



---

**Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)**  
**Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN)**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais (PPGEGRN)**

**Área de Concentração:** Engenharia de Recursos Naturais  
**Linha de pesquisa:** Recursos hídricos

YÁSCARA MAIA ARAÚJO DE BRITO

**ABORDAGEM CUMULATIVA E PLURIANUAL DAS SECAS NO NORDESTE  
BRASILEIRO: PROPOSTA METODOLÓGICA DE GESTÃO PROATIVA**

Campina Grande-PB

2021

YÁSCARA MAIA ARAÚJO DE BRITO

**ABORDAGEM CUMULATIVA E PLURIANUAL DAS SECAS NO NORDESTE  
BRASILEIRO: PROPOSTA METODOLÓGICA DE GESTÃO PROATIVA**

Tese apresentada ao Programa Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, pertencente à linha de pesquisa Recursos Hídricos e área de concentração Engenharia de Recursos Naturais como requisito para obtenção do Título de Doutora em Engenharia de Recursos Naturais.

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Iana Alexandra Alves Rufino

**Coorientadora:** Prof.<sup>a</sup> Cybelle Frazão Costa Braga

Campina Grande-PB

2021

B862a Brito, Yáscara Maia Araújo de.  
Abordagem cumulativa e plurianual das secas no Nordeste Brasileiro: proposta metodológica de gestão proativa / Yáscara Maia Araújo de Brito. – Campina Grande, 2021.  
122 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.  
"Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Iana Alexandra Alves Rufino;  
Coorientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cybelle Frazão Costa Braga".  
Referências.

1. SIG. 2. Análises Espaciais. 3. Abordagem Espacial Cumulativa. 4. Monitoramento de Secas. 5. Medidas de Gestão. I. Barbosa, Maria de Fátima Nóbrega. II. Título.

CDU 551.577.38-047.36(812/813)(043)

YÁSCARA MAIA ARAÚJO DE BRITO

**“ABORDAGEM CUMULATIVA E PLURIANUAL DAS SECAS NO NORDESTE  
BRASILEIRO: PROPOSTA METODOLÓGICA DE GESTÃO PROATIVA”**

Aprovada em: 31/08/2021

Banca Examinadora

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Iana Alexandra Alves Rufino  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Cybelle Frazão Costa Braga  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

---

Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

---

Prof. Dr. Rafael Albuquerque Xavier  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Mirella Leôncio Motta e Costa  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maiara Gabrielle de Souza Melo  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
POS-GRADUACAO EM RECURSOS NATURAIS  
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

**ATA DE DEFESA DE TESE**

Ata da décima quarta sessão pública de Defesa de **Tese** do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Ao trigésimo dia do mês de agosto de 2021, às **14:00 horas, por meio de videoconferência** reuniu-se na forma e Termos do Art. 62 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação “Stricto Sensu” da UFCG e do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Resolução 02/2019 do Colegiado Pleno do Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão – CONSEPE/UFCG, a Banca Examinadora composta pelos professores/pesquisadores Prof.(a) Dr.(a) **IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO/UFCG**, como orientador(a) principal; Prof.(a) Dr.(a) **CYBELLE FRAZÃO COSTA BRAGA/IFPB**, como segundo orientador(a); Prof.(a.) Dr.(a.) **Vera Lúcia Antunes de Lima/UFCG** como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a.) **Carlos Antônio Costa dos Santos/UFCG** como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a) **Rafael Albuquerque Xavier/UEPB**, como membro externo; Prof.(a.) Dr.(a) **Mirella Leôncio Motta e Costa/IFPB**, como membro externo; Prof.(a.) Dr.(a) **Maiara Gabrielle de Souza Melo/IFPB**, como membro externo, a qual foi constituída pela Portaria **PPGEGRN 24/2021** da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, juntamente com Sr(a) **Yáscara Maia Araújo de Brito**, candidato(a) ao Grau de **Doutora** em Recursos Naturais. Abertos os trabalhos, o(a) Senhor (a) Presidente da Banca Examinadora, Prof.(a.) Dr.(a). **IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO**, anunciou que a sessão tinha a finalidade de julgamento da apresentação e de defesa da Tese, sob o título: **“ABORDAGEM CUMULATIVA E PLURIANUAL DAS SECAS NO NORDESTE BRASILEIRO: PROPOSTA METODOLÓGICA DE GESTÃO PROATIVA.”** Área de Concentração: Engenharia de Recursos Hídricos, orientada pelas Professoras Dra. **IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO** e Dra. **CYBELLE FRAZÃO COSTA BRAGA/IFPB**. O(A) presidente concedeu à palavra o(a) candidato(a) para, no prazo de tempo estipulado, efetuar a apresentação de seu trabalho. Concluída a exposição do(a) candidato(a), o(a) Presidente iniciou a segunda etapa do processo de defesa passando a palavra a cada membro da Banca Examinadora para as devidas considerações, correções e arguição do(a) candidato(a). Em seguida, a Banca Examinadora solicitou a saída dos presentes para, em sessão secreta, avaliar a apresentação e defesa. Após chegar a uma decisão final, a Banca Examinadora solicitou o retorno da Assembléia e anunciou, de conformidade com o que estabelece o Art. 57 do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, o Conceito **APROVADO**, o qual será atribuído após o(a) candidato(a), no prazo máximo de 60 (sessenta) dias, efetuar as correções e modificações sugeridas e aprovadas pela Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar pelo Coordenador, pelo candidato e pelos membros da Banca Examinadora.

Campina Grande, 31 de agosto de 2021.

Assinaturas:

Coordenadora do PPGEGRN \_\_\_\_\_

Candidato(a) \_\_\_\_\_

Presidente \_\_\_\_\_

Examinador CFBraga \_\_\_\_\_

Examinador \_\_\_\_\_

Examinador \_\_\_\_\_

Examinador Maiara Melo \_\_\_\_\_



Documento assinado eletronicamente por **IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/09/2021, às 00:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/09/2021, às 07:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mirella Leôncio Motta e Costa, Usuário Externo**, em 06/09/2021, às 17:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **YASCARA MAIA ARAUJO DE BRITO, Usuário Externo**, em 07/09/2021, às 09:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RAFAEL ALBUQUERQUE XAVIER, Usuário Externo**, em 08/09/2021, às 17:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/09/2021, às 11:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1741996** e o código CRC **0F8F330E**.

*“Se aprendesse qualquer coisa, necessitaria aprender mais, e nunca ficaria satisfeito”.*

(Graciliano Ramos - Vidas Secas)

**Dedico**

*À minha mãe, Ana Lúcia Araújo de Brito e ao meu pai, Carrilho Maia de Brito, por todo amor e incentivo para que eu chegasse até aqui.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por sempre guiar os meus passos nas escolhas realizadas e por toda a evolução conquistada nos caminhos trilhados.

Aos meus pais, Ana Lúcia de Araújo e Carrilho Maia, e a minha irmã Morgana por todo apoio e incentivo em toda a minha trajetória de vida, por todo amor, dedicação e por sempre acreditarem e apoiarem as minhas escolhas.

Às minhas orientadoras, as professoras Iana Alexandra Alves Rufino e Cybelle Frazão Costa Braga, por toda a compreensão, apoio e por sempre nortearem o desenvolvimento da tese, em especial nos momentos em que eu não sabia mais como prosseguir.

Aos membros da banca examinadora pela dedicação de tempo e atenção em ler o trabalho e por apontar grandes contribuições que permitiram o aprimoramento do estudo.

A todos os professores e amigos que me acompanharam nessa caminhada, que torceram e me ajudaram a chegar até aqui.

Ao Projeto “MCTI/CNPq Nº 19/2017 – Nexus I: Pesquisa e Desenvolvimento em Ações Integradas e Sustentáveis para a Garantia da Segurança Hídrica, Energética e Alimentar nos Biomas Caatinga e Cerrado” pela oportunidade de contribuir com os estudos desenvolvidos com este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa.

Enfim, só tenho gratidão ao universo pela minha trajetória e por todas as experiências vividas. Cada pessoa que passou contribuiu para uma evolução pessoal e profissional.

## APRESENTAÇÃO

Esta tese foi desenvolvida ao longo de 4 anos e meio de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais (PPGEGRN), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como parte das exigências para obtenção do título de doutora na área de concentração de Recursos Hídricos.

Cresci no pequeno município de São Fernando, Rio Grande do Norte, mudando para Campina Grande em 2010, para iniciar a graduação em Engenharia Civil (2014) na UFCG e, posteriormente, mestrado (2015-2017) em Engenharia Civil e Ambiental, na mesma instituição, onde desenvolvi uma dissertação intitulada “Níveis de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos: Um comparativo entre a bacia do rio São Francisco e a bacia do rio Salitre-BA”.

Ao longo do mestrado, aprofundi meus conhecimentos na temática da gestão de recursos hídricos, até que veio o doutorado, com início em 2017. Nesse contexto, tive a satisfação de estudar o fenômeno das secas na Região Nordeste Brasileira, principalmente no que se refere à escassez hídrica atrelada ao abastecimento humano e às atividades agropecuárias.

O estudo buscou sua relevância ao tratar de maneira inovadora sobre a proposta de uma metodologia que permitisse a avaliação cumulativa e integrada de secas e impactos para diretrizes de gestão proativa. Tema sempre atual devido ao contexto. Atende a demanda social por se propor a trazer medidas de gestão proativa para auxiliar na tratativa do problema da gestão de secas, com foco nas mais diversas escalas geográficas, desde a escala micro (local) – municipal, até uma escala macro – através da região Nordeste brasileira.

Toda o desenvolvimento da tese buscou respaldo em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), sobretudo com o uso do software *ArcGIS*. As geotecnologias estiveram diretamente relacionadas a todas as etapas de desenvolvimento do estudo, o que permitiu o desenvolvimento de um documento final com diretrizes que podem contribuir com os tomadores de decisão responsáveis pela gestão desse tipo de evento extremo.

## RESUMO

As secas atingem regiões em todo o planeta e seus efeitos podem impactar o meio ambiente, a sociedade e a economia. O fenômeno vem se intensificando devido às mudanças climáticas que associadas a uma gestão reativa e vulnerabilidade das áreas, tornam a convivência com as secas um desafio ainda maior, fato que acontece na região Nordeste Brasileira (NEB). Diante disso, a tese objetiva verificar quais áreas do NEB registraram seca plurianual cumulativa grave, extrema e excepcional, para o período que se estende de julho/ 2014 a junho/2019, e determinar os municípios mais impactados do ponto de vista do abastecimento de água e das atividades agropecuárias. Por fim, são propostas medidas proativas que possibilitem a preparação e a gestão antes, durante e após a ocorrência do evento. Para esse fim, a metodologia divide-se em quatro etapas que consistem na espacialização das secas e dos respectivos impactos associados, sob uma perspectiva plurianual cumulativa, além de pautar a gestão em um ciclo proativo que permita a convivência com o fenômeno. Os resultados revelam que entre julho/ 2014 e junho/ 2019, mais de 75% da NEB registrou seca excepcional por, pelo menos, 1 (um) mês ao longo dos 5 (cinco) anos analisados e que todo o Nordeste registrou seca grave por, no mínimo, 5 meses. Esse cenário apontou impactos no abastecimento hídrico, que resultaram em colapso nos sistemas de abastecimento e em perdas agropecuárias acentuadas. Ressalta-se que 99,0%, dentre os 1.794 municípios o que compõem o NEB, tiveram seus rebanhos, suas culturas ou o abastecimento humano comprometidos, com decretos de situação de emergência ou medidas de racionamento. Apesar da recorrência dos fenômenos de seca na região, as políticas de gestão ainda são reativas e apontam soluções emergenciais. A análise cumulativa plurianual forneceu respaldo para a formulação de um sistema de monitoramento do desastre em multiescala, determinando áreas prioritárias vulneráveis que são negligenciadas pelo governo. Essa abordagem também apontou medidas proativas para a gestão das secas, em substituição a uma gestão reativa que atua após a ocorrência do fenômeno.

**Palavras-chave:** SIG. Análises espaciais. Abordagem espacial cumulativa. Monitoramento de secas. Medidas de gestão.

## ABSTRACT

Droughts affect regions across the planet, and their effects can impact the environment, society, and the economy. The phenomenon has been intensifying due to climate change that, associated with reactive management and vulnerability of the areas, makes living with drought an even more significant challenge, which happens in the Northeast region of Brazil (NEB). Therefore, the thesis aims to verify which NEB areas recorded severe, extreme, and exceptional cumulative multi-year drought from July/2014 to June/2019 and determine the most impacted municipalities from the point of view of water supply and agricultural activities. Finally, proactive measures are proposed to enable preparation and management before, during, and after the event. To this end, the methodology is divided into four stages: the spatialization of droughts and their associated impacts, under a cumulative multi-year perspective, and guiding management in a proactive cycle that allows for coexistence with the phenomenon. The results reveal that between July/ 2014 and June/ 2019, more than 75% of the NEB registered exceptional drought for at least 1 (one) month over the 5 (five) years analyzed and that the entire Northeast registered severe drought for, at least 5 months. This scenario pointed to impacts on the water supply, which resulted in a collapse of the supply systems and accentuated agricultural losses. Notably, 99.0%, among the 1,794 municipalities that make up the NEB, had their herds, cultures, or human supply compromised, with emergency decrees or rationing measures. Despite the recurrence of drought phenomena in the region, management policies are still reactive and point to emergency solutions. The multi-year cumulative analysis provided support for formulating a multi-scale disaster monitoring system, determining vulnerable priority areas that the government neglects. This approach also pointed to proactive measures for managing droughts, replacing reactive management that acts after the phenomenon's occurrence.

**Keywords:** GIS. Spatial analysis. Cumulative spatial approach. Drought monitoring. Management measures.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Histórico de secas no Nordeste do Brasil.....	28
<b>Figura 2</b> - Linha do tempo que demonstra a criação de órgãos relevantes para a gestão das secas. ....	29
<b>Figura 3</b> - Componentes da seca que associa o evento natural aos fatores sociais. ....	33
<b>Figura 4</b> – Os tipos de seca e os efeitos esperados à medida que o fenômeno avança ao longo do tempo. ....	34
<b>Figura 5</b> – O ciclo hidro-ilógico de secas e suas etapas.....	39
<b>Figura 6</b> – Ciclo de gestão de secas que se divide em gestão de risco e gestão de crise.....	40
<b>Figura 7</b> - Pilares para uma abordagem proativa de preparação para secas e seus respectivos campos de ação. ....	41
<b>Figura 8</b> - Interface do portal Olho N'água.....	45
<b>Figura 9</b> – Acompanhamento do volume de água armazenado no reservatório Epitácio Pessoa (PB) entre os anos de 2017 e 2021.....	47
<b>Figura 10</b> – Interface do S2iD com exemplo para o município de Ouricuri-PE....	50
<b>Figura 11</b> - Localização da Região Nordeste Brasileira com identificação dos municípios, estados e delimitação do Semiárido.....	57
<b>Figura 12</b> - PIB para a região Nordeste Brasileira por setor produtivo .....	60
<b>Figura 13</b> – Enumeração das três etapas metodológicas percorridas para traçar o panorama da seca plurianual 2012 – 2018, no Semiárido Brasileiro, com a citação da respectiva fonte de obtenção dos dados.....	62
<b>Figura 14</b> – Estrutura metodológica utilizada para a abordagem cumulativa de secas no Nordeste Brasileiro.....	66
<b>Figura 15</b> – Caminho metodológico para avaliar a Incidência Cumulativa de Impactos.....	70
<b>Figura 16</b> – Etapa metodológica que ilustra a integração entre os mapas cumulativos de secas e de impactos e a respectiva proposição de medidas de mitigação.....	73
<b>Figura 17</b> – Gráfico de áreas tabulares do Monitor de Secas para o Semiárido Brasileiro. ....	76

<b>Figura 18</b> - Evolução do volume de água armazenado nas regiões semiáridas dos estados brasileiros do Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE) e Bahia (BA), entre o período de janeiro/2012 e maio/2020 ...	77
<b>Figura 19</b> - Espacialização de informações da Pesquisa de Informações Básicas Municipais referente às medidas adotadas para lidar com a seca entre 2013 e 2016: A) construção de cisternas; B) perfuração de poços; C) distribuição de água por meio de carros-pipa; D) existência de plano para convivência com a seca .....	80
<b>Figura 20</b> - Mapa do Monitor de Secas do Brasil referente ao mês de junho/2021. ....	82
<b>Figura 21</b> - Gráfico de área referente aos dados tabulares de seca do MSB .....	83
<b>Figura 22</b> - Os mapas são resultantes da abordagem de seca cumulativa para o NEB. Da intensidade mais baixa à mais alta estão: (A) seca severa, (B) seca extrema e (C) seca excepcional .....	85
<b>Figura 23</b> – 10 localidades selecionadas para compreensão da evolução espaço-temporal da seca no Nordeste Brasileiro. ....	88
<b>Figura 24</b> - A trajetória dos 10 pixels selecionados na área de estudo para análise de seca de uma perspectiva temporal.....	89
<b>Figura 25</b> - Perdas anuais agropecuárias para o Nordeste Brasileiro entre os anos não secos de 2006 a 2011. A) Perdas nas lavouras temporárias; B) Perdas no efetivo dos rebanhos bovinos.....	92
<b>Figura 26</b> – Impactos da seca 2014-2018 avaliados segundo os indicadores: A) Perdas nas lavouras temporárias; B) Perdas no rebanho bovino; C) Decretos de Situação de Emergência; D) Racionamento de maior duração.....	94
<b>Figura 27</b> – Somatório total de impactos para os municípios da região Nordeste Brasileira subdividido em classes. O Cenário I apresenta pesos iguais para os 4 indicadores e o Cenário II peso maior para o indicador de frequência de racionamento.....	97
<b>Figura 28</b> – Suscetibilidade às secas e seus impactos determinada a partir da abordagem cumulativa de secas e de impactos para: A) seca grave e impactos com pesos iguais; B) seca extrema e impactos com pesos iguais; C) seca excepcional e impactos com pesos iguais; D) seca grave e impactos com pesos diferentes; E) seca extrema e impactos com pesos diferentes; F) seca excepcional e impactos com pesos diferentes. ....	100

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Classificação das secas como o de maior gravidade dentre 31 eventos de riscos analisados.....	37
<b>Quadro 2</b> – Os impactos associados ao abastecimento de água e atividades agrícolas para as categorias de seca do Monitor.....	43
<b>Quadro 3</b> – Caracterização e descrição de todos as bases de dados utilizadas ao longo da tese.....	53
<b>Quadro 4</b> - Classificação da pesquisa científica desenvolvida na tese. ....	55
<b>Quadro 5</b> - Informações demográficas e socioeconômicas dos Estados Nordestinos .....	59
<b>Quadro 6</b> - Seleção dos indicadores de impactos analisados com base nos possíveis impactos esperados pelo MSB.....	68
<b>Quadro 7</b> - Proposição de medidas proativas para conviver com as secas recorrentes existentes na região Nordeste brasileira. ....	104

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Caracterização do sistema de reservatórios superficiais acompanhados pelo Sistema de Acompanhamento de Reservatórios da ANA .....	58
<b>Tabela 2</b> - Percentuais que indicam se houve aumento ou redução na área colhida de lavouras temporárias e permanentes para os Semiáridos dos Estados Brasileiros .....	79
<b>Tabela 3</b> - Resumo do número de municípios em cada tipo de seca e seus percentuais de área com base na abordagem cumulativa .....	87
<b>Tabela 4</b> - Percentuais de área da região Nordeste distribuídos para cada tipo de suscetibilidade.....	101

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACS	Abordagem Cumulativa de Secas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
ASA	Articulação no Semiárido Brasileiro
BNB	Banco do Nordeste do Brasil
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CNM	Confederação Nacional dos Municípios
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CONAGUA	Comissão Nacional de Águas do México
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
GWP	Global Water Partnership
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICI	Incidência Cumulativa de Impactos
IFOCS	Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas
INEMA	Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
IOCS	Inspetoria de Obras Contra as Secas
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ISH	Índice de Segurança Hídrica
MI	Ministério da Integração
MSB	Monitor de Secas do Brasil
MSM	Monitor de Secas do México
MUNIC	Pesquisa de Informações Básicas Municipais
NDMC	National Drought Mitigation Center
NEB	Nordeste Brasileiro
P1+2	Programa Uma Terra e Duas Águas
P1MC	Programa Um Milhão De Cisternas

PAM	Produção Agrícola Municipal
PDSI	Palmer Drought Severity Index
PGS	Política de Gestão de Secas
PIB	Produto Interno Bruto
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PPM	Pesquisa da Pecuária Municipal
S2iD	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
SAB	Semiárido Brasileiro
SAR	Sistema de Acompanhamento de Reservatórios
SE	Situação de Emergência
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SPEI	Índice de Evapotranspiração Padronizado por Precipitação
SPI	Índice de Precipitação Padronizado
SRI	Índice de Escoamento Padronizado
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
USDM	United States Drought Monitor

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
1.1	Contextualização do problema .....	19
1.2	Justificativa .....	22
1.3	Objetivos.....	23
1.4	Estruturação da tese.....	24
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>26</b>
2.1	<b>Secas</b> .....	<b>26</b>
2.1.1	<i>Histórico de Secas no Nordeste do Brasil</i> .....	26
2.1.2	<i>Tipos de secas</i> .....	31
2.1.3	<i>Impactos Resultantes das Secas</i> .....	34
2.2	<b>Gestão das secas</b> .....	<b>38</b>
2.3	<b>Disponibilidade de dados e tomada de decisões</b> .....	<b>42</b>
2.3.1	<i>Monitor de Secas do Brasil (MSB)</i> .....	42
2.3.2	<i>Olho N'água e Sistema de Acompanhamento de Reservatórios</i> .....	45
2.3.3	<i>Pesquisas do IBGE</i> .....	48
2.3.4	<i>Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2iD</i> .....	49
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>52</b>
3.1	<b>Classificação da pesquisa científica</b> .....	<b>54</b>
3.2	<b>Área de estudo</b> .....	<b>56</b>
3.3	<b>Caracterização da seca plurianual 2012 – 2018 e seus impactos</b> .....	<b>61</b>
3.4	<b>Abordagem cumulativa de secas</b> .....	<b>64</b>
3.5	<b>Abordagem cumulativa de impactos</b> .....	<b>67</b>
3.6	<b>Proposição de medidas de gestão proativa da seca</b> .....	<b>72</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>76</b>
4.1	<b>Panorama da seca plurianual 2012 - 2018 no SAB: impactos hidrológicos e agrícolas</b> .....	<b>76</b>
4.2	<b>Monitoramento da seca no Brasil em perspectiva plurianual</b> .....	<b>82</b>
4.3	<b>Possíveis impactos plurianuais da seca no Nordeste brasileiro</b> .....	<b>91</b>
4.4	<b>Suscetibilidade aos impactos da seca e proposição de medidas</b> ....	<b>98</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>108</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>112</b>

---

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização do problema

As secas, a partir de uma definição operacional, consistem em desequilíbrios hídricos naturais, temporários e recorrentes que se estendem pelo período mínimo de uma estação. Originam-se de déficits de chuva, entretanto características como severidade, frequência e duração variam de um evento para outro. Esse fenômeno está relacionado a parâmetros como temperatura, precipitação, umidade do ar e do solo e ocorre em áreas com os mais variados índices pluviométricos. Seus impactos são desfavoráveis aos aspectos ambientais, sociais e econômicos da sociedade e podem perdurar por um longo período após o final do evento (WILHITE, 2000; MISHRA; SINGH, 2010; BRITO *et al.*, 2018).

Nas regiões áridas e semiáridas do mundo, em especial na Região Nordeste Brasileira (NEB), que tem 72,7% de seu território definido como semiárido, a oferta de água é limitada. O abastecimento humano e a oferta de água para os usos múltiplos ocorrem, predominantemente, por meio de uma extensa rede de reservatórios superficiais construídos ao longo das bacias hidrográficas. A região tem características que agravam os eventos de seca que são: a irregularidade das chuvas, precipitações abaixo de 800 mm ao ano, altas taxas de escoamento devido aos solos rasos e cristalinos, os quais causam a intermitência da maior parte dos rios, além de taxas de evaporação que excedem 2.000 mm por ano (MAGALHÃES, 2016; LINDOSO *et al.*, 2018).

Além desses fatores, os dilemas são acentuados pela grande população residente, que constitui a maior das regiões semiáridas do mundo, o que pressiona ainda mais os recursos limitados. As populações são mais vulneráveis aos eventos de seca no NEB, sobretudo aquelas que vivem em áreas rurais e dependem da agricultura familiar, sendo estas primeiras afetadas quando surgem as secas. Há registros de perdas na produção agrícola, pecuária e redução de empregos, o que culmina em uma crise social causada pela insegurança hídrica e alimentar dessas áreas (LINDOSO *et al.*, 2018; MAGALHÃES; MAGALHÃES, 2019).

A insegurança hídrica, alimentar e energética, que estão intrinsecamente relacionadas, constituem um dos maiores problemas globais existentes e que afetam, sobretudo, as regiões áridas e semiáridas por todo o mundo. A intensificação das secas, não apenas no Brasil, evidencia a necessidade de políticas proativas de gestão que busquem aumentar a resiliência das áreas atingidas, com a implementação de medidas adaptativas que reduzam as vulnerabilidades e os riscos e aumentem a capacidade adaptativa dessa população (MARENGO, 2008; GUTIÉRREZ *et al.*, 2014; MISRA, 2014; KASECKER *et al.*, 2018; SUN *et al.*, 2018).

O fenômeno da seca caracteriza-se como um desastre quando causa impactos sociais, econômicos e ambientais. Isso ocorre em grande intensidade quando atinge áreas de alta densidade populacional e nas quais a gestão funciona de maneira reativa (ALVALÁ *et al.*, 2019). Os impactos decorrentes da seca estão diretamente relacionados à vulnerabilidade da sociedade ao evento (CUNHA *et al.*, 2019). Porém, de acordo com Wilhite (2000), a vulnerabilidade diminui quando a gestão proativa entra em cena e, dessa forma, há planejamento para eventos extremos futuros.

Wilhite (2000, p.15) afirma que “embora a seca seja um perigo natural, o termo gestão da seca implica que a intervenção humana pode reduzir a vulnerabilidade e os impactos”. Essa redução de vulnerabilidade ocorre quando a gestão é pautada em uma gestão de risco. O IPCC (2021) define gestão proativa, também chamada de gestão de riscos, como “planos, ações, estratégias ou políticas para reduzir a probabilidade e/ ou magnitude das consequências potenciais adversas, com base nos riscos avaliados ou percebidos”.

A gestão de secas é baseada em três pilares de preparação, de acordo com Wilhite *et al.* (2005), a saber: i. monitoramento e previsão/alerta precoce; ii. vulnerabilidade/resiliência e avaliação de impacto; iii. planejamento, mitigação e medidas de resposta. O monitoramento e previsão de secas são imprescindíveis para subsidiar a proposição de ações proativas, quando o fenômeno ainda está no início de sua ocorrência. Dessa forma, há um aumento da capacidade adaptativa contra os efeitos adversos decorrentes do fenômeno (PONTES FILHO *et al.*, 2019).

O Brasil, entretanto, adota uma gestão reativa para lidar com as frequentes secas que afetam principalmente a região Nordeste do país. Também chamada de gestão de crises, consiste em “uma série de ações subsequentes a um desastre,

incluindo uma avaliação de seus impactos e ações de resposta, recuperação e reconstrução para restaurar o local ou região afetada ao estado pré-desastre” (NYS; ENGLE; QUINTANA, 2016, p. 52). Esse paradigma, estruturado na gestão de crises, começa a mudar gradativamente com a implementação da plataforma Monitor de Secas do Brasil<sup>1</sup> (MSB). O MSB fornece um acompanhamento regular e periódico (mensal) da intensidade, severidade e extensão espacial da seca, elaborado a partir de uma série de índices de seca. A plataforma foi desenvolvida com base no Monitor de Secas dos Estados Unidos<sup>2</sup> (USDM) e no Monitor de Secas do México<sup>3</sup> (MSM) (MARTINS *et al.*, 2015).

O monitoramento de secas pode ser feito de várias maneiras, usando diferentes tipos de dados, índices e análises de mapeamento, incluindo séries temporais meteorológicas e dados de satélite. Cada método tem seus delineamentos e custos específicos. O Monitor de Secas consiste em uma dessas formas e seu diferencial, em relação aos outros processos, é a validação participativa. Essa metodologia conta com a aprovação de validadores, que são voluntários que vivem e trabalham nas regiões afetadas pela seca (MARTINS *et al.*, 2015; 2016; ZERI *et al.*, 2018).

Diante do exposto, a tese tem como principal motivação propor uma metodologia de análise cumulativa e integrada de secas e impactos, a partir das tipologias mais severas apontadas pelo MSB, que são: seca grave, seca extrema e seca excepcional. Para isso, aplica-se o estudo ao Nordeste Brasileiro, através de um recorte temporal que se estende de 2014 a 2019. Esse período em análise corresponde a um intervalo da seca mais significativa já registrada na região. Como resultado, a análise espacial cruzada e cumulativa determina quais são as áreas e municípios mantidos sob níveis de seca mais intensa e mais impactados dentro do intervalo de investigação.

Por conseguinte, foram selecionados indicadores que possibilitaram averiguar os impactos oriundos das secas, para o abastecimento humano e para as atividades agrícolas e pecuárias. A seleção dessas variáveis teve como base os possíveis impactos atrelados aos diferentes tipos de seca abordados pelo MSB. Por fim, foram

---

<sup>1</sup> Link para o Monitor de Secas do Brasil: <http://monitordesecas.ana.gov.br/>

<sup>2</sup> Link para o Monitor de Secas dos Estados Unidos: <https://droughtmonitor.unl.edu/>

<sup>3</sup> Link para o Monitor de Secas do México: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

apontadas medidas de gestão proativa que auxiliassem os gestores públicos na tomada de decisão, traçando providências estratégicas e táticas necessárias para lidar com futuros eventos de seca de mesma intensidade e duração deste último relatado ou mesmo de menor severidade.

## **1.2 Justificativa**

O problema central de pesquisa investigado foi: “É possível analisar as secas plurianuais de forma cumulativa e integrada aos seus possíveis impactos, a fim de determinar quais áreas da região Nordeste são mais suscetíveis a ocorrência desse fenômeno?” As hipóteses para a resposta a este problema podem ser de afirmação ou negação. A fim de atestar a presunção em análise, foram utilizadas informações provenientes de plataformas que subsidiam a tomada de decisões ou que deveriam ter essa finalidade.

Embora existam diferentes metodologias que permitam analisar a seca e a sua evolução espacial, a Abordagem Cumulativa de Secas (ACS) é inovadora, pois, possibilita examinar uma série de dados através de um único produto formulado, e tem uma entrada de informações ao modelo que pode obedecer a qualquer escala de frequência temporal, seja diária, semanal, mensal. Além disso, a ACS estabelece áreas prioritárias para ação dos gestores, uma vez que aponta quais são as regiões com secas mais recorrentes e mais intensas.

Os possíveis impactos associados a seca também foram abordados da mesma forma, através da metodologia de Incidência Cumulativa de Impactos (ICI). Para realizar a aplicação dessa proposta, foram selecionados indicadores referentes ao abastecimento humano e as atividades agropecuárias. Ao fim, os dois produtos, o de secas e o de impactos, foram incorporados e assim puderam apontar áreas de maior suscetibilidade na região Nordeste brasileira aos efeitos do fenômeno natural em estudo.

Outra especificidade da tese, além da proposição de novas metodologias, foi a grande disponibilidade de bases de dados utilizada. O uso de portais de informações secundárias disponíveis à sociedade, como o Monitor de Secas do Brasil, o Olho

N'água<sup>4</sup> ou o Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR)<sup>5</sup>, as pesquisas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD)<sup>6</sup>, objetivou a utilização de bancos de dados densos e de fácil acesso para o cruzamento de informações.

O enfoque em utilizar os portais citados versa evidenciar que toda a informação utilizada é secundária, ou seja, já recebeu um tratamento e dessa forma não constitui dados brutos. A justificativa da tese, em basear-se nestas fontes secundárias de informação, esteve em demonstrar que a sociedade, em especial, os tomadores de decisão tem essas informações acessíveis, de fácil manuseio e podem usá-las, consultá-las e acompanhar a evolução do fenômeno com prontidão.

Contudo, se existe todo um aporte de informações de fácil acesso e ainda assim a gestão tem um enfoque tradicionalmente reativo, há algum outro entrave impossibilitando essa mudança de paradigma para um ciclo proativo, que pode ser tanto metodológico quanto causado por um distanciamento dos tomadores de decisão e da sociedade civil dos amplos bancos de informações existentes. Portanto, a metodologia desenvolvida ao longo desse estudo foi delineada para simplificar esse processo, propondo ferramentas que relacionem as secas aos possíveis impactos por ela ocasionados. Essa sobreposição de produtos permitiu, assim, uma análise justaposta de maior completude de informações sobre áreas mais suscetíveis às secas plurianuais recorrentes e mais impactadas no NEB.

### **1.3 Objetivos**

O objetivo geral desse estudo foi propor uma metodologia de análise cumulativa e integrada das secas plurianuais em seus diversos níveis de severidade, considerando indicadores de impactos de seca e com vistas à elaboração de medidas de gestão proativa para a região Nordeste Brasileira.

Quanto aos objetivos específicos, tem-se:

- Diagnosticar quais áreas são afetadas com secas mais intensas, a partir de uma análise plurianual cumulativa com dados mensais do Monitor de Secas do Brasil;

---

<sup>4</sup> Link para o Olho N'água: <https://olhonagua.insa.gov.br/#/>

<sup>5</sup> Link para o Sistema de Acompanhamento de Reservatórios: <https://www.ana.gov.br/sar/>

<sup>6</sup> Link para o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres: <https://s2id.mi.gov.br/>

- Definir indicadores que possam verificar os impactos significativos decorridos dos eventos de seca e integrá-los em uma análise de incidência cumulativa de impactos;
- Realizar uma análise espacial de suscetibilidade às secas a partir da abordagem cumulativa de secas e da incidência cumulativa de impactos;
- Propor medidas de gestão proativa para conviver com as secas futuras, sob o ponto de vista do abastecimento humano e das atividades agropecuárias.

#### 1.4 Estruturação da tese

Essa tese foi estruturada a partir de cinco capítulos, a saber:

- **Capítulo I:** Apresentou a introdução a partir de uma breve contextualização sobre a temática das secas, dos impactos e da sua gestão, evidenciando o problema de pesquisa sob a perspectiva da justificativa para a escolha do tema, como também o objetivo geral e os específicos;
- **Capítulo II:** Expôs o referencial teórico, abordando as secas sob uma concepção histórica da ocorrência do evento no Nordeste Brasileiro, citando quais são os tipos de seca e suas respectivas caracterizações, como também os impactos resultantes do fenômeno. Em seguida, foram apresentados métodos de gestão das secas e plataformas de informações que permitiram acesso às bases de dados utilizadas ao longo de todo o estudo. Destacam-se o Monitor de Secas do Brasil, pesquisas do Sistema IBGE de Recuperação Automática, o Sistema de Acompanhamento de Reservatórios e o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres.
- **Capítulo III:** Evidenciou os procedimentos metodológicos necessários para analisar as secas e seus impactos, sob um panorama plurianual, e apontou medidas que podem auxiliar os tomadores de decisão na tarefa de gerenciamento do fenômeno antes, durante e após a sua ocorrência. Esse capítulo divide-se em cinco etapas: i. caracterização da área de estudo – região Nordeste brasileira; ii. a caracterização da seca plurianual que se estendeu de 2012 a 2018 e seus impactos hidrológicos

e agrícolas; iii. desenvolvimento da metodologia intitulada “abordagem cumulativa de secas”, que permitiu analisar a seca sob uma perspectiva integrada e cumulativa; iv. desenvolvimento da “incidência cumulativa de impactos”, com a mesma função da etapa anterior, porém para avaliar os possíveis impactos da seca; v. proposição de medidas de gestão proativa das secas e dos seus impactos;

- **Capítulo IV:** Demonstrou os resultados e discussões obtidas a partir da proposta metodológica de análise das secas de forma integrativa e cumulativa na região Nordeste, além de propor medidas de gestão proativa, a partir das seguintes etapas: i. panorama da seca plurianual 2012 - 2018 no SAB: impactos hidrológicos e agrícolas; ii. monitoramento da seca no Brasil em perspectiva plurianual; iii. possíveis impactos plurianuais da seca no Nordeste brasileiro; iv. suscetibilidade aos impactos da seca e proposição de medidas. O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) norteou todo o desenvolvimento metodológico e, nos resultados e discussões essas informações foram especializadas através de mapas que contém informações sobre a seca e os possíveis impactos oriundos desse evento;
- **Capítulo V:** Finaliza o estudo, apresentando as considerações finais sobre a temática analisada e as recomendações dar seguimento a estudos futuros.

