



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIELA DE AZEVEDO REIS

**ANÁLISE ESPACIAL DA VULNERABILIDADE À SECA UTILIZANDO
METODOLOGIA iSECA: CASO DE ESTUDO EM SÃO PAULO E CEARÁ**

FORTALEZA
2018

GABRIELA DE AZEVEDO REIS

ANÁLISE ESPACIAL DA VULNERABILIDADE À SECA UTILIZANDO
METODOLOGIA iSECA: CASO DE ESTUDO EM SÃO PAULO E CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho.

Coorientador: Prof. Donald Robert Nelson, PhD.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R31a Reis, Gabriela de Azevedo.
 Análise espacial da vulnerabilidade à seca utilizando metodologia iSECA : Caso de estudo em São Paulo e Ceará / Gabriela de Azevedo Reis. – 2018.
 119 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2018.
 Orientação: Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho.
 Coorientação: Prof. Dr. Donald Robert Nelson.
1. Vulnerabilidade. 2. Seca. 3. São Paulo. 4. Ceará. I. Título.

CDD 627

GABRIELA DE AZEVEDO REIS

ANÁLISE ESPACIAL DA VULNERABILIDADE À SECA UTILIZANDO
METODOLOGIA iSECA: CASO DE ESTUDO EM SÃO PAULO E CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 19 / 02 / 2018 .

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Donald Robert Nelson, PhD. (Coorientador)
University of Georgia (UGA)

Profa. Dra. Ticiane Marinho Carvalho Studart
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Rosa Maria Formiga-Johnsson
Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Assis pelos dois anos de ensinamento e aprendizado.

À FUNCEME, pela oportunidade de trabalho e aprendizado ao longo do ano, que com certeza acresceu o desenvolvimento desse estudo.

Ao Prof. Don, pelas ajudas, ainda que à distância, e contribuições com a interdisciplinaridade desse trabalho.

Às professoras Ticiane e Rosa pela disponibilidade e comprometimento para participar da banca.

Ao grupo GRC, pelo apoio diário e disposição para ajudar, e especialmente ao Renan, pelos melhores scripts.

À família, por todo o suporte.

RESUMO

A incerteza no poder de oferta da água devido às mudanças na natureza e às lacunas nas observações incita a necessidade por maior eficiência no gerenciamento dos recursos hídricos. A análise da vulnerabilidade de um sistema hídrico é um passo essencial na elaboração de estratégias no âmbito da gestão das secas e da segurança hídrica. O presente estudo desenvolveu a metodologia iSECA para analisar a vulnerabilidade à seca em diferentes escalas. A vulnerabilidade foi quantificada através da junção de indicadores representativos da sensibilidade e da exposição, em comparação com a influência da capacidade adaptativa, e foi qualificada por meio de cinco diferentes classificações, evitando viés metodológico. Foi desenvolvida uma análise da percepção dos impactos da seca por meio da elaboração e aplicação de questionário entre membros do poder público, setor usuário e da sociedade civil, participantes da gestão dos recursos. A metodologia foi aplicada aos estados de São Paulo e Ceará, em escala de bacia/região hidrográfica e municipal. O método se mostrou eficiente mesmo aplicado em duas regiões com dinâmicas climáticas e socioeconômicas distintas, sendo assegurada a aplicação do método em outras áreas de estudo desde que haja informação o suficiente para alimentar os indicadores que constituem os índices elaborados neste estudo.

Palavras-chave: Vulnerabilidade. Seca. São Paulo. Ceará.

ABSTRACT

The uncertainty in the capacity of water supply due to changes in nature and gaps in observations leads to the need for greater efficiency within the water resources management. An examination of the vulnerability of a water system is an essential step in the development of a strategy in the scope of management of drought and water safety. The present study develops the iSECA methodology to analyze the vulnerability to drought in different scales. Vulnerability is quantified through the combination of indicators representing sensitivity and exposure, compared to the influence of adaptive capacity. It is also qualified through five different classification methods, avoiding methodological bias. An analysis of the perception of drought impacts is carried out through the elaboration and application of a questionnaire among members of the public sector, User and civil society, which are members participants in the water resource management. The method is applied to the states of São Paulo and Ceará, in basin scale / hydrographic and municipal region. The method is efficient even being applied in two regions with different climatic and socioeconomic dynamics. It is ensured an application of the method in other areas of study, once there is enough information to feed the indicators that constitute the indexes elaborated in the study.

