longos períodos de secas e estiagem provocados por modificações no padrão de circulação das massas de ar em mesoescala na América do Sul. Esses eventos têm causado impactos significativos em diferentes regiões do país.

Com a mudança do clima, espera-se que extremos climáticos sejam ainda mais frequentes, além de outras mudanças relacionadas à variabilidade do clima que também impactam os sistemas humanos (IPCC REPORT 2012), tornando-os mais expostos e ainda mais vulneráveis caso novas medidas de adaptação e gestão do risco não forem tomadas.

Como resultado deste trabalho e, segundo as projeções utilizadas para o cálculo do IVDNS, foi possível observar que a Vulnerabilidade aos Desastres Naturais de Seca tende a se elevar por todo o território brasileiro, mesmo que em diferentes níveis, e para todos os períodos futuros (se mantido os padrões socioeconômicos e de governança atuais). As maiores anomalias climáticas já são observadas no primeiro período de análise (2011-2040), trazendo ainda mais urgência para a implementação de medidas de adaptação e políticas públicas de gestão de risco.

Considerando-se que esta publicação apresentou o IVDNS em escala local, vale destacar que existem duas abordagens diferentes para promover o enfrentamento da vulnerabilidade dos municípios brasileiros aos desastres de secas.

A primeira delas é referente à Gestão do Risco aos Desastres. Basicamente, compreende as ações que já atendem os municípios que são afetados por secas severas desde o passado até o período presente e eventualmente aqueles que apresentarem cenários de risco no futuro. Compreendem as ações de monitoramento e alerta, de mapeamento (ex: do avanço do processo de desertificação), de resposta e combate aos efeitos da seca (caminhões pipas, instalação de cisternas, distribuição de sementes de melhor qualidade, etc.) e algumas medidas de prevenção. Esse tipo de abordagem contempla problemas que podem ser resolvidos no curto-prazo e que independem dos efeitos da mudança do clima, embora estas possam acentuar ainda mais o risco existente.

O segundo tipo de abordagem corresponde diretamente à adaptação aos efeitos da mudança do clima. Especificamente neste trabalho, o foco está voltado para as ações de adaptação aos impactos potenciais dos efeitos da mudança do clima que favorecem a

ocorrência de Secas. Embora as ações de Gestão de Risco aos Desastres também sejam consideradas uma forma de adaptação, esta abordagem é mais ampla, pois considera também outros aspectos que vão além da temática dos desastres. No caso das secas, existem várias formas de adaptação, tais como: promover o manejo sustentável do uso da água e do solo; desenvolvimento e implementação de novas tecnologias (ex: para captação de água, manutenção de água no solo, controle de pragas, entre outros); financiamento de projetos sustentáveis; subsídios para acesso a seguros, etc. Outra característica importante dentro da adaptação é o envolvimento e participação das comunidades locais, tanto para a identificação de ações prioritárias, quanto para o entendimento da vulnerabilidade como um todo.

Essa diferenciação de abordagens se faz necessária porque o diagnóstico proveniente da análise do IVDNS permite identificar os pontos chave da vulnerabilidade. Muitas vezes, é identificada a tendência de um aumento na frequência e magnitude de secas meteorológicas, o que demanda diretamente medidas de adaptação e/ou de gestão de risco para minimizar os impactos potenciais. Por outro lado, há também a possibilidade de que em algumas regiões o clima não seja o principal fator determinante da vulnerabilidade aos desastres de Secas, o que sugere a necessidade de outras estratégias de redução da vulnerabilidade que não contemple, necessariamente, medidas de adaptação propriamente ditas.

De forma geral, os resultados deste trabalho indicam que, em praticamente todo o Nordeste, o efeito da mudança do clima não é o principal fator determinante da vulnerabilidade aos desastres de Secas. É consenso que o clima semiárido seja mais propício para situações de baixa disponibilidade de recursos hídricos. Entretanto, existe todo um arranjo socioeconômico e de gestão do uso da água e do solo que intensifica a vulnerabilidade dos municípios nessa região. Além disso, os modelos climáticos utilizados convergem em poucas localidades, o que traz uma alta incerteza para grande parte de seu território. Essas características sugerem, portanto, a necessidade do desenvolvimento socioeconômico de forma sustentável e melhorias nos aspectos de governança.

O Polígono das Secas e parte do interior do Ceará requerem ações prioritárias focadas na redução do risco aos desastres (ex.: melhorias nos sistemas de alertas precoces às secas), que devem ser complementadas por ações subsequentes de combate aos efeitos das secas. No médio prazo, considera-se importante a implementação de medidas de adaptação que

visem o desenvolvimento socioeconômico dos municípios. Nesse sentido, é de suma importância melhorar o acesso à educação básica e superior, bem como aos serviços de saneamento básico e de saúde.