---

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo teve por finalidade o delineamento de conceitos e perspectivas cruciais para o desenvolvimento da tese. Apresentou, de início, um tópico que explana as secas a partir do seu histórico na região Nordeste do Brasil, a conceituação dos tipos de seca e o traçado de impactos que podem estar associados a esse tipo de evento natural. Por conseguinte, as secas foram abordadas sob o ponto de vista do ciclo de gestão, que pode ser reativo ou proativo, e, por fim, são apresentadas as bases de dados e as informações pertinentes que permitiram a construção metodológica proposta, sendo estas: o Monitor de Secas do Brasil, o Sistema de Acompanhamento de Reservatórios, Pesquisa anuais do IBGE e o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres.

### 2.1 Secas

#### 2.1.1 *Histórico de Secas no Nordeste do Brasil*

O primeiro registro de seca no Nordeste brasileiro data o ano de 1583, início do período colonial, século XVI. Os impactos mencionados nesse período resultavam na migração de índios do sertão para o litoral e perdas nas lavouras de cana-de-açúcar, mandioca, milho e na pecuária bovina. O litoral apresenta uma frequência de secas menos recorrente quando comparado ao avanço para o sertão nordestino (CAMPOS, 2014; MARTINS *et al.*, 2015).

À medida que a região semiárida foi sendo ocupada progressivamente, os impactos sociais e econômicos passaram a ser mais intensos. Nota-se que, no decorrer dos séculos, as secas registradas passaram a ser mais duradouras, com registros plurianuais de até 7 (sete) anos (CAMPOS, 2014). Na Figura 1, Maisonave e Prado (2018) estruturaram uma linha do tempo que se estende do século 16 ao ano de 2018 (data da publicação do documento fonte da figura apresentada). A primeira grande seca interanual durou 7 anos e datou de 1721 a 1727, caracterizando a segunda maior seca já registrada na região, que afetou os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

A seca de 1777-1778, por sua vez, resultou nos maiores impactos vistos até então, com perdas de 7/8 de todo o rebanho cearense, uma vez que, com a ocupação dos sertões, a região já estava bastante povoada (MARTINS *et al.*, 2016). A população continuou crescendo, juntamente com as lavouras e os rebanhos. Porém, as obras de infraestrutura hidráulica não acompanharam esse ritmo de crescimento, o que deu origem a uma situação de vulnerabilidade agravada devido a variabilidade climática intrínseca à região semiárida (CAMPOS, 2014).

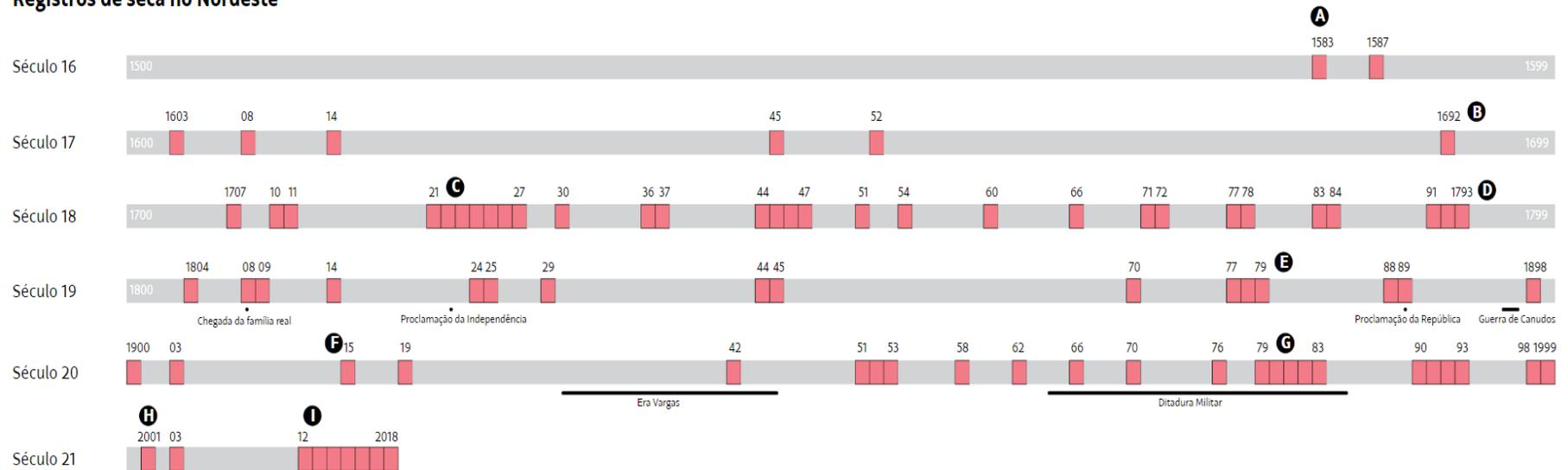
Diante deste cenário, veio a seca de 1877-1879 que, apesar de apenas três anos de duração, desestruturou completamente a população da época, dizimando metade dos habitantes e praticamente todo o rebanho bovino em todo o Nordeste (MELO, 1999; NYS; ENGLE; QUINTANA, 2016). A sociedade estava altamente vulnerável após ter vivenciado 32 anos seguidos sem estiagem (com exceção do ano de 1870, mas os impactos foram amenos).

Nesse contexto, surgiu a primeira ideia de formação de uma comissão voltada a lidar com os impactos gerados pelos eventos de seca, com o objetivo de buscar soluções viáveis de abastecimento para a população atingida, além de mitigar os impactos das atividades agropecuárias (CAMPOS, 2014). Após vivenciar pouco mais de três décadas sem eventos de seca, a população não apresentava capacidade de adaptação ao evento extremo que assolou a região subitamente. Totalmente despreparada para lidar com os impactos emergentes, a população viu como única saída o êxodo rural.

O governo tornou-se incipiente no desenvolvimento de políticas públicas que mitigassem a vulnerabilidade existente. Surgiu então a primeira iniciativa brasileira de gestão das secas, o que significou uma mudança de paradigma e, com o passar dos anos, entendeu-se a necessidade da formação de instituições públicas voltadas ao desenvolvimento de táticas para atravessar os períodos de estiagem (CAMPOS, 2014). A primeira instituição foi a Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), criada em 1909, início do século XX, representando um marco na tentativa de combate às secas no período da República. Em 1919, transformou-se na Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS). As principais medidas mitigadoras baseavam-se na construção de infraestrutura hídrica, em especial, obras de açudagem de grande, médio e pequeno porte, já que a região possui rios, em sua maior parte, intermitentes (MARTINS *et al.*, 2015b).

Figura 1 - Histórico de secas no Nordeste do Brasil

Registros de seca no Nordeste



**A** 1583

A primeira notícia sobre uma grande seca foi descrita pelo padre Fernão Cardim. Cinco mil índios se deslocaram do sertão para o litoral. A cana-de-açúcar e a mandioca tiveram quebra de produção

**B** 1692

No século 17, o semiárido começou a ser ocupado por fazendas de gado. Com a estiagem de 1692, parte da população, formada por índios e colonos, migrou para Minas Gerais

**C** 1721-27

O segundo maior período de seca já registrado afetou os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Além da seca, uma peste antingiu populações mais frágeis, especialmente os escravos

**D** 1791-93

Em carta, o governador de Pernambuco pediu ao governo da Bahia que enviasse farinha para combater a fome. O impacto da seca motivou a criação da Pia Sociedade Agrícola com o intuito de estocar alimentos como medida de prevenção

**E** 1877-1879

Uma grave seca pegou a população desprevenida, já que a última grande estiagem ocorrera 30 anos antes. Houve grande êxodo rumo a regiões mais férteis e cidades, entre elas Fortaleza, que passou de 21 mil habitantes a 130 mil

**F** 1915

Para evitar uma nova chegada em massa de retirantes, governo cearense criou campos de concentração para milhares de vítimas da seca. O drama está retratado no livro "O Quinze", de Raquel de Queiroz

**G** 1979-83

O governo militar, por meio da Sudene, criou milhares de empregos temporários para combater a seca. Fundada para desenvolver o Nordeste, a Sudene ficou marcada por casos de corrupção que ajudaram a cunhar a expressão "indústria da seca"

**H** 2001

A seca de 2001 foi um prolongamento do período de estiagem do final da década de 90, que teve uma trégua em 2000. O rio São Francisco atingiu seu menor volume histórico. A crise energética pela qual o país passava agravou a situação

**I** 2012-Hoje

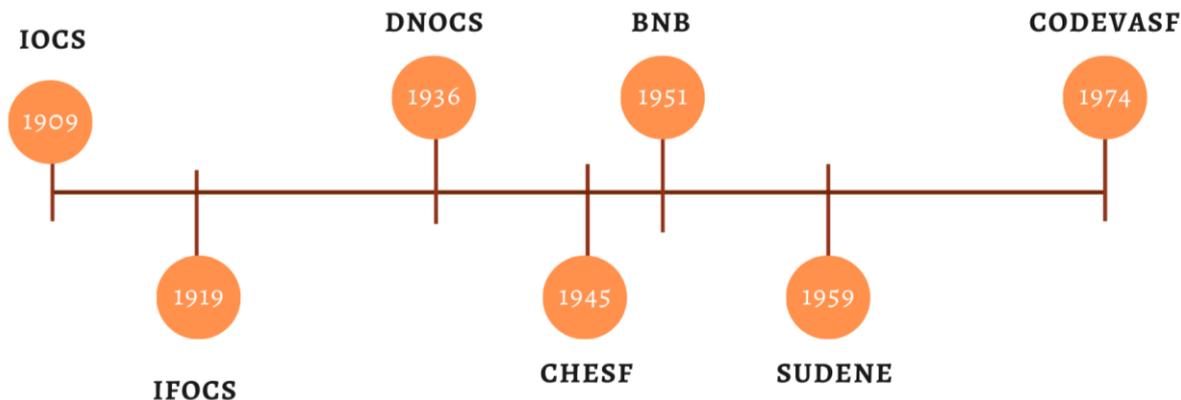
A atual seca é a maior registrada. Açúdes estão em níveis críticos, e muitos municípios dependem de carros-pipa. Agropecuária entrou em colapso. Há suspeita de influência das mudanças no clima

Fonte: Maisonnave e Prado (2018).

Porém, os dirigentes do órgão tinham entendimento de que estas ações não seriam suficientes para sanar os conflitos provenientes das secas. E isto evidenciou-se com o advento da seca posterior, em 1915, marcada por intensos movimentos migratórios para as capitais (MARINHO *et al.*, 2006; TORRES; OLIVEIRA, 2016). A fim de barrar estes movimentos, foram criados campos de concentração em áreas marginais, circundadas por arames farpados e sob vigilância 24 horas por dia, confinando assim os retirantes (CAMPOS, 2014).

A IOCS transformou-se no Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) e, no final da década de 50, alguns órgãos estavam envolvidos no desenvolvimento e mitigação de secas na região. Dentre estes estava a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), criada em 1948, marcando o início do envolvimento do Estado na produção de energia elétrica, a fim de fornecer energia à região Nordeste, que contava com um grande déficit energético (CACHAPUZ, 2018). A Figura 2 demonstra uma linha do tempo de criação dessas instituições.

**Figura 2** - Linha do tempo que demonstra a criação de órgãos relevantes para a gestão das secas.



Fonte: Elaborada a partir de Campos (2015).

Em 1951, foi criado o Banco do Nordeste do Brasil (BNB), que forneceu subsídios para a agricultura através de empréstimos e fomento à indústria. Com o advento da seca de 1958, a insuficiência das políticas públicas até então existentes ficou evidente e, em 1959, foi criada a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (NYS; ENGLE; QUINTANA, 2016). A SUDENE foi criada em 1959, com a finalidade de impulsionar o desenvolvimento econômico da região Nordeste brasileira.

Em 1974, foi criada a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF). A Companhia é uma empresa pública vinculada ao Ministério do Desenvolvimento Regional, que atua em todos os 1.794 municípios da região Nordeste. Destacam-se quatro linhas de atuação: i. programas de revitalização de bacias hidrográficas; ii. programas de desenvolvimento territorial, que objetivam potencializar atividades produtivas regionais, como por exemplo, tem-se o Programa de Arranjos Produtivos Locais (APL); iii, Programas de irrigação; iv. Operadora do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional (PISF) (CODEVASF, 2020).

Posteriormente, as maiores secas chegaram a ter uma duração de até 5 anos, como a de 1979-1983. Em 1988, a Constituição foi promulgada, porém, a gestão de secas ainda se dava de forma ineficiente, com medidas exclusivamente reativas. Outro marco, foi a conferência intitulada Rio 92, ocasião na qual foi estabelecida a Agenda 21, com discussões voltadas ao meio ambiente que ganharam destaque.

Chegou o século XXI e com ele a ocorrência da maior seca já registrada na região Nordeste, que se estendeu entre os anos de 2012 e 2017. Os açudes entraram em colapso, os municípios passaram a depender de abastecimento por carros-pipa e o pequeno produtor registrou perdas críticas nas suas lavouras e rebanhos (CEARÁ, 2015; MARENGO; CUNHA; ALVES, 2018; NUNES *et al.*, 2018).

Entrou em pré-operação então a maior obra de infraestrutura hídrica da região Nordeste: o PISF. Esse projeto começou a ser elaborado em 1979. Várias foram as versões até chegar a uma concepção final. A primeira versão data de 1979-1987, a segunda correspondeu ao período de 1988-1995, fase marcada pela extinção de diversos órgãos estatais, entre os quais o Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS). E por fim, o terceiro projeto e último concebido entre 1996-2000 (CBHSF, 2019).

O PISF, através do seu eixo Leste, entrou em funcionamento em meados de 2017, integrando a Bacia Hidrográfica do rio São Francisco à Bacia Hidrográfica do rio Paraíba. O eixo Norte continuou em construção, até que em 2019 iniciou a fase de pré-operação. Em paralelo à transposição das águas do rio São Francisco, a ANA lança, em 2019, o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH).

### 2.1.2 Tipos de secas

Seca, de acordo com o art. 2ª, da lei nº 13.153 de 2015, que institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e Seus Instrumentos, caracteriza-se como o “fenômeno que ocorre naturalmente quando a precipitação registrada é significativamente inferior aos valores normais, provocando um sério desequilíbrio hídrico que afeta negativamente os sistemas de produção e de consumo” (BRASIL, 2015).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC, que é o órgão das Nações Unidas para avaliar a ciência relacionada às mudanças climáticas, conceitua seca em seu último relatório como “um período excepcional de escassez de água para os ecossistemas existentes e para a população humana (devido à baixa pluviosidade, alta temperatura e/ou vento)” (IPCC, 2021).

Há uma diversidade de conceitos referente às secas na literatura. Porém, todos partem de um ponto de vista comum: Seca consiste em um déficit de precipitação que consiste na redução normal de chuvas incidentes por um período mínimo de uma estação (MISHRA; SINGH, 2010). O significado é mais bem desenvolvido quando atrelado à uma atividade específica e foi a partir disso que surgiram os diferentes tipos de secas. De acordo com a *American Meteorological Society* – AMS (2013), as secas classificam-se em quatro tipologias: seca meteorológica ou climática, seca hidrológica, seca agrícola e seca socioeconômica. Embora a literatura refira-se a outros tipos (DRACUP; LEE; PAULSON, 1980; CRAUSBAY *et al.*, 2017; NDMC, 2020) que não são tão usuais.

- i. *Seca meteorológica ou climática*: Período com déficit anormal de precipitação. As condições que definem uma seca meteorológica variam de uma região para outra, pois dependem das condições atmosféricas do local. São estas condições atmosféricas que geram os déficits de precipitação, que se caracterizam por uma pluviosidade inferior ao valor tido como “normal” da região. As condições que provocam esse tipo de seca podem surgir abruptamente assim como desaparecer. Sua duração pode ser curta, na escala temporal de meses, porém, também apresentam permanência plurianual

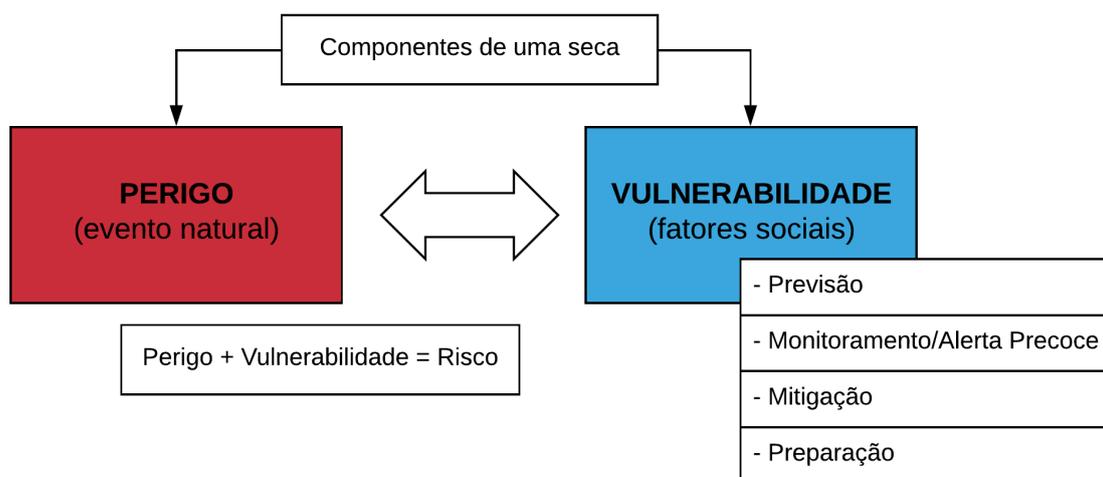
(WILHITE; GLANTZ, 1985; WILHITE, 1996; HEIM JR., 2002; AMS, 2013; IPCC, 2021).

- ii. *Seca hidrológica*: esse tipo de seca atenta para o impacto dos déficits de precipitação nas fontes de águas superficiais e subterrâneas. Ou seja, a seca hidrológica consolida-se quando a vazão que alimenta os corpos hídricos cessa ou é reduzida, gerando assim alterações nos níveis e volumes de reservatórios, por exemplo. Este tipo de seca é registrado quando os níveis dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos decaem. Quando esta seca ocorre, os sistemas de abastecimentos ficam comprometidos quanto ao atendimento dos seus usos múltiplos, tornando-se o tipo de seca mais impactante para a sociedade em geral (WILHITE; GLANTZ, 1985; WILHITE, 1996; AMS, 2013; IPCC, 2021).
- iii. *Seca Agrícola*: “período com déficit anormal de umidade do solo, que resulta da escassez combinada de precipitação e excesso de evapotranspiração, e durante a estação de crescimento afeta a produção da cultura ou a função do ecossistema em geral” (IPCC, 2021). Prejudica a produção agrícola ou desenvolvimento do ecossistema, levando a uma redução da biomassa. Esse tipo de seca depende de alguns fatores: o estágio de crescimento das plantas, as propriedades do solo, a demanda de água de cada cultura, das condições climáticas e características biológicas da planta (WILHITE; GLANTZ, 1985; MISHRA; SINGH, 2010; AMS, 2013).
- iv. *Seca socioeconômica*: ocorre quando as demandas por águas se tornam superiores à oferta disponível, e tende ao acontecimento de uma falha do sistema de abastecimento. Infere-se a partir do momento em que os impactos provenientes das secas atingem os setores sociais e econômicos direta ou indiretamente. Esse tipo de seca ressalta a importância em usar os recursos naturais de maneira racional e atrelar a estes um valor econômico a fim de alcançar esse objetivo ( WILHITE; GLANTZ, 1985; WILHITE, 1996; AMS, 2013).

Na Figura 3, pode-se observar que o fenômeno seca apresenta dois componentes: o “perigo” que é atrelado ao evento natural e a “vulnerabilidade” que

é associada a fatores sociais. De acordo com Wilhite (2000), “o risco associado à seca para uma região é um produto da exposição da região ao evento (ou seja, probabilidade de ocorrência em vários níveis de severidade) e da vulnerabilidade da sociedade ao evento”. Este último pode ser articulado de forma a reduzi-lo, através de ações de previsão, monitoramento e alertas precoces, mitigação e preparação para enfrentar os eventos de seca subsequentes.

**Figura 3** - Componentes da seca que associa o evento natural aos fatores sociais.



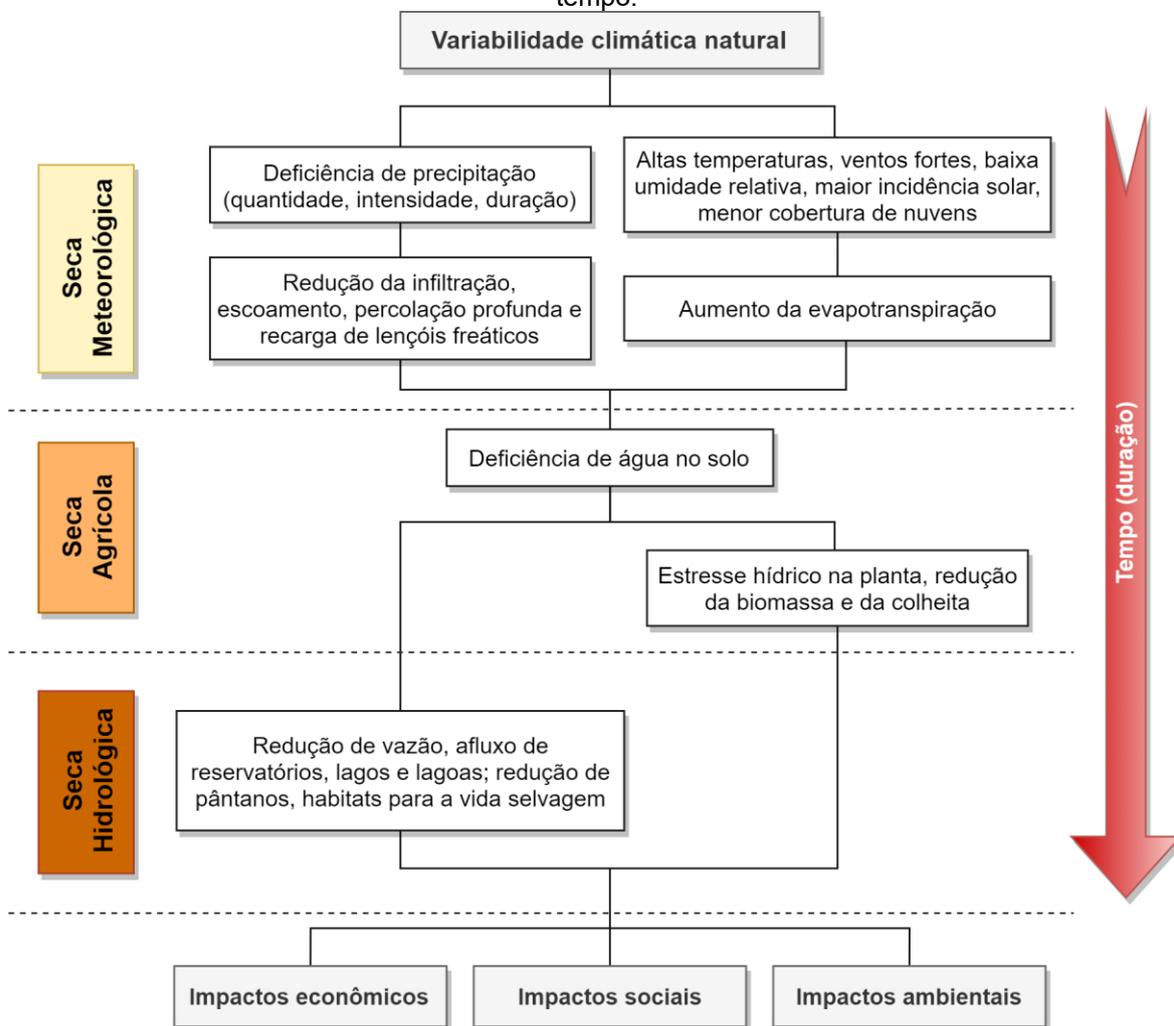
Fonte: Traduzido de Wilhite (2000).

As secas ocorrem em praticamente todos os regimes climáticos mundiais e na grande parte destes, gera impactos econômicos, sociais e ambientais (MISHRA; SINGH, 2010; WILHITE, 2012). Já as vulnerabilidades são atreladas aos fatores sociais, como por exemplo características demográficas, política e comportamento social, sendo essa, portanto, a parcela possível de controle.

A Figura 4 demonstra o avanço dos tipos de seca na escala temporal. O fenômeno surge devido a variabilidade climática natural de algumas regiões. Um déficit de precipitação associado a fatores como aumento de temperaturas, ventos fortes, baixa umidade relativa caracterizam uma seca meteorológica. À medida que essas condições vão se estendendo ao longo do tempo, a deficiência de água atinge também os solos, alcançando assim o estágio de seca agrícola. Com uma duração ainda mais estendida desses acontecimentos, reduções de vazões e consequente diminuição dos níveis de águas superficiais e subterrâneas são observados e então chega-se a uma seca hidrológica. Toda a gama de condições que as secas proporcionam, geram impactos econômicos, sociais e ambientais

(WILHITE, 2000; MISHRA; SINGH, 2010; WILHITE; SIVAKUMAR; PULWARTY, 2014).

**Figura 4** – Os tipos de seca e os efeitos esperados à medida que o fenômeno avança ao longo do tempo.



Fonte: Traduzido de Wilhite (2000).

### 2.1.3 Impactos Resultantes das Secas

Impacto ambiental, de acordo com a resolução CONAMA n° 01/1986, consiste em “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas” que, direta ou indiretamente, afetam: i. a saúde, a segurança e o bem-estar da população; ii. as atividades sociais e econômicas; iii. a biota; iv. as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; v. a qualidade dos recursos ambientais. Essas alterações podem ocasionar impactos positivos e negativos

(benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos, temporários e permanentes (CONAMA, 1986).

Sanchez (2020) definiu impactos cumulativos ou acumulativos da seguinte forma: “são aqueles que se acumulam no tempo ou no espaço, como resultado da adição ou da combinação de impactos decorrentes de uma ou de diversas ações humanas. Impactos insignificantes podem resultar em degradação ambiental significativa se concentrados espacialmente ou se ocorrerem simultaneamente”.

Os impactos resultantes das secas não apresentam limites territoriais definidos, de forma que os governos locais, em muitas situações, não conseguem tomar providências adequadas de preparação e gestão proativas. Isso deve-se, em muitos dos casos, a falta de informação, de recursos financeiros ou por problemas de gestão oriundos das grandes proporções geográficas que as secas abrangem, ultrapassando limites administrativos definidos (FU *et al.*, 2013).

O motivo pelo qual as secas diferem dos demais perigos naturais é que seu início é lento e difícil de prever, caracterizado por uma disponibilidade de água abaixo da média. Suas causas são climáticas e, quando envolve episódios plurianuais, impactam a segurança hídrica, energética e alimentar (DU *et al.*, 2013; EAKIN; LEMOS; NELSON, 2014). Os investimentos públicos federais para mitigar impactos em áreas urbanas e rurais mostram-se insuficientes contra seus efeitos (MARENGO *et al.*, 2018). Não há como gerenciar as secas sem compreender dois aspectos: o histórico de secas e seus respectivos impactos sobre os recursos hídricos. A Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) deve estar diretamente associada à gestão das secas, englobando as esferas ambiental, social e econômica de uma bacia hidrográfica. (MISHRA; SINGH, 2010; SILVA; RIBEIRO; MIRANDA, 2017).

A GIRH e a escassez hídrica estão associadas ao objetivo 6 (Água Potável e Saneamento) da agenda 2030. Entre as metas para assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável de água e saneamento para todos estão: meta 6.4 - Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água; meta 6.5 - Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça,

conforme apropriado” (PNUD, 2021). Isso indica que, se até 2030, tais metas forem alcançadas, os impactos da escassez hídrica serão reduzidos substancialmente. Quando os impactos que atingem a disponibilidade hídrica do local – seca hidrológica - os usos múltiplos da água devem ser postos em pauta das respectivas tomadas de decisão, através da Gestão Integrada de Recursos Hídricos.

Os impactos negativos não têm como razão apenas fatores hidrológicos, mas em especial uma gestão inadequada (SILVA; GALVÃO; SILVA, 2015). Ao serem atingidas por secas, estas áreas acabam chegando aos mais altos níveis de vulnerabilidade, à medida que seus recursos naturais se tornam insuficientes para atender à demanda solicitante, em especial os recursos hídricos (KROL *et al.*, 2006). Entretanto, o modelo de Gestão de Recursos Hídricos Brasileiro, a partir da lei nº 9.433/1997, inclui esse cenário entre os seus objetivos, citando que a prevenção contra eventos hidrológicos críticos deve ser realizada.

A Confederação Nacional dos Municípios - CNM (2018) divulgou um estudo referente aos prejuízos causados pela seca 2012-2017. Segundo esse estudo, em todo o país, os prejuízos financeiros provocados pela seca (direta ou indiretamente), para o poder público e privado, atingiram R\$ 215,6 bilhões. Destes, 68,8% ocorreram somente na região Nordeste. Para o período de 2003-2018 (16 anos), em todo o Brasil, 32.746 decretos de anormalidades foram atestados, e dentre estes, 23.283 foram referentes à eventos de seca, ou seja, 71,1%. Considerando apenas a região Nordeste, esse percentual é ainda maior. De um total de 19.656 anormalidades decretadas, 17.596 (89,5%) foram por eventos de seca.

Bryant (1991) estabeleceu uma classificação para 31 eventos de risco, baseados em 9 características e impactos associados, que são: Grau de severidade, duração do evento, extensão de área atingida, perda total de vida, perda econômica total, efeitos sociais, impactos a longo prazo, surgimento súbito e ocorrência de riscos associados. Nesta classificação, as secas estão como o primeiro evento do *ranking*, com características e impactos de grande significância. Eventos como terremotos, furacões e *tsunamis* também estão classificados no *ranking*, todos estes abaixo das secas.

Os impactos da seca atingem diferentes setores, entre os quais estão o abastecimento de água, saneamento, agricultura, pecuária, indústria, pesca,

energia, transporte. Portanto, políticas setoriais devem ser elaboradas para cada um desses setores e todas devem estar interligadas e integradas (SOUZA FILHO *et al.*, 2016). O Brasil não apresenta uma Política Nacional de Secas, entretanto, possui uma Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

**Quadro 1** - Classificação das secas como o de maior gravidade dentre 31 eventos de riscos analisados.

<b>Características ou impactos</b>	<b>Classificação*</b>
Grau de severidade	1
Duração do evento	1
Extensão total de área	1
Perda total de vida	1
Perda econômica total	1
Efeito social	1
Impacto a longo prazo	1
Surgimento súbito	4
Ocorrência de riscos associados	3

\* 1 - mais significativo e 5 - menos significativo.

Fonte: Bryant (1991).

A PNRH foi instituída em 1997 e indica um marco para a gestão dos recursos hídricos. Como a principal problemática das secas refere-se à escassez hídrica, todo o aparato institucional que colabore para melhor gerenciar esses recursos, relaciona-se diretamente ao planejamento para as secas. A PNRH culminou no primeiro Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), com horizonte de planejamento de 2006-2021. Esse plano é o documento orientador da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e da atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).

A segunda edição do PNRH encontra-se em construção, com horizonte de planejamento para 2022-2040. O ciclo de quatro edições do Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2017–2020) apresentou a base técnica de referência do novo PNRH 2022-2040, bem como os subsídios para a avaliação final do grau de implementação do atual PNRH 2006-2021. Esse conjunto de Políticas, Planos e Relatórios destinados aos recursos hídricos visam a atingir a chamada “Segurança Hídrica”.

De acordo com Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH, 2019), a “Segurança Hídrica existe quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento: i. às necessidades humanas; ii. à prática

das atividades econômicas; iii. à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de iv. um nível aceitável de risco relacionado às secas e cheias”.

Na busca por reduzir os impactos da última seca que atingiu o NEB (2012-2018), surgiu uma ferramenta intitulada “salas de crise”. Estas são “ambientes de coordenação e articulação de atores governamentais e não governamentais que são ou podem ser impactados pelos efeitos de crises hídricas ou têm alguma atuação sobre elas” (ANA, 2021b). Já as salas de acompanhamento constituem “ambientes de coordenação regulatória instaladas para acompanhar o comportamento de um sistema hídrico após a implantação de novas condições de operação para os reservatórios”. Esse acompanhamento objetiva antecipar impactos sobre os usos múltiplos da água e, quando necessário estabelecer medidas de resposta (ANA, 2021b). Não há salas de crises ainda criadas na região Nordeste, porém existe uma sala de acompanhamento que é destinada para o rio São Francisco.

De acordo com Wilhite (2000), mitigação é definida como “ações, programas ou políticas de curto e longo prazo implementados durante e antes da seca, que reduzem o grau de risco para a vida humana, a propriedade e a capacidade produtiva”. Já a preparação refere-se “a atividades pré-evento destinadas a aumentar o nível de prontidão ou melhorar as capacidades operacionais e institucionais para responder a um evento de seca”.

## **2.2 Gestão das secas**

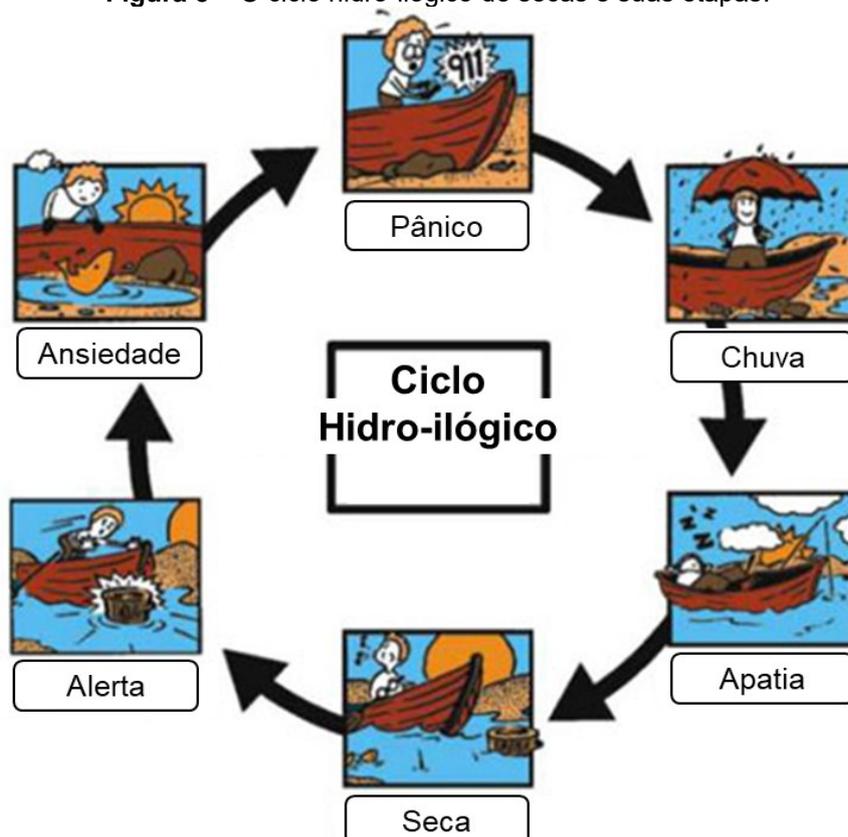
O histórico de secas que atinge o Nordeste brasileiro mostra que a gestão realizada sempre consistiu na Gestão de Crises com medidas tomadas após a ocorrência do desastre. Porém, com o advento da maior seca observada pela meteorologia (2012-2017), percebe-se o início de uma mudança de paradigma e da priorização de uma gestão proativa consistente em ações de preparação, mitigação, previsão e alertas precoces, a fim de reduzir os impactos pós-desastre e os tão frequentes decretos de situação de emergência. A gestão, para ser eficiente, deve ocorrer em níveis multiescala e estarem integrados (WILHITE *et al.*, 2000; WILHITE; SIVAKUMAR; PULWARTY, 2014).

Os impactos gerados pela seca no decorrer do tempo são, em especial: a migração de pessoas do sertão para o litoral, queda de produção agropecuária,

fome (estocar alimentos como medida de prevenção) e quedas nos volumes de reservatórios. Neste sentido a Figura 5 representa este “ciclo” que parece se repetir no decorrer dos anos. O ciclo Hidro-ilógico, como é chamado, retrata justamente essa afirmação. A primeira etapa consiste no “pânico” com relação ao evento de seca que pode surgir.

Com o advento da “chuva”, porém, todo esse medo desaparece dando lugar à “apatia”, que resulta em uma falta de preparação ou planejamento para lidar com secas futuras. Contudo, a variabilidade climática local ocasiona a chegada das secas que ativam uma situação de “alerta” e a busca por medidas reativas que causam “ansiedade” nas populações envolvidas, se transformando em pânico e, assim, o ciclo segue seu percurso.

**Figura 5** – O ciclo hidro-ilógico de secas e suas etapas.



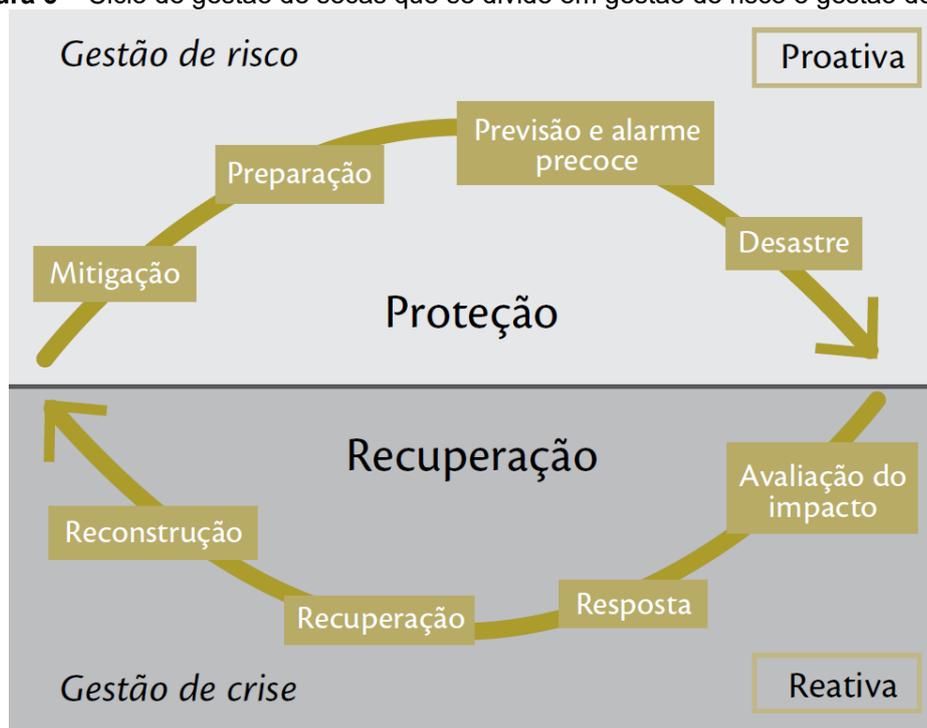
Fonte: Traduzido de Wilhite (2012).

O ciclo de gerenciamento de desastres compreende dois tipos de gestão: a Gestão de Risco ou Gestão Proativa e a Gestão de Crises ou Gestão Reativa, como mostra a Figura 6. Este ciclo aplica-se aos mais variados tipos de desastres naturais existentes, entretanto, o foco em questão é o fenômeno das secas. O

gerenciamento de secas só se inicia quando o desastre ocorreu e quando há impactos resultantes. A partir deste cenário, inicia-se uma gestão de risco, que consiste em avaliar os impactos, suas respostas, a recuperação e consequente reconstrução da região, a fim de reestabelecer a realidade anterior ao evento ocorrido (WILHITE; SIVAKUMAR; PULWARTY, 2014; NYS; ENGLE; QUINTANA, 2016).

Quando a região é marcada por gestão reativa, a sociedade mal se recupera de uma seca e já adentra em outra e os riscos não são mitigados, pois, não há um processo com preparação, submetendo a população a medidas de emergência e totalmente desastrosas. As secas são caracterizadas como desastres a partir da alta gravidade de seus impactos sociais, econômicos e ambientais para a sociedade (FU et al., 2013; WILHITE; SIVAKUMAR; PULWARTY, 2014).

**Figura 6** – Ciclo de gestão de secas que se divide em gestão de risco e gestão de crise

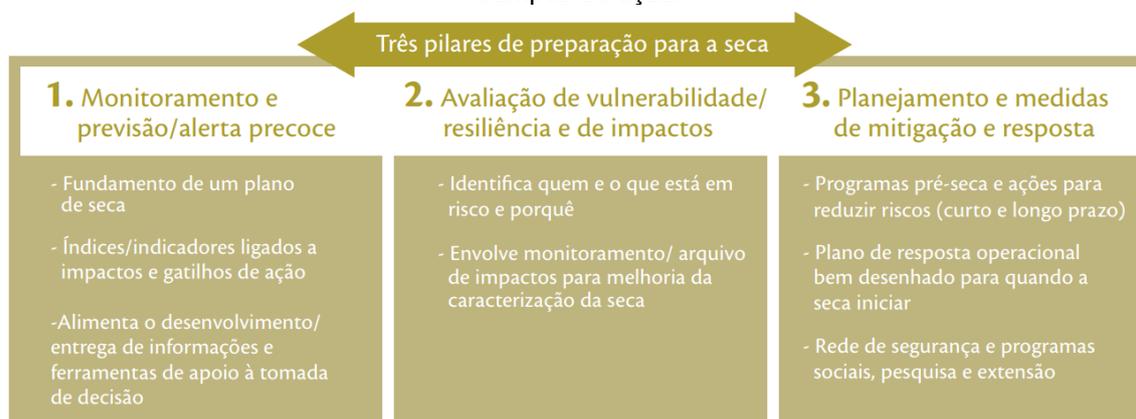


Fonte: Traduzido de Wilhite et al. (2000).

A gestão de risco é baseada em três pilares de preparação para a seca (Figura 7), de acordo com Wilhite et al. (2005): (i) monitoramento e previsão / alerta precoce; (ii) vulnerabilidade / resiliência e avaliação de impacto; (iii) planejamento e mitigação e medidas de resposta. O constante monitoramento e previsão de secas constituem um processo essencial para a implementação de ações prévias

quando o fenômeno ainda está no início de sua ocorrência. Assim, existe uma capacidade mais excepcional de evitar ou mitigar os efeitos adversos decorrentes da seca (PONTES FILHO *et al.*, 2019).

**Figura 7** - Pilares para uma abordagem proativa de preparação para secas e seus respectivos campos de ação.



Fonte: Traduzida de Wilhite *et al.* (2005).

Um relatório da *Global Water Partnership Central and Easter Europe* (GWP CCE) publicado em 2015, avalia a conduta dos estados brasileiros para conviver com as secas existentes na região Nordeste e, além disso, se os planos de gestão apresentam propostas de enfatizar a preparação (risco) em vez da resposta (crise). Verifica-se neste estudo que o estado do Ceará é o único que possui um plano que é intitulado - Plano Estadual de Convivência com a seca: Ações emergenciais e estruturantes (2015). Porém, todo este documento é baseado em medidas de gestão de crises (GWP CCE, 2015).

Diante desse cenário, os tomadores de decisão desempenham ações de mitigação. Caso o planejamento sucedesse adequadamente, cada unidade da federação deveria possuir seu próprio plano de preparação, de preferência em consonância com as escalas geográficas maiores, a fim de exercer um processo de preparação coerente e de respaldo (FU *et al.*, 2013; ANDRADE, 2017). O Brasil, entretanto, apesar da postura reativa ao gerenciar as frequentes secas que afetam principalmente a região Nordeste do país, começa a mudar esse paradigma com a implementação da ferramenta Monitor de Secas do Brasil, começando a pôr em prática o primeiro pilar de preparação proposto por Wilhite *et al.* (2005).

## 2.3 Disponibilidade de dados e tomada de decisões

Há uma grande quantidade de bases de dados disponíveis que podem dar suporte à tomada de decisões frente a gestão de secas. São disponibilizados em diferentes formatos e mídias digitais nos mais variados campos de interesse: biofísicos, socioeconômico, entre outros. Dentre os portais de informações disponíveis estão: O Monitor de Secas do Nordeste, o Olho N'água, o Sistema de Acompanhamento de Reservatórios, as pesquisas do IBGE e o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. Essas são as bases de dados utilizadas para o desenvolvimento da tese, e são detalhadas nos tópicos a seguir.

### 2.3.1 Monitor de Secas do Brasil (MSB)

O MSB surgiu de uma colaboração internacional entre o Banco Mundial, o *National Drought Mitigation Center* (NDMC) dos Estados Unidos e a *Comisión Nacional del Agua* (CONAGUA) do México. Todos contam com uma ampla e precursora experiência no monitoramento de secas que, em combinação com órgãos federais, estaduais e municipais brasileiros criaram, em meados de 2014, o Monitor de Secas Brasileiro. Os mapas de rastreamento são produzidos mensalmente, com dados de diferentes fontes de dados relacionados a secas meteorológicas e hidrológicas (MARTINS *et al.*, 2015).

O Monitor Brasileiro é baseado em três indicadores, além de uma série de produtos de suporte: i SPI (Índice de Precipitação Padronizado), um índice meteorológico de curto prazo e fácil de usar, no qual os parâmetros de entrada são dados de precipitação. É amplamente utilizado para o monitoramento de secas em todo o mundo e foi desenvolvido por McKee, Doesken e Kleist (1993); ii. SPEI (Índice de Evapotranspiração Padronizado por Precipitação), que também é um indicador meteorológico, de longo prazo, que tem como parâmetros de entrada dados de precipitação e temperatura. No entanto, este índice requer uma série completa de conjuntos de dados (mais complexos) com base no procedimento de cálculo do SPI (VICENTE-SERRANO; BEGUERÍA; LÓPEZ-MORENO, 2010); iii. SRI (Índice de Escoamento Padronizado), um indicador hidrológico de curto prazo desenvolvido por Shukla e Wood (2008), que aplicou os mesmos conceitos usados

por Mckee, Doesken e Kleist (1993), substituindo a precipitação por dados de escoamento (MARTINS *et al.*, 2015; WMO GWP, 2016).

O Monitor Brasileiro fundamentou-se no Monitor de Secas dos Estados Unidos (USDM). Desde a sua implementação, em janeiro do ano 2000, os mapas do UDSM são elaborados semanalmente e a plataforma passou a ser utilizada por gestores para a concessão de auxílios financeiros aos atingidos pelos impactos do fenômeno. Em contraponto, o monitor brasileiro só foi criado em 2014 e ainda é subutilizado pelos gestores locais e regionais (MARTINS *et al.*, 2016).

O *United States Drought Monitor* (USDM), o Monitor de Secas dos Estados Unidos, apresenta cinco categorias de seca, cada uma destas com seus possíveis impactos, dispostas no Quadro 2, que são: anormalmente seco, seca moderada, seca grave, seca extrema e seca excepcional. O monitor norte-americano considera cinco índices de seca e destes, apenas o SPI<sup>7</sup> coincide com os que são considerados para o monitor brasileiro.

**Quadro 2** – Os impactos associados ao abastecimento de água e atividades agrícolas para as categorias de seca do Monitor.

<b>Categoria</b>	<b>Abastecimento</b>	<b>Agricultura</b>
S0	Saindo da seca: alguns déficits hídricos prolongados	Entrando em seca: veranico de curto prazo diminuindo plantio, crescimento de culturas ou pastagem. Saindo de seca: pastagens ou culturas não completamente recuperadas
S1	Córregos, reservatórios ou poços com níveis baixos, ocasionando algumas faltas de água em desenvolvimento ou iminentes; restrições voluntárias de uso de água solicitadas	Alguns danos às culturas e pastagens
S2	Escassez e restrições de água impostas	Perdas de cultura ou pastagens prováveis
S3	Escassez de água generalizada ou restrições	Grandes perdas de culturas e pastagens
S4	Escassez de água nos reservatórios, córregos e poços de água, criando situações de emergência	Perdas de culturas e pastagens excepcionais e generalizadas

Fonte: Elaborado a partir de Svoboda *et al.* (2002), ANA (2021c), NDMC (2020).

A WMO e GWP (2016) classificam os Indicadores e índices de seca por tipo, agrupados da seguinte forma: (a) Meteorologia, (b) Umidade do solo, (c) Hidrologia, (d) Sensoriamento remoto e (e) Composto ou modelado, e por facilidade de uso ou de manipulação. Dentre os existentes, destacam-se (WMO; GWP, 2016):

<sup>7</sup> SPI: Standardized Precipitation Index

- ❑ PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) é um indicador de seca meteorológico e de facilidade de manuseio média. Seus dados de entrada são precipitação, temperatura e teor de água disponível. Considera-se de facilidade intermediária, pois, há uma certa complexidade em seus cálculos, além da necessidade de séries completas de dados.
- ❑ SPI é um indicador meteorológico, cujo parâmetro de entrada é apenas precipitação, com uma facilidade de uso. De acordo com a WMO é o ponto de partida para monitorar secas meteorológicas.
- ❑ SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*) é um indicador também meteorológico, de facilidade de uso intermediária cujos parâmetros de entrada são a precipitação e a temperatura, porém, são necessários dados de séries completas, daí a complexidade intermediária.

O MSB, por sua vez, é mantido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal, em parceria com o Ministério da Integração (MI) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Constitui parcerias estaduais com órgãos de todos os estados no Nordeste, que participam dos processos de provimento de dados e validação dos mapas mensais elaborados (MARTINS *et al.*, 2015b). Dentre estes órgãos, apenas três participam também do processo de autoria dos mapas que são: O Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) do Estado da Bahia; a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) (ANA, 2021c).

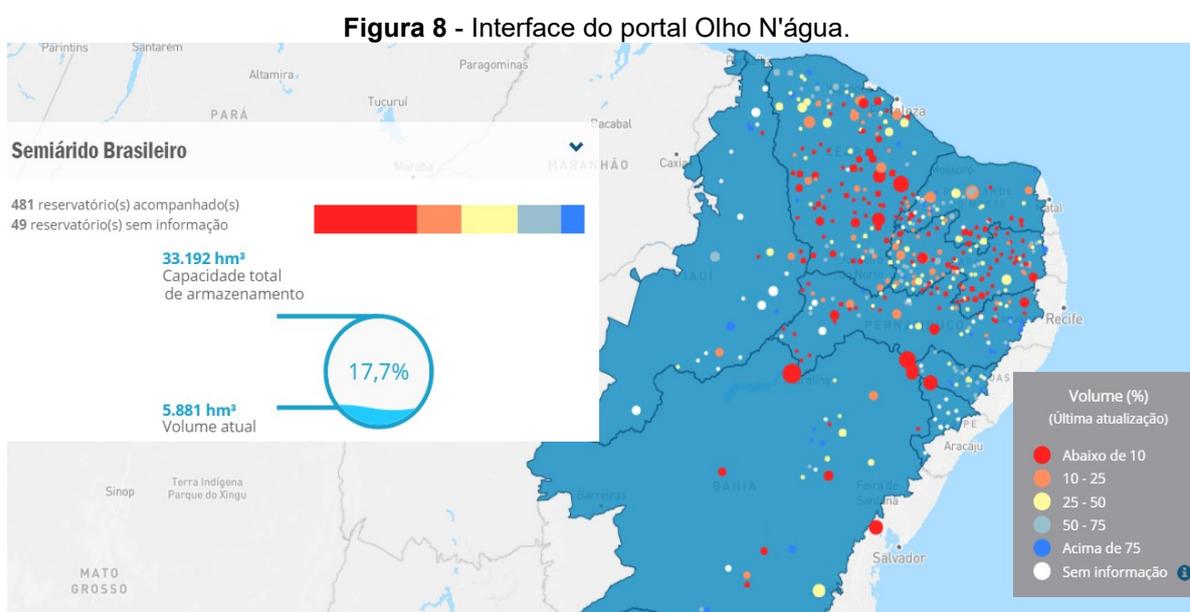
O objetivo do monitor de secas é determinar qual a evolução espaço-temporal, a severidade e quais são os impactos existentes, com base em um monitoramento da atual situação de cada mês, a fim de fornecer subsídios aos tomadores de decisão para definir quais as melhores medidas de gestão para cada estágio de seca determinado com o intuito de promover uma gestão cada vez mais proativa, saindo assim do patamar de decisões apenas reativas (MARTINS *et al.*, 2015; ANA, 2021c).

A proposta de trabalho com o MSB justifica-se por ser um portal recente da ANA aplicado primeiramente à região Nordeste, tida como área piloto, por ser a região mais atingida com eventos de seca do país. As secas são classificadas em cinco tipos, como mostra o Quadro 2, que são: S0 – seca fraca, S1 – seca

moderada, S2 – seca grave, S3 – seca extrema e S4 – seca excepcional, sendo estas classificadas numa escala de severidade partindo da menor a maior. O Quadro 2 descreve estes cinco estágios com seus possíveis impactos obtidos e validados mês a mês.

### 2.3.2 Olho N'água<sup>8</sup> e Sistema de Acompanhamento de Reservatórios

O Sistema Olho N'água – Plataforma Interativa de Acompanhamento dos Reservatórios da Região Semiárida (Figura 8) - é um portal que fornece informações sobre a disponibilidade hídrica em 481 reservatórios no Semiárido Brasileiro (SAB), fornecendo o comportamento do volume nos últimos seis meses e históricos de anos anteriores. É resultado de uma parceria entre o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). As informações disponíveis no sistema são provenientes da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) e de órgãos dos estados do Nordeste. Para o início de novembro/2018 os reservatórios monitorados no SAB possuem apenas 17,7% de sua capacidade total (INSA, 2020).



Fonte: INSA (2020).

<sup>8</sup> O Olho N'água não está mais ativo, entretanto o INSA foi questionado e informou um provável retorno ainda neste ano de 2021. O motivo de estar inativo refere-se à falta de pessoal capacitado no órgão.

O sistema foi lançado em dezembro/2016 e permite acessar a evolução dos níveis de água reservados com o advento das águas da Transposição. Somando os reservatórios monitorados tem-se uma capacidade total de armazenamento de 33.192 hm<sup>3</sup> e, estes são classificados de acordo com uma escala de cores referente ao dado do seu último volume percentual de monitoramento atualizado, variando entre os intervalos de: Abaixo de 10%, 10-25%, 25-50%, 50-75% e acima de 75%, do vermelho ao azul respectivamente (INSA, 2020).

O sistema apresenta um manuseio simples, interativo, com atualizações de frequência semanal de boa parte dos reservatórios, de fácil acesso por toda a sociedade em geral, objetivando o acompanhamento dos volumes de águas que são represadas com uso prioritário ao abastecimento humano.

O Olho N'água entra como uma ferramenta de grande relevância ao caracterizar a seca hidrológica em reservatórios, principalmente, de grande porte, à medida que os de pequeno ou mesmo de médio porte já são impactados com a seca meteorológica, mesmo as de menor duração. As estruturas hídricas com uma maior capacidade de armazenamento, podem não ser influenciadas quando a seca é meteorológica e de curta duração.

Entretanto, se a seca pendurar por uma duração maior, chegando a caracterizar-se também como seca hidrológica, os reservatórios de maior porte também serão afetados e as medidas de racionamento devem ser postas em prática. Destaca-se que estas são medidas em última instância e esse cenário deve ser impedido ao máximo. Portanto, deve-se pôr em prática uma gestão de recursos hídricos eficiente e proativa visando atendimento aos usos múltiplos sem chegar a situações de colapso.

Embora o portal esteja desativado temporariamente (desde meados de 2021), há outras fontes que disponibilizam essas mesmas informações, o que não compromete a obtenção de dados que possibilitem o acompanhamento do volume de água nos reservatórios da região Nordeste. Com essa finalidade, tem-se o Sistema de Acompanhamento de Reservatórios<sup>9</sup> (SAR) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

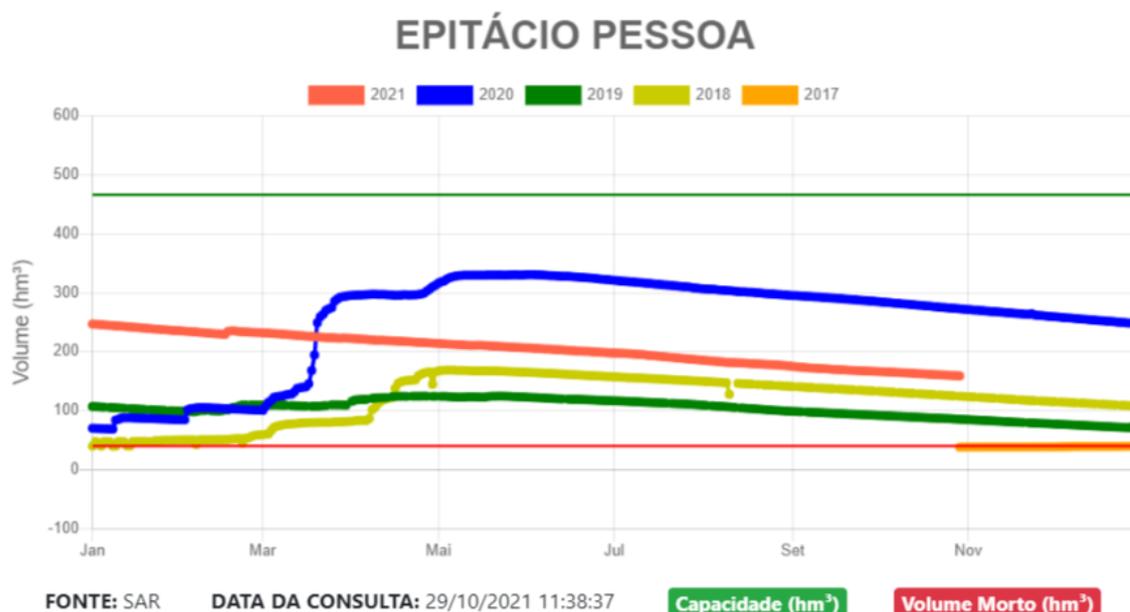
---

<sup>9</sup> Site do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios da ANA: <https://www.ana.gov.br/sar/>

O Sistema foi lançado em 2014 através de uma plataforma web e divide-se em três módulos: (i) Sistema Interligado Nacional (ii) Nordeste e Semiárido; e (iii) Outros Sistemas Hídricos. O módulo Nordeste e Semiárido, foco de interesse da tese, dispõe informações sobre mais de 500 reservatórios, com capacidade total próxima a 40 bilhões de m<sup>3</sup>, distribuídos pelos 9 estados do NEB e em Minas Gerais. É possível ter acesso aos volumes de água por Estado e dados históricos por reservatório (ANA, 2021d).

Ao consultar o reservatório Epitácio Pessoa, por exemplo, que abastece Campina Grande e outras 18 localidades do Estado da Paraíba (CBHSF, 2019), verificou-se que há dados de acompanhamento do volume disponíveis desde o ano de 1982, o que indica uma série longa de quase 40 anos de dados de monitoramento. O açude de Boqueirão, como também é conhecido, apresenta o gráfico de variação do seu volume acumulado para os anos de 2017 a 2021, exposto na Figura 9. Em 2017, o reservatório que tem capacidade para 466,53 hm<sup>3</sup>, chegou ao volume morto que gira em torno de 38 hm<sup>3</sup>.

**Figura 9** – Acompanhamento do volume de água armazenado no reservatório Epitácio Pessoa (PB) entre os anos de 2017 e 2021.



Fonte: ANA (2021d).

Para a data de referência de 29/10/2021, considerado um ano úmido, o NEB tem 540 reservatórios sendo monitorados, com uma capacidade total de 34.112,86 hm<sup>3</sup>, com um volume equivalente acumulado referente a apenas 31,33% desse

total. O MSB demonstrou que, para setembro/2021, o Nordeste encontra-se sem secas extremas e excepcionais em seu território.

### 2.3.3 Pesquisas do IBGE

O Sistema IBGE de Recuperação Automática<sup>10</sup> (SIDRA) é uma plataforma digital de acesso livre que dispõe de uma série de estudos e pesquisas realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sua primeira versão data de 1997 e foi sendo aprimorada. Dentre os dados disponíveis no portal, ao longo da tese são utilizadas informações referentes à Produção Agrícola Municipal (PAM) e a Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM).

A PAM reitera sobre quantidade produzida, área plantada e colhida, rendimento médio e valor da produção agrícola de culturas temporárias e permanentes (IBGE, 2021a). Os dados utilizados ao longo do estudo baseiam-se na diferença entre a área plantada e a área colhida para os municípios do Nordeste entre os anos de 2010 e 2019, sendo os anos de 2010, 2011, 2018 e 2019 anos úmidos e o recorte temporal compreendido entre 2012 e 2017 anos secos que marcaram a maior seca pluri-anual já vivenciada na região Nordeste brasileira.

Foram utilizadas informações sobre a área plantada e a área colhida para a totalidade de culturas temporárias (tabela 1612) e de culturas permanentes (tabela 1613), sem distinguir qual o tipo de produto. Destaca-se que cada tipo de lavoura tem necessidades hídricas distintas e que algumas se adaptam melhor ao clima Semiárido. A região destaca-se tanto pela agricultura de sequeiro quanto pela agricultura irrigada.

O procedimento para obtenção dos dados ocorre da seguinte forma: i. seleciona-se a tabela de interesse na plataforma da PAM, a tabela 1612, por exemplo, corresponde às lavouras temporárias; ii. seleciona-se a/as variáveis de interesse, por exemplo, área plantada e/ou área colhida; iii. seleciona-se qual o produto de interesse da lavoura, destaca-se que o total também pode ser selecionado; iv. seleciona-se o (s) ano de interesse, o intervalo estende-se de 1974 a 2020; v. por fim, tem-se a seleção da unidade territorial, que pode ser o Brasil, as grandes regiões, as unidades da federação, mesorregiões, microrregiões ou

---

<sup>10</sup> Site da plataforma SIDRA: <http://sidra.ibge.gov.br>

municípios. Depois de todas os interesses selecionados, os resultados podem ser visualizados através de tabela ou gráfico e o download também está disponível.

A PPM, por sua vez, fornece dados estatísticos sobre efetivo dos rebanhos, ovinos, vacas ordenhadas, produtos de origem animal e aquicultura. A periodicidade é anual e estende-se por todos os municípios do país, assim como a PAM (IBGE, 2021b). Os dados utilizados na tese referem-se ao efetivo de rebanhos bovinos, uma vez que é a segunda maior produção animal do Nordeste, ficando atrás apenas dos galináceos, e é a primeira em se tratando de consumo e demanda de água necessária para a criação. O processo de obtenção dos dados ocorre da mesma maneira descrita para a PAM.

A Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC) é uma outra pesquisa anual do IBGE que dispõe informações sobre a estrutura, dinâmica e funcionamento de instituições públicas municipais, tendo como principal provedor de informações as prefeituras. A primeira MUNIC data de 1999 e também apresenta uma periodicidade anual para a escala municipal, entretanto, as variáveis que são abordadas diferem de ano para ano, diferente da PAM e da PPM (IBGE, 2021a; 2021b).

Diante disso, utilizou-se ao longo da tese a pesquisa do ano de 2017, que abordou questionamentos referentes a seca compreendida entre o quadriênio de 2013 a 2016 aos gestores municipais do país. Entre as variáveis utilizadas estão quais as medidas utilizadas pelos municípios para conviver com os efeitos da seca, entre as quais estão: i construção de cisternas; ii. Perfuração de poços; iii. Distribuição de água por meio de carros-pipa; iv. Existência de plano para convivência com a seca.

#### *2.3.4 Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2iD*

O S2iD permite acesso a dados produzidos pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) e o portal tem como objetivo disponibilizar informações referentes à gestão de riscos e desastres que ocorrem no Brasil. Ao acessar o sistema, é possível encontrar as seguintes informações, de acordo com o S2iD (2021):

- Registrar desastres ocorridos no município/estado;

- Consultar e acompanhar os processos de reconhecimento federal de situação de emergência ou de estado de calamidade pública;
- Consultar e acompanhar os processos de transferência de recursos para ações de resposta;
- Consultar e acompanhar os processos de transferência de recursos para ações de reconstrução;
- Buscar informações sobre ocorrências e gestão de riscos e desastres com base em fontes de dados oficial.

O acesso ao portal pode ser feito por qualquer usuário e é possível, através de um mapa online de alta definição, visualizar os reconhecimentos vigentes (registrados) no país com informações referentes à localização do município, o tipo de desastre reportado, o número do decreto e a sua vigência, entre outros elementos que estão ilustrados na Figura 10. Além dos reconhecimentos ativos, os utilizadores podem navegar por relatórios, séries históricas desde 2013 (ano de criação do sistema), como também o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais que contém 27 volumes (por estado e para o Brasil), com registros que vão de 1991 a 2012.

**Figura 10** – Interface do S2iD com exemplo para o município de Ouricuri-PE.

The screenshot displays the S2iD interface for the municipality of Ouricuri, PE. The interface includes a navigation menu at the top with options like 'Sobre', 'Série Histórica', 'Relatórios', 'Arquivo Digital', 'Atlas Brasileiro', 'Ouvidoria', and 'Suporte técnico'. A search bar on the left allows filtering by 'Reconhecimentos vigentes' and 'Cidades resilientes'. The main content area shows the following information for Ouricuri (PE) - 2609907:

Latitude: -7,883 Longitude: -40,082		COBRADE 14110 - Estiagem
<b>Decreto</b> Número: 51296 Data: 05/09/2021		<b>Vigência</b> Data: 04/03/2022
Tipo de reconhecimento: Situação de Emergência (SE) Processo: 59051.013091/2021-23 Rito: Ordinário		
<b>Portaria</b> Número: 2644 Data: 19/10/2021		<b>D.O.U.</b> Número: 2640 Data: 21/10/2021
<b>Programa cidades resilientes</b> Data de adesão: Sem adesão		

Additional information shown includes a total of 2984 active recognitions and a legend for the map. The interface also features a login section with fields for 'Usuário' and 'Senha', and a '500 km' scale bar at the bottom.

Fonte: S2iD (2021).

De acordo com Eckhardt e Leiras (2018), o S2iD foi projetado para funcionar no modo online, com o propósito de cada cidade afetada por um desastre ser apta

a inserir informações iniciais sobre o fenômeno. Os documentos necessários para esse registro são o FIDE (Formulário de Informação de Desastre), DMATE (Declaração Municipal de Ação de Emergência) e DEATE (Declaração Estadual de Ação de Emergência) - que contêm informações quantitativas de danos e perdas.

O município registra as informações do desastre e um responsável técnico irá manualmente, com base em processos internos, verificar se a solicitação do município é então consistente e verídica. Para atender às necessidades do município, dois tipos de apoio a desastres são gerenciados dentro do S2iD: kits de emergência humanitária e recursos financeiros. A decisão de enviar recursos financeiros ou materiais em resposta a desastres não possui uma estrutura padronizada de instrução normativa.

### 3 METODOLOGIA

Antes de iniciar a proposição metodológica, algumas premissas e condições de contorno que foram consideradas para o desenvolvimento da tese são listadas a seguir.

- Sabe-se que a seca pode ter efeitos nos mais diversos setores da sociedade e do meio ambiente, entretanto, o objetivo foi avaliar esses impactos apenas do ponto de vista da escassez hídrica (acionamento e decretos de situação de emergência) e nas atividades agrícolas e pecuárias. Estes são os impactos apontados pelo Monitor de Secas do Brasil.
- Sabe-se também que embora o racionamento e os decretos de emergência sejam consequências diretas da seca, as perdas agrícolas e pecuárias podem ter outros fatores atrelados, como o surgimento de pragas, a falta de vacinação do rebanho, ou o êxodo rural. Entretanto, tinha-se o propósito de buscar uma interrelação entre os efeitos da seca e as perdas agropecuárias, e verificar se onde as secas são mais intensas, as perdas também seguiriam esse delineamento;
- O recorte temporal de 2014 a 2019 foi considerado para análise, pois, o dado de entrada inicial (mapas mensais do Monitor de Secas do Brasil) só está disponível a partir de julho de 2014. O recorte 2014-2017 só permitiria uma análise de 3 anos e meio. A fim de expandir esse recorte temporal, investigou-se o período entre julho/2014 e junho/2019, o que correspondeu a um período de 5 anos. Entretanto, alguns diagnósticos da situação da seca e dos seus impactos foram realizados para antes ou depois desse período, com a finalidade de demonstrar como o Nordeste comporta-se em anos úmidos.

No referencial teórico foram explanadas todas as bases de dados utilizadas para obtenção de informações que permitissem o desenvolvimento desse trabalho. Entretanto, para auxiliar no entendimento de tantas plataformas, recortes temporais, espaciais e periodicidade de foi elaborado o Quadro 3.

**Quadro 3 – Caracterização e descrição de todas as bases de dados utilizadas ao longo da tese.**

<b>MSB</b>	
Descrição do dado	Mapas vetoriais que apresentam 5 intensidades de seca
Recorte Temporal*	Julho/2014 a junho/2019
Recorte espacial**	Região Nordeste e SAB
Periodicidade do dado	Mensal
Tempo de análise	5 anos
<b>Olho N'água/SAR</b>	
Descrição do dado	Gráficos e planilhas que permitem acompanhar o volume de água armazenado nos reservatórios
Recorte Temporal*	Janeiro/2012 a março/2020
Recorte espacial	Região Nordeste e SAB
Periodicidade do dado	Diária
Tempo de análise	8 anos
<b>Pesquisas do IBGE</b>	
<b>MUNIC</b>	
Descrição do dado	Planilha com dados respondidos como “sim” ou “não” para quais as medidas utilizadas pelos municípios para conviver com a seca. As variáveis extraídas foram: Construção de açudes, perfuração de poços, distribuição de água por meio de carros-pipa, se o município apresentava plano de preparação para a seca.
Recorte Temporal*	2013 a 2016
Recorte espacial	Região SAB
Periodicidade do dado	Quadrienal
Tempo de análise	4 anos
<b>PAM</b>	
Descrição do dado	Foram utilizadas informações sobre a área plantada e a área colhida para a totalidade de culturas temporárias e de culturas permanentes, sem distinguir qual o tipo de produto.
Recorte Temporal*	2010 a 2019
Recorte espacial	Região Nordeste e SAB
Periodicidade do dado	Anual
Tempo de análise	10 anos
<b>PPM</b>	
Descrição do dado	Foram utilizadas informações referentes ao efetivo do rebanho bovino em número de cabeças.
Recorte Temporal*	2010 a 2019
Recorte espacial	Região Nordeste e SAB
Periodicidade do dado	Anual
Tempo de análise	10 anos
<b>S2iD</b>	
Descrição do dado	Planilha que apontou quantos Decretos de Situação de Emergência foram reconhecidos para cada município.
Recorte Temporal*	Janeiro/2014 a dezembro/2019
Recorte espacial	Região Nordeste e SAB
Periodicidade do dado	Trimestral
Tempo de análise	6 anos

\*A seca pluri-anual analisada data de 2012 a 2017, entretanto, algumas bases de dados apresentam dados para antes ou depois desse período. Quando isso aconteceu, os anos de 2010 e 2011, assim

como os anos de 2019 a 2020 também foram colocados sob análise com o objetivo de demonstrar como a região em estudo comporta-se em anos não secos (anos úmidos).

\*\*A tese referiu-se ora à região Nordeste, ora ao Semiárido Brasileiro (SAB). Isso aconteceu, pois, como a seca no SAB é mais intensa do que nas demais áreas, viu-se a relevância de, em algumas análises, destacar essa situação mais crítica.

Fonte: Autoria própria.