A porção ao norte do Ceará, Piauí, Maranhão e Pará também se destaca como uma das mais vulneráveis aos efeitos da mudança do clima, no que se refere às Secas. Nessas regiões, é provável que a intensificação dos eventos *El Niño* e/ou o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical para o Norte da Linha do Equador sejam as causas da redução da média de precipitação, que ocorre juntamente com o aumento da frequência e magnitude das secas. Por outro lado, a vulnerabilidade dessas localidades também está fortemente relacionada com as fragilidades socioeconômicas e, principalmente, à baixa capacidade de adaptação das populações que ali vivem. No caso mais crítico, o Maranhão, há evidências de novos cenários de risco às secas severas nos próximos anos. Essa tendência é concordante com as ocorrências de secas já observadas nos últimos anos (como a de 2013, 2014 e 2015), considerada como a pior das últimas cinco décadas. Com secas mais frequentes e severas, em um ambiente de baixa capacidade adaptativa, os municípios podem sofrer demasiadamente por repetidas vezes, o que dificultará ainda mais o processo de recuperação e o desenvolvimento socioeconômico. Portanto, é sugerido que ações de gestão e redução do risco sejam ampliadas e intensificadas por toda essa área, visando minimizar os efeitos da mudança do clima em curso. Além disso, a região também deve desenvolver medidas de adaptação para conter os futuros impactos.

A região que se localiza ao nordeste de Minas Gerais, sul da Bahia e norte do Espírito Santo apresenta vulnerabilidade caracterizada parcialmente pelos efeitos da mudança do clima. O contexto socioeconômico favorece o aumento da vulnerabilidade, principalmente no sul da Bahia. O uso do solo e as práticas associadas também são considerados fatores determinantes para a alta vulnerabilidade, os quais coexistem algumas vezes com a alta densidade demográfica e fragilidade dos mananciais utilizados para abastecimento público. Levando em consideração esse cenário e a pequena quantidade de desastres que ocorreram no passado, os resultados sugerem a elaboração de medidas de adaptação que consigam minimizar os impactos potenciais que a mudança do clima pode trazer nos próximos anos. Atenta-se para o fato de alguns municípios possuírem intensa atividade agrícola e,

principalmente, silvicultura, os quais podem ser fortemente impactados pela intensificação das secas se medidas de adaptação não forem tomadas previamente.

O Centro-Oeste brasileiro se caracteriza como uma das regiões de maior vulnerabilidade, sobretudo Goiás e as regiões limítrofes com Mato Grosso e Tocantins. Os modelos utilizados apontam para o mesmo comportamento do clima, o qual tende a ser, de uma forma geral, mais quente e seco, com ocorrência de secas, estiagens e veranicos mais frequentes e severos nas próximas décadas. Pelos índices socioeconômicos fica evidenciado que as populações dos municípios mais críticos podem ser impactadas principalmente por escassez de água para o abastecimento público, pois esta é uma região que ainda apresenta um grande potencial de crescimento populacional. Nesse sentido, recomenda-se que as evidências apresentadas sejam levadas em consideração para o planejamento do desenvolvimento econômico futuro. Além destes aspectos - mais voltados para a população urbana - destaca-se a alta vulnerabilidade do setor agropecuário e, conseqüentemente, de toda a cadeia do agronegócio. Portanto, sugere-se a implementação de medidas de adaptação voltadas para contornar esses dois principais tipos de impactos potenciais (escassez de água para abastecimento urbano e possíveis prejuízos para a agropecuária).

O Sudoeste do Amazonas e divisa com o Acre é uma região com altos valores absolutos do IVDNS. No entanto, no cálculo agregado por município esses valores são “dissolvidos” devido à grande extensão territorial dos municípios. Nesse caso, os resultados desagregados indicam que essa região deve ser considerada uma das regiões prioritárias para as medidas de adaptação. Os resultados das simulações do clima futuro convergem em apontar que essa região será exposta a um clima menos úmido, com maior variabilidade e com secas mais extremas e longas que o normal. Nestes casos, o clima é considerado um dos principais determinantes da vulnerabilidade e deixa explícito que medidas de adaptação precisam ser implementadas. Por outro lado, os aspectos ambientais favorecem para que os impactos potenciais sejam menores, pois essas são regiões preservadas e com abundância de recursos hídricos. Assim, ressalta-se a importância de se manter práticas conservacionistas nessas regiões, para que a vulnerabilidade não seja ainda mais elevada.