Após discutidas essas condições de contorno, a tese teve o seu desenvolvimento metodológico pautado em seis etapas:

- i. Classificação da pesquisa científica;
- ii. Caracterização da área de estudo;
- iii. Caracterização da seca plurianual 2012-2018 no Semiárido Brasileiro, realizada sob uma perspectiva de impactos hidrológicos e agrícolas;
- iv. Abordagem Cumulativa de Secas, que consistiu em combinar mapas mensais do MSB em um único produto, o qual possibilitou visualizar as secas numa perspectiva plurianual integrada;
- v. Incidência Cumulativa de Impactos que, por sua vez, teve a mesma função de permitir a visualização dos possíveis impactos associados às secas de forma integrada em um único produto;
- vi. Integração dos mapas cumulativos de secas e de impactos, bem como a proposição de medidas proativas que pudessem auxiliar os tomadores de decisão na gestão proativa das secas futuras na região Nordeste brasileira.

### **3.1 Classificação da pesquisa científica**

As pesquisas científicas são classificadas, segundo Prodanov e Freitas (2013), em quatro pontos de vista: i. da sua natureza; ii. de seus objetivos; iii. pelos procedimentos técnicos; iv. da forma de abordagem do problema. A partir dessa abordagem, construiu-se o Quadro 4. A tese consistiu em uma pesquisa aplicada, que buscou uma aplicação prática no estudo do fenômeno da seca na busca por uma solução de problemas na gestão.

Na perspectiva do método científico, realizou-se uma pesquisa hipotético-dedutiva, em que hipóteses foram traçadas para expressar as dificuldades do problema. Quanto aos objetivos ou finalidade, definiu-se como uma pesquisa

descritiva que expõe características da seca e seus impactos, com técnicas padronizadas de coleta e manuseio dos dados obtidos para a caracterização.

**Quadro 4** - Classificação da pesquisa científica desenvolvida na tese.

Tipos de pesquisa	Classificação	Descrição
Quanto à Natureza	Aplicada	Procura produzir conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos.
Quanto ao método científico	Hipotético-Dedutiva	Formulam-se hipóteses para expressar as dificuldades do problema, de onde deduzimos consequências que deverão ser testadas ou falseadas.
Quanto aos objetivos ou fins da pesquisa	Descritiva	Expõe as características de uma determinada população ou fenômeno, demandando técnicas padronizadas de coleta de dados.
Quanto aos procedimentos técnicos	Bibliográfica	Concebida a partir de materiais já publicados.
	Estudo de caso	Representa a estratégia preferida quando colocamos questões do tipo “como” e “por que”, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real.
Quanto a forma de abordagem do problema	Quantitativa	Requer o uso de recursos e técnicas de estatística, procurando traduzir em números os conhecimentos gerados pelo pesquisador.

Fonte: Adaptada de Prodanov e Freitas (2013).

Quanto aos procedimentos técnicos, realizou-se primeiramente uma pesquisa bibliográfica, com base em artigos de periódicos, livros, banco de dados e relatórios publicados. Em seguida, foi desenvolvido um estudo de caso a fim de responder questões relacionadas a “como a seca comporta-se sob uma perspectiva cumulativa plurianual e integrada?” e “como os municípios se comportam frente aos possíveis impactos da seca sobre o abastecimento de água e as atividades agropecuárias?”

Por fim, tem-se a classificação perante a forma de abordagem do problema. O estudo apresentou uma classificação quantitativa, uma vez que todas as informações colocadas sob análise são quantitativas obtidas a partir de variadas fontes de dados. Ressalta-se que, quanto aos critérios de coleta de dados, utilizou-se da técnica de triangulação. Esse método consiste em confrontar dados obtidos a partir de diferentes fontes, a fim de tornar o estudo o mais preciso possível (Prodanov e Freitas, 2013).

### 3.2 Área de estudo

Esta pesquisa tem o município como unidade de análise metodológica, processamento e espacialização de informações. Essa é a menor unidade de organização do território e permite ter uma visão local de como a seca e seus impactos se comportaram. Entretanto, a Região Nordeste Brasileira (Figura 11) abrange 1.794 municípios, distribuídos em 9 Estados da Federação, o que impossibilita uma caracterização de todas essas localidades. Diante disso, a NEB será caracterizada a seguir a partir dos níveis estadual, da região como um todo e sob a perspectiva do Semiárido Brasileiro, que abrange mais de 89% do Nordeste.

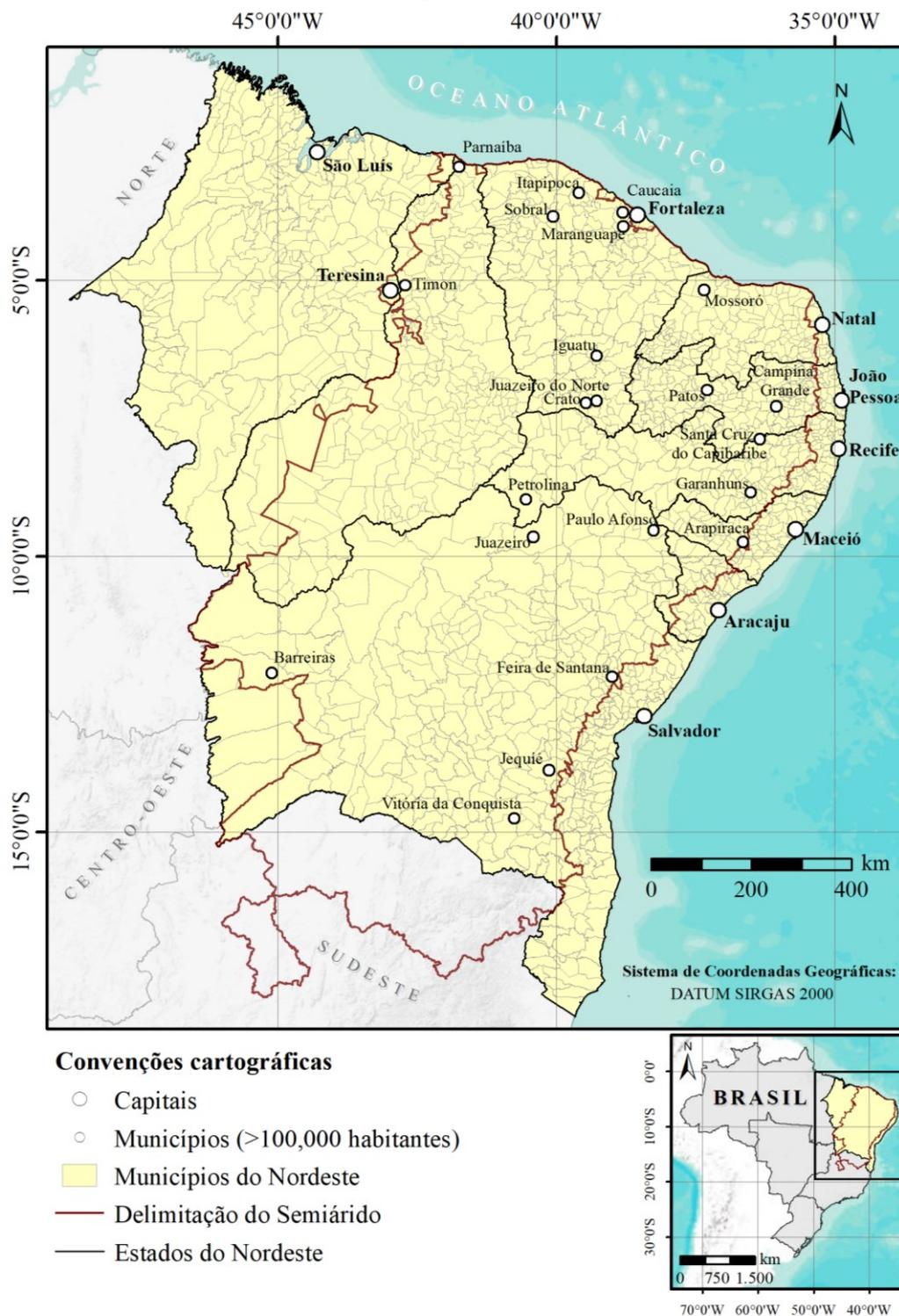
A região Nordeste do Brasil (NEB) está localizada em uma região tropical entre as coordenadas 1° a 18° ao Sul e 35° a 47° ao Leste. Abrange uma área territorial de 1.552.175,41 km<sup>2</sup> e tem uma população estimada em 57.374.243 habitantes, de acordo com dados do portal Cidades do IBGE (2020), caracterizando-se como a maior do país em extensão e como a 2ª região mais populosa. As nove Unidades da Federação (UF) que compõem o Estado são: Alagoas (AL), Bahia (BA), Ceará (CE), Maranhão (MA), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio Grande do Norte (RN) e Sergipe (SE).

A precipitação média anual no Brasil para o ano de 2020 foi de 1.495 mm. A precipitação máxima foi registrada na região Norte do país (3.868 mm), enquanto a precipitação mínima anual ocorreu na região Nordeste, com 365,8 mm registrados no município de Canudos, no Semiárido Baiano. Entre as 10 menores precipitações anuais do país, todas localizam-se na região Nordeste brasileira (ALMEIDA et al., 2021).

A região apresenta diferentes condições climáticas espacialmente, relacionadas diretamente à distribuição temporal da precipitação. Esse tipo climático é caracterizado por intensa radiação solar, baixa cobertura de nuvens e umidade relativa, e altas taxas de evapotranspiração potencial. A precipitação está distribuída irregularmente por toda a região. A zona seca (semiárida), que fica no interior, registra em torno de 500 mm de chuva por ano, que se concentra nos meses de fevereiro a maio. Em contrapartida, a área tropical, localizada no litoral e em parte das fronteiras regionais, atinge mais de 1500 mm de precipitação anual distribuída entre abril e julho. Aproximadamente 72,7% de seu território é

legalmente conhecido como semiárido por iniciativas de políticas (CUNHA *et al.*, 2015; IBGE, 2020; TOMASELLA *et al.*, 2018).

**Figura 11** - Localização da Região Nordeste Brasileira com identificação dos municípios, estados e delimitação do Semiárido.



Fonte: Elaborada a partir de IBGE (2020).

No que se refere aos recursos hídricos, o Nordeste atravessa desafios expressivos. A maior parte dos rios são intermitentes e o cenário é agravado pela alternância entre anos de pluviosidade regular e anos consecutivos de chuvas abaixo da média, dando origem a secas prolongadas marcadas por situações de escassez hídrica desafiadoras. O período 2012-2018 foi marcado pelo agravamento das condições climáticas em diversas partes da região, resultando em colapsos dos sistemas de abastecimento de água.

As fontes de abastecimento da região são predominantemente os reservatórios de águas superficiais. No mês em que a seca teve a sua maior extensão espacial (dezembro de 2016), a região Nordeste chegou a 65,64% do seu território em seca excepcional (ANA, 2021c). Para esse mês, os dados do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios da ANA (2021d) indicam que o NEB tinha um volume acumulado de apenas 15,99% da sua capacidade total, de acordo com a Tabela 1. Esse dado tem como data de referência 31/12/2016.

**Tabela 1** - Caracterização do sistema de reservatórios superficiais acompanhados pelo Sistema de Acompanhamento de Reservatórios da ANA

Estado	Reservatórios	Capacidade Equivalente (hm <sup>3</sup> )	Volume Acumulado (hm <sup>3</sup> )	Volume Acumulado (%)
AL	22	-	-	-
BA	43	3.631,90	1.932,14	53,2
CE	155	18.869,42	1.249,92	6,62
MA	1	1.014,00	560	55,23
PB	126	3.947,51	340,67	8,63
PE	104	3.030,87	276,51	9,12
PI	25	1.818,96	846,58	46,54
RN	54	1.733,76	230,04	13,27
SE	10	19,35	10,24	52,92
Nordeste	540	34.065,77	5.446,10	15,99

Fonte: Elaborada a partir de ANA (2021d).

O pior cenário é visto no Estado do Ceará, que mantinha apenas 6,62% de volume acumulado. As situações observadas para a Bahia, Maranhão, Piauí e Sergipe demonstram uma maior segurança hídrica para o período, visto que a sua capacidade de acumulação estava em torno de 50% do total. Depois do Ceará tem-se a Paraíba com a pior conjuntura. O mais preocupante impacto da seca sobre essa área é a escassez hídrica. Conforme aponta Marinho et al. (2021), apesar da implantação do PISF, que objetiva o aumento da oferta de água para os Estados

do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, a vulnerabilidade ao desabastecimento urbano em situações de risco de seca persiste. Os autores destacam também que o ciclo proativo de planejar, preparar-se, adaptar-se para a mitigação dos efeitos do fenômeno, constituem o mecanismo mais eficaz frente às inúmeras ações de infraestrutura hídrica.

De acordo com o Censo Agropecuário do IBGE (2017), o efetivo de rebanho bovino para o Nordeste é de 21.631.000 cabeças. O estudo atentou-se ao rebanho bovino devido a maior demanda de água necessária quando comparada aos demais rebanhos. O Quadro 5 demonstrou também qual a lavoura temporária predominante em cada UF e a sua respectiva produção para o ano de 2017 em toneladas. A Bahia destaca-se com a produção de 5.000.000 de toneladas de soja, seguida do Piauí e do Maranhão. Os demais estados tiveram produções menores de cultivos de mandioca, milho e melão.

**Quadro 5** - Informações demográficas e socioeconômicas dos Estados Nordestinos

UF	População*	Área (km <sup>2</sup> )	Efetivo de bovinos**	Lavoura temporária principal (t)**	Nº de Decretos
AL	3.351.543	27.830,657	786.000	Mandioca (124.000)	316
BA	14.930.634	564.760,427	8.200.000	Soja (5.000.000)	1.827
CE	9.187.103	148.894,442	1.900.000	Milho (241.000)	925
MA	7.114.598	329.651,495	5.400.000	Soja (1.900.000)	34
PB	4.039.277	56.467,242	1.000.000	Mandioca (79.000)	2.064
PE	9.616.621	98.067,880	1.300.000	Mandioca (148.000)	988
PI	3.281.480	251.755,485	1.400.000	Soja (2.000.000)	539
RN	3.534.165	52.809,601	758.000	Melão (175.000)	1.202
SE	2.318.822	21.938,184	887.000	Milho (158.000)	140

\* População estimada para o ano de 2020.

\*\*Dados obtidos a partir do Censo Agropecuário, Florestal e Aquícola do IBGE (2017). A data de referência adotada para a pesquisa é 30 de setembro de 2017.

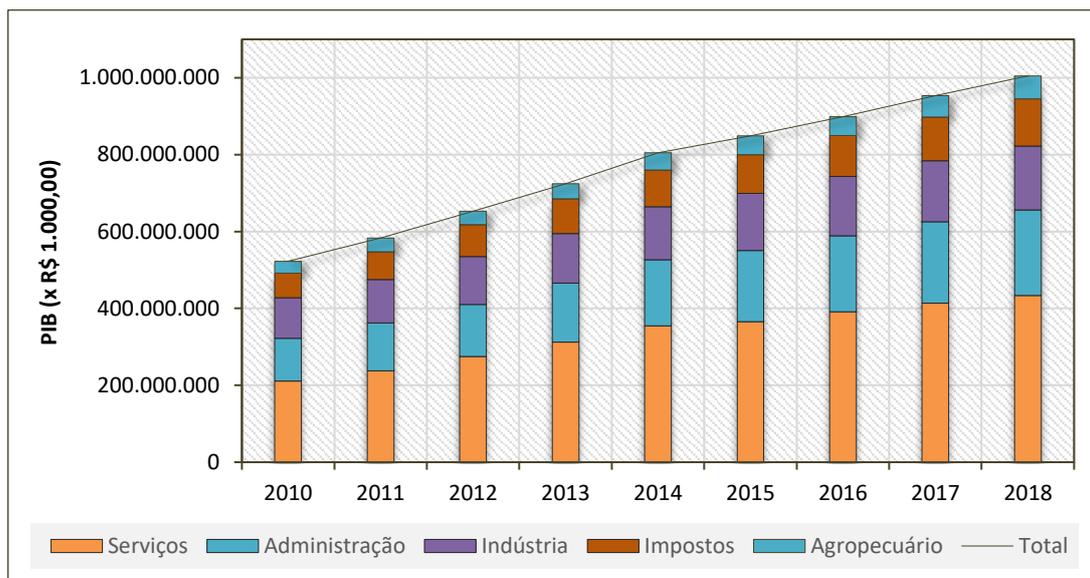
Fonte: Elaborada a partir de IBGE (2017; 2020) e S2iD (2021).

Fazendo uma análise do setor econômico brasileiro, foi possível verificar que o Produto Interno Bruto (PIB) do Nordeste não parou de crescer sequer um ano consecutivo entre 2010 e 2018, entre anos secos e não secos, conforme demonstra a Figura 12. Verifica-se ainda que o setor de maior contribuição é o de Serviços, ficando com a menor contribuição o setor agropecuário. O PIB total em 2010 era de R\$ 522.769.315.000,00 e, até 2018, esse valor cresceu 92,21%, indicando um crescimento econômico de quase o dobro para o NEB decorridos 8 anos.

A região semiárida do Brasil (SAB) ocupa uma área total de 1.128.697 km<sup>2</sup> e abriga uma população de cerca de 28 milhões de habitantes em 1.262 municípios,

com mais de 89% situando-se no Nordeste (IBGE, 2020). As políticas federais estabeleceram um limite oficial para o SAB com base em três critérios: (i) precipitação média anual igual ou inferior a 800 mm; (ii) índice de aridez de *Thornthwaite* igual ou inferior a 0,50; e (iii) déficit hídrico diário igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2017).

**Figura 12** - PIB para a região Nordeste Brasileira por setor produtivo



Fonte: Elaborada a partir de IBGE (2021c).

O semiárido enquadra-se como a região mais seca do país. As precipitações anuais, que se concentram entre fevereiro e maio, variam entre 400 e 800 mm. Em contrapartida, as taxas de evaporação atingem mais de 2.000 mm por ano. Os solos tipicamente rasos, sobre rochas cristalinas, não propiciam o provimento de recarga hídrica subterrânea, o que acarreta a intermitência dos cursos d'água superficiais (CAMPOS, 2015; MAGALHÃES, 2016).

A produção agropecuária destaca-se com a criação de bovinos, caprinos, ovinos e suínos. Os rebanhos são cultivados de forma extensiva (soltos), intensiva (confinados) ou semi-intensiva (parte do dia soltos, parte confinados), predominando a primeira. Quanto à produção agrícola, esta desenvolve-se na forma da agricultura de sequeiro – ocorre nos meses chuvosos, a agricultura de vazante – plantada à margem dos corpos d'água quando estes vão secando, e a agricultura irrigada – que depende da construção de um sistema que obtenha a água de um reservatório (SILVA; ANDRADE, SOUZA, 2013), destaca-se neste

último a atuação da CODEVASF para incentivar a produção agropecuária nos períodos secos.

### 3.3 Caracterização da seca plurianual 2012 – 2018 e seus impactos<sup>11</sup>

A metodologia apresentada nesta caracterização baseia-se no estudo desenvolvido por Dantas, Silva e Santos (2020), que utilizam o MSB (ANA, 2021c) para monitorar o comportamento espacial das secas e fizeram uso dos dados da plataforma Olho N'água (INSA, 2020) para analisar o impacto das secas no volume de água armazenado em reservatórios de abastecimento.

Diante disso, o trabalho aqui desenvolvido estrutura-se a partir de uma análise da última seca plurianual registrada no SAB (2012-2018). Toda a análise é realizada a partir de informações secundárias obtidas de portais nacionais, as quais permitem traçar um panorama do evento de seca citado. O estudo se divide em cinco etapas de execução, conforme aponta a Figura 13. Inicialmente a seca é caracterizada quanto a sua intensidade e extensão territorial com base no MSB (Etapa 1), que utiliza indicadores meteorológicos e hidrológicos para a sua composição.

Corresponde à caracterização da seca sob aspectos de intensidade, duração e extensão espacial para todo o território do Semiárido. Os dados são mensais e obtidos para o período de julho de 2014 a março de 2020, o que totaliza 69 meses. O procedimento consiste na utilização dos arquivos vetoriais (*shapefiles*) mensais do MSB que classificam as secas em cinco diferentes intensidades (Quadro 2) que são denominadas, por ordem crescente de gravidade: seca fraca, moderada, grave, extrema e excepcional.

A cada tipologia de seca são associados possíveis impactos esperados para o abastecimento e para a agricultura. Estes impactos baseiam-se em Svoboda *et al.* (2002) e são descrições de possíveis impactos utilizados pelo *U.S. Drought Monitor* (USDM) dos Estados Unidos e na concepção do Monitor de Secas Brasileiro.

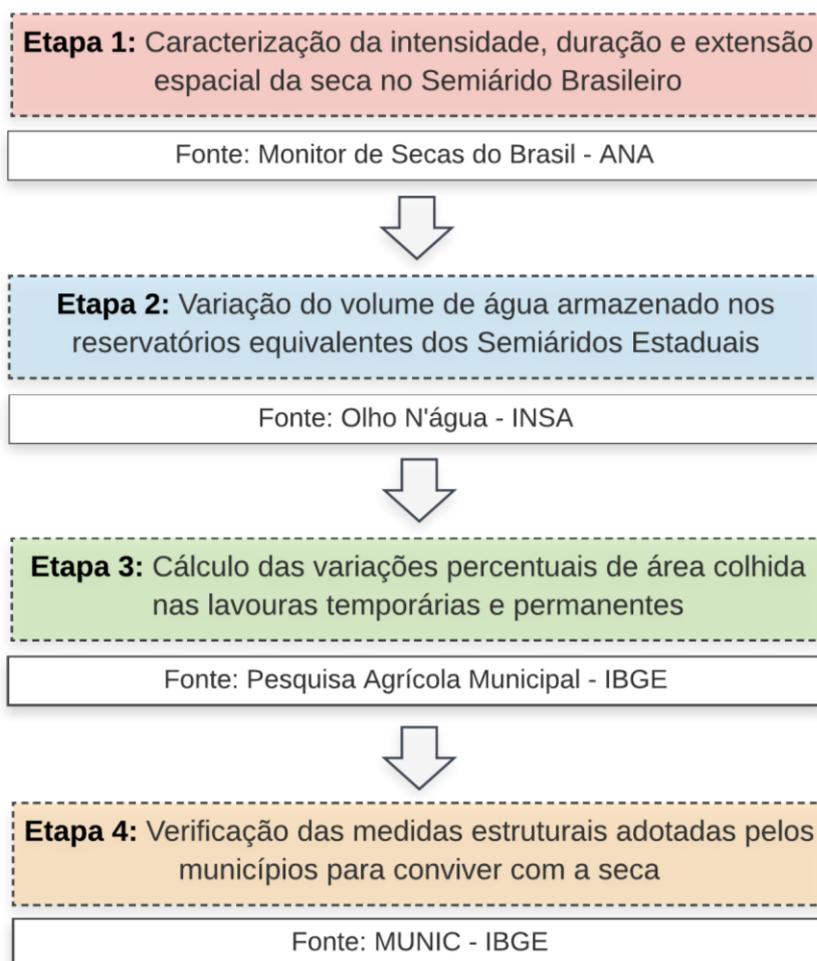
Os mapas de intensidades de seca são então incorporados a um Sistema de Informações Geográficas (*ArcGIS Desktop 10.6*) para o processamento. Para cada

---

<sup>11</sup> Este tópico faz parte de artigo científico aceito e aguarda publicação no periódico *Desenvolvimento e Meio Ambiente*.

mês, obtém-se a extensão territorial categorizada para cada uma das cinco tipologias de seca, a fim de originar um gráfico tabular de áreas percentuais que aponte, ao longo do período sob análise, como se dá a evolução temporal do fenômeno plurianual no SAB. Com base no diagrama, atenta-se ainda ao intervalo de maior severidade do evento, que corresponde ao maior percentual de área sob condição de seca excepcional (tipologia de seca de maior severidade).

**Figura 13** – Enumeração das três etapas metodológicas percorridas para traçar o panorama da seca plurianual 2012 – 2018, no Semiárido Brasileiro, com a citação da respectiva fonte de obtenção dos dados



Fonte: Autoria própria.

A segunda etapa, por sua vez, apresenta uma perspectiva hidrológica do volume armazenado de água nos reservatórios equivalentes estaduais do SAB, a partir do portal Olho N'água (Etapa 2), do Instituto Nacional do Semiárido (INSA). O impacto da seca é averiguado sob o volume de água armazenado nos reservatórios superficiais. A análise é realizada em planilha eletrônica e tem como

entrada os dados obtidos no portal Olho N'água, para o intervalo de janeiro/2012 a abril/2020. O MSB não permite observar o comportamento da seca desde 2012, pois, a plataforma só disponibiliza informações de meados de 2014 em diante. Apesar de em 2019/2020 o SAB não registrar seca, evidencia-se a utilidade de examinar como a região comporta-se no decorrer dessa dinâmica (quando não há seca).

São traçadas séries de dados que permitem acompanhar a evolução da quantidade de água armazenada para abastecimento, ao longo dos anos em questão. Nesta etapa, o Semiárido é subdividido conforme os recortes geográficos estaduais, o que permite apurar individualmente as condições de cada unidade federativa. Todo o volume de água disponível em cada divisão do SAB é acumulado e disposto em gráficos que permitem examinar a dinâmica no decurso, viabilizando a definição de gatilhos para os usos da água.

Posteriormente, são calculadas as variações percentuais referentes à área colhida dos produtos de lavouras temporárias e permanentes, com base na Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) do IBGE (Etapa 3). O cálculo baseia-se na área colhida do ano anterior, para aferir se houve variação positiva ou negativa de rendimento no ano seguinte. As operações utilizam o *Microsoft Excel 2019* como ferramenta e partem do ano de 2011, com base no ano de 2010 (ano chuvoso), analisando até 2018. Dessa forma, inicia-se a série de dados em 2010, com o intuito de averiguar a produção em anos não secos para, assim, delinear o comportamento dos anos secos seguintes. As informações da PAM são obtidas na escala municipal anual, em hectares, e agregadas por estado, com o intuito de computar as variações percentuais da produção.

Já a etapa 4 permite traçar um aparato de quais medidas estruturais e não-estruturais foram utilizadas pelos municípios na convivência com as secas recorrentes. As ações compreendem a construção de açudes, a perfuração de poços para obtenção de água subterrânea, a distribuição de água por meio de carros-pipa e se a localidade apresenta algum tipo de plano de convivência ou preparação para a seca. Os dados são obtidos a partir da Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC), também do IBGE, e corresponde ao quadriênio de 2013 a 2016. Em suma, essas informações são espacializadas com o auxílio do SIG para melhor interpretá-las.

A diferença entre os períodos de dados utilizados para cada plataforma, deve-se à disponibilidade de dados das mesmas, além do início da operação efetiva. Neste trabalho percebe-se que analisar anos chuvosos próximos a longos períodos de estiagem (imediatamente anteriores ou posteriores) ajuda na compreensão e identificação dos impactos. O Monitor de Secas só dispõe de dados a partir de 2014 (2014 a 2018 foram anos secos, enquanto 2019 e 2020 são considerados anos chuvosos), a pesquisa MUNIC do IBGE dispõe de dados entre 2013 e 2016 (todos os anos inseridos no período seco), enquanto o portal Olho N'água evidencia dados a partir de 2012 (início da seca plurianual estudada).

Na etapa 1 (Figura 13), estes dados foram utilizados com o intuito de evidenciar a intensidade e a extensão espacial da seca no SAB, entre 2014 e 2018, e , em contrapartida, expressar como essas características mudam em anos não secos (2019 e início de 2020); na etapa 2, a análise foca no acompanhamento da variação de volume de água dos reservatórios equivalentes dos Semiáridos Estaduais; assim como na etapa 3, os dados utilizados expõem a redução ou aumento da produção agrícola para anos anteriores a 2012 - anos não secos, e assim demonstrar se a seca influenciou na agricultura.

### **3.4 Abordagem cumulativa de secas<sup>12</sup>**

No MSB, cada classe de seca está associada a seus impactos de seca, conforme mostrado no Quadro 2. Nesta análise, três tipologias de seca foram escolhidas das cinco classes disponíveis nas saídas do monitor: secas severas (S2), extremas (S3) e excepcionais (S4). Essa seleção se deve aos níveis de maior impacto, como a restrição hídrica (seca severa) e a criação de estados de emergência (seca excepcional).

O Quadro 2 representa os impactos associados a cada categoria existente no MSB nos setores de Abastecimento e agrícola, O primeiro corresponde aos impactos hidrológicos no sistema de abastecimento humano. O segundo corresponde aos efeitos nas atividades agrícolas, que incluem lavouras, pastagens e mosaicos de agricultura e campos (SVOBODA *et al.*, 2002; NDMC, 2020). Vale ressaltar que, de acordo com a Lei das Águas do Brasil (Lei nº 9.433/1997), é

---

<sup>12</sup> Este tópico faz parte de artigo científico publicado no periódico *Environmental Monitoring and Assessment* e pode ser acessado através do link: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08839-5>.

objetivo a “a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais” (BRASIL, 1997).

Os dados mensais de julho de 2014 a junho de 2019, totalizando 5 anos de análise de secas, são sistematizados em ambiente SIG (*ArcGIS Desktop 10.6*), bem como submetidos a operações de análise espacial e consequente estruturação de mapas de secas acumuladas. Todo o procedimento é descrito graficamente na Figura 14. Os dados fornecidos pelo MSB estão disponíveis em formato vetorial (*shapefile*). Nesta abordagem, todos os dados são convertidos em grades espaciais com resolução de 1000 m. Esta operação visa facilitar o mapeamento da álgebra das categorias de secas cumulativas para todo o período considerado. A ferramenta *Spatial Analyst* do *ArcGIS* torna possível uma sobreposição de 60 arquivos *raster* mensais, com base em uma função cumulativa (Figura 14).

Um valor de intervalo expressa todos os dados de saída de 0 a 60, onde "0" significa que o pixel em uma área que não sofreu nenhuma seca severa (S2, S3 ou S4) durante qualquer um dos meses dentro da análise de intervalo de tempo (5 anos). Em outras mãos, o valor “60” expressa que a área foi severamente crítica durante todo o período de revisão de 5 anos, ininterruptamente.

Para melhor visualização dos resultados, o intervalo cumulativo de meses (0 a 60) é estruturado em intervalos, considerando que esses valores correspondem ao número total de meses em que uma determinada área esteve sob seca grave em 5 anos. As categorias (estabelecidas por intervalos) são descritas a seguir e definem áreas prioritárias que requerem significativas atenção ao desenvolvimento de ações de mitigação e gestão proativa (Figura 14).

(a) Intervalo 1: pixels sob condições de seca por até 12 meses durante o período avaliado (0 a 1 ano).

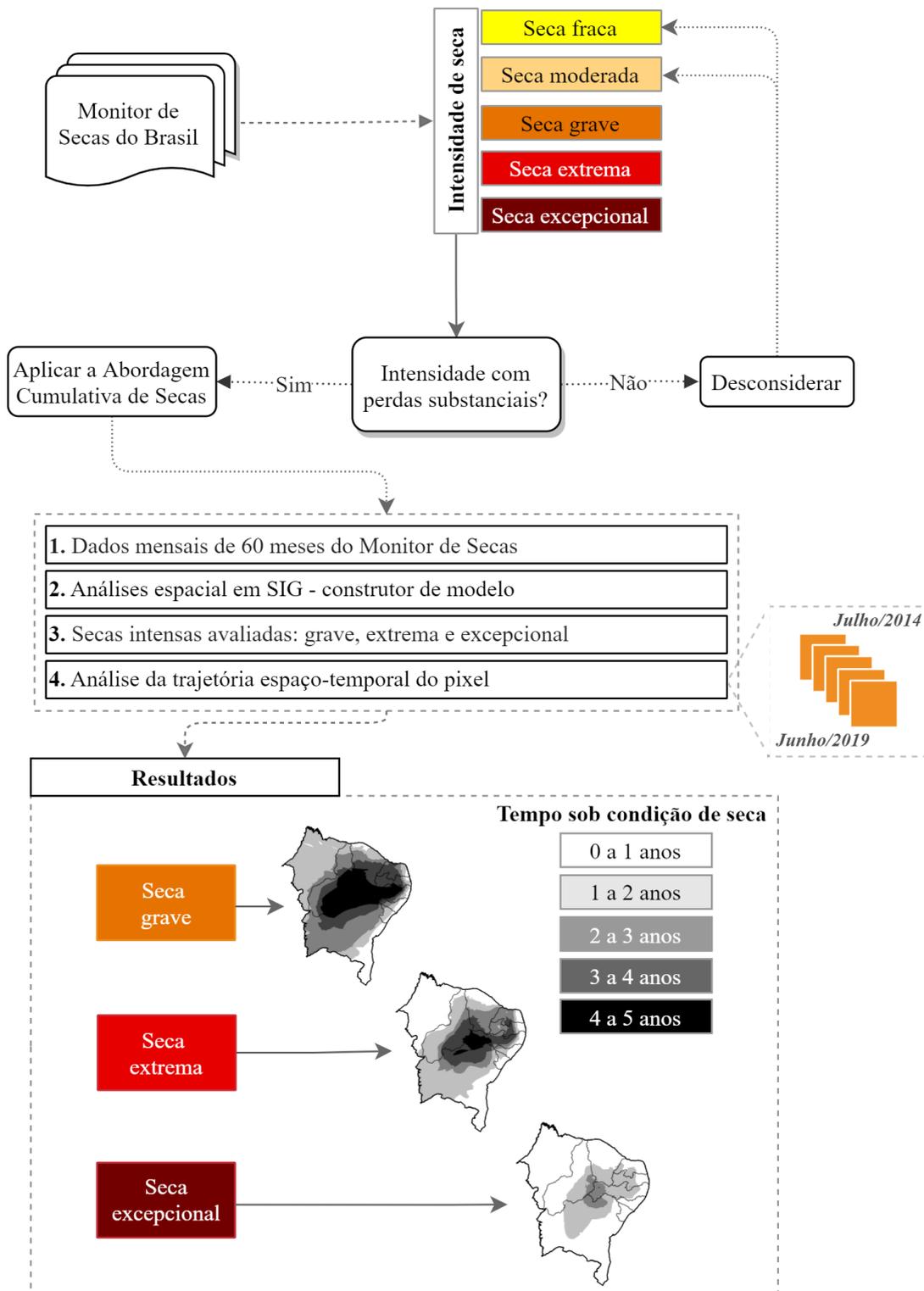
(b) Intervalo 2: pixels sob condições de seca por mais de 12 meses e até 24 meses durante o período avaliado (1 a 2 anos).

(c) Intervalo 3: pixels sob condições de seca por mais de 24 meses e até 36 meses durante o período avaliado (2 a 3 anos).

(d) Intervalo 4: pixels sob condições de seca por mais de 36 meses e até 48 meses durante o período avaliado (3 a 4 anos).

(e) Intervalo 5: pixels sob condições de seca por mais de 48 meses durante o período estimado (4 a 5 anos).

**Figura 14** – Estrutura metodológica utilizada para a abordagem cumulativa de secas no Nordeste brasileiro



Fonte: Autoria própria.

A abordagem cumulativa visa analisar a trajetória espacial e temporal de cada pixel e, conseqüentemente, determinar quais estão em condições de seca

severa, extrema ou excepcional em diferentes períodos e o tempo de permanência e continuidade dessas condições. O estudo é baseado na abordagem acumulada aplicada a 13 anos de mapas de seca dos EUA desenvolvidos por Rufino *et al.* (2014). Esses autores desenvolveram um mapa cumulativo de 2000 a 2012 usando resultados do *US Drought Monitor*, aplicado a 678 mapas disponíveis.

Em uma análise final, o mapeamento diagnóstico pode ser cruzado com os limites de 1.794 municípios no NEB. As estatísticas zonais permitem quantificar quanto de área de um município ainda está em situação de seca e por quanto tempo. Uma cidade pode ser classificada em mais de um intervalo, e é uma ferramenta de planejamento essencial para diferentes horizontes de tempo devido à possibilidade de os legisladores terem diferentes ações de gestão de acordo não apenas com a gravidade da seca, mas também ao tempo de permanência nos últimos 5 anos.