Destaca-se também que nessa região existem muitos municípios isolados, os quais estão entre aqueles que apresentam os piores índices de saúde e educação do Brasil. Estes

fatores caracterizam não somente uma alta vulnerabilidade socioeconômica dos municípios quando são atingidos por secas severas, como também refletem sua baixa capacidade de se adaptarem a situações adversas e anômalas, como aquelas impostas pela mudança do clima. Normalmente, as populações mais atingidas são grupos tradicionais vulneráveis, os quais se caracterizam como um dos mais frágeis aos efeitos da mudança do clima. Neste sentido, é preciso que a adaptação seja vista como uma forma de promover o desenvolvimento socioeconômico de forma sustentável nestas localidades, sob o risco de ocorrerem grandes desastres nas próximas décadas.

Para o Sudeste Brasileiro (com a exceção do norte de Minas Gerais) a tendência observada, mesmo que amena, é de aumento de períodos mais secos no futuro. Os efeitos da mudança do clima para o Sudeste parecem ser em menor intensidade que outras regiões, como o Nordeste, Centro-Oeste e parte do Norte. Entretanto, a região é a mais populosa e de maior concentração de capital do país, trazendo consigo outras preocupações, pois estes pequenos incrementos da exposição climática podem configurar em grandes impactos.

Assim, nessa região os maiores problemas estão relacionados com a gestão e uso da água somados à forte degradação ambiental. Com isso, vários municípios, mesmo que pontualmente, já se apresentam altamente vulneráveis às secas por conta de seus mananciais. Muitas vezes, a oferta de água já não é mais suficiente para atender toda a demanda com segurança, pois há grande pressão proveniente do crescimento econômico e populacional. Paralelamente, observa-se o desperdício, a falta de manutenção das redes distribuidoras, poluição dos recursos hídricos em regiões densamente urbanizadas ou industrializadas e, principalmente, o desmatamento e a não recuperação de matas ciliares (zonas ripárias) e de nascentes.

Como a capacidade de adaptação é relativamente alta, há possibilidade desses problemas serem contornados no médio e longo prazos. Para isso, são necessárias melhorias nos aspectos de governança, que não necessariamente precisam tratar os problemas ambientais sob o olhar dos desastres de secas, mas que os utilizem como argumentos para fortalecer uma mudança de paradigma dentro dessas discussões. Sugere-se focar em ações de educação ambiental de forma ampla, além do fomento a projetos de recuperação florestal,

principalmente aqueles vinculados às atividades econômicas que mantenham o protagonismo local.

No Sul do Brasil o contexto observado é bem semelhante ao Sudeste, com a diferença de que em parte do Rio Grande do Sul e do Paraná os efeitos da mudança do clima tendem a ser mais intensos. Além disso, a porção ao oeste apresenta um histórico com muitos registros de desastres envolvendo secas, normalmente vinculados a quebras de safra de culturas temporárias. Neste aspecto, além das considerações feitas para o Sudeste, recomenda-se que haja uma intensificação das ações de gestão e redução de risco voltada para os alertas precoces de secas, como forma de reduzir os impactos na agricultura. Nos municípios mais desenvolvidos e com mais recursos financeiros, há também a possibilidade de se avançar com medidas de adaptação mais robustas, como a implementação de novas tecnologias, onde parcerias entre o setor público e o privado podem servir de modelo para outras regiões.

De uma forma geral, todas as regiões do país necessitam de avanços em direção à adaptação à mudança do clima. Em algumas isso precisa ocorrer de forma mais urgente, mas em nenhuma delas há evidências de que a mudança do clima reduzirá a vulnerabilidade aos desastres de secas no futuro. Sendo assim, cabe uma avaliação cautelosa do material elaborado, como forma de identificar as potencialidades de seus municípios, de suas regiões ou estados para contornar os impactos das secas futuras da forma mais adequada. Espera-se que os direcionamentos aqui apresentados ajudem nesse sentido, e que novos estudos possam complementar as análises de vulnerabilidade no nível regional/local e, assim, subsidiar a adaptação e o desenvolvimento sustentável no país.

LIMITAÇÕES, RECOMENDAÇÕES DE USO DO ESTUDO E SUGESTÕES PARA ETAPAS FUTURAS

Os modelos climáticos utilizados neste trabalho (Eta-MIROC e Eta-HadGEM) apresentam comportamentos diferentes, de modo que cada um representa melhor o clima de uma determinada região e isso pode até mesmo variar para diferentes estações do ano. Desta forma, os resultados finais de vulnerabilidade devem ser analisados com cautela, sendo que a situação ideal é ter conhecimento prévio destas informações⁸. Somente assim será

⁸ Para mais informações recomenda-se a leitura do artigo de CHOU et al. (2014)

possível planejar e adotar as melhores estratégias de adaptação sem causar arrependimento futuro.