Estabelece-se uma escala ascendente de “severidade temporal”: o intervalo 1 corresponde às áreas de menor severidade, que sofreram estiagem por um período máximo de 1 ano (mesmo que não haja continuidade ao longo do tempo); por outro lado, o intervalo 5 apresenta áreas que requerem ações prioritárias ou um olhar mais atento dos órgãos de gestão de secas. Vale ressaltar que as três intensidades de seca são avaliadas de forma independente para verificar quanto tempo (intervalos de tempo 1 a 5) cada pixel do NEB esteve sob diferentes tipos de seca.

Uma análise de contingência espacial é então realizada, sobrepondo os mapas de secas acumuladas com os limites do município e identificando e quantificando áreas para definição de políticas e apoio financeiro. Essa abordagem produz determina os municípios expostos com maior frequência a condições de secas mais intensas ao longo dos 5 anos estudados.

### **3.5 Abordagem cumulativa de impactos**

Essa etapa metodológica tem início com a seleção dos indicadores utilizados para quantificar os possíveis efeitos da seca pluriannual 2014-2019 nos municípios da região Nordeste brasileira, conforme aponta a Figura 15. Tais variáveis são selecionadas a partir do Quadro 6, a qual representa a tabela de classificação de severidade de seca utilizada pelo Monitor de Secas do Brasil. Para a seleção dos

indicadores, foram verificados os possíveis impactos esperados para as secas mais intensas, a saber: grave, extrema e excepcional.

**Quadro 6** - Seleção dos indicadores de impactos analisados com base nos possíveis impactos esperados pelo MSB.

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>	<b>Impactos Possíveis</b>	<b>Indicadores selecionados com base nos impactos</b>
S0	Seca Fraca	Entrando em seca: veranico de curto prazo diminuindo plantio, crescimento de culturas ou pastagem. Saindo de seca: alguns déficits hídricos prolongados, pastagens ou culturas não completamente recuperadas.	
S1	Seca Moderada	Alguns danos às culturas, pastagens; córregos, reservatórios ou poços com níveis baixos, algumas faltas de água em desenvolvimento ou iminentes; restrições voluntárias de uso de água solicitadas.	
S2	Seca Grave	Perdas de cultura ou pastagens prováveis; escassez de água comuns; restrições de água impostas.	Perdas nas culturas temporárias; Perdas no rebanho bovino; Existência de racionamento por seca;
S3	Seca Extrema	Grandes perdas de culturas/pastagem; escassez de água generalizada ou restrições	Perdas nas culturas temporárias; Perdas no rebanho bovino; Existência de racionamento por seca;
S4	Seca Excepcional	Perdas de cultura/pastagem excepcionais e generalizadas; escassez de água nos reservatórios, córregos e poços de água, criando situações de emergência.	Perdas nas culturas temporárias; Perdas no rebanho bovino; Existência de racionamento por seca; Declarações de Situação de Emergência;

Fonte: Elaborado a partir de ANA (2021c).

As três tipologias de seca indicam como efeito esperado as perdas de culturas ou pastagens. Portanto, analisam-se as “perdas anuais de culturas temporárias” e as “perdas no rebanho bovino” para quantificar esse impacto provável apontado pelo MSB. Outra consequência das secas mais severas apontadas no Quadro 6 são as restrições de água impostas já desde a seca grave. Para verificar essa ocorrência utiliza-se o indicador de “existência de racionamento

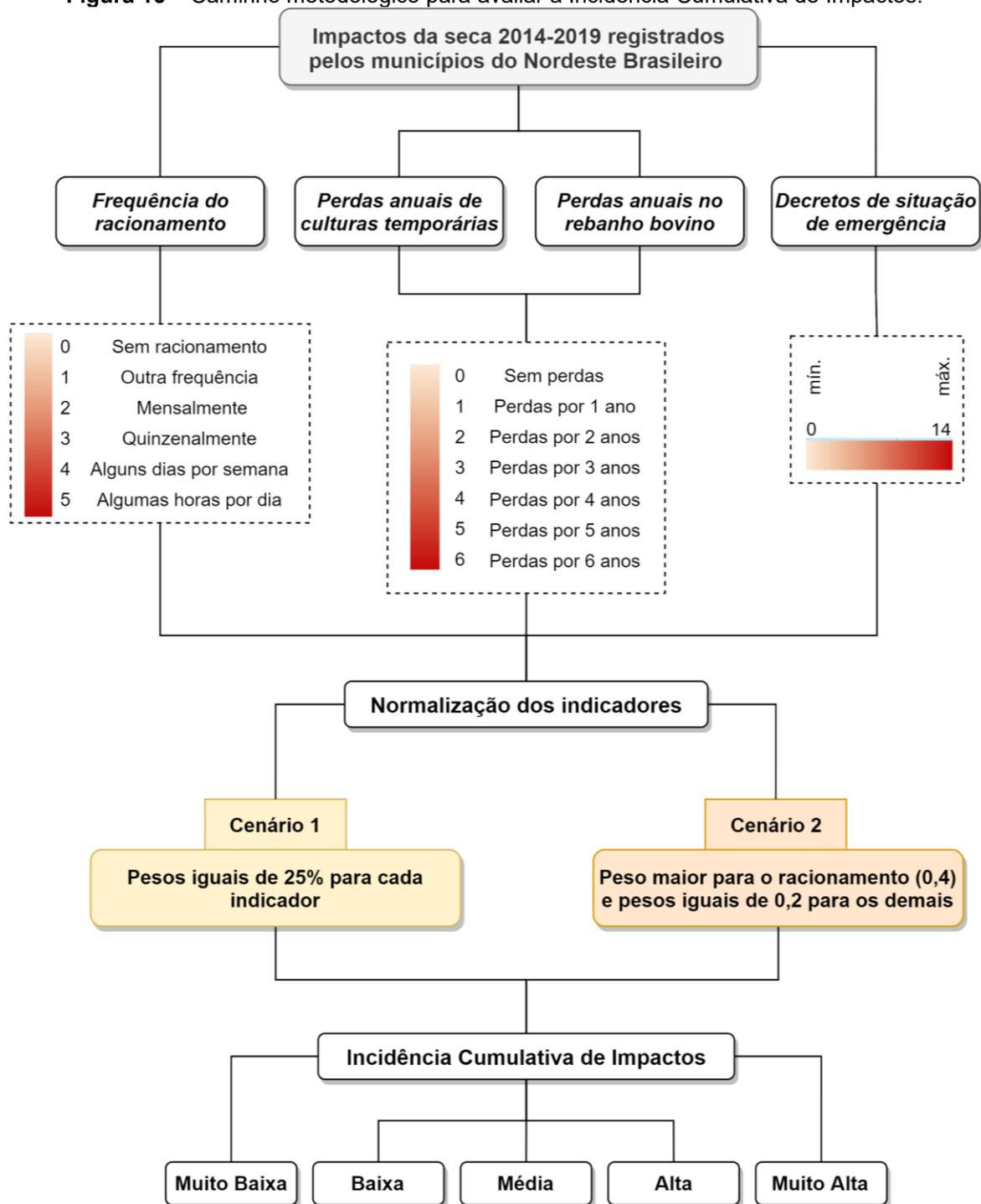
por seca”. E o último possível impacto sob análise são as “declarações de situação de emergência”, uma vez que, para a seca excepcional, espera-se que a escassez de água nos reservatórios crie situações de emergência nos municípios.

Os indicadores utilizados dividem-se em duas vertentes: i. perdas agropecuárias, que são analisadas através das “perdas nas culturas temporárias” e “perdas de rebanho bovino”; e de escassez no abastecimento de água, abordadas através do quantitativo dos “decretos de situação de emergência” e da “frequência da intermitência no fornecimento hídrico”.

A variável perdas nas lavouras temporárias resulta da subtração entre a área plantada em hectares em cada município e a área colhida para os anos de 2014 a 2019 (6 anos), e é obtido a partir da Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE (2021a). A diferença entre a área plantada ou destinada à colheita e a área colhida na lavoura é considerada como área perdida, desde que esse valor fosse igual ou superior a 5% de redução de área colhida em relação à área plantada. Por sua vez, a variável perdas no efetivo do rebanho bovino municipal (cabeças), obtida através da Pesquisa da Pecuária Municipal do IBGE (2021b), é calculada também para o recorte plurianual 2014-2019, considerando como referência o valor de cabeças do ano anterior. Considerou-se como ano de perdas os anos em que o percentual de redução de cabeças foi de, no mínimo, 5% em relação ao ano anterior.

Com o valor das perdas calculado anualmente verifica-se se houve perdas, ganhos ou se o valor da produção se manteve o mesmo. Quando perdas são verificadas, atribui-se o valor 1; para produção mantida ou ganhos, atribui-se o valor 0. Ou seja, o valor 1 indica que a área colhida (em hectares) é menor do que a área plantada (perdas registradas) ou que o rebanho bovino diminui entre o ano anterior e o ano seguinte, com perdas de 5% ou mais. Já o valor 0 indica que a área colhida é igual à área plantada ou que o rebanho bovino aumentou, foi mantido de um ano para outro ou reduziu menos de 5%. Mediante esses cálculos, ao longo de 6 anos de análise (2014 a 2019), os indicadores de perdas agropecuárias podem variar de 0 a 6. O “valor 0” indica que o município não apresentou perdas por todo o período sob análise e o “valor 6” aponta a situação mais crítica que um município pode atingir, que são 6 anos consecutivos de perdas na colheita das culturas temporárias ou de perdas no número de cabeças de bovinos. Todo esse procedimento segue exposto na Figura 15.

**Figura 15** – Caminho metodológico para avaliar a Incidência Cumulativa de Impactos.



Fonte: Autoria própria.

Os indicadores de escassez no abastecimento de água, por sua vez, são obtidos a partir do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) e através da Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC), respectivamente para as variáveis “decretos de situação de emergência” e “frequência da intermitência no fornecimento hídrico”. O primeiro, corresponde a quantidade de

Decretos de Situação de Emergência (DSE) emitidos pelos municípios nordestinos entre 2014 e 2019. O valor mínimo registrado é 0 (nenhum DSE reconhecido) e o maior valor é 14 (o município reconheceu 14 DSE ao longo dos 6 anos sob seca).

O segundo indicador de escassez no abastecimento, por sua vez, refere-se à frequência da intermitência ou racionamento de água no episódio de maior duração (em dias). Esse dado apresenta-se de forma quantitativa, indicando se a frequência de intermitência é diária, semanal, quinzenal, mensal, de outra maneira ou se não houve racionamento (6 cenários de racionamento apontados). Diante disso, para cada possível cenário atribui-se um valor que varia de 0 a 5, a saber: 0 (não houve racionamento), 1 (frequência maior que mensal), 2 (mensalmente), 3 (quinzenalmente), 4 (alguns dias por semana), 5 (diariamente por algumas horas).

Os valores obtidos para cada indicador são então espacializados em Ambiente SIG no *ArcGIS for Desktop 10.6* para todos os municípios da região Nordeste, a fim de permitir uma visualização gráfica dos possíveis impactos de seca individualmente. Depois de calculados os indicadores, os valores brutos são obtidos em faixas numéricas distintas. Para sanar essa questão e deixar os valores em uma mesma escala foi realizado o processo de normalização, através da Equação 1. Destaca-se que todos os indicadores têm relação direta com a incidência de impactos, de modo que quanto maior o valor, mais impactado o município.

$$I_i = \frac{X_i - \text{mín}}{\text{máx} - \text{mín}} \quad (1)$$

Em que  $I_i$  representa o valor normalizado,  $X_i$  a variável,  $\text{mín}$  e  $\text{máx}$  representam os valores mínimos e máximos fixados para cada indicador. Após esse procedimento, os indicadores se apresentam em uma escala de 0 (menor suscetibilidade ao impacto) a 1 (maior suscetibilidade ao impacto).

Mediante esses cálculos tem-se, em seguida, a etapa de ponderação dos indicadores. Nesse processo dois cenários foram criados. No primeiro, os quatro indicadores foram ponderados igualmente (peso de 25% para cada), visto que, como os indicadores foram selecionados a partir dos possíveis impactos da Tabela de Severidade de Secas do Monitor, o propósito dessa cenarização foi a de não ressaltar a relevância de um impacto com relação ao outro. Poderia ser feita uma

ponderação baseada em conhecimento de especialistas ou em uma análise estatística, mas, para este caso, uma simplificação foi adotada haja vista a dificuldade de mensuração de importância de um impacto com relação a outro, visto que esse não é um dos objetivos do trabalho.

A segunda cenarização, entretanto, respalda-se na Lei Federal N° 9.433/1997. O III fundamento da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) destaca que “em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais”. Cordão *et al.* (2020) considera a escassez urbana de água como o maior obstáculo para a população e seu respectivo desenvolvimento socioeconômico. Isto posto, para esse cenário, o impacto referente à frequência de racionamento do abastecimento humano foi ponderado com peso maior (40%) e os demais indicadores com pesos iguais de 20% cada. Esse artifício justifica-se pela maior importância do abastecimento humano em detrimento dos demais setores de usos da água.

Depois destes procedimentos matemáticos realizados, os indicadores ponderados são sistematizados em ambiente SIG (*ArcGIS Desktop 10.6*), bem como submetidos a operações de análise espacial e consequente estruturação de um mapa de Incidência Cumulativa de Impactos (ICI). Esse produto demonstra os municípios nordestinos evidenciados através de cinco classes com os seguintes intervalos qualitativos criados: muito baixa incidência de impactos (0 – 0,20), baixa (0,21 – 0,40), média (0,41 – 0,60), alta (0,61 – 0,80) e muito alta (0,81 – 1,00).

### **3.6 Proposição de medidas de gestão proativa da seca**

A última etapa da metodologia da tese consistiu na integração dos mapas cumulativos de secas e de impactos, bem como a proposição de medidas proativas de gestão. Tais ações foram elaboradas para auxiliar os tomadores de decisão em uma gestão mais proativa das secas recorrentes na região Nordeste brasileira. Embora busquem ser de fácil implantação para os gestores, as medidas objetivam inserir também a sociedade civil nesse processo, a fim de estabelecer uma gestão participativa.

O primeiro passo acontece em ambiente SIG. Os dois mapas desenvolvidos a partir da abordagem cumulativa descrita nas etapas anteriores são sobrepostos através de uma álgebra de mapas. O objetivo dessa sobreposição foi a identificação

de áreas em que tanto as secas quanto os impactos estivessem registrados em mais de 60% do tempo sob análise, determinando assim as regiões mais suscetíveis à incidência da seca e dos seus impactos.

Os mapas de secas, que estão expostos na Figura 22, possuem pixels com valores que variam de 1 a 5. Os pixels sob condições de seca por até 12 meses durante o período avaliado apresentam valor 1, os que estiveram em seca pelo intervalo de 13 a 24 meses detêm valor 2, e assim sucessivamente até chegar ao valor 5 que indica regiões que estiveram em seca por mais de 4 anos (49 meses em diante) perante o período de 5 anos analisado (julho/2014 a junho/2019). Todo esse procedimento segue ilustrado na Figura 16.

Já o mapa de Incidência Cumulativa de Impactos apresentou valores decimais que variaram entre 0 e 1. Porém, esses valores foram reclassificados no SIG antes de sobrepor ao mapa de seca cumulativa, da seguinte forma: muito baixa incidência de impactos (1), baixa (2), média (3), alta (4) e muito alta (5). Daí em diante, a mapa cumulativo de secas foi somado ao mapa cumulativo de impactos através da calculadora raster do *ArcGIS 10.6 for Desktop*, obtendo assim o mapa final de incidência de possíveis impactos da seca nos municípios do Nordeste, a partir de uma operação de tabulação cruzada.

**Figura 16** – Etapa metodológica que ilustra a integração entre os mapas cumulativos de secas e de impactos e a respectiva proposição de medidas de mitigação

		ICI						
		Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta		
		1	2	3	4	5		
ACS	1 ano	1	1;1	1;2	1;3	1;4	1;5	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Suscetibilidade às secas e seus impactos</div> <div style="background-color: #cccccc; padding: 5px; text-align: center;">Sem suscetibilidade</div> <div style="background-color: #ffff00; padding: 5px; text-align: center;">Suscetibilidade grave</div> <div style="background-color: #ff9900; padding: 5px; text-align: center;">Suscetibilidade extrema</div> <div style="background-color: #990000; padding: 5px; text-align: center;">Suscetibilidade excepcional</div>
	2 anos	2	2;1	2;2	2;3	2;4	2;5	
	3 anos	3	3;1	3;2	3;3	3;4	3;5	
	4 anos	4	4;1	4;2	4;3	4;4	4;5	
	5 anos	5	5;1	5;2	5;3	5;4	5;5	

Fonte: Autoria própria.

Os valores 4,4; 4,5; 5,4 e 5,5, representados pela tonalidade de cor mais escura, indicam uma suscetibilidade excepcional à seca e seus impactos, ou seja, a região esteve por mais de 3 anos (60% do tempo) em seca e ao mesmo tempo registrou impactos de incidência “Alta” e “Muita Alta”. Esses números indicam as regiões do Nordeste que decretaram Estado de Emergência, com elevada incidência de impactos e seca severa. Ações de recuperação, mitigação e consequente preparação para conviver com as secas devem ser prioritárias nessas áreas.

Os valores em suscetibilidade extrema (laranja), no que lhe concerne, representam os demais *pixels* que registraram seca por mais de 3 anos ou que tiveram ocorrência de impactos em níveis “Alto” e “Muito Alto”. São áreas que também necessitam de uma maior preocupação frente ações dos gestores, posto que indicam um cenário também agravante. As áreas em amarelo apontaram seca por 3 anos ou menos e nelas incidiram impactos de classes “Muito Baixa”, “Baixa” e “Média”, sinalizando uma suscetibilidade grave à seca e seus impactos, posto que todos os municípios da região Nordeste estiveram em seca grave por, pelo menos, 5 meses dentre os 60 meses analisados e também registraram impactos.

Por fim, tem-se a classe sem suscetibilidade, exposta na cor cinza. Essa categoria demonstrou os municípios que não registraram seca por nenhum dos meses de análise ou que não registraram impactos de qualquer magnitude. São áreas não prioritárias para a adoção de políticas proativas de preparação. Tendo em vista que o Nordeste necessita de uma mudança de paradigma no seu ciclo de gestão de secas, o objetivo dessa proposta metodológica não foi o de deixar algumas áreas negligenciadas pela ação dessas políticas proativas, mas sim a de criar uma escala de prioridades para a implantação de medidas, visto que áreas mais vulneráveis foram confirmadas.

Esses cenários de suscetibilidade excepcional, extrema e grave, respectivamente em ordem decrescente de magnitude, são elaborados a partir da metodologia proposta por Souza Filho *et al.* (2016). Os autores estabelecem estados de seca que estão associados às categorias do MSB, da seguinte forma: Seca Fraca (S0) indica Estado de Normalidade; Seca Moderada (S1) – Estado de Pré-Alerta; Seca Grave (S2) – Estado de Alerta; Seca Severa (S3) – Estado de Emergência; Seca Excepcional (S4) – Estado de Emergência.

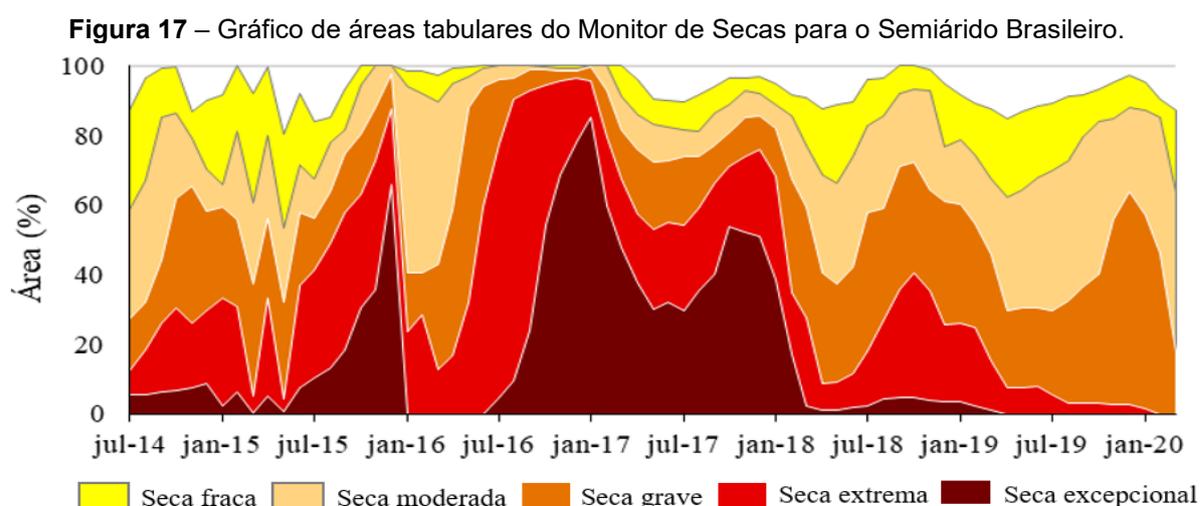
Por fim, com a determinação de áreas prioritárias que merecem uma maior atenção dos tomadores de decisão, são indicadas medidas de gestão proativa que devem ser postas em prática pelos gestores, na busca por evitar a ocorrência dos impactos severos das secas no Nordeste do Brasil, sobretudo na parte Semiárida. A proposição de ações objetivou ser de fácil entendimento e aplicação, a fim de proporcionar a participação da sociedade civil nesse processo. As medidas devem ser aplicadas, inicialmente, nas áreas de suscetibilidade excepcional e assim sucessivamente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Panorama da seca plurianual 2012 - 2018 no SAB: impactos hidrológicos e agrícolas<sup>13</sup>

Apesar da recorrência de secas na região Nordeste que datam desde o início da colonização, na delimitação semiárida o fenômeno indica substanciais intensidades e durações. Por esse motivo, inicia-se a análise dos resultados da tese com uma caracterização da seca plurianual e seus impactos para o SAB. Depois de traçar esse panorama, expandiu-se a avaliação para todo o Nordeste nas etapas posteriores.

Para acompanhar a evolução espacial e de intensidades do fenômeno no decorrer de julho de 2014 a março de 2020, planejou-se um gráfico de áreas exposto na Figura 17. Há um pico de seca excepcional em dezembro de 2015, entretanto a curva ameniza, voltando a ascender e registrar o clímax em janeiro de 2017, com 85% da região sob seca excepcional (S4). Em 2018 o fenômeno abranda, dando indícios do término da maior seca da história. Os anos seguintes comprovam esse fato e registram predominantemente secas com possíveis impactos reversíveis, sendo estas a moderada (S1) e a grave (S2).

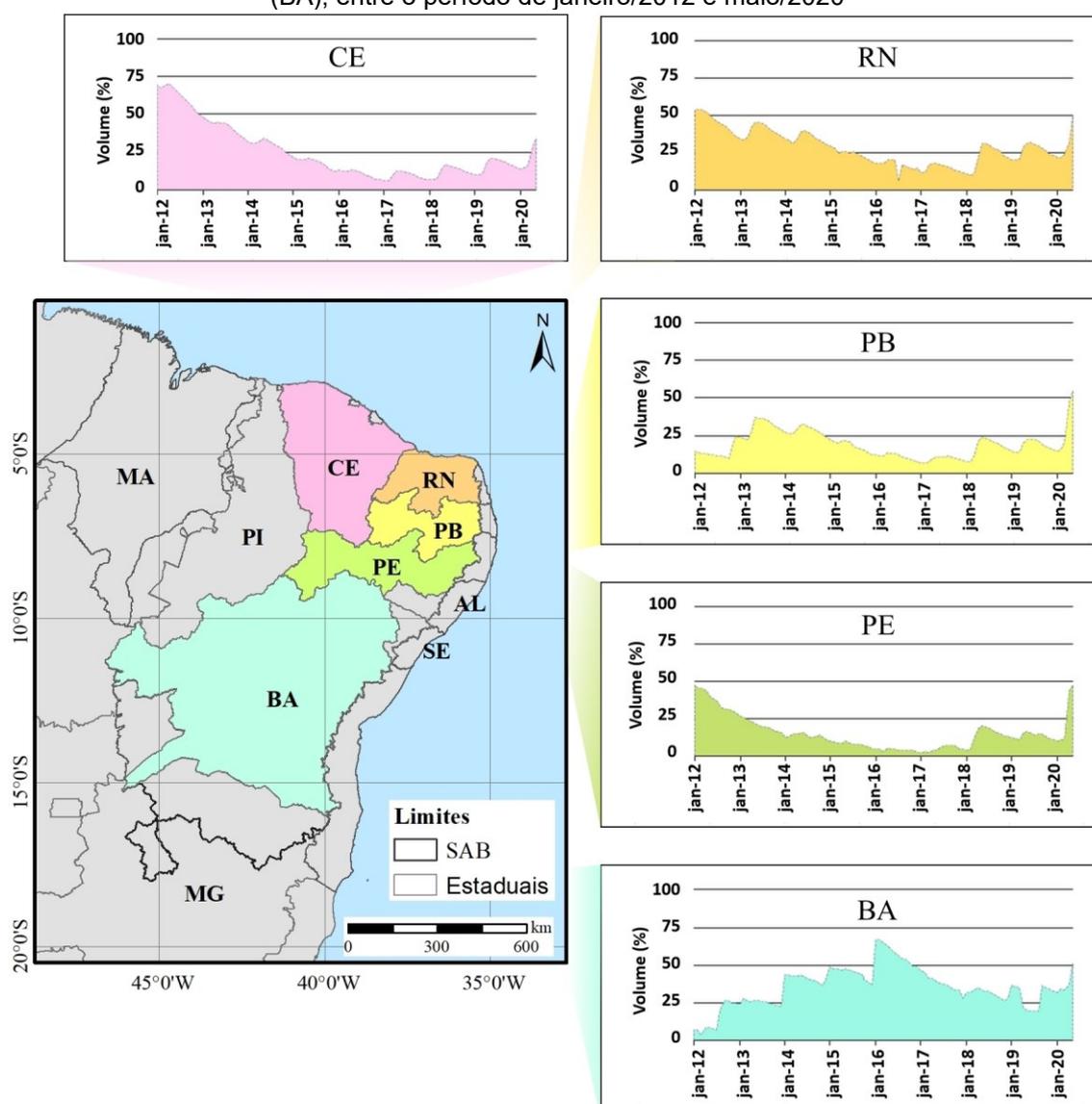


Fonte: Elaborada a partir de ANA (2021c).

<sup>13</sup> Este tópico foi aceito e aguarda publicação na forma de artigo científico no periódico *Desenvolvimento e Meio Ambiente*.

Ao confrontar os meses que registraram as maiores magnitudes de seca, de acordo com o MSB, com os volumes de água acumulados nos reservatórios equivalentes dos Semiáridos estaduais (Figura 18), há uma constatação da escassez hídrica, conforme os prováveis impactos enumerados no Quadro 2. Os Estados do CE, RN, PB e PE registraram percentuais que estão entre os seus menores volumes de reserva hídrica para o período, com valores na marca dos 13%, 12%, 7% e 2%, respectivamente.

**Figura 18** - Evolução do volume de água armazenado nas regiões semiáridas dos estados brasileiros do Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE) e Bahia (BA), entre o período de janeiro/2012 e maio/2020



Fonte: Elaborada a partir de IBGE (2020) e INSA (2020).

Os quatro Estados apresentam curvas de variação de volume com o mesmo delineamento no decorrer do tempo. Em 2012 (primeiro ano de seca) contavam

com a maior reserva hídrica do período, entretanto o cenário foi restringindo-se até que, entre 2016 e 2018, os volumes atingiram os níveis mínimos, com muitos reservatórios atingindo o volume morto.

Segundo Dantas, Silva e Santos (2020), esse comportamento de redução dos níveis d'água armazenados reflete a realidade da maior parte dos açudes do SAB, no decorrer da seca prolongada. Os reservatórios de pequeno e médio porte são os primeiros acometidos com os efeitos da seca. De acordo com Nunes (2015), isso deve-se a sua menor capacidade de armazenamento, atrelada às elevadas perdas por evaporação. Além disso, a construção descontrolada de açudes menores à montante dos reservatórios de grande porte interfere na recarga hídrica daqueles. Enquanto os açudes maiores abastecem múltiplos usos de um grande número de pessoas, os de menor tamanho são construídos para atender pequenos contingentes populacionais.

A Bahia apresentou um comportamento totalmente distinto na variação do volume de água armazenado, quando comparada aos demais estados em análise. Entre janeiro e fevereiro de 2016, houve um aporte de água de mais de 30% nos açudes do Semiárido baiano. Dessa forma, nos meses de seca mais intensa registrados pelo MSB, seus reservatórios retinham reservas d'água em torno de 50% da capacidade total. Em contrapartida, no início da seca, em março de 2012, a BA registra um volume armazenado de apenas 3,9%. A diferença, quando se compara a Bahia aos demais estados, deve-se à atuação de sistemas atmosféricos distintos.

A seca iniciou-se apenas em 2012. Entretanto, os anos de 2010 e 2011 (anos que demonstram a realidade da agricultura em um período não seco) são tomados para análise, pois, o cálculo de variação da área colhida tem como base o ano anterior. Ou seja, para verificar se em 2012 o percentual de área aumentou ou diminuiu, toma-se o ano de 2011 como referência e assim sucessivamente até chegar em 2018.

A Tabela 2 demonstra o resultado desse balanço para os Semiáridos Estaduais. O ano inicial da seca pluri-anual (2012) registra percentuais negativos para todos os Estados. Paraíba, Pernambuco e Alagoas registraram uma redução de mais de 65% na sua colheita em relação ao ano anterior. Isto deve-se ao surgimento repentino do evento.

Os anos de 2013 e 2014 assinalaram pequenas variações negativas, com percentuais que não chegaram a 20% de redução. Destaca-se Pernambuco que, em 2014, elevou sua colheita em mais de 100% em relação ao ano anterior. Alagoas e Sergipe, que registraram quedas bruscas em suas colheitas em 2012 e 2016, recuperaram-se em 2017 com um aumento de 151% e 101%, respectivamente.

**Tabela 2** - Percentuais que indicam se houve aumento ou redução na área colhida de lavouras temporárias e permanentes para os Semiáridos dos Estados Brasileiros

Estado	2011 -2010	2012 -2011	2013 -2012	2014 -2013	2015 -2014	2016 -2015	2017 -2016	2018 -2017
MA	-2,5%	-22,8%	29,3%	-1,9%	-23,5%	-21,3%	-4,9%	1,9%
PI	12,3%	-22,0%	0,8%	10,9%	-4,8%	-10,5%	22,2%	1,2%
CE	18,0%	-19,8%	-18,9%	10,5%	-0,5%	-3,7%	6,0%	-3,1%
RN	44,3%	-36,1%	-11,8%	8,9%	-27,8%	-14,4%	23,3%	37,2%
PB	70,1%	-73,7%	41,9%	23,7%	-21,1%	27,5%	5,4%	19,6%
PE	23,0%	-66,1%	-10,0%	108,4%	-38,3%	6,9%	15,0%	12,1%
AL	-7,0%	-65,6%	64,7%	21,1%	-7,9%	-64,2%	151,9%	-66,4%
SE	-23,1%	-46,2%	79,9%	0,8%	-8,6%	-43,8%	101,5%	-83,9%
BA	-2,5%	-26,4%	16,0%	9,2%	8,8%	-18,0%	-13,5%	5,9%
MG	4,8%	-10,2%	-14,4%	12,9%	-13,5%	6,1%	-15,2%	0,3%

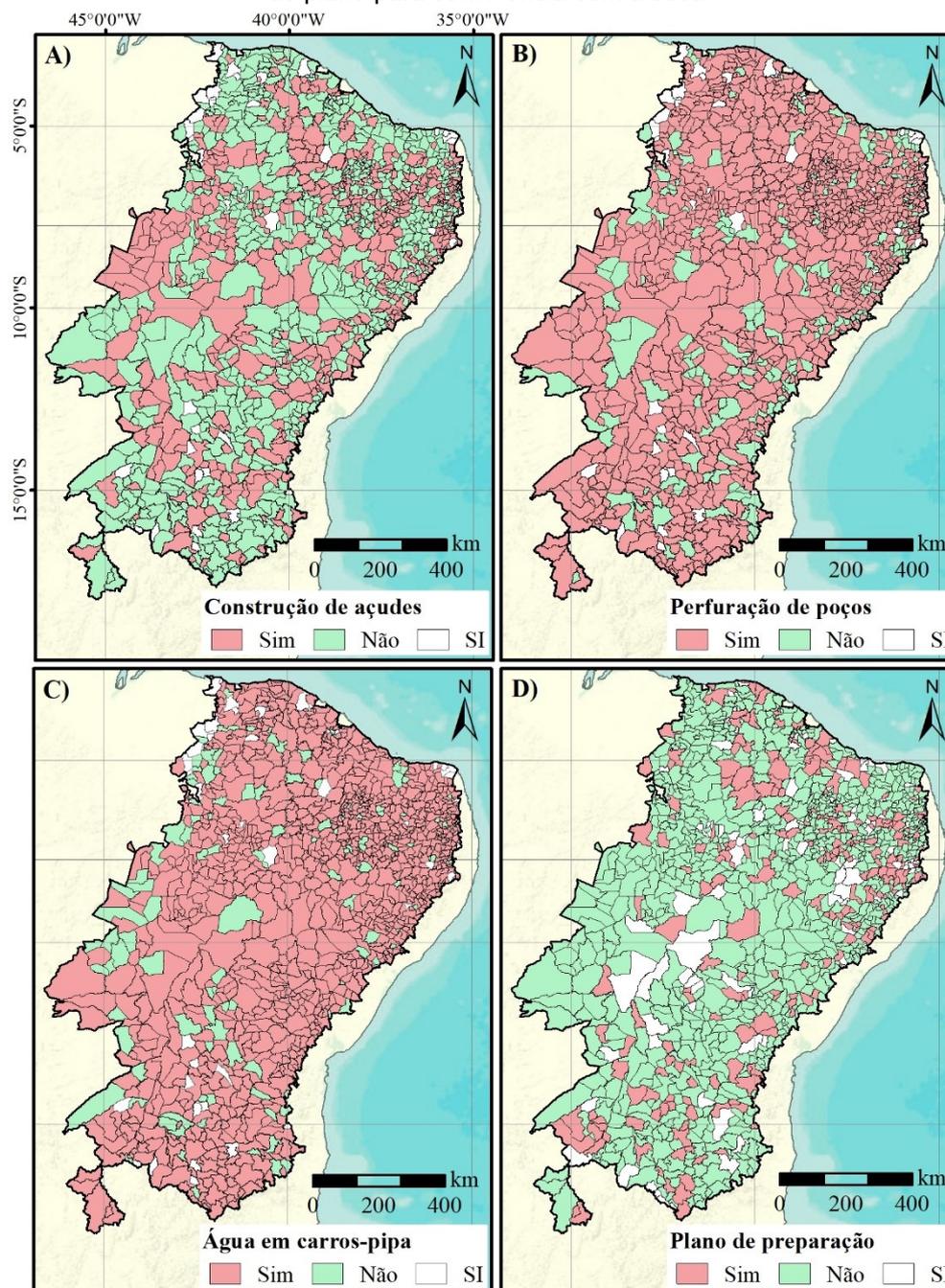
Fonte: Elaborada a partir de IBGE (2021a).

Diferente das variações do volume de água armazenado nos reservatórios, disponibilizadas no portal Olho N'água, as quais retrataram cenários de crise hídrica e colapso no abastecimento, no mesmo período em que as secas estavam em alta severidade, a variação dos percentuais de área colhida de lavouras temporárias e permanentes não obedeceram a mesma tendência. Isso aconteceu, pois, a agricultura considerada para análise foi a empresarial, que apresenta sistemas de irrigação e que pouco são impactadas pelos efeitos da seca.

A pesquisa MUNIC do IBGE (2017) permite identificar quais são as medidas adotadas pelos municípios para conviver com o quadriênio 2013-2016 de secas no Brasil. Quando questionados quanto à construção de açudes (Figura 19a), mais de 41% dos gestores municipais do SAB confirmaram obras hidráulicas desse tipo. Segundo Campos (2015), a política de construção de reservatórios manifesta-se como a primeira tentativa adotada na região Nordeste para sanar os efeitos da seca, a partir de 1877. Essa perspectiva continuou até meados do século XX, quando a estrutura hidráulica já era significativa e, mesmo assim, os impactos da escassez de chuvas ainda se manifestavam bastante rigorosos. Embora o enfoque

das políticas públicas de seca tenha passado por evoluções no decorrer dos anos, constata-se que a construção de açudes é uma medida ainda fortemente adotada.