Justamente por aquelas diferenças entre os modelos, não é adequado elaborar um índice médio representativo, que incorpore todos os resultados apresentados, sobretudo utilizando apenas dois modelos.

Por mais completo que seja o índice climático, a grande extensão territorial brasileira dificulta a obtenção de resultados que sejam igualmente representativos para todas as regiões do país. Além disso, as dimensões não-climáticas também variam demasiadamente pelo território brasileiro. Ao normalizar os dados para relacioná-los, aspectos e contrastes intra-regionais podem ser mascarados e dificultar a interpretação dos resultados quando olhados apenas para um determinado local. Portanto, para que o índice seja representativo em escalas de maior detalhe, é recomendado que sejam feitas análises específicas, a fim de encontrar níveis de significância diferentes entre as variáveis utilizadas (tanto as climáticas quanto as não climáticas).

Por fim, destaca-se a necessidade de ter uma base de dados que possa avaliar especificamente a vulnerabilidade (principalmente socioeconômica) dos municípios brasileiros à mudança do clima como um todo (não necessariamente relacionada às secas). Os dados censitários conseguem refletir algumas características de interesse, mas ainda assim são aproximações. Desta forma, recomenda-se criar novas métricas/indicadores que possam subsidiar essas discussões e incluí-las em um banco de dados de domínio público. O interesse em informações dessa natureza não é apenas voltado a esse tema, mas pode ser amplamente aproveitado por diversas áreas da ciência e, também, no planejamento estratégico do desenvolvimento do país.

6. REFERÊNCIAS 🐼



ACSELRAD, H.; MELLO, C.C.A. & BEZERRA, G.N. *O que é Justiça Ambiental*. Ed. Garamond Universitária, 2008.

ALMEIDA, L. Q. DE, & PASCOALINO, A. Gestão de risco, desenvolvimento e (meio) ambiente no Brasil-Um estudo de caso sobre os desastres naturais de Santa Catarina. XIII Simpósio Brasileiro, 2009.

ANA, 2013. Agência Nacional das Águas. *Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos*. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/.

ANA, 2015. Agência Nacional das Águas. *Atlas Brasil abastecimento urbano de água*. Panorama Nacional. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%201%20-%20Panorama%20Nacional.pdf>.

BERGER, M. V. S.; SILVA, M. C. da.; SALDANHA, J. C. S. Análise de vulnerabilidade da RPPN Cafundó. In: MORAES, A. C. de; SANTOS, A. R. dos. (Org.). *Geomática e análise ambiental*. Vitória, ES: EDUFES, 2007. p. 32-46.

BETTS, A.K. AND MILLER, M.J. (1986) *A New Convective Adjustment Scheme. Part II: Single Column Tests Using GATE Wave, BOMEX, ATEX and Arctic Air-Mass Data Sets*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 112,693-709.

BLACK, T. L. NMC Notes, 1994: *The New NMC mesoscale Eta model: description and forecast samples*. Weather Forecasting, 9, 256-278, 1994

BLAICKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I.; WISNER, B. (1994): *At Risk: Natural hazards, peoples vulnerability, and disasters*. London: Routledge.

BRASIL, 2008: *Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil*. Organização Pan-Americana da Saúde (Opas), Ministério da Saúde, Série Saúde Ambiental 1. Brasília, DF. 40 pp.

BRASIL, 2014. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Anuário brasileiro de desastres naturais: 2013. Brasília: Cenad, 2014. 106 p.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. 5ª Edição do Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres. file:///C:/Users/63941120034/Dropbox/To%20Do%2013%20set/Mapa%20Secas/glossario.pdf

CARVALHO, C., MACEDO, E., & OGURA, A. *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. Brasília: Ministério das Cidades (1st ed., p. 176). Brasília, DF: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007.

CASTRO, A. *Manual de Planejamento em Defesa Civil - Volume II* (1st ed., Vol. II, p. 73). Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil, 1999a.

_____. *Manual de Planejamento em Defesa Civil - Volume III* (Vol. III, p. 82). Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil, 1999b.

_____. *Manual de Planejamento em Defesa Civil - Volume IV* (Vol. IV, p. 58). Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil, 1999c.

CASTRO, A., CALHEIROS, L. B., & MOURA, A. Z. B. *Manual de Desastres Mistos*. (Vol. III). Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2002.

CASTRO, A. L. C. DE, CALHEIROS, L. B., CUNHA, M. I. R., & BRINGEL, M.L. N. DA C. *Manual de Desastres Naturais* (Vol. I, p.174). Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2003.

CAVALCANTI, I. F. A., V. KOUSKY. *Drought in Brazil During Summer and Fall 2001 and Associated Atmospheric Circulation Feature*, *Climanálise*, 2(1). 1- 10, 2014.

CEPED. *Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010*: volume Brasil / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED). Florianópolis: CEPED UFSC, 2012, p. 94.

CHIKIRA M, SUGIYAMA M (2010) *A cumulus parameterization with state-dependent entrainment rate*. Part I: Description and sensitivity to temperature and humidity profiles. *J. Atmos. Sci.*, 67, 2010, p. 2171–2193.

CHOU, S. C., NUNES, A. M. B., AND CAVALCANTI, I. F. A.: *Extended range forecasts over South America using the regional Eta Model*, *J. Geophys. Res.*, 105, D8, 10 147–10 160, 2000.

CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L. *Evaluation of Eta model seasonal precipitation forecasts over South America. Nonlinear Processes in Geophysics*, v. 12, p. 537-555, 2005

CHOU, S.C. *Modelo Regional Eta. Climanálise*. Vol. 1, Especial Edition, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

CHOU, S.C., BUSTAMANTE, J.F. AND GOMES, J.L. *Evaluation of Eta Model Seasonal Precipitation Forecasts over South America*. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 12, 2005, p. 537-555. <http://dx.doi.org/10.5194/npg-12-537-2005>

CHOU, S.C., MARENGO, J.A., LYRA, A.A., ET AL. *Downscaling of South America Present Climate Driven by 4- Member HadCM3 Runs*. *Climate Dynamics*, 38, 2012, p. 635-653. <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-011-1002-8>

CIRILO, J. A. et al. *A questão da água no semiárido brasileiro*. Bicudo, CE de M; Tundisi, JG, 2010.

COLLINS, W. J., BELLOUIN, N., DOUTRIAUX-BOUCHER, M., GEDNEY, N., HALLORAN, P., HINTON, T., HUGHES, J., JONES, C. D., JOSHI, M., LIDDICOAT, S., MARTIN, G., O'CONNOR, F., RAE, J., SENIOR, C., SITCH, S., TOTTERDELL, I., WILTSHIRE, A., AND WOODWARD, S.: Development and evaluation of an Earth-system model HadGEM2, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 4, 997–1062, doi:10.5194/gmdd-4- 997-2011, 2011.

COX, P., R. BETTS, C. BUNTON, R. ESSERY, P.R. ROWNTREE, and J. SMITH. *The impact of new land surface physics on the GCM simulation of climate and climate sensitivity*. *Climate Dynamics* 15: 1999, p. 183-203.

CUTTER, S.L., BORUFF, B.J. AND SHIRLEY, L.W. *Social vulnerability to environmental hazards*. *Social Science Quarterly*, 84 (2). 2003, p. 242–261.

DAI, A. *Drought under global warming: a review*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 2011, p. 45-65.

DOESKEN NJ, KLEIST J. *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Eighth Conference on Applied Climatology, 1993.

DUNNING, M.C. *Social Vulnerability Analysis Methods for Corps Planning*. Draft report 10/29/09.

EK, M., MITCHELL, K.E., LIN, Y., ROGERS, E., GRUNMANN, P., KOREN, V., GAYNO, G. AND TARPLEY, J.D. *Implementation of Noah Land Surface Model Advances in the National Centers for Environmental Prediction Operational Mesoscale Eta Model*. Journal of Geophysical Research, 108, 8851, 2003. <http://dx.doi.org/10.1029/2002JD003296>

FEARNSIDE, P. A. *Ocupação Humana de Rondônia: Impactos, Limites e Planejamento*. CNPq Relatórios de Pesquisa No. 5, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasília, Brasil, 76 pp. (in Portuguese). 1989.

FEARNSIDE, P.M. *Monitoring needs to transform amazonian forest maintenance into a global warming mitigation option*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2(2-3), 285-302. 1997.

FELS, S.B. AND SCHWARZKOPF, M.D. *The Simplified Exchange Approximation: A New Method for Radiative Transfer Calculations*. Journal of the Atmospheric Sciences, 32, 1975, p. 1475-1488. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1975\)032<1475:TSEAAN>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1975)032<1475:TSEAAN>2.0.CO;2)

FISCHER, I. R.; ALBUQUERQUE, L. *A mulher e a emergência da seca no Nordeste do Brasil*. Trabalhos para discussão, n. 139, Recife, jul., 2008.