**Figura 19** - Espacialização de informações da Pesquisa de Informações Básicas Municipais referente às medidas adotadas para lidar com a seca entre 2013 e 2016: A) construção de cisternas; B) perfuração de poços; C) distribuição de água por meio de carros-pipa; D) existência de plano para convivência com a seca



Fonte: Elaborada a partir de IBGE (2017; 2020). Obs: SI = Sem Informação.

Outra medida estrutural bastante disseminada no SAB para convivência com as secas recorrentes, é a perfuração de poços artesianos. Um total de 77,5% dos municípios da região contou com esse artifício (Figura 19b), na tentativa de mitigar

os impactos da escassez hídrica. Segundo Dias *et al.* (2018), esse alto percentual deve-se à facilidade de execução do processo e, principalmente, da proximidade à fonte d'água. Entretanto, os autores apontam que grande parte dos poços são perfurados e explorados clandestinamente, sem a solicitação de licenças outorgadas de direito de uso da água, conforme preconiza a Lei nº 9.433/1997, o que constitui uma água para consumo sem tratamento, podendo ocasionar problemas de saúde (BRASIL, 1997).

Por sua vez, a distribuição de água através de carros-pipa é uma medida adotada em situações de emergência, ou seja, quando a seca atinge níveis excepcionais. Mais de 86% dos municípios do SAB chegaram a essas circunstâncias de emergência, conforme mostra a Figura 19c. Comprova-se que, entre as medidas adotadas, os carros-pipa representaram a mais utilizada. Todavia, segundo Duque (2008), os programas de assistência emergencial, entre os quais está a distribuição de água por carros-pipa, amenizam os efeitos da seca, entretanto não resolvem a situação. Ainda segundo a autora, a solução é estabelecer um modelo de gestão que permita “conviver com as secas e não lutar contra”.

Quanto à análise de medidas não-estruturais, um indicador de grande relevância abordado na pesquisa MUNIC refere-se à existência de plano de contingência ou preparação para a seca. Pouco mais de 20% dos municípios do SAB afirmaram dispor desse planejamento (Figura 19d). Indica um percentual considerável, tendo em vista que nem os Estados beneficiam-se de tal instrumento. O Ceará, dentre os estados do Nordeste, é o único que apresenta um plano. Entretanto sua elaboração se deu apenas em 2015, quando a seca plurianual já tinha avançado consideravelmente. Além disso, o conteúdo abordado volta-se apenas para ações estruturais e emergenciais (CEARÁ, 2015).

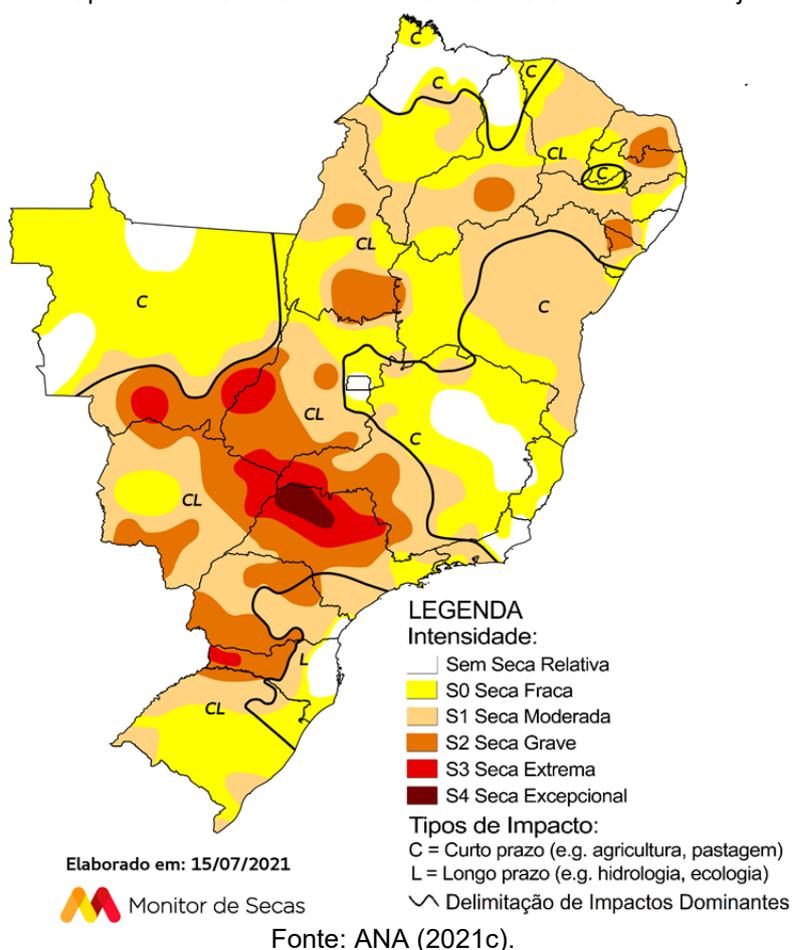
Uma série de políticas públicas, que beneficiam as pessoas em situação de pobreza, foi implementada pelo governo federal nesse início de século. Tanto os auxílios para o combate à pobreza extrema, quanto para minimizar os efeitos das secas intensas. Alguns exemplos são: o Programa Um Milhão De Cisternas (P1MC), o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2) e o Garantia safra. O P1MC e o P1+2 são iniciativas da Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA), a qual atua

sob um intenso processo participativo da sociedade civil na implantação de tecnologias sociais para convivência no SAB (ASA BRASIL, 2020).

#### 4.2 Monitoramento da seca no Brasil em perspectiva plurianual<sup>14</sup>

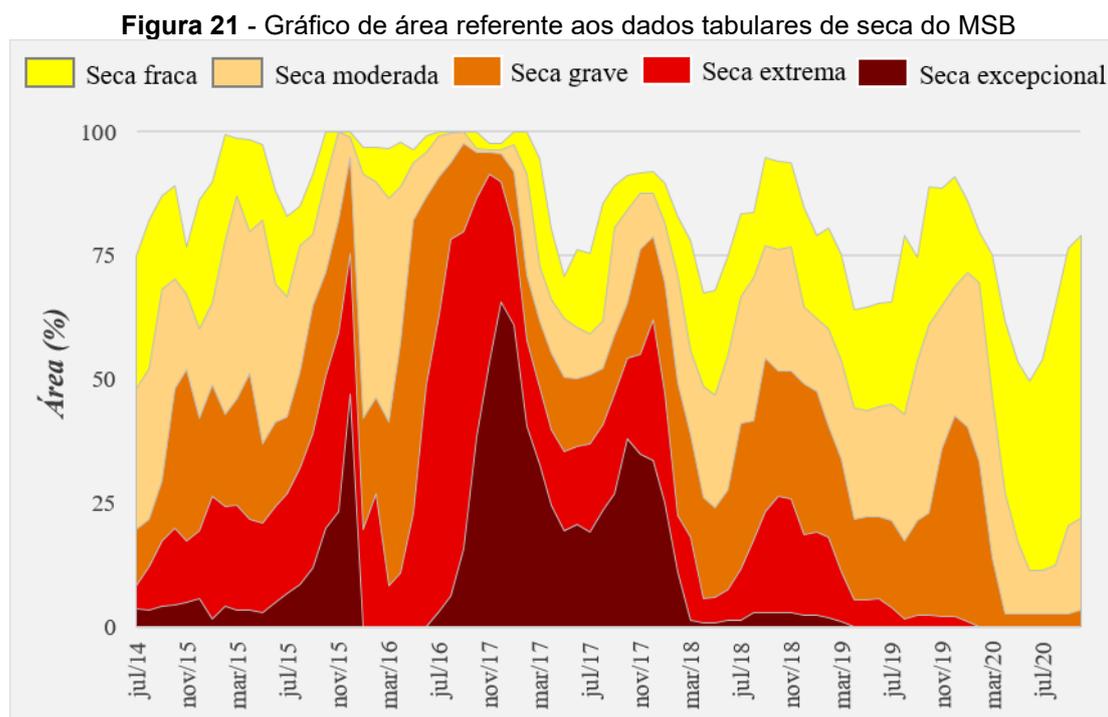
O Monitor de Secas no Brasil classifica as secas com base em graus de severidade (Figura 20) que estão associados a uma série de impactos esperados nas atividades que dependem do abastecimento de água. O que diferencia o MSB de outros índices é o processo de elaboração sistemática, que envolve a participação de diversos atores, entre os quais os autores dos mapas mensais e os validadores, que estão distribuídos em toda a região geográfica objeto do processo, o que torna o processo mais robusto, conforme indicado pela Resolução ANA nº 31/2020, que institui o Programa de Monitoramento de Secas.

**Figura 20** - Mapa do Monitor de Secas do Brasil referente ao mês de junho/2021.



<sup>14</sup> Este tópico foi publicado na forma de artigo científico no periódico *Environmental Monitoring and Assessment* e pode ser acessado através do link: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08839-5>

Para mostrar o comportamento da seca, na região Nordeste do país, tem-se a Figura 21, que representa um gráfico de área tabular com uma escala de tempo que se estende por pouco mais de 6 anos de análise de seca. Registros para todas as categorias de MSB - anormalmente seco, moderado, severo, extremo e excepcional - de julho de 2014 a outubro de 2020 são representados. O mês mais crítico corresponde a dezembro de 2016, em que 65,64% da região aponta para estiagem excepcional em seu território. O trimestre de novembro de 2016 a janeiro de 2017 indica o pico de maior intensidade de seca, com registros que marcam o colapso do abastecimento de água, registrado em 132 municípios do NEB. Esse cenário de crise hídrica se estende até meados de 2018, quando os principais reservatórios de água do Nordeste atingem seu volume morto. A partir de 2019, o cenário de seca plurianual que se estende de 2012 a 2018 desacelera, entrando em uma fase considerada normal para a região Nordeste do Brasil.



O MSB integra diversos índices meteorológicos e hidrológicos de seca em um único produto, o que o torna acessível a toda a população, principalmente aos tomadores de decisão. Assim, a metodologia proposta, intitulada abordagem cumulativa (RUFINO *et al.*, 2014), simplifica ainda mais esse processo de tomada de decisão, como todos os mapas mensais - dados brutos - são integrados em um

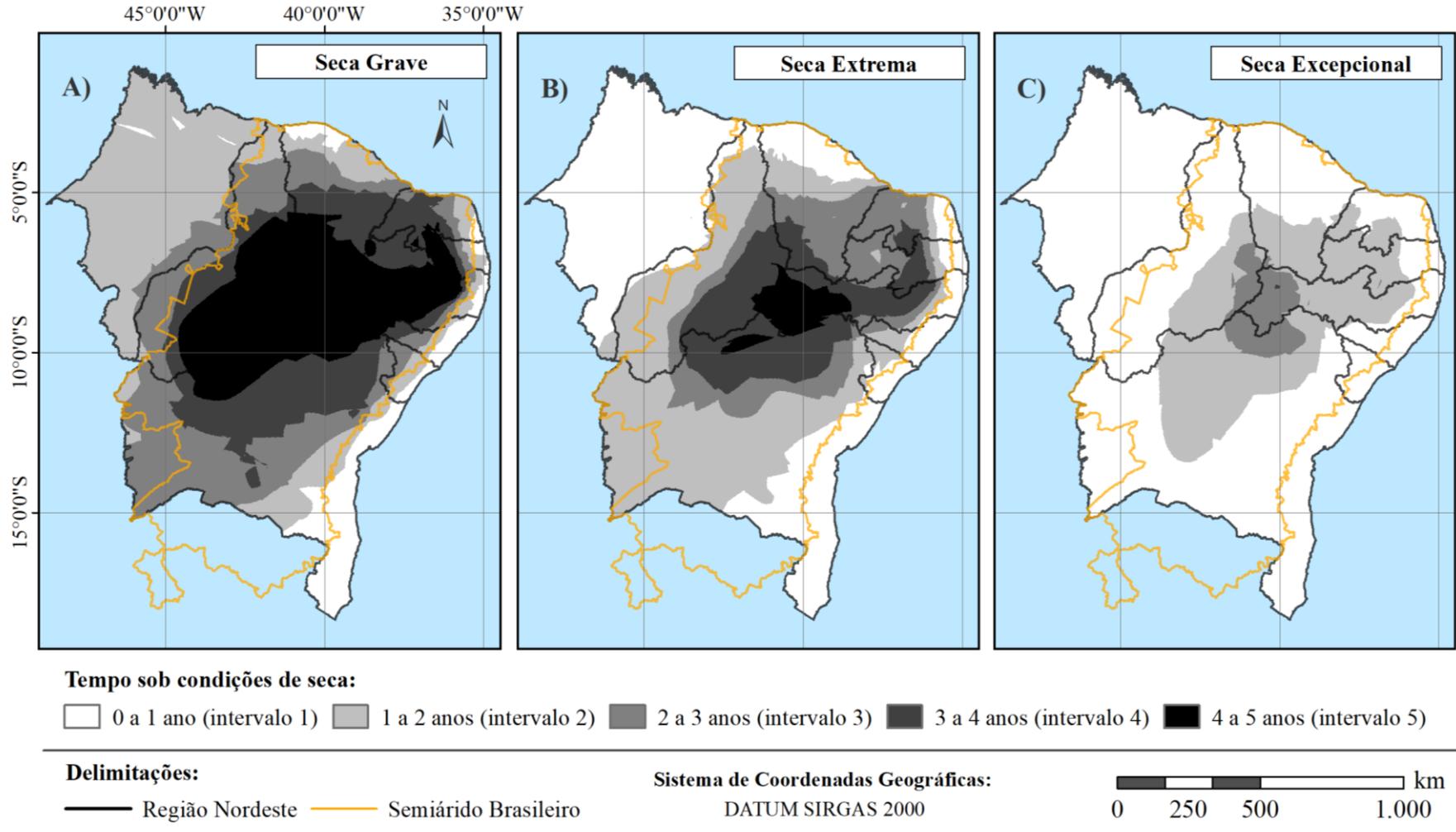
único arquivo que indica, para cada categoria de seca, quanto tempo cada município ou outra área geográfica de interesse esteve em seca por um determinado período de análise.

O estudo apresenta os eventos mais austeros - que são secas graves, extremas e excepcionais - quando, normalmente, os reservatórios não são suficientes para mitigar todos os impactos descritos no Quadro 2, resultando em uma crise hídrica. Os municípios que estiveram, no decorrer da análise plurianual, mais tempo de seca em seu território- que são os intervalos 3, 4 e 5 (legenda da Figura 22) - são as áreas mais críticas, visto que indica as localidades em secas mais intensas há mais de 2 anos, dentre os 5 anos analisados. Isso significa que essas regiões não tiveram tempo suficiente para recuperar lavouras e pastagens, ou mesmo reduzir ações de racionamento em áreas urbanas, já que a seca persistiu.

Nesse sentido, ao analisar o resultado mostrado na Figura 22, nota-se que o litoral leste do NEB e uma pequena porção do litoral cearense não registraram secas por mais de um ano, durante todo o período analisado (Figura 22a) Porém, à medida que a interiorização se dá, atingindo o sertão nordestino, verifica-se que o fenômeno se torna mais intenso, o que pode ser facilmente percebido pelo aumento da intensidade da cor, que parte do branco no litoral (tempo mínimo em estado seco) ao preto no Sertão (mais de 4 anos em estado seco).

A mesma abordagem é analisada sob a perspectiva de seca extrema (Figura 22b) Quase 15% da extensão Nordeste do país registra essa condição há mais de 3 anos, o que equivale a 60% quase no período de análise. É feita referência a este percentual de 60% das vezes, pois corresponde a uma região que registrou graus mais severos de seca por um período significativo. O que evidencia a dificuldade de mitigar os impactos decorrentes do evento extremo, uma vez que o SAB, já em suas condições climáticas normais, possui regime pluviométrico irregular e altas taxas de evaporação em seus reservatórios, além de uma população em estado de vulnerabilidade, especialmente no que se refere ao abastecimento da periferia e rural.

**Figura 22** - Os mapas são resultantes da abordagem de seca cumulativa para o NEB. Da intensidade mais baixa à mais alta estão: (A) seca severa, (B) seca extrema e (C) seca excepcional



Fonte: Elaborada a partir de IBGE (2020), ANA (2021c) e SUDENE (2020).

O mapa cumulativo mais severo (Figura 22c), por sua vez, indica que não existem áreas em seca excepcional por mais de 3 anos (60% do tempo). Os municípios que registram a intensidade excepcional da seca são os mais afetados pelos impactos multitemporais e espaciais do evento, que correspondem a uma área de 48,9% que indica este tipo de seca há pelo menos 1 mês entre os 5 anos. O município de Ouricuri é o caso mais extremo. Localizada no sertão pernambucano, destaca-se como o único local que viveu há mais de 3 anos a maior intensidade de seca.

As categorias de seca mais severa (severa, extrema e excepcional) são aquelas que também causam os impactos mais severos, conforme mostrado no Quadro 2. A seca severa gera escassez prevalente de água, com restrições ao abastecimento humano (acionamento), enquanto a seca excepcional resulta em decretos sobre o estado de emergência. Em casos extremos de curta duração da água, o recurso é fornecido por meio de caminhões-pipa, solução de crise que, na maioria das vezes, permanece por um período mais prolongado, pois a recuperação do volume de água nos reservatórios após a seca é lenta. Segundo ANA (2018), esse tipo de medida paliativa caracteriza-se como uma forma de abastecimento emergencial que ocorre quando todas as demais soluções de abastecimento se esgotam.

Para quantificar os municípios e os percentuais de área do NEB atingidos pela seca, tem-se a Tabela 3. A primeira parte corresponde ao número de localidades, dentre as 1794 existentes no Nordeste, que registra as secas mais intensas examinadas e por quanto tempo permaneceu a condição, enquanto o outro componente refere-se ao percentual de área sob cada tipo de seca avaliada. Vale ressaltar que apenas 4,4% do total de municípios registrou seca excepcional há mais de 12 meses. Tal investigação reflete uma perspectiva positiva, uma vez que os impactos esperados para essa condição são altamente críticos, com consequências generalizadas para todos os setores dependentes de recursos hídricos.

Vale ressaltar que à medida que a gravidade se intensifica, os municípios voltam às categorias temporais mais amenas. Esse fato não significa, entretanto, que todas as áreas rurais e urbanas estejam sob impactos mais brandos. Ressalta-se que os impactos da seca são cumulativos temporalmente. Embora a classe mais

severa (seca excepcional) dure o tempo mais curto, suas consequências são as mais complexas e difíceis de recuperar. Gerenciar esses efeitos é uma tarefa árdua e complexa, principalmente no contexto brasileiro, onde a gestão da seca é geralmente reativa, e há falta de sinergia entre os níveis de planejamento municipal, estadual, regional e nacional (GUTIÉRREZ *et al.*, 2014; AWANGE; MPELASOKA; GONÇALVES, 2016; MARENGO *et al.*, 2019).

**Tabela 3** - Resumo do número de municípios em cada tipo de seca e seus percentuais de área com base na abordagem cumulativa

Número de municípios (total de 1.794)					
<b>Categorias de seca</b>	Intervalo 1 (0 a 1 ano)	Intervalo 2 (1 a 2 anos)	Intervalo 3 (2 a 3 anos)	Intervalo 4 (3 a 4 anos)	Intervalo 5 (4 a 5 anos)
Seca Grave	197 (11.0%)	499 (27.8%)	301 (16.8%)	375 (20.9%)	421 (23.5%)
Seca Extrema	735 (41.0%)	405 (22.6%)	344 (19.2%)	253 (14.1%)	53 (3.0%)
Seca Excepcional	807 (45.0%)	488 (27.2%)	78 (4.3%)	1 (0.0%)	0
% de área do NEB (total de 1.552.167,009 km <sup>2</sup> )					
<b>Categorias de seca</b>	Intervalo 1 (0 a 1 ano)	Intervalo 2 (1 a 2 anos)	Intervalo 3 (2 a 3 anos)	Intervalo 4 (3 a 4 anos)	Intervalo 5 (4 a 5 anos)
Seca Grave	8.1 %	28.0 %	22.9 %	18.5 %	22.4 %
Seca Extrema	37.5 %	29.9 %	14.4 %	14,6 %	3.2 %
Seca Excepcional	48.9 %	23.5 %	4,7 %	0.0 %	0.0 %

Fonte: Autoria própria.

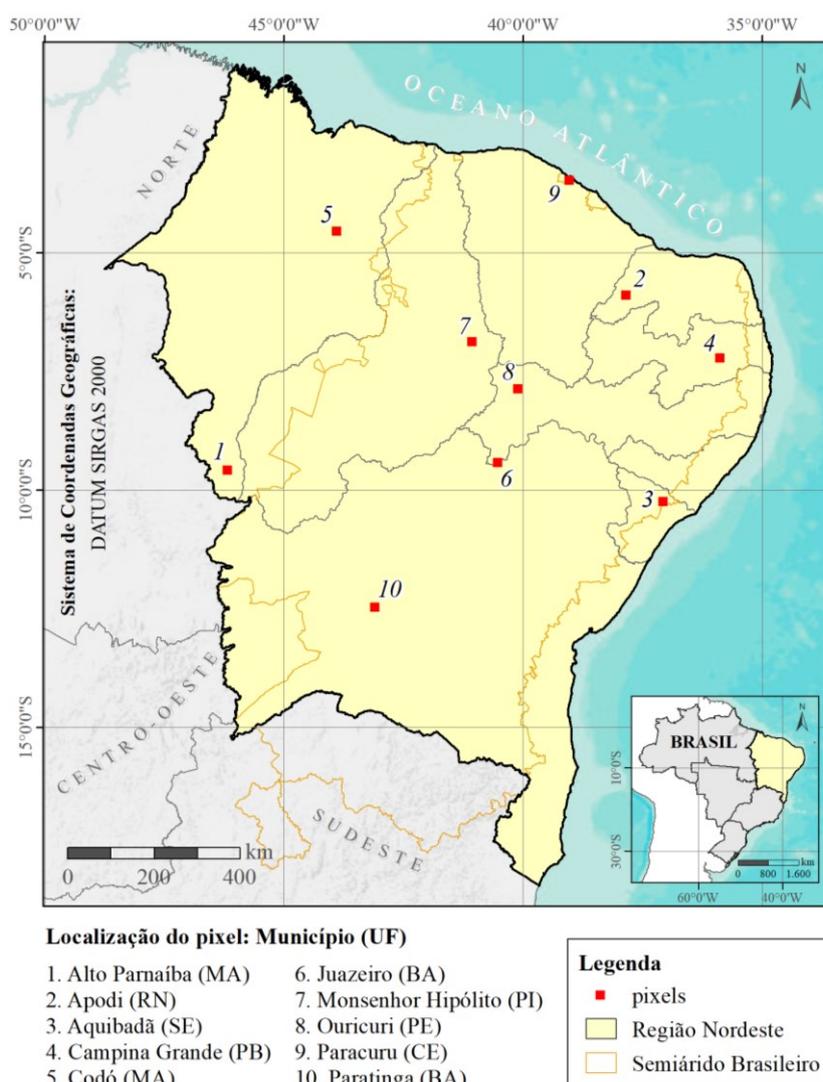
De julho de 2014 a junho de 2019, 2.297 Decretos de Situação de Emergência (DSE) foram registrados em todo o NEB, distribuídos em 581 municípios (S2iD, 2021). O município com maior número de decretos foi Macau (RN), localizado no litoral norte do Nordeste. No entanto, de acordo com a abordagem cumulativa, Macau não tem experimentado uma seca excepcional há mais de 12 meses, ao longo de 5 anos. Por outro lado, o município de Ouricuri, apesar de ser o município em pior estado de seca (numa perspectiva plurianual), registou apenas 7 decretos reconhecidos para o desastre tipo “estiagem”, de acordo com o S2iD (2021).

Quando o reconhecimento da situação de emergência ocorre, o município pode beneficiar-se de duas formas: i. flexibilidade jurídica para intervir o mais rápido possível, sem processos burocráticos como as licitações para contratar serviços; ii. transferência de recursos financeiros federais para auxiliar na mitigação ou recuperação das áreas atingidas pelo desastre. Entretanto, por trás do excesso de decretos de emergência municipais há uma questão política. De acordo com Henrique e Batista (2020), “as declarações são reconhecidas e as transferências de emergência são alocadas de forma a beneficiar os aliados políticos no nível

subnacional, em especial os prefeitos alinhados ao ministro da Integração Nacional”.

Por fim, é necessário, em última análise, compreender a evolução espaço-temporal da seca no NEB, para visualizar a trajetória de 10 *pixels*, localizados conforme a Figura 23. Esses pixels foram selecionados da seguinte forma: i. que houvesse pelo menos um pixel em cada Estado da região Nordeste; ii. que os pixels contemplassem todos os intervalos de tempo sob condição de seca expostos na Figura 22.

**Figura 23** – 10 localidades selecionadas para compreensão da evolução espaço-temporal da seca no Nordeste brasileiro.



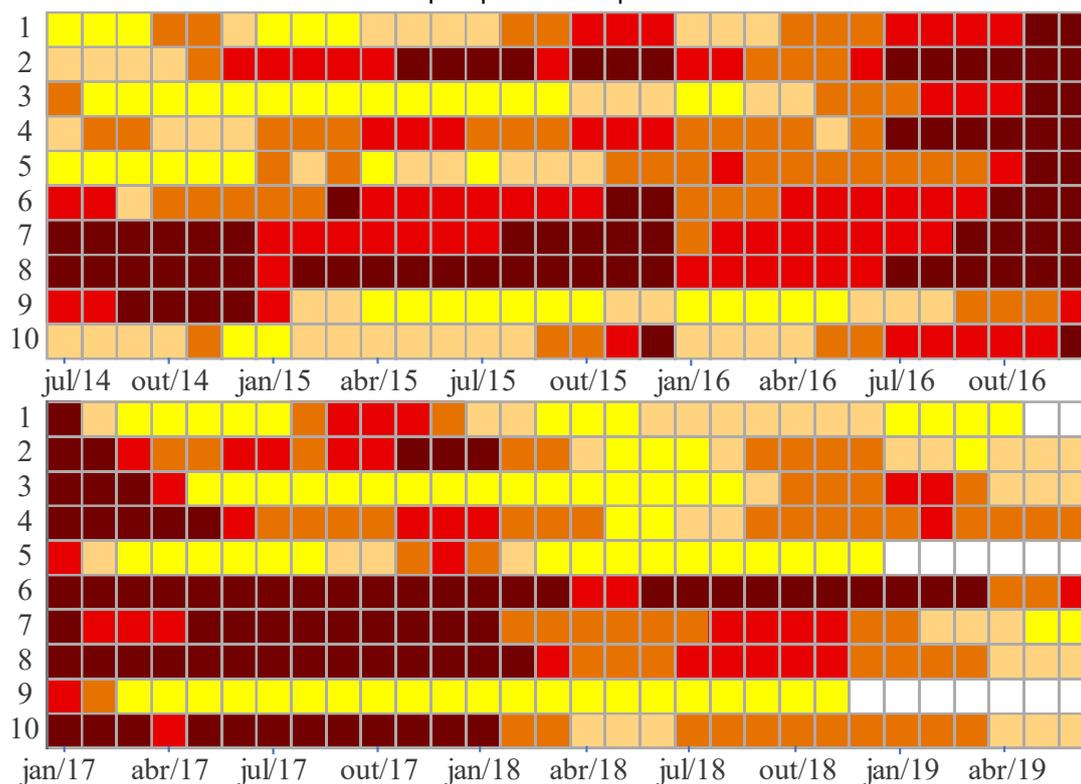
Fonte: Elaborada a partir de IBGE (2020) e SUDENE (2020).

Os dados GIS obtidos do Monitor de Secas Brasileiro são apresentados em formato vetorial de *shapefile*. Porém, para aplicar a metodologia proposta, é

necessário converter os mapas para um modelo matricial composto por células (*pixels*), que representam a unidade mínima de mapeamento da área (BAJJALI, 2018). Os *pixels* formam uma matriz de dados contínuos, e seu tamanho corresponde à resolução espacial que, para este estudo, se originou com a dimensão de 1 x 1 km.

Campina Grande é uma cidade de médio porte localizada na região semiárida do Estado da Paraíba, representada pela trajetória do pixel número quatro. Como pode ser visto na Figura 24, esteve em período de seca excepcional, ininterruptamente, entre julho de 2016 e maio de 2017. No entanto, o município decretou estado de emergência devido à “estação seca” 9 vezes entre outubro de 2014 e abril de 2019. A localidade é abastecida pelo reservatório Epitácio Pessoa, que tem capacidade de 466,53 hm<sup>3</sup> e abastece também outros 18 centros urbanos.

**Figura 24** - A trajetória dos 10 pixels selecionados na área de estudo para análise de seca de uma perspectiva temporal



Fonte: Elaborada a partir de ANA (2021c).

Ao longo do ciclo seco 2012-2017, o reservatório não conseguiu manter as demandas de abastecimento e entrou em colapso, em abril de 2017, chegando ao nível mínimo de 2,9% da sua capacidade, registrando assim o nível mínimo histórico. As medidas de racionamento que foram impostas, a partir de dezembro

de 2014, não foram suficientes para evitar esse contexto. Esse panorama sucedeu-se por ausência de uma gestão hídrica adequada. Porém, com o advento das águas do PISF ao Reservatório Epitácio Pessoa, que começaram a chegar em abril de 2017, a oferta de água aumentou, de forma que o reservatório ultrapassou o nível de alerta (em torno de 21% da sua capacidade), em meados de 2018 (NUNES e RIBEIRO, 2021).

O *pixel* número 8 está localizado no município de Ouricuri, Sertão de Pernambuco, caracterizado como a pior condição de seca registrada no NEB, de acordo com a metodologia cumulativa exposta. Entre os 60 meses, a região esteve em situação de seca excepcional por exatamente 37 meses. O município decretou situação de emergência por escassez hídrica sete vezes entre abril de 2016 e março de 2019 (S2iD, 2021). Esta informação é consistente com os dados de criticidade do volume de água armazenado nos principais reservatórios do município, apresentados pela plataforma “Olho N'água”. O açude “Algodões”, que tem uma capacidade de pouco mais de 58 hm<sup>3</sup>, colapsou em janeiro de 2016 e permaneceu assim até meados de 2018 (INSA, 2020).

A observação plurianual de eventos de seca usando a metodologia de abordagem cumulativa permite verificar quanto tempo um pixel está sob alguma condição de intensidade de seca. Este resultado é um dado de alta relevância para gestores das mais diversas formas político-administrativas, uma vez que serve como referência para tomadores de decisão para propor e implementar ações e medidas que visem mitigar os impactos dos mais diversos tipos de seca. Os resultados apresentados na Figura 22 e Tabela 3 embasam a criação de tipologias espaço-temporais que auxiliam na tomada de decisões em futuros fenômenos de seca. Em uma região como o Nordeste brasileiro, que vive secas há séculos, novas abordagens e metodologias são urgentemente necessárias para lidar com as secas de forma proativa, ao invés de reativa.

No entanto, quando a seca chega mais forte, estendendo-se plurianualmente, o abastecimento de água diminui em oposição a uma demanda que permanece constante. Diante desse cenário, o SAB, que compreende quase 65% do NEB, entra em estado de déficit hídrico. Segundo Magalhães (2016), a região passa a registrar precipitações anuais abaixo da média histórica de 800 mm, concentradas em um curto espaço de tempo, concomitantemente com taxas de

evapotranspiração que ultrapassam 2.000 mm/ano. Tais componentes do balanço hídrico no sertão, associados a solos rasos de base cristalina, resultam em cursos d'água em sua maioria intermitentes.

Autores como Cunha *et al.* (2017), Azevedo *et al.* (2018) e Brito *et al.* (2018) identificam que a última seca de longo prazo afetou o NEB com impactos significativos. O evento foi caracterizado como a pior seca já registrada, afetando drasticamente a disponibilidade de água no território. De acordo com o Relatório de Conjuntura da ANA (2018), 80% das pessoas afetadas pelas secas em 2017 vivem no NEB. É designada como a região mais afetada por fenômenos de seca plurianual e com a população mais vulnerável do ponto de vista socioeconômico (CUNHA *et al.*, 2018).

De acordo com Cunha *et al.* (2019), as ações de prevenção à seca no Brasil têm como foco a construção de grandes e caras obras de infraestrutura hídrica, principalmente no SAB. Por exemplo, nas duas primeiras décadas do século XXI, um importante projeto de desvio do rio estava em construção: a transposição do rio São Francisco. O PISF (Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional) visa garantir segurança hídrica, através da integração de bacias hidrográficas, a uma região Semiárido do Nordeste, que convive com a escassez hídrica e com a irregularidade das chuvas frequentes.

Do ponto de vista agrícola, as categorias de seca têm consequências diferentes. Desde a possibilidade de perdas agrícolas (categoria de seca severa) até perdas agrícolas generalizadas (categoria de seca excepcional), a permanência na condição de seca leva a impactos e perdas. As lavouras de feijão, milho e mandioca correspondem às principais culturas de subsistência da vida no SAB (MAGALHÃES, 2016). O milho, acima de tudo, é utilizado como base para ração humana e também animal. No entanto, quando ocorre a seca, ela causa deficiência de umidade do solo (seca agrícola), o que provoca uma diminuição - quando não são dizimadas - da produção agrícola no sertão nordestino (MARTINS *et al.*, 2018).

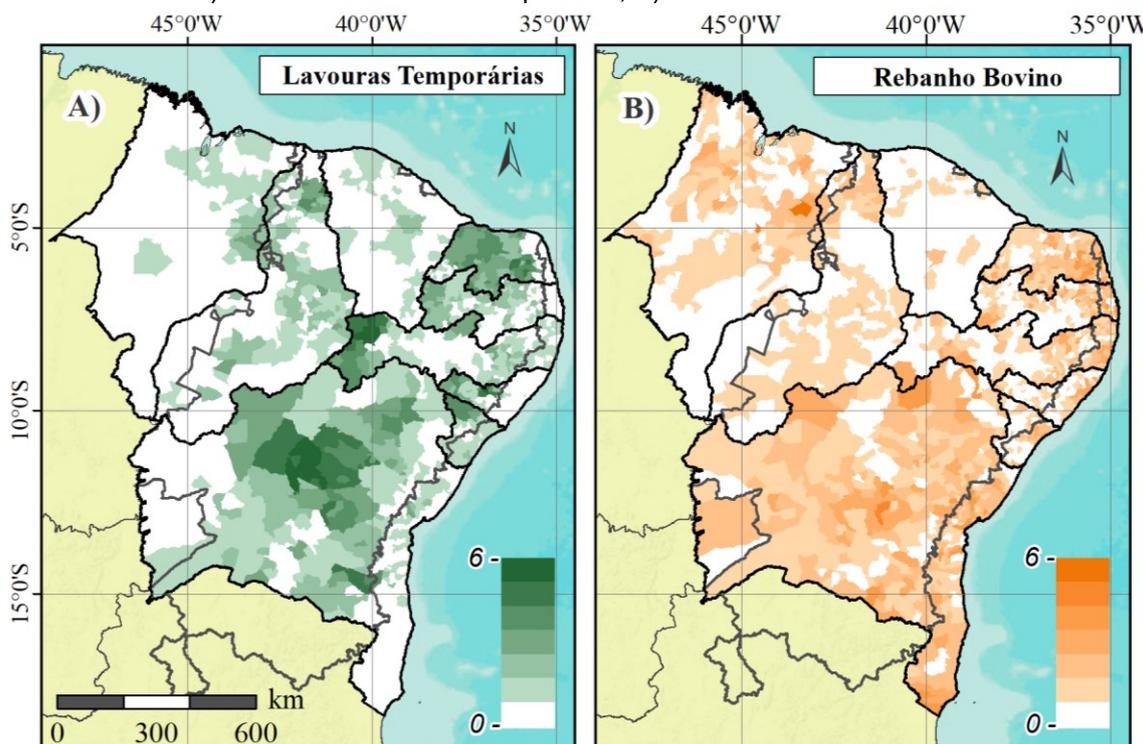
### **4.3 Possíveis impactos plurianuais da seca no Nordeste brasileiro**

As secas estão presentes em todas as regiões brasileiras, entretanto, é na região Nordeste do país que acontecem com maior recorrência e intensidade, com registros que datam desde o século XVI (MAGALHÃES, 2016; CAMPOS, 2014).

Segundo Cunha *et al.* (2019), o setor agropecuário é precursor nos impactos ocasionados pela seca. A umidade do solo decai e, sobretudo no SAB, as atividades econômicas giram em torno da agricultura de subsistência, amplamente praticada na região; das pastagens de rebanhos bovinos; criação de caprinos e sua produção de leite; além da criação de aves. Todas são desempenhadas por pequenos agricultores como fonte de renda.

A Figura 25 demonstra as perdas nas lavouras temporárias (Figura 25a) e no rebanho bovino (Figura 25b) em anos úmidos. Entre os anos de 2006 e 2011, 51,5% e 63,9%, dentre os 1.794 municípios nordestinos, registraram perdas nas lavouras e no rebanho, respectivamente, em pelo menos 1 dentre os 6 anos analisados. Tais perdas podem ocorrer por motivos como secas, migração da população do campo para a cidade (fator que também está relacionado à ocorrência de secas) e crescimento no setor de serviços.

**Figura 25** - Perdas anuais agropecuárias para o Nordeste Brasileiro entre os anos não secos de 2006 a 2011. A) Perdas nas lavouras temporárias; B) Perdas no efetivo dos rebanhos bovinos



Fonte: Elaborada a partir de IBGE (2020; 2021a; 2021b).

As culturas temporárias são culturas de curta ou média duração, no geral com ciclos vegetativos médios de um ano e que, após a colheita, necessitam de novo plantio para produzir. Como exemplo tem-se a soja, o milho e o feijão (IBGE,

2021a). Por esse motivo ocorre a seleção do indicador que registra as perdas anuais entre a área plantada e a área colhida, a fim de analisar os impactos da seca de curta duração sobre a produção agrícola municipal.

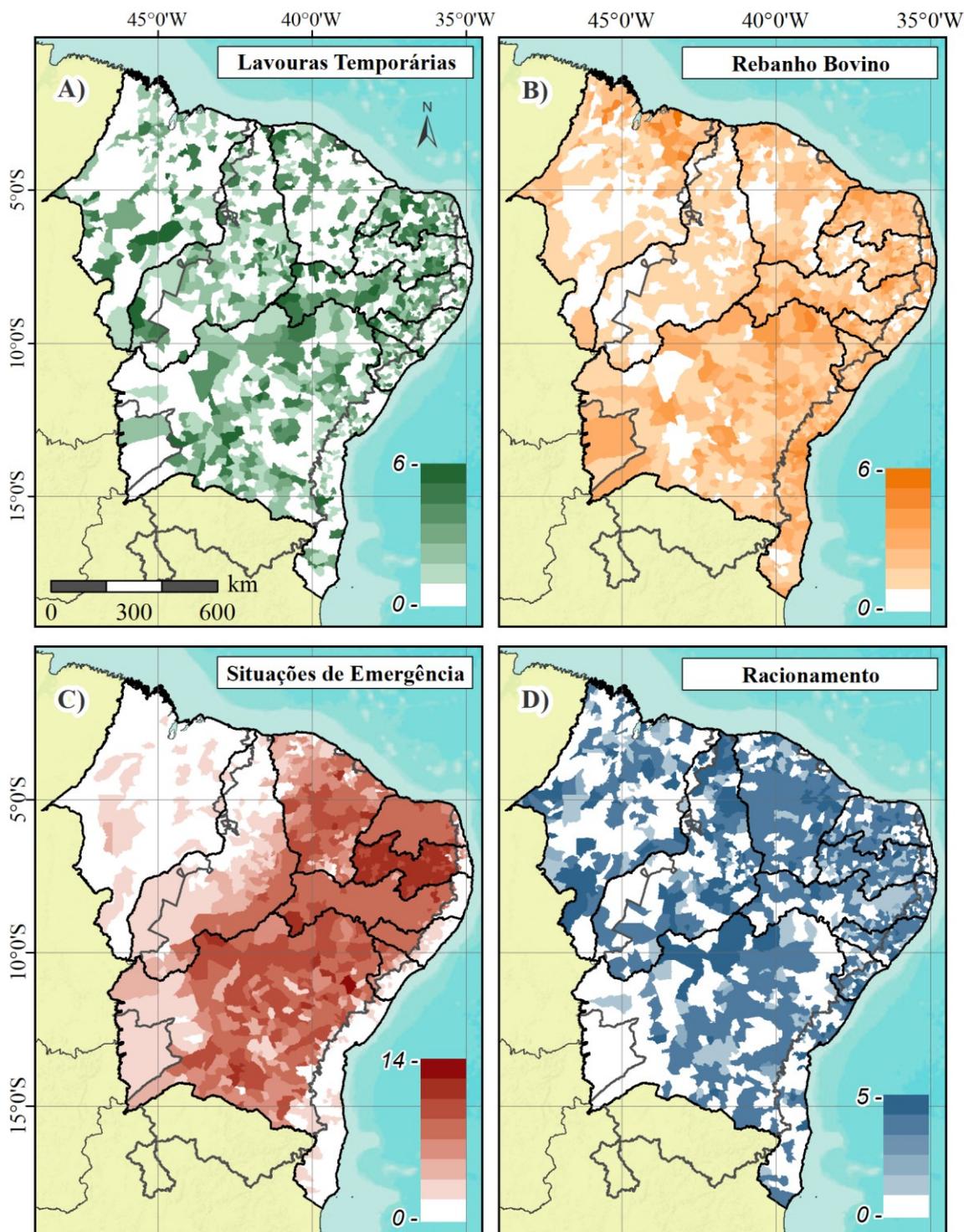
As perdas em anos não secos são amenas, poucos municípios registraram perdas plurianuais por mais de 3 anos. Apenas 6,7% e 2,3% dos municípios registram perdas nas lavouras e no rebanho bovino, respectivamente, por 4 anos ou mais. Destaca-se o Ceará como o Estado com menos perdas agropecuárias registradas e a Bahia com mais municípios com registros de perdas.

Em anos secos (2014 - 2019), por sua vez, as perdas se acentuam, conforme aponta a Figura 26. As perdas anuais municipais registradas nas lavouras temporárias estão expostas na Figura 26a. Um percentual de 46,8%, dentre as 1.794 localidades que compõem a região Nordeste, colheu todos os hectares do plantio realizado para o recorte plurianual de 2014 a 2019. Isso significa que não houve registros de perdas agrícolas para as culturas temporárias nesse período. Por outro lado, 9,31% dos municípios registraram 6 anos consecutivos de colheita inferior à área plantada, registrando os maiores impactos diante do evento de seca.

De acordo com Carneiro e Lima (2019), as políticas voltadas para estimular a produção agrícola em perímetros irrigados conseguiram reverter parte dos efeitos da seca agrícola. A agricultura da cana-de-açúcar, tida como de grande importância econômica para o Nordeste, tem cedido espaço a culturas mais rentáveis, como por exemplo, a mandioca. Os autores apontam também que o maior impacto das secas na produção agrícola do NEB ocorreu sobre a agricultura familiar de pequeno porte, enquanto o cenário na agricultura empresarial apresentou um desempenho mais favorável.

A população rural é a mais vulnerável socioeconomicamente aos eventos de seca e obtém água através de pequenos reservatórios construídos na propriedade (CAMPOS, 2015). Quando estes são ausentes, o abastecimento se dá por meio da construção de cisternas que captam água de chuva, entre as quais estão as construídas pelo Programa Um Milhão De Cisternas (P1MC) ou através de carros-pipa e perfuração de poços. Essa oferta de água acaba sendo prioritária ao abastecimento humano, ficando a produção agrícola em situação de déficit hídrico.

**Figura 26** – Impactos da seca 2014-2018 avaliados segundo os indicadores: A) Perdas nas lavouras temporárias; B) Perdas no rebanho bovino; C) Decretos de Situação de Emergência; D) Racionamento de maior duração.



Fonte: Elaborada a partir de IBGE (2017; 2020; 2021a; 2021b) e S2iD (2021).

No que concerne às perdas de rebanhos, conforme aponta a Figura 26b, 15,9% dos municípios não registraram redução dos seus rebanhos bovinos, valor bem inferior ao apresentado para as perdas de culturas. Entretanto, 34,0%

registraram redução do rebanho bovino em apenas um ano. Em contrapartida, 21,5% das localidades reduziram o número de cabeças por mais de 3 anos, dentre os 6 analisados. Entretanto, há uma distinção entre as perdas das culturas temporárias e de bovinos, respectivamente. Enquanto as lavouras temporárias tem como referência o mesmo ano de análise (diferença entre o plantio e a colheita para o mesmo ano), a pecuária considerou a variação do rebanho de um ano em relação ao anterior.

A variação do número de cabeças do rebanho bovino municipal entra como uma variável para analisar as perdas de pastagem colocadas como um dos impactos esperados pelo MSB. A escolha do rebanho bovino deve-se por ser uma criação comum em todos os municípios do país, alguns em maior outros em menor escala, e também devido à grande demanda de água necessária para abastecer esse tipo de rebanho. De acordo com a ANA (2019b), o consumo de água para a dessedentação animal de bovinos varia entre 20,0 e 80,0 L/animal/dia, enquanto para galináceos e suínos esse valor fica entre 0,10 - 0,32 e entre 5,0 – 30,0 L/animal/dia, respectivamente.

De acordo com Asfora, Lima e Lacerda (2017), em 2008 os maiores efetivos de Pernambuco eram de bovinos (2,2 milhões de cabeças), seguidos por caprinos (1,7 milhão) e ovinos (1,4 milhão). Entretanto, a partir de 2013, o rebanho bovino decresce, ficando atrás dos caprinos e ovinos. Em 2015 existiam pouco mais de 2,4 milhões de caprinos e ovinos, e 1,9 milhão de cabeças de gado bovino. Diante disso, os autores apontam que a seca impactou negativamente a bovinocultura e houve a substituição desta pela ovino-caprinocultura, tendo em vista a maior adaptabilidade desses rebanhos à variabilidade climática da região como também a menor demanda por água.

Outro efeito apontado pelo MSB, como um provável impacto da intensidade de seca excepcional, é a “escassez de água nos reservatórios, córregos e poços de água, criando situações de emergência”. Diante disso, utilizou-se a quantidade de decretos de situação de emergência reconhecidos para os municípios por desastres de seca e estiagem, para quantificar o impacto citado pela ANA (2021c).

De acordo com o Decreto nº 10.593/2020, situação de emergência é a “situação anormal provocada por desastre que causa danos e prejuízos que impliquem o comprometimento parcial da capacidade de resposta do Poder Público

do ente federativo atingido ou que demande a adoção de medidas administrativas excepcionais para resposta e recuperação” (BRASIL, 2020). Dentre os desastres apontados estão as secas e as estiagens. Destaca-se aqui que uma seca é considerada um desastre quando provoca impactos de magnitude para a população.

O município que apresenta o maior número de decretos é Tucano, no Estado da Bahia, com 14 no total. Em contrapartida, 31,9% das localidades da região Nordeste não registraram nenhum decreto de SE por escassez hídrica. Conforme aponta a Figura 26c, os municípios que emitem os decretos são predominantemente localizados na região do SAB, diferente do que ocorre na faixa litorânea e no Oeste da região Nordeste. O Estado da Paraíba destaca-se no mapa com o maior número de decretos, 2.064 no total. Isto deve-se, pois, a Paraíba renova os seus decretos sempre após passados os 6 meses de validade e de forma recorrente. Os demais estados não decretam em seus municípios a SE no prazo fixo de 6 meses após o término do decreto anterior.

De acordo com Alvalá *et al.* (2019), o reconhecimento dessa situação de emergência permite que os municípios solicitem apoio do Governo Federal para medidas emergenciais de enfrentamento do período de escassez hídrica. Além disso, a constatação da SE permite o acesso a programas de abastecimento de água, como por exemplo a Operação Carro-Pipa do Governo Federal, além de outros benefícios como a renegociação de dívidas oriundas de perdas agrícolas e o provimento de cestas básicas para subsidiar a recuperação de regiões atingidas.

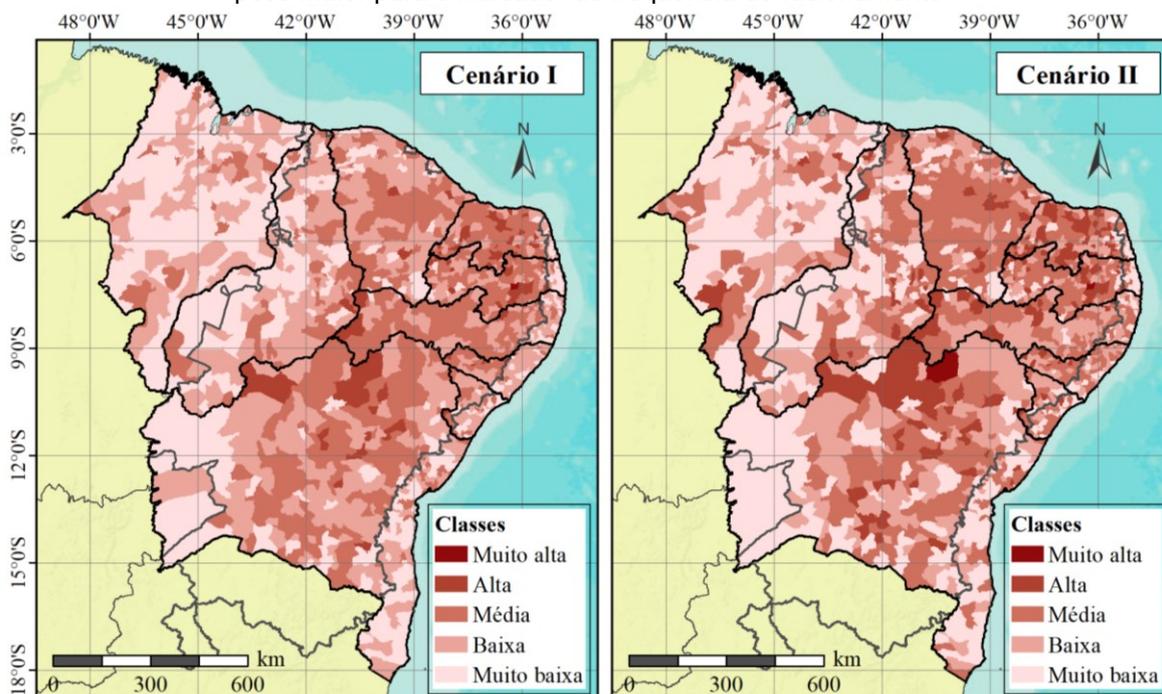
Por fim, tem-se a análise para avaliar a escassez hídrica através da frequência do racionamento de água (Figura 26d). Pouco mais de 40,0% dos municípios registraram racionamento alguns dias por semana, dentre os anos de 2014 e 2017. Enquanto isso, 8,9% dos municípios de toda a região Nordeste apresentam o pior cenário de intermitência, com racionamento diário por algumas horas todos os dias. Este é o caso do município de Campina Grande.

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional entrou em funcionamento com a promessa de resolver esse problema. Entretanto, segundo Marinho *et al.* (2021), o PISF é uma solução apenas parcial, uma vez que, apesar do aumento da oferta de água, a vulnerabilidade ao desabastecimento de água permanece para Campina Grande, uma vez que: i. o

município segue crescendo (tendência de migração para os centros urbanos maiores) e há uma conseqüente necessidade de adaptação a essas mudanças; ii. há secas recorrentes e cada vez mais longas que atingem essa região; iii. há um gerenciamento ineficaz da demanda de água, de modo que a expansão da oferta se torna insuficiente. Destaca-se que esses contrapontos representam a realidade não apenas de Campina Grande, mas também de grande parte dos municípios do SAB.

Após a análise dos quatro possíveis indicadores de impactos de seca individualmente, tem-se a justaposição desses através da álgebra de mapas no software *ArcGIS 10.6 for Desktop*. A Figura 27 representa o mapa integrado de impactos de seca com pesos iguais para os indicadores (cenário I), expondo em classes qualitativas a Incidência Municipal de Impactos. Apenas 1 município apresentou uma incidência “Muita alta” de impactos, que é o município de Boa Vista na Paraíba, em contrapartida tem-se 18 municípios com nenhum impacto registrado. A classe predominante foi a de incidência “Baixa”, que enquadrou mais de 40% das localidades analisadas.

**Figura 27** – Somatório total de impactos para os municípios da região Nordeste Brasileira subdividido em classes. O Cenário I apresenta pesos iguais para os 4 indicadores e o Cenário II peso maior para o indicador de frequência de racionamento



Fonte: Elaborada a partir de IBGE (2017; 2020; 2021a; 2021b) e S2iD (2021).

O município de Ouricuri-PE foi o único município da região Nordeste Brasileira que registrou seca excepcional por mais de 60% do tempo analisado na Abordagem Cumulativa de Secas, entretanto, quando analisado diante do cumulativo de impactos, o município registrou uma ocorrência “Baixa”. Para o cenário II, em que foi dado um peso maior ao impacto do racionamento, os municípios de Boa Vista (PB) e Juazeiro (BA) foram os únicos municípios que registraram uma incidência de impacto “muito alta”. O segundo cenário demonstrou um quadro de agravamento, visto que o percentual de municípios nas classes “Média”, “Alta” e “Muito Alta” aumentaram, respectivamente, em 5,0%, 4,3% e 0,05%.

Apesar dos avanços nas políticas públicas voltadas para o enfrentamento das recorrentes secas no Nordeste, o planejamento e a respectiva gestão desse fenômeno climático, no século XXI, ainda se baseia no enfrentamento da seca apenas quando o evento já ocorre e seus impactos são visíveis. Na última estiagem de longo prazo, que perdurou de 2012 a 2018, a maior parte dos reservatórios de abastecimento entrou em colapso, atingindo o volume morto (SOUZA FILHO *et al.*, 2018). Os municípios passaram a depender do abastecimento de água por caminhões-pipa, e a agricultura registra perdas críticas (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2018; INSA, 2020). Os impactos das secas no NEB ao longo dos anos são, em particular, a migração de pessoas do interior para o litoral, queda na produção agrícola, fome e queda nos volumes dos reservatórios (NYS; ENGLE; QUINTANA, 2016).

#### **4.4 Suscetibilidade aos impactos da seca e proposição de medidas**

A sobreposição da abordagem cumulativa de secas (RUFINO *et al.*, 2014; BRITO *et al.*, 2021), exposta na Figura 22, e da abordagem cumulativa de impactos (Figura 27) resulta em um produto final (Figura 28) que explana a ocorrência de secas no Nordeste entre os anos de 2014 e 2019 e a possível incidência de impactos associada. A suscetibilidade às secas e seus impactos, nome dado a essa resposta, tem três quatro representadas no mapa, que indicam: i. Suscetibilidade excepcional – indicou as áreas que estiveram por mais de 3 anos em seca e com impactos em classes “Alta” e “Muito Alta”; ii. suscetibilidade extrema – representou áreas do Nordeste que registraram seca por mais de 3 anos ou com incidência

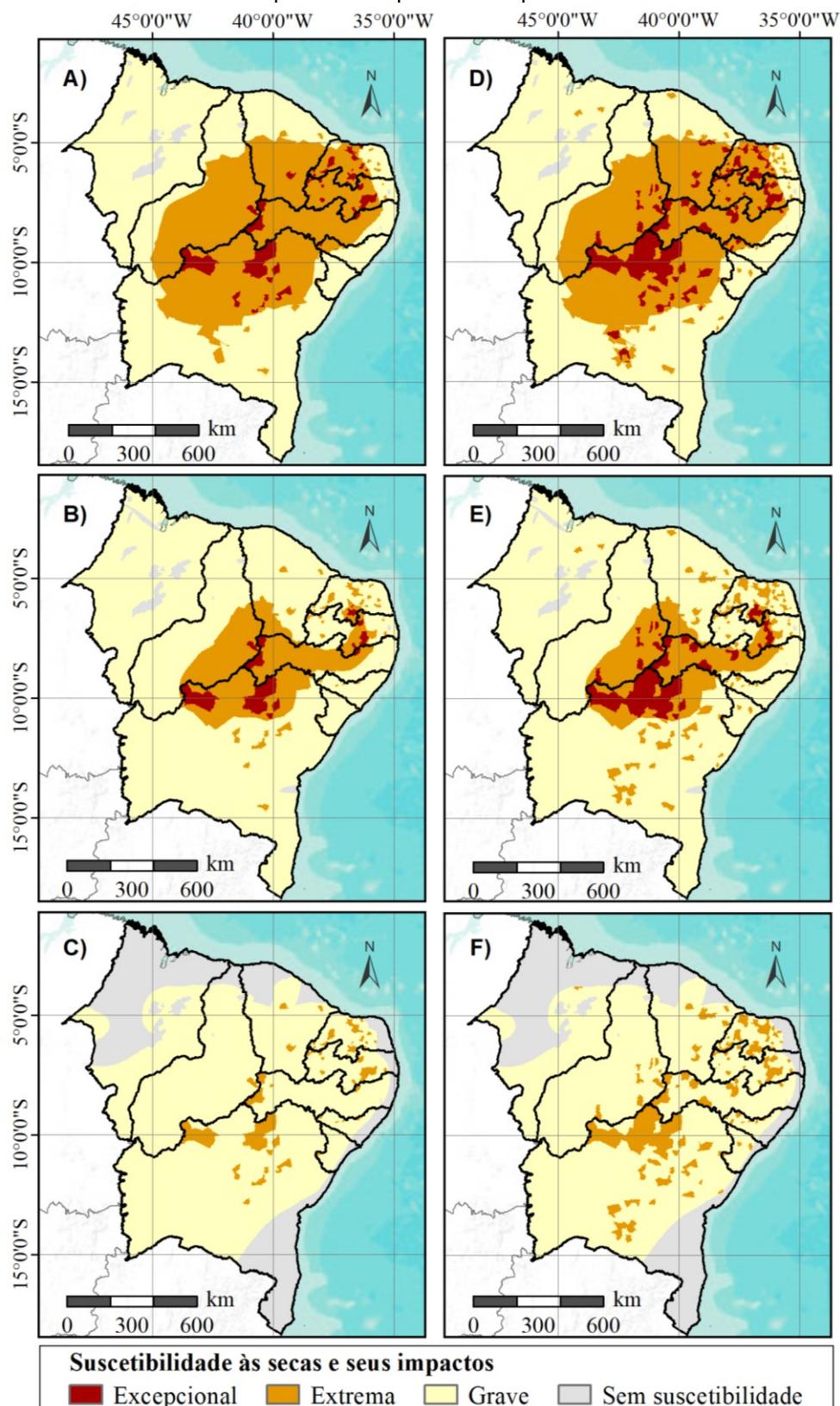
“Alta” e “Muito Alta” de impactos; iii. suscetibilidade grave – destacou as áreas da região que estiveram em seca por até 60% do tempo analisado (máximo de 3 anos) ou com impactos em classes “Muito Baixa”, “Baixa” e “Média; iv. sem suscetibilidade – expressou os territórios que não registraram seca por nenhum dos meses de análise ou que não registraram impactos de qualquer magnitude ao longo do tempo.

As Figuras 28a, Figura 28b e Figura 28c permitem visualizar a tabulação cruzada entre a Abordagem Cumulativa de Secas (ACS) grave, extrema e excepcional, respectivamente, e a Incidência Cumulativa de Secas (ICS) com pesos iguais de 25% para cada um dos quatro impactos, enquanto as Figura 28d, Figura 28e e Figura 28f tem pesos diferentes para os impactos. A Figura 28a expõe que pouco mais que 3,5%, dentre os 1.552.167,009 km<sup>2</sup> que compõem a NEB, apresentam suscetibilidade excepcional às secas e impactos, enquanto 38,0% da área demonstra situação extrema. Esses resultados buscam fornecer um ponto de partida para que os planejadores voltem suas atenções para áreas do Nordeste mais suscetíveis às secas tão periódicas e cada vez mais duradouras que marcam o histórico dessa região.

A Figura 28b, por sua vez, indica que 2,5% do NEB apresenta situação excepcional com “Alta” ou “Muito Alta” incidência de impactos e seca severa por mais de 3 anos, dentre o período de 60 meses analisados. A parte central do Nordeste, em especial o Norte da Bahia e o Leste de Pernambuco destacam-se nesses resultados. Em contrapartida, 16,6% da área da região atinge a suscetibilidade extrema. Já a tipologia de seca mais severa, a seca excepcional, é exposta na Figura 28c, associada aos impactos acumulados. Verifica-se que nenhuma área do Nordeste registrou suscetibilidade excepcional para essa análise.

Quanto à suscetibilidade extrema, 3,8% do território enquadrou-se nessa tipologia e não apresentou uma uniformidade espacial. O Maranhão apresentou a situação menos preocupante dentre os estados do Nordeste. O que corrobora com essa cenarização, é o fato de que apenas 2 municípios do Estado fazem parte do Semiárido Brasileiro (SUDENE, 2017) e, que os decretos de situação de emergência são raros, com no máximo 3 decretos por município, quando ocorre, dentre o valor máximo de 14 reconhecidos para esse período de seca plurianual 2014-2019 (S2iD, 2021).

**Figura 28** – Suscetibilidade às secas e seus impactos determinada a partir da abordagem cumulativa de secas e de impactos para: A) seca grave e impactos com pesos iguais; B) seca extrema e impactos com pesos iguais; C) seca excepcional e impactos com pesos iguais; D) seca grave e impactos com pesos diferentes; E) seca extrema e impactos com pesos diferentes; F) seca excepcional e impactos com pesos diferentes.



Fonte: Elaborada a partir de IBGE (2017; 2020; 2021a; 2021b) e Brito *et al.* (2021).

A Tabela 4 apresenta os percentuais de área da região Nordeste enquadrados em cada tipologia de suscetibilidade para os cenários I (pesos iguais para os impactos) e II (peso maior para o impacto do racionamento). Os valores apontaram um agravamento no segundo cenário, ou seja, uma área maior e consequente uma maior quantidade de municípios em suscetibilidades extrema e excepcional.

**Tabela 4** - Percentuais de área da região Nordeste distribuídos para cada tipo de suscetibilidade.

ICI	ACS	Suscetibilidade Excepcional	Suscetibilidade Extrema	Suscetibilidade Grave	Sem suscetibilidade
Cenário I	Grave	3,48%	37,98%	57,22%	1,32%
	Extrema	2,55%	16,61%	79,13%	1,71%
	Excepcional	0,00%	3,79%	72,64%	23,57%
Cenário II	Grave	7,01%	35,50%	56,16%	1,33%
	Extrema	4,93%	16,48%	76,88%	1,71%
	Excepcional	0,00%	8,19%	68,20%	23,61%

Fonte: Autoria própria.

As discussões permitem corroborar que os tomadores de decisão reagem frente a seca já identificada, e não adotam posturas proativas baseadas em planejamento e gestão de risco. Neste sentido, as políticas públicas observadas nestas posturas reativas, em sua grande maioria, tornam-se soluções temporárias e de baixa eficiência para a mitigação dos impactos. Esta gestão ineficaz e reativa das secas explicita a fragilidade institucional do poder público que não tem entendimento sobre onde a gestão de secas insere-se na administração pública.

Uma gestão proativa deveria procurar atender, sobretudo, às populações mais vulneráveis que habitam áreas em seca moderada e extrema, a fim de minimizar os efeitos das secas plurianuais, que tem se tornado mais intensas já no início deste século. Além disso, ações proativas devem ser voltadas para uma gestão participativa que identifica as reais necessidades da população a fim de implantar as tecnologias com a colaboração da sociedade civil diretamente beneficiada que habita no SAB, o que advém de ações de planejamento e preparação.

A discussão global da vulnerabilidade à seca reduz os riscos associados à sua ocorrência por meio da introdução de planejamento para melhorar as

capacidades operacionais (ou seja, monitoramento do clima e do abastecimento de água, construção de capacidade institucional) e medidas de mitigação que visam reduzir impactos da seca (ENGLE *et al.*, 2016; BRITO *et al.*, 2021).

O modelo brasileiro de políticas de seca baseia-se na intervenção governamental. Entretanto, é um sistema reativo de gestão que não tem demonstrado ser eficiente para convivência com o fenômeno. O planejamento deve acontecer nas diversas escalas (macro – nacional - a micro – pequena propriedade rural) tomando como base a criação e implementação de planos de preparação, conforme apontado por Wilhite, Sivakumar e Pulwarty (2014).

Quando os planos de preparação não são elaborados e postos em prática, deixando a gestão de risco, que é baseada na mitigação, preparação, previsão e alerta precoce ao desastre em segundo plano. Nesse cenário, a gestão de crise entra em evidência a partir de um ciclo reativo de avaliação do impacto, resposta, recuperação e reconstrução.

Para tornar essa convivência com as secas recorrentes no NEB e seus respectivos impactos mais amena, a proposição de uma série de medidas foi realizada a fim de serem implementadas, primeiramente nas áreas prioritárias de suscetibilidade excepcional. Mesmo com a cessação da seca 2012-2018 na região Nordeste, alguns municípios ainda seguem no contexto da recuperação de impactos. Com essa justificativa, são lançadas medidas que possam subsidiar a gestão das secas futuras nessa área.

De acordo com Souza Filho *et al.* (2016), a preparação para a seca deve obedecer a seguinte trajetória: i. Monitorar as secas, ii. Categorizar as secas; iii. Analisar a vulnerabilidade, iv. Propor ações de preparação e mitigação. Ao longo da tese, tem-se o monitoramento através do uso dos dados do MSB, a categorização a partir das intensidades mais severas (grave, extrema e excepcional), a determinação das áreas mais vulneráveis através da metodologia de abordagem cumulativa de secas e de impactos, e por fim a proposição de ações proativas.

A proposição de medidas foi baseada nos três tipos de políticas de seca apontadas por Wilhite, Sivakumar e Pulwarty (2014), que são: i. intervenção governamental ou não governamental pós-impacto, que consiste na concessão de assistência emergencial (financeira, água, comida) à população impactada pelos

efeitos da seca; ii. Programas governamentais de pré-impacto que objetivam a redução das vulnerabilidades e dos impactos da seca, através de medidas de mitigação; iii. Desenvolvimento e implementação de planos e políticas de preparação, que devem ser desenvolvidos antes da ocorrência da seca e mantidos nos anos em que o fenômeno não ocorre.

Como o estudo da seca e seus impactos voltou-se para a escassez hídrica no abastecimento de água e para as atividades agropecuárias, as tipologias de medidas proativas são apresentadas para esses dois setores (Quadro 7). Os programas pré-impacto para o abastecimento foram embasados nas medidas propostas pela ANA (2021a) no Atlas de segurança hídrica do abastecimento humano. As medidas de gestão apontadas no documento são: i. monitoramento dos mananciais; ii. regulação dos recursos hídricos; iii. controle de perdas. Para alcançar essas medidas, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico indica:

- i. Monitoramento dos mananciais:
  - Inserir dados de monitoramento no SNIRH e definir estratégia para manter os dados atualizados
  - Implementar novas estações de monitoramento e definir estratégia de disponibilização dos dados no SNIRH
- ii. Regulação de recursos hídricos:
  - Avaliação das captações situadas em trechos de conflito iminente
  - Fortalecimento Institucional
  - Regularização legal das captações superficiais e subterrâneas
- iii. Controle de perdas:
  - Apoio institucional aos operadores
  - Elaboração e aprimoramento de normas de referência
  - Combate às perdas de água

As medidas pós-impacto foram elaboradas a partir de uma edição especial da revista Parcerias Estratégicas do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2017), que tratou da seca pluri-anual 2012-2017 no Nordeste Brasileiro e apontou quais as medidas de caráter emergencial adotadas pelos nove estados da região Nordeste Brasileira. Todos estes utilizaram-se de abastecimento através de

carros-pipa, perfuraram poços como fonte alternativa de abastecimento e instalaram Adutoras de Montagem Rápida (AMR).

**Quadro 7** - Proposição de medidas proativas para conviver com as secas recorrentes existentes na região Nordeste brasileira.

Fase de implantação	Abastecimento Humano	Agricultura/Pecuária
Programas pré-impacto	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Monitoramento dos mananciais:</li> <li>▪ Regulação dos recursos hídricos:</li> <li>▪ Controle de perdas</li> <li>▪ Programa 1 Milhão de Cisternas (P1MC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fomento à Irrigação para instalação de sistemas de microaspersão e gotejamento</li> <li>▪ apoio à substituição tecnológica realizada por meio de: métodos de irrigação mais eficientes no uso da água; e de culturas mais resistentes e com menor demanda de água.</li> <li>▪ Segurança Alimentar Animal – Implantação de Centrais Regionais de Suporte Forrageiro</li> <li>▪ Identificação e substituição de atividades econômicas com alto consumo de água por atividades mais resilientes, mais adaptadas e com menor demanda hídrica para as regiões semiáridas;</li> </ul>
Planos e políticas que devem ser desenvolvidos antes da ocorrência da seca e mantidos nos anos de não ocorrência	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elaboração de Planos de Bacias com Planos de Secas</li> <li>▪ Planos Municipais de Saneamento</li> <li>▪ Políticas Estaduais de Segurança Hídrica</li> <li>▪ Criação de Salas de Situação e de acompanhamento que atendam às demandas dos eventos de seca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Planos Agropecuários Municipais de Preparação e Resposta às Secas</li> <li>▪ Planos de seca para diferentes culturas, para agricultura de irrigação e sequeiro, para diferentes tipos de rebanho</li> <li>▪ Política de assistência técnica com suporte municipal</li> <li>▪ Criação de Salas de Situação e de acompanhamento que atendam às demandas dos eventos de seca</li> </ul>
Programas pós-impacto	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operação carro-pipa</li> <li>▪ Perfuração de poços</li> <li>▪ Implantação de adutoras de montagem rápida</li> <li>▪ Implantação de sistemas de abastecimento de água com dessalinização e aproveitamento dos rejeitos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Distribuição de forragem e ração animal para subsistência dos rebanhos</li> <li>▪ Garantia safra</li> <li>▪ Bolsa estiagem</li> <li>▪ Fundo de Catástrofe para o Seguro Rural</li> <li>▪ Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (PROAGRO)</li> </ul>

Fonte: Elaborada a partir de Wilhite, Sivakumar e Pulwarty (2014), CGEE (2017) e ANA (2021a).

Quanto aos planos e políticas que devem ser desenvolvidas antes da ocorrência da seca e mantidos nos anos de não ocorrência, foram propostos planos de seca integrados aos planos de bacias hidrográficas, uma vez que a seca e a

escassez hídrica são diretamente relacionadas. A criação de salas de situação e acompanhamento, como as criadas pela ANA, também indicam uma dessas políticas. Outra proposta relevante para mudar a conjuntura são políticas de assistência técnica aos produtores rurais, em especial aos pequenos produtores.

A tese teve como foco principal a proposição de metodologias que permitissem analisar as secas de forma plurianual com dados acessíveis (mapas mensais do Monitor de Secas) e realizar essa mesma análise a partir dos possíveis impactos associados a esse fenômeno. Para esta finalidade, a quantidade de impactos selecionados foi reduzida, com o intuito de ter uma melhor aceitação por parte dos tomadores de decisão, visando facilitar sua aplicação.