GOLDEMBERG, J. *Mudanças climáticas e desenvolvimento*. 2000. ISSN 0103-4014.

GUIMARÃES, S. T. DE L., JUNIOR, S. C., GODOY, M. B. R. B., & TAVARES, A. C. *Gestão de Áreas de Risco e Desastres Ambientais*. (1st ed., 2012, p. 404). Rio Claro: IGCE UNESP.

GUTTMAN NB. *Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index*. Journal of the American Water Resources Association 34:113-121, 1998.

_____. *Accepting the Standardized Precipitation Index: A Calculation Algorithm*. Journal-American Water Resources Association 35:311-322, 1999.

HASUMI H. CCSR Ocean Component Model (COCO), version 4.0. Center for Climate System Research Rep. 25,103 pp., 2006. [Available online at <http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/hasumi/COCO/coco4.pdf>.]

HASUMI H, EMORI S. K-1 coupled model (MIROC) description. K-1 Tech. Rep., 34 pp., 2004. [Available online at <http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/agcmadm/>.]

HECHT, S.B. *The logic of livestock and deforestation in amazonia*. BioScience, 43(10), 687-695. 1993.

HEIM JR., R.R. *A review of twentieth-century drought indices used in the United States*. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8), 1149-1165, 2002.

HÉTU, B. *Uma Geomorfologia socialmente útil: os riscos naturais em evidência*. Revista Mercator. Fortaleza, 2003, p. 83-98.

HLPE. *Water for food security and nutrition*. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome, 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE, C. IPCC. *fourth assessment report climate change 2007*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE, C. IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC (p. 1535) 2013. Retrieved from <http://www.climatechange2013.org/\nhttp://www.ipcc.ch>

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 [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp., 2012.

JANJIĆ, Z.I. *Nonlinear Advection Schemes and Energy Cascade on Semi-Staggered Grids*. Monthly Weather Review, 112, 1984, p. 1234-1245. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1984\)112<1234:NASAEC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1984)112<1234:NASAEC>2.0.CO;2)

JANJIĆ, Z.I. *The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes*. Monthly Weather Review, 122, 1994, p. 927-945. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1994\)122<0927:TSMECM>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1994)122<0927:TSMECM>2.0.CO;2)

KOSTER, R.D., P.A. DIRMEYER, Z.C. GUO, G. BONAN, E. CHAN, P. COX, C.T. GORDON, S. KANAE, E. KOWALCZYK, D. LAWRENCE, P. LIU, C.H. LU, S. MALYSHEV, B. MCAVANEY, K. MITCHELL, D. MOCKO, T. OKI, K. OLESON, A. PITMAN, Y.C. SUD, C.M. TAYLOR, D. VERSEGHY, R. VASIC, Y.K. XUE, AND T. YAMADA. *Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation*. Science, 305, 2004, p. 1138-1140.

KUNDZEWICZ, Z.W., L.J. MATA, N.W. ARNELL, P. DÖLL, P. KABAT, B. JIMÉNEZ, K.A. MILLER, T. OKI, Z. SEN AND I.A. SHIKLOMANOV. *Freshwater resources and their management*. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007, p. 173-210.

LACERDA, N., MARINHO, G., BAHIA, C., QUEIROZ, P., PECCHIO, R.. *Planos diretores municipais: aspectos legais e conceituais*. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, 2011. Disponível em: <<http://anpur.org.br/revista/rbeur/index.php/rbeur/article/view/135>>.

LACIS, A.A. AND HANSEN, J. *A Parameterization for the Absorption of Solar Radiation in the Earth's Atmosphere*. Journal of the Atmospheric Sciences, 31, 1974, p. 118-133. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1974\)031<0118:APFTAO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1974)031<0118:APFTAO>2.0.CO;2)

LI W, FU R, FERNANDES K, JUAREZ RIN. *Observed change of the standardized precipitation index, its potential cause and implications to future climate change in the Amazon region*. Philos Trans R Soc B Biol Sci Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 363:1767–1772, 2008.

LLOYD-HUGHES B, SAUNDERS MA. *A drought climatology for Europe*. Int J Climatol International Journal of Climatology 22:1571–1592, 2002.

MARENGO, J. A. et.al. *Assesment of regional seasonal rainfall predicatbility using the CPTEC/COLA atmospheric GCM*. Climate Dynamics 21:459-475, 2003.

MARENGO, J. A. *Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Caracterização do Clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do sul para o Século XXI derivados dos modelos Globais de Clima IPCC*. CPTEC/INPE. São Paulo, p.185. 2007.