Um roteiro de 10 etapas é apresentado a seguir com o objetivo de definir um passo-a-passo para a aplicação desse estudo. Entre as medidas, aponta-se que a população deve ser frequentemente informada sobre as categorias de seca na sua região e quais os efeitos atrelados a estas, fazendo uso do MSB, do S2iD e do Olho N'água (ou do Sistema de acompanhamento de Reservatórios da ANA) nesse processo. As medidas foram elaboradas a partir das metodologias que foram aplicadas ao longo da tese, e resultaram em:

- I. Aplicar a Abordagem Cumulativa de Secas com os dados do MSB;
- II. Detectar com essa metodologia as áreas da região mais atingidas temporalmente pelos eventos de seca (maior risco);
- III. Determinar a Incidência Cumulativa de Impactos sobre essas áreas a fim de determinar quais regiões são mais suscetíveis e quais as mais adaptáveis aos efeitos da seca;
- IV. Informar à população, através das mais variadas fontes, seja pelo uso de rádios, redes sociais, tv, sobre todos os resultados obtidos através dessas metodologias, mensalmente;
- V. Realizar campanhas de conscientização para os habitantes da zona urbana, visando o uso racional da água e o reuso, como também para as comunidades rurais, em busca, além do uso racional para fins humanos, instruir os produtores rurais a utilizar as formas devidas de irrigação e espécies animais mais adaptáveis ao clima;
- VI. Levar para os comitês de bacia hidrográfica e para os conselhos de meio ambiente a tomada de decisões sobre o gerenciamento das secas, a fim

de tornar a gestão participativa em um espaço que facilita a solução das demandas postas pela população quanto à preparação para as secas futuras;

- VII. Elaborar planos municipais de preparação para as secas que estejam integrados com os planos estaduais, com os planos de bacia hidrográfica como também com os planos de recursos hídricos;
- VIII. Estimular e financiar o abastecimento através de fontes alternativas de água e, em paralelo, integrar todos os Programas de construção de infraestrutura;
- IX. Inserir, além da abordagem cumulativa de secas e de impactos, uma abordagem que considere a capacidade de adaptação e de resiliência dos municípios nordestinos;
- X. E por fim, integrar todas essas informações em um único portal de informações, no do MSB, adicionando ferramentas que permitam reportar impactos de seca, tirar dúvidas e solicitar algum auxílio técnico ou financeiro quando necessário, tomando como base o *US Drought Monitor*.

De acordo com o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) da ANA (2019), a reversão de um quadro de insegurança depende, além de uma infraestrutura hídrica robusta e uma adequada gestão dos recursos, do “conhecimento aprofundado da vulnerabilidade e da exposição do ambiente diante de algum evento, visando à proposição de ações dirigidas ao aumento da resiliência da área”. Martins *et al.* (2016) apontam que, embora exista uma série de plataformas digitais com informações úteis sobre secas, estas ainda não são utilizadas de forma eficiente na gestão do fenômeno. Há a necessidade de criação de um processo participativo que englobe instituições nos níveis locais, estaduais e federais que respondam previamente às pressões e impactos originados.

Diante da caracterização espaço-temporal e de severidade da seca, sob a perspectiva do MSB, constata-se que, embora recente, a plataforma representa um avanço no panorama de preparação aos eventos futuros, juntamente com o Olho N'água, que permite monitorar a evolução dos volumes de água armazenados. Tais seguimentos, em consonância com a elaboração de planos estaduais que dinamizem o ciclo de gestão à uma mudança de paradigma, voltada ao

gerenciamento proativo do fenômeno, tem todo um embasamento que poderia estimular uma mudança da forma como os gestores lidam com o advento das frequentes secas no sertão nordestino.

---

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os eventos de seca e suas diferentes intensidades, desencadeados por eventos de déficit hídrico, causam impactos de curto, médio e longo prazos nos diferentes setores que compõem uma nação. Portanto, tais eventos apresentam um dos riscos naturais mais graves, pois suas consequências permanecem mesmo após o término do fenômeno. Os eventos de seca são fenômenos naturais que podem se tornar mais danosos devido às vulnerabilidades da sociedade, ou seja, esse tipo de risco não facilita a tomada de decisão do problema, já que essa causa é intrínseca ao perfil climático. Portanto, grande parte da solução é estar preparado para lidar com os impactos decorrentes das secas, chamado de gerenciamento de risco de seca.

A gestão reativa da seca deve dar lugar a um sistema de gestão proativa, uma vez que, de acordo com o histórico de eventos de seca no NEB, esses eventos são frequentes e existe uma variabilidade natural do clima nesta região brasileira; portanto, as cidades e assentamentos não têm escolha a não ser se adaptar a eles. A situação ideal é projetar um sistema de gestão adaptado a eventos futuros de seca e, assim, desenvolver planos que abranjam todos os níveis de planejamento geográfico: nacional, de bacia hidrográfica, regional, estadual e municipal.

É importante destacar que o país deu um passo à frente na implantação do Monitor de Secas, implantado pela primeira vez na região Nordeste em 2014, bem como no monitoramento mensal das secas, dada a definição dos diferentes estágios, que variam conforme a severidade da seca. É uma ferramenta capaz de fornecer excelente suporte aos processos de tomada de decisão, pois possui uma fase de validação local na elaboração do mapa.

A metodologia da tese foi desenvolvida com o objetivo de ter a mais fácil aplicabilidade possível, objetivando ser replicada por tomadores de decisão na busca por associar secas e impactos. Dessa forma, optou-se por utilizar dados de portais acessíveis e consagrados, atualizados diária, mensal ou anualmente.

Com base nos resultados atuais, é essencial avaliar os eventos de seca de um ponto de vista plurianual, a fim de determinar as regiões que permaneceram a

maior parte do tempo em um alto nível de severidade da seca. Se uma área permanecer sob seca excepcional (mais intensa) por muito tempo, isso deve ser um indicador de que o local requer mais atenção considerável do sistema de gerenciamento de seca do que outros. Isso também vale para a análise dos impactos, pois se um município apresenta uma incidência de impactos “Alta” ou “Muito Alta”, significa que há uma maior suscetibilidade a vivenciar os efeitos do fenômeno.

Concorda-se que quanto maior o período de seca (em alguns meses) sob os eventos cumulativos plurianuais mais intensos, mais preocupantes serão seus impactos nos mais diversos setores, sejam eles agropecuários, sociais ou econômicos.

Os mapas cumulativos de 5 anos de dados do MSB fornecem novos subsídios não limitados a uma análise mensal - conforme disponível no Monitor – o que permite avaliar todos os dados dos últimos 60 meses de uma forma integrada e descomplicada. Além disso, os resultados destacam as áreas que requerem uma maior preocupação diante do enfrentamento da seca, fato esse que não é possível ou simples em uma análise mensal ou mesmo em uma análise comparativa (mês a mês em anos diferentes como o uso mais comum do MSB).

A prevalência de intervalos de tempo maiores foi o critério levado em consideração nas quantificações anteriores, ou seja, se um município se enquadrar em mais de um intervalo, aquele com maior duração prevaleceu sobre o outro - prevalece mais de 4 anos sobre todos os demais períodos, independentemente da taxa de cobertura da área.

Observar as secas e a ocorrência de impactos sob a ótica da abordagem cumulativa permite analisar o evento pelas suas características plurianuais e, assim, possibilitar o planejamento de ações de convivência com um fenômeno tão recorrente no NEB. Esse preparo deve estabelecer ações hierárquicas em função da intensidade da seca que atinge determinada área e sua respectiva duração, conforme os mapas apresentados na Figura 22, e considerar também a classificação dos níveis de impactos dispostos na Figura 27.

A gestão entre o MSB e as demais plataformas de informação considerada ao longo do estudo devem ser integradas. Por exemplo, para uma área sob forte seca há mais de 2 anos, a rede de reservatórios de abastecimento começa a

colapsar e, para gerenciá-los, além do Monitor de Secas, dados relativos ao monitoramento de níveis de água (de outros sistemas de monitoramento) em barragens é crucial.

Vale ressaltar que os impactos da seca plurianual que atingiu a região Nordeste do Brasil entre 2012 e 2018 ainda perdura em algumas áreas. Entretanto, o último ano considerado na análise (2019) foi sem seca severa em todo o NEB, o que pode ter causado um cenário de seca mais ameno nos resultados. Do ponto de vista cumulativo, as secas devem sempre ser analisadas em suas respectivas categorias temporais por intensidade e por classe de incidência de impactos.

O Semiárido Brasileiro merece destaque nessa abordagem, pois é a parte da região Nordeste mais vulnerável à incidência de secas e impactos e, apesar da experiência de séculos em secas recorrentes, ainda não compreendeu como conviver com o fenômeno. Embora os eventos estejam mais duradouros e intensos, as medidas prioritárias para lidar com os efeitos negativos continuam sendo, predominantemente, de cunho estrutural. Como afirma Campos (2015), o SAB é naturalmente vulnerável à seca, mesmo quando as densidades populacionais eram baixas, ainda no início da colonização.

As condições naturais do SAB compreendem baixos índices pluviométricos, elevadas taxas de evaporação, solos que desfavorecem a exploração de recursos hídricos subterrâneos. Diante disso, políticas públicas adequadas precisam ser implantadas, sobretudo no que se refere às populações mais vulneráveis, residentes em áreas rurais. Em contrapartida, a seca plurianual 2012-2018 também atingiu as cidades, que tiveram os seus sistemas de abastecimento de água em colapso, com reservatórios atingindo níveis de volume morto.

Visto que esse tipo de desastre natural é recorrente, e que a construção de infraestrutura hídrica não tem sido suficiente para lidar com as consequências da escassez hídrica, resta adotar uma perspectiva pautada no planejamento e na preparação para as secas. Todos os Estados norte-americanos possuem seus Plano Estaduais de preparação, além de um Sistema de Monitoramento e Alerta Precoce utilizado pelos gestores na tomada de decisões. Enquanto isso, no Brasil, as medidas de resposta só entram em ação quando os impactos já provocaram danos aos mais diversos setores.

Foram identificadas, ao longo do desenvolvimento do estudo, outras formas de aplicação da metodologia, as quais apresentariam perspectivas de relevância para a temática das secas e dos seus respectivos impactos. Algumas destas recomendações estão listadas a seguir como sugestão para pesquisas futuras:

- O estudo atual abordou na análise da abordagem cumulativa de secas o recorte temporal de 5 anos compreendido entre 2014 e 2019. Pesquisas futuras poderão utilizar um período mais longo de análise (séries de dados maiores), verificando inclusive como a região Nordeste se comporta, sob a perspectiva da abordagem cumulativa, em um período não seco, a fim de correlacionar essas informações com o produto de anos secos plurianuais apresentados nessa tese;
- A incidência de possíveis impactos da seca foi quantificada sob a perspectiva de quatro indicadores. Recomenda-se a inserção de outros impactos nessa análise e que a ponderação ocorra sob a perspectiva de especialistas na área ou sob uma metodologia estatística, como a análise fatorial, por exemplo;
- Recomenda-se também um estudo que utilize o produto de Suscetibilidade às Secas e seus Impactos (SSI), desenvolvido nessa tese, em combinação com o Índice de Segurança Hídrica (ISH) proposto pela ANA. O resultado dessa tabulação cruzada objetiva verificar se as áreas apontadas pelo ISH como áreas de maior insegurança hídrica são também as registradas como “Alta” e “Muito Alta” suscetibilidade às secas e aos impactos.
- E por fim, como a Abordagem Cumulativa de Secas analisou o evento do ponto de vista do componente risco, a Incidência Cumulativa de Impactos do ponto de vista da suscetibilidade, propõe-se a inserção de uma análise da capacidade adaptativa dos municípios do Nordeste Brasileiro, com o objetivo de analisar o conceito de vulnerabilidade sob os três componentes apontados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. N.; FREITAS, E. S.; MEIRA, M. A. *et al.* **Boletim anual de precipitação no Brasil**: 2020. João Pessoa: PPGEAM, 2021. 15 p. DOI 10.13140/RG.2.2.32507.64801

ALVALÁ, R. C. S.; CUNHA, A. P. M. A.; BRITO, S. S. B.; SELUCHI, M. E. MARENGO, J. A. MORAES, O. L. L.; CARVALHO, M. A. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, 2019. Supl. 1. DOI 10.1590/0001-3765201720170209

AMS - American Meteorological Society. **Drought**, 2013. Disponível em: <https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/about-ams/ams-statements/statements-of-the-ams-in-force/drought/>. Acesso em: fev. 2020.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2018. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2018**: Informe anual. Brasília: ANA, 2018. 72 p. Disponível em: [http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe\\_conjuntura\\_2018.pdf](http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe_conjuntura_2018.pdf). Acesso em: 3 mai. 2020.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2019. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília: ANA, 2019. 112 p. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2021.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2020. **Resolução nº 31 de 13 de Julho de 2020**. Institui o Programa Monitor de Secas, coordenado pela Agência Nacional de Águas. Brasília: Diário Oficial da União (16/07/2020).

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2021a. **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento humano**. Brasília: ANA, 2021a. 332 p. Disponível em: [https://metadados.snirh.gov.br/files/d77a2d01-0578-4c71-a57e-87f5c565aacf/ANA\\_ATLAS\\_Aguas\\_AbastecimentoUrbano2021.pdf](https://metadados.snirh.gov.br/files/d77a2d01-0578-4c71-a57e-87f5c565aacf/ANA_ATLAS_Aguas_AbastecimentoUrbano2021.pdf). Acesso em: 31 set. 2021.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2021b. **Eventos críticos**. ANA, 2021c. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/eventos-criticos> Acesso em: 31 set. 2021.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2021c. **Monitor de Secas do Brasil**. ANA, 2021c. Disponível em: <http://monitordesecas.ana.gov.br/dados-sig?ano=2020>. Acesso em: 12 jun. 2021.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2021d. **SAR - Sistema de Acompanhamento de Reservatórios**. ANA, 2021d. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar/>. Acesso em: 12 jul. 2021.

ANDRADE, T. S. **Resiliência à secas futuras, índices de seca e análise de vulnerabilidade em bacias hidrográficas do Semiárido Brasileiro**. 2017. 189 p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-graduação em

Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

ASA BRASIL – Articulação no Semiárido Brasileiro. **Mapa de tecnologias**, 2020. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/mapatecnologias/>. Acesso em: 17 abr. 2020.

ASFORA, M. C.; LIMA, M.; LACERDA, M. R. S. Diagnóstico da seca 2011-2016 em Pernambuco: impactos e políticas de mitigação. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 44, p. 247-273, 2017.

AWANGE, J. L.; MPELASOKA, F.; GONÇALVES, R. M. When every drop counts: Analysis of Droughts in Brazil for the 1901-2013 period. **Science of the Total Environment**, v. 566-567, p. 1472-1488, 2016. DOI 10.1016/j.scitotenv.2016.06.031

AZEVEDO, S. C.; CARDIM, G. P.; PUGA, F.; SINGH, R. P.; SILVA, E. A. Analysis of the 2012-2016 drought in the northeast Brazil and its impacts on the Sobradinho water reservoir. **Remote Sensing Letters**, v. 9, n. 5, p. 438–446, 2018. DOI 10.1080/2150704X.2018.1437290.

BAJJALI, W. Introduction to GIS. *In*: BAJJALI, W. **ArcGIS for Environmental and Water Issues**. Springer Text-books in Earth Sciences, Geography and Environment. 1 ed. Springer International Publishing, 2018. cap. 1, p. 1-10.

BRASIL. **Decreto nº 10.593, de 24 de dezembro de 2020**. Dispõe sobre a organização e o funcionamento do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e do Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil e sobre o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Sistema Nacional de Informações sobre Desastres. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 10, 28 dez. 2020.

BRASIL. **Lei nº 13.153, de 30 de julho de 2015**. Institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e seus instrumentos; prevê a criação da Comissão Nacional de Combate à Desertificação; e dá outras providências.: Diário Oficial da União (31/07/2015), 2015.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: DOU de 9/1/1997.

BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M. A.; CUNNINGHAM, C. C.; ALVALÁ, R. C.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, M. A. Frequency, duration and severity of drought in the Semi-arid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517–529, 2018. DOI 10.1002/joc.5225

BRITO, Y. M. A.; RUFINO, I. A. A.; BRAGA, C. F. C.; MULLIGAN, K. The Brazilian drought monitoring in a multi-annual perspective. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, 31, 2021. DOI 10.1007/s10661-020-08839-5

BRYANT, E. A. **Natural Hazards**. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 1991. 330 p.

CACHAPUZ, P. B. B.. **CHESF: 70 ANOS DE HISTÓRIA**. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 2018. 156 p. Disponível em: <https://www.chesf.gov.br/Comunicacao/70anos/index.aspx#page/6>. Acesso em: 20 abr. 2019.

CAMPOS, J. N. B. Paradigms and public policies on drought in Northeast Brazil: a historical perspective. **Environmental Management**, v. 55, p. 1052-1063, 2015. DOI 10.1007/s00267-015-0444-x

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos Avançados**, v. 28, n. 82, p. 65–88, 2014. DOI 10.1590/S0103-40142014000300005

CARNEIRO, W. M. A.; LIMA, Y. C. Análise da Agricultura Nordestina no início do Século XXI. **BNB Conjuntura Econômica**. p. 38 – 45.

CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco. **Gestão e operação do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional**. CBHSF, 2019. Disponível em: [https://issuu.com/cbhsaofrancisco/docs/miolo\\_pisf\\_cbhsf\\_21x28](https://issuu.com/cbhsaofrancisco/docs/miolo_pisf_cbhsf_21x28). Acesso em: 15 out. 2021.

CEARÁ. **Plano Estadual de Convivência com a Seca: ações emergenciais e estruturantes**. Fortaleza - CE: Governo do Estado do Ceará, 2015.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Parcerias Estratégicas**. v. 22, n. 44, 300 p, 2017.

CNM - Confederação Nacional de Municípios. **Estudo: Prejuízos causados pela seca 2012 ao 1º semestre 2017**. Brasília: CNM, 2018, 6 p. Disponível em: [https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/Estudo\\_preju%C3%ADzos%20causados%20pela%20seca%2024.10.2018.pdf](https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/Estudo_preju%C3%ADzos%20causados%20pela%20seca%2024.10.2018.pdf). Acesso em: 21. Jun. 2018. 2018.

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Evolução da Divisão Territorial da Codevasf: 1974-2020**. CODEVASF, 2020. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/evolucao-da-divisao-territorial-codevasf.pdf>. Acesso em: 15 out. 2021.

CONAMA - Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da União (DOU), Brasília, 17 de fevereiro de 1986.

CORDÃO, M. J. S.; RUFINO, I. A. A.; ALVES, P. B. R.; BARROS FILHO, M. N. M. Water shortage risk mapping: a GIS-MCDA approach for a medium-sized city in the Brazilian semi-arid region. **Urban Water Journal**, v. 17, n. 7, p. 642-655, 2020. DOI: 10.1080/1573062X.2020.1804596

CRAUSBAY, S. D.; RAMIREZ, A. R.; CARTER, S. L.; CROSS, M. S.; HALL, K. R.; BATHKE, D. J.; BETANCOURT, J. L.; COLT, S.; CRAVENS, A. E.; DALTON, M. S.; DUNHAM, J. B.; HAY, L. E.; HAYES, M. J.; MCEVOY, J.; MCNUTT, C. A.; MORITZ, M. A.; NISLOW, K. H.; RAHEEM, N.; SANFORD, T. Defining ecological drought for the twenty-first century. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 98, n. 12, p. 2543–2550, 2017. DOI 10.1175/BAMS-D-16-0292.1

CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C.; NOBRE, C. A.; CARVALHO, M. A. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 214-215, p. 494–505, 2015. DOI 10.1016/j.agrformet.2015.09.010

CUNHA, A. P. M. A.; BRITO, S. S. B.; ROSSATO, L.; ALVALÁ, R. C. S.; CUNNINGHAM, C.; ZERI, M.; MACIEL, A. P. R.; ANDRADE, E. S.; VIEIRA, R. M. S. P.; CARVALHO, M. A. Avaliação de indicador para o monitoramento dos impactos da seca em áreas de pastagens no Semiárido do Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 1, p. 89-106, 2017.

CUNHA, A. P. M. A.; TOMASELLA, J.; RIBEIRO-NETO, G. G.; BROWN, M.; GARCIA, S. R.; BRITO, S. B.; CARVALHO, M. A. Changes in the spatial-temporal patterns of drought in the Brazilian Northeast. *Atmospheric Science Letters*, v. 19, n. 10, e855, 2018. DOI 10.1002/asl.855

CUNHA, A. P. M. A.; ZERI, M.; LEAL, K. D.; COSTA, L.; CUARTAS, L. A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C.; CAL GARCIA, J. V.; BROEDEL, E.; ALVALÁ, R.; RIBEIRO-NETO, G. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, v. 10, n.11, p. 642, 2019. DOI 10.3390/atmos10110642

DANTAS, J. C.; DA SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Drought impacts, social organization, and public policies in northeastern Brazil: a case study of the upper Paraíba River basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 192, n. 5, p. 1–21, 2020. DOI 10.1007/s10661-020-8219-0

DIAS, A. C. H.; SANTIAGO, M. C.; VIEIRA, B. A.; NOGUEIRA, L. Perfuração indiscriminada de poços em Iracema/CE: um estudo sobre o paradoxo da atual crise hídrica. *Águas Subterrâneas*, v. 32, n. 3, 2018. DOI 10.14295/ras.v32i3.29167

DRACUP, J. A.; LEE, K. S.; PAULSON, E. G. On the definition of droughts. *Water Resources Research*, v. 16, n. 2, p. 297–302, 1980.

DU, L.; TIAN, Q.; YU, T.; MENG, Q.; JANCOSO, T.; UDVARDY, P.; HUANG, Y. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 23, n. 1, p. 245–253, 2013. DOI 10.1016/j.jag.2012.09.010

DUQUE, G. “Conviver com a seca”: contribuição da Articulação do Semi-árido/ASA para o desenvolvimento sustentável. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 17, p. 133-140, 2008. DOI 10.5380/dma.v17i0.13417

EAKIN, H. C.; LEMOS, M. C.; NELSON, D. R. Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. **Global Environmental Change**, v. 27, n. 1, p. 1–8, 2014. DOI 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.013

ECKHARDT, D.; LEIRAS, A. A review of required features for a disaster response system on top of a multi-criteria decision: a Brazilian perspective. **Production**, v. 28, e20180007, 2018. DOI 10.1590/0103- 6513.20180007.

ENGLE, N.; DE NYS, E.; MAGALHÃES, A. R.; REDWOOD III, J. Planejamento para a próxima seca e preparação do caminho para a resiliência às mudanças climáticas. *In*: DE NYS, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. (org.). **Secas no Brasil: Política e gestão proativas**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE; Banco Mundial, 2016. cap. 8, p. 125-132.

FLATLEY, A.; RUTHERFURD, I. D.; HARDIE, R. River channel relocation: Problems and prospects. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 10, p. 1–25, 2018. DOI 10.3390/w10101360

FU, X.; SVOBODA, M.; TANG, Z.; DAI, Z.; WU, J. An overview of US state drought plans: crisis or risk management? **Natural Hazards**, v. 69, p. 1607–1627, 2013. DOI 10.1007/s11069-013-0766-z

GUTIÉRREZ, A. P. A.; ENGLE, N. L.; DE NYS, E.; MOLEJÓN, C.; MARTINS, E. S. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 95-106, 2014. DOI 10.1016/j.wace.2013.12.001

GWP CEE - Global Water Partnership Central and Easter Europe. **Guidelines for the preparation of Drought Management Plans**: Development and implementation in the context of the EU Water Framework Directive. GWP CEE, 2015. 48 p. Disponível em: [https://www.droughtmanagement.info/literature/GWPCEE\\_Guidelines\\_Preparation\\_Drought\\_Management\\_Plans\\_2015.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/GWPCEE_Guidelines_Preparation_Drought_Management_Plans_2015.pdf). Acesso em: 12 jan. 2018.

HEIM JR., R. R. A review of twentieth-Century drought indices Used in the United States. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 22, n. 8, p. 1149–1165, 2002. DOI 10.1175/1520-0477-83.8.1149

HENRIQUE, A.; BATISTA, M. A politização dos desastres naturais: alinhamento partidário, declarações de emergência e a alocação de recursos federais para os municípios no Brasil. **Opinião Pública**, v. 26, n. 3, p. 522-555, 2020. DOI 10.1590/1807-01912020263522

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal**. IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 21 dez. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Agrícola Municipal – PAM**. IBGE, 2021a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 15 abr. 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa da Pecuária Municipal** – PPM. IBGE, 2021b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 15 abr. 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais** – MUNIC. IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html?=&t=resultados>. Acesso em: 12 jan. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto** – PIB. IBGE, 2021c. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>. Acesso em: 12 jan. 2020.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido. **Olho N'água**. INSA, 2020. Disponível em: <https://olhonagua.insa.gov.br/#/>. Acesso em: 12 mai. 2020.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Annex VII: Glossary. IPCC, 2021. Cambridge University Press. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Annex\\_VII.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Annex_VII.pdf). Acesso em: 25 set. 2021.

KASECKER, T. P.; RAMOS-NETO, M. B.; SILVA, J. M. C.; SCARANO, F. R. Ecosystem-based adaptation to climate change: defining hotspot municipalities for policy design and implementation in Brazil. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 23, n. 6, p. 981–993, 2018. DOI 10.1007/s11027-017-9768-6

KROL, M.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; GÜNTNER, A. Integrated modelling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid north-east of Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 328, n. 3–4, p. 417–431, 2006. DOI 10.1016/j.jhydrol.2005.12.021

LINDOSO, D. P.; EIRÓ, F.; BURSZTYN, M.; RODRIGUES-FILHO, S.; NASUTI, S. Harvesting water for living with drought: Insights from the Brazilian Human Coexistence with Semi-Aridity approach towards achieving the sustainable development goals. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 622, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10030622>

MAGALHÃES, A. R. Vida e seca no Brasil. In: DE NYS, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. (orgs.). **Secas no Brasil: Política e gestão proativas**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE; Banco Mundial, 2016. cap. 1 p. 19-35.

MAGALHÃES, A. R., & MAGALHÃES, M. C. Drought preparedness and livelihood implications in developing countries: what are the options? — Latin America and Northeast Brazil. In: MAPEDZA, E.; TSEGAI, D.; BRUNTRUP, M.; MCLEMAN, R. (ed.). **Current Directions in Water Scarcity Research**. Elsevier, 2019. v. 2, cap. 4, p. 55–66.

MAISONNAVE, F.; PRADO, A. Nordeste: Seca histórica já dura seis anos e ameaça tornar-se regra no semiárido. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 24 abr. 2018, 02:00. Disponível em: <https://arte.folha.uol.com.br/ciencia/2018/crise-do-clima/nordeste/seca-historica-ja-dura-seis-anos-e-ameaca-tornar-se-regra-no-semiarido/>. Acesso em: 24 abr. 2019.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 83–96, 2008. DOI 10.1590/S0103-40142008000200006

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALÁ, R. C. S.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MORAES, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 90, p. 1973–1985, 2018. 2 suppl 1. DOI 10.1590/0001-3765201720170206

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Indicadores**, v. 3, p. 1–6, 2018.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; SOARES, W. R.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M., BRITO, S. S. B.; CUARTAS, L. A.; LEAL, K.; RIBEIRO-NETO, G.; ALVALÁ, R. C. S.; MAGALHAES, A. R. Increase Risk of Drought in the Semiarid Lands of Northeast Brazil Due to Regional Warming above 4° C. *In*: Nobre C, Marengo J, Soares W (ed). **Climate change risks in Brazil**. Springer: Cham, 2019. p. 181-200. DOI 10.1007/978-3-319-92881-4\_7

MARINHO, R. M. A. **Entre o combate à seca e a convivência com o semi-árido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento**. 2006. 298 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Centro De Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2006.

MARINHO, S. D. A. M.; CORDÃO, M. J. S.; SANTOS, F. M.; SANTOS, B. L. F.; GALVÃO, C. O.; RUFINO, I. Interfaces entre a produção do espaço urbano e o risco de desabastecimento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 417-427, 2021. DOI 10.1590/S1413-415220190369

MARTINS, E. S. P. R.; DE NYS, E.; MOLEJÓN, C.; BIAZETO, B.; SILVA, R. F. V.; ENGLE, N. **Monitor de Secas do Nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas**. Brasília: BIRD – Banco Mundial, 1. ed., 124 p. 2015.

MARTINS, E. S. P. R.; QUINTANA, C. M.; DIAS, M. A. F. S.; SILVA, R. F. V.; BIAZETO, B.; FORATTINI, G. D.; MARTINS, J. C. O caso técnico e institucional – Monitor de Secas do Nordeste como âncora e facilitador da colaboração. *In*: DE NYS, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. (orgs.). **Secas no Brasil: Política e gestão proativas**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE; Banco Mundial, 2016. cap. 4, p. 61-72.

MARTINS, M. A.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A.; ALVALÁ, R. C. S.; GIAROLLA, A.; GAROFOLO, L. L.; SIQUEIRA JR., J. L.; PAOLICCHI, L. T. L. C.; PINTO, G. L. N. Improving drought management in the Brazilian semi-arid through crop forecasting. **Agricultural Systems**, v. 160, p. 21-30, 2018. DOI 10.1016/j.agsy.2017.11.002

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. **Eighth Conference on Applied Climatology**, p. 17-22, 1993.

MELO, J. C. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. **Raízes: Revista e Ciências Sociais e Econômicas**, v. 20, p. 13-21, 1999. DOI 10.37370/raizes.1999.v.162

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of hydrology**, v. 391, n. 1-2, p. 202–216, 2010. DOI 10.1016/j.jhydrol.2010.07.012

MISRA, A. K. Climate change and challenges of water and food security. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 1, p. 153–165, 2014. DOI 10.1016/j.ijbsbe.2014.04.006

NDMC - National Drought Mitigation Center. **United States Drought Monitor**. Lincoln: University of Nebraska. Acesso em: 13 fev. 2020. Disponível em: <https://droughtmonitor.unl.edu/>.

NUNES, T. H. C. **A gestão do reservatório Epitácio Pessoa e regras de operação otimizadas**. 2015. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

NUNES, T. H. C.; RIBEIRO, M. M. R. Conflitos de segunda ordem no Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco: análise por meio da metodologia da Cadeia Causal. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 4, p. 627-637, 2021. DOI 10.1590/S1413-415220190367

NUNES, T. H. C.; SANTOS, D. C.; NEVES, J. R. P.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. Olho N'Água - Plataforma Interativa De Acompanhamento Dos Reservatórios Da Região Semiárida. In: Simpósio De Recursos Hídricos Do Nordeste. 14., 2018, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: Associação Brasileiro de Recursos Hídricos, 2018.

NYS, E.; ENGLE, N. L.; QUINTANA, C. M. Marco e poder de mobilização. In: DE NYS, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. (orgs.). **Secas no Brasil: Política e gestão proativas**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE; Banco Mundial, 2016. cap. 3, p. 52-60.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Agenda 2030**. PNUD, 2021. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/>. Acesso em: 20 set. 2021.

PONTES FILHO, J. D.; PORTELA, M. M.; STUDART, T. M. C.; SOUZA FILHO, F. A. A Continuous drought probability monitoring system, CDPMS, based on copulas. **Water**, v. 11, n. 9, p. 1925, 2019. DOI 10.3390/w11091925

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. Estrutura do projeto de pesquisa. In: PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013, cap. 4, p. 119-141.

RUFINO, I.; MULLIGAN, K.; BARBATO, L.; SESHADRI, S. US Drought Risk Map: A cumulative Ap-proach from 2000 to 2012. *In: ESRI Map Book volume 29*. California: ESRI, 2014, p. 98–99.

S2iD - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. **Séries Históricas**. S2iD, 2021. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>. Acesso em: 23 abr. 2020.

SÁNCHEZ, L. H. Impactos cumulativos. *In: SÁNCHEZ, L. H. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. cap. 11, p. 275-296.

SHUKLA, S., WOOD. A W. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. **Geophysical Research Letters**, v. 35, n. 2, 2008. DOI 10.1029/2007GL032487

SILVA, A. C. S.; GALVÃO, C. O.; SILVA, G. N. S. Droughts and governance impacts on water scarcity: An analysis in the Brazilian semi-arid. **IAHS-AISH Proceedings and Reports**, v. 369, p. 129–134, 2015. DOI 10.5194/piahs-369-129-2015

SILVA, N. M.; ANDRADE, A. J. P.; SOUZA, C. R. O sertanejo e as experiências de inverno no Seridó Potiguar. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 27, p. 87–107, 2013. DOI 10.5380/dma.v27i0.29829

SILVA, P. H. P.; RIBEIRO, M. M. R.; MIRANDA, L. I. B. Uso de cadeia causal na análise institucional da gestão de recursos hídricos em reservatório no semiárido da Paraíba. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 637–646, 2017. DOI 10.1590/S1413-41522017149982

SILVA, V. R.; PEREIRA, M. C. B. Das colonialidades à emergência de um novo paradigma no Semiárido brasileiro desde as racionalidades camponesas: um caminhar para além do desenvolvimento? **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, p. 358-380, 2020. DOI 10.5380/dma.v55i0.73408

SOUZA FILHO, F. A.; FORMIGA-JOHNSON, R. M.; STUDART, T. M. C.; ABICALIL, M. T. From drought to water security: Brazilian experiences and challenges. *In: World Water Council (ed.). Global Water Security: Water Resources Development and Management*. Singapore: Springer, 2018, p. 233–265.

SOUZA FILHO, F. A.; OLIVEIRA, P. P. F. O.; ABICALIL, M. T.; BRAGA, C. F. C.; SILVA, S. M. O.; AQUINO, S. H. S.; CAMELO CID, D. A.; ARAÚJO JR.; L. M.; BRAGA, A. C. F. M. Planos de Preparação para a Seca: ferramentas e estudos de caso. *In: DE NYS, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. (orgs.). Secas no Brasil: Política e gestão proativas*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE; Banco Mundial, 2016. cap. 12 p. 217-262.

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Resolução nº 107/2017**, de 27 de julho de 2017. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência. Brasília: DOU de 13/9/2017.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do Semiárido**, 2020. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 26 jun. 2019.

SUN, Z.; ZHENG, Y.; LI, X.; TIAN, Y.; HAN, F.; ZHONG, Y.; LIU, J.; ZHENG, C. The Nexus of Water, Ecosystems and Agriculture in Endorheic River Basins: A System Analysis Based on Integrated Ecohydrological Modeling. **Water Resources Research**, v. 54, n. 10, p. 7534–7556, 2018. DOI 10.1029/2018WR023364

SVOBODA, M.; LECOMTE, D.; HAYES, M.; HEIM, R.; GLEASON, K.; ANGEL, J.; RIPPEY, B.; TINKER, R.; PALECKI, M.; STOOKSBURY, D.; MISKUS, D.; STEPHENS, S. The drought monitor. **Bulletin of the American Meteorological Society**, n. 83, v. 8, p. 1181–1190, 2002. DOI 10.1175/1520-0477-83.8.1181

TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M. S. P.; BARBOSA, A. A.; RODRIGUEZ, D. A.; SANTANA, M. O.; SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 197–206, 2018. DOI 10.1016/j.jag.2018.06.012

TORRES, R. S.; OLIVEIRA, H. R. S. Trabalhando a história e a literatura : a seca de 1915 na escrita de Rachel de Queiroz O Quinze. **Revista Colineares**, v. 3, n. 2, p. 23-37, 2016.

VICENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. **Journal of Climate**, v. 23, n. 7, p. 1696–1718, 2010. DOI 10.1175/2009JCLI2909.1

WILHITE, D. A. A Methodology for Drought Preparedness. **Natural Hazards**, v. 13, n. 3, p. 229–252, 1996.

WILHITE, D. A. Breaking the Hydro-Illogical Cycle : Changing the Paradigm for Drought Management. **Earth Magazine**, v. 57, n. 7, p. 71–72, 2012.

WILHITE, D. A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. *In*: WILHITE, D. A. (ed). **Drought: A Global Assessment**, 2000, p. 3–18.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, p. 111–120, 1985.

WILHITE, D. A.; HAYES, M. J.; KNUTSON, C.; SMITH, K. H. Planning for Drought: Moving from Crisis to Risk Management. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 36, n. 4, p. 697-710, 2000. DOI 10.1111/j.1752-1688.2000.tb04299.x

WILHITE, D. A.; HAYES, M. J.; KNUTSON, C.; SMITH, K. H. The Basics of Drought Planning: A 10-Step Process. **National Drought Mitigation Center**, 2005.

WILHITE, D. A.; SIVAKUMAR, M. V. K.; PULWARTY, R. Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 4–13, 2014.

WMO GWP - World Meteorological Organization and Global Water Partnership. **Handbook of Drought Indicators and Indices**. In: SVOBODA, M.; FUCHS, V. A. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva: World Meteorological Organization and Global Water Partnership, 2016, 52 p.

ZERI, M.; ALVALÁ, R. C. S.; CARNEIRO, R.; CUNHA-ZERI, G.; COSTA, J. M.; SPATAFORA, L. R.; URBANO, D.; VALL-LLOSSERA, M.; MARENGO, J. Tools for communicating agricultural drought over the Brazilian Semiarid using the soil moisture index. **Water**, v. 10, n. 10, p. 1421, 2018. DOI 10.3390/w10101421