MARENGO, J.A.; SCHAEFFER, R.; PINTO, H.S.; ZEE, D.M.W. *Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil*. Rio de Janeiro: FBDS, 2009.

MARENGO, J.A., CHOU, S.C., KAY, G., ALVES, L.M., PESQUERO, J.F., SOARES, W.R., ET AL. *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, São Francisco and the Parana River Basins*. Climate Dynamics, 38, 1829-1848, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-011-1155-5>

MATOS, A.C., DEREZYNSKI, C.P., CHOU, S.C. AND PALMEIRA, R. *Investigação do comportamento dos ciclones no clima futuro a partir do modelo regional Eta-HadCM3*. Anais do XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Gramado,RS, September, 2012, 1-5.

MCT. *Second National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, 2010.

MESINGER, F. *A Blocking Technique for Representation of Mountains in Atmospheric Models*. Rivista di MeteorologiaAeronautica, 44, 1984, p. 195-202.

MESINGER, F. JANJIC, Z. I., NICKOVIC, S., GAVRILOV, D., E DEAVEN, D. G. *The step-mountain coordinate: model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of an Appalachian redevelopment*. Monthly Weather Review, 116, 1493-1518, 1988.

MESINGER, F., CHOU, S.C., GOMES, J.L., JOVIC, D., BASTOS, P., BUSTAMANTE, J.F., ET AL. *An Upgraded Version of the Eta Model*. Meteorology and Atmospheric Physics, 116, 2012, p. 63-79. <http://dx.doi.org/10.1007/s00703-012-0182-z>

NRC - National Research Council. *Facing Hazards and Disasters: Understanding Human Dimensions*. Committee on Disaster Reduction in the Social Sciences: Future Challenges and Opportunities. National Academy Press, Washington D.C., 2006.

NUMAGUTI A, TAKAHASHI M, NAKAJIMA T, SUMI A. *Description of CCSR/NIES atmospheric general circulation model*. National Institute for Environmental Studies, Center for Global Environmental Research Supercomputer Monograph Rep. 3, 1997, p. 1-48.

PACHAURI, R.K. E A. REISINGER. *Synthesis Report - Fourth Assessment Report*. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p., 2007.

PALMER, WC. *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45. US Weather Bureau: Washington, DC., 1965.

PBMC. *Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas*. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 24 p., 2013. ISBN: 978-85-285-0208-4

PESQUERO, J.F., CHOU, S.C., NOBRE, C.A. AND MARENGO, J.A. *Climate Downscaling over South America for 1961-1970 Using the Eta Model*. Theoretical and Applied Climatology, 99, 2009, p. 75-93. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-009-0123-z>

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). *Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro*. – Brasília: PNUD, Ipea, FJP. 96 p., 2003– (Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013). ISBN: 978-85-7811-171-7. <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/>

REIS, E.J. e S. MARGULIS. *Perspectivas Econômicas do Desflorestamento da amazônia*. Textos para Discussão No. 215, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, Brazil, 47 pp. (in Portuguese). 1991.

RESENDE, N.C., GIAROLLA, A., RODRIGUES, D.C., TAVARES, P. AND CHOU, S.C. *Ocorrência da doença ferrugem-docafé (Hemileia vastatrix) em algumas regiões de São Paulo, baseada nas projeções climáticas do modelo Eta/CPTec(Cenário A1B-IPCC/SRES)*. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Guarapari-ES, July 2011, 1.

RIAH, K., RAO, S., KREY, V., CHO, C., CHIRKOV, V., FISCHER, G. RAFAJ, P. *RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions*. Climatic Change, 109(1-2), 2011, p. 33–57. doi:10.1007/s10584-011-0149-y

ROBERTS, P. *O fim dos alimentos*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. ISBN 9788535232080 8535232087.

RODRIGUES, D.C., TAVARES, P., GIAROLLA, A., CHOU, S.C., RESENDE, N.C. AND DE CAMARGO, M.B.P. *Estimativa da ocorrência de temperatura máxima maior que 34°C durante o florescimento e maturação do cafeeiro baseado no modelo Eta/CPTec 40km (cenário A1B)*. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Guarapari-ES, July 2011, 1.

SAATY, T. H. *A scaling method form priorities in hierarquical structures*. Journal of Mathematical Psychology, v.15, n. 3, p. 234-281, 1997

SALATI, T., W. SCHINDLER, D.C. VICTORIA, E. SALATI, J.C.S. SOUZA, N.A.V. NOVA. *Economia das Mudanças Climáticas no Brasil*. Estimativas da Oferta de Recursos Hídricos no Brasil em Cenários Futuros de Clima. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 80 p, 2008.

SENEVIRATNE, S.I., T. CORTI, E.L. DAVIN, M. HIRSCHI, E. JAEGER, I. LEHNER, B. ORLOWSKY AND A.J. TEULING. *Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review*. Earth Science Reviews, 99(3-4), 2010, p. 125-161.

SPAROVEK, G., BARRETTO, A., KLUG, I., PAPP, L., & LINO, J. *A revisão do Código Florestal brasileiro*. Novos Estudos – CEBRAP, 2011. doi:10.1590/S0101-33002011000100007

TAKATA K, EMORI S, WATANABE T. *Development of the minimal advanced treatments of surface interaction and runoff*. Global Planet. Change, 38, 2003, p. 209–222.

THOMSON, A. M., CALVIN, K. V., SMITH, S. J., KYLE, G. P., VOLKE, A., PATEL, P., ... EDMONDS, J. A. *RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100*. Climatic Change, 109(1-2), 2011, p. 77–94. doi:10.1007/s10584-011-0151-4

THORNTON, C.W. *An Approach toward a Rational Classification of Climate*. Geographical Review. 38:55-94, 1948.

TOMINAGA, L., SANTORO, J., & AMARAL, R. DO. *Desastres naturais: conhecer para prevenir* (1st ed.). São Paulo: Insituto Geológico, 2009.

URBR World Bank. *Entendendo risco Brasil 2012*. (J. Toro & F. F. Pedroso, Eds.) (1st ed., 2012, pp. 1–60). Washington, D.C.

VALENCIO, N.F.L.S. ; MARCHEZINI, V.; SIENA, M. Após o desastre: abrigos temporários como loci de reafirmação da vulnerabilidade dos afetados pelas chuvas. In: *26o Reunião Brasileira de Antropologia*, 2008, Porto Seguro-BA. Disponível em:<http://201.48.149.88/abant/arquivos/6_5_2008_10_8_47.pdf>.

VAN DER VEEN, A., DOPHEIDE, E., PARKER, D., TAPSELL, S., HANDMER, J., GREGG, C., BONADONNA, C., FERRARA, F. *State-of-art on vulnerability of socio-economic systems*. Del. 1.1.3 of the ENSURE EC FP7 Project: Methodologies to assess vulnerability of structural, territorial and economic systems. EC, Brussels, 2009.

VEYRET, I. *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. 2.ed. São Paulo. Contexto. 315p., 2013.

VICENTE-SERRANO SM, BEGUERÍA S, LÓPEZ-MORENO JI. *A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index*. Journal of Climate 23:1696–1718, 2010. doi: 10.1175/2009JCLI2909.1

WATANABE M, EMORI S, SATOH M, MIURA H. *A PDF based hybrid prognostic cloud scheme for general circulation models*. ClimateDyn., 33, 795–816, 2009. doi:10.1007/s00382-008-0489-0.

WORLD, B. *World development report 2010: Development and climate change*. Washington, DC: World Bank, 2010. ISBN 9780821379875.

WU H, HAYES MJ, WILHITE DA, SVOBODA MD. *The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation*. International Journal of Climatology 25:505–520, 2005.

WWF. *Planeta Vivo Relatório 2010: Biodiversidade, biocapacidade e desenvolvimento*. WWF, 2010.

ZHAO, Q., BLACK, T.L. AND BALDWIN, M.E. *Implementation of the Cloud Prediction Scheme in the Eta Model at NCEP*. Weather and Forecasting, 12, 1997, p. 697-712. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0434\(1997\)012<0697:IOTCPS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0434(1997)012<0697:IOTCPS>2.0.CO;2)

ESTA PUBLICAÇÃO
FOI PRODUZIDA
EM PARCERIA COM

MINISTÉRIO DA
INTEGRAÇÃO NACIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE



ESTUDO

2017

BR

CENTRO-OESTE

é uma das regiões de maior vulnerabilidade. O clima tende a ser mais quente e seco, com ocorrência de secas mais frequentes e severas nas próximas décadas.

12 MILHÕES

é o número aproximado de pessoas afetadas pela seca em 2013.



AUMENTO DA VULNERABILIDADE

aos desastres naturais da seca tende a acontecer em todo território brasileiro.

71%

dos municípios afetados por desastres em 2013 foram por seca/estiagem.



Por que estamos aqui?

Para frear a degradação do meio ambiente e para construir um futuro no qual os seres humanos vivam em harmonia com a natureza.

wwf.org.br