Keywords: Vulnerability. Drought. São Paulo. Ceará.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidro-ilógico.	22
Figura 2 - Diagrama para vulnerabilidade à seca	28
Figura 3 - Infraestrutura Hídrica no Ceará	31
Figura 4 - MDT do estado do Ceará.	32
Figura 5 - Índice de Gini para o Brasil, Nordeste e Ceará.....	36
Figura 6 - Regiões hidrográficas do estado do Ceará.	39
Figura 7 - Balanço hídrico no Ceará por bacia hidrográfica.	41
Figura 8 - Crescimento da população do estado de São Paulo.	42
Figura 9 - Classificação climática de Köppen para São Paulo	42
Figura 10 - UGHRI de São Paulo.	44
Figura 11 - Balanço Hídrico em São Paulo	45
Figura 12 - Diagrama representativo do processo de quantificação da vulnerabilidade.	48
Figura 13 - Passo a passo da quantificação e qualificação da sensibilidade e exposição.....	49
Figura 14 - Diagrama do cálculo da Capacidade Adaptativa.	60
Figura 15 - Índice de Sensibilidade para São Paulo.	65
Figura 16 - Valores dos indicadores da sensibilidade para São Paulo.	66
Figura 17 - Índice de Exposição para São Paulo.	67
Figura 18 - Índice de Sensibilidade para o Ceará.	68
Figura 19 - Valores dos indicadores da sensibilidade para o Ceará.....	69
Figura 20 - Índice de Exposição para o Ceará.	70
Figura 21 - Índices de Vulnerabilidade para São Paulo.....	71
Figura 22 - Índices de Vulnerabilidade para o Ceará.	72
Figura 23 - Distribuição da Sensibilidade por UGHRI em São Paulo.	74
Figura 24 - Distribuição da Exposição por UGHRI em São Paulo.	75
Figura 25 - Distribuição da vulnerabilidade (índices) por UGHRI em São Paulo.	76
Figura 26 - Distribuição da vulnerabilidade (notas) por UGHRI em São Paulo.	77
Figura 27 - Distribuição da Sensibilidade por bacia no Ceará.	79
Figura 28 - Distribuição da Exposição pro bacia no Ceará.	80
Figura 29 - Distribuição da Vulnerabilidade (índices) por bacia no Ceará.	81
Figura 30 - Distribuição da Vulnerabilidade (notas) por bacia no Ceará.	82
Figura 31 - Distribuição da Sensibilidade por município no Ceará.	84
Figura 32 - Distribuição da Exposição por município no Ceará.	85
Figura 33 - Distribuição da Capacidade Adaptativa por município no Ceará.	87
Figura 34 - Distribuição da Vulnerabilidade (índices) por município no Ceará.	88
Figura 35 - Situação municipal do abastecimento de água no Ceará.	89
Figura 36 - Distribuição da Vulnerabilidade (notas) por município no Ceará.	90
Figura 37 - Regiões geográficas das UGHRI - São Paulo.....	91
Figura 38 - Avaliação da percepção à seca por setor analisado.	93
Figura 39 - Comparativo do impacto percebido e da vulnerabilidade à seca.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características hídricas por bacia hidrográfica do Ceará.	40
Tabela 2 - Aquisição e caracterização dos dados e informações obtidas.....	46
Tabela 3 - Classificação do SPI-12.....	52
Tabela 4 - Classificação de acordo com o Método das Probabilidades.....	55
Tabela 5 - Atribuição das notas por classificação.....	57
Tabela 6 - Indicadores utilizados no Índice de Bacia de Adaptabilidade	59
Tabela 7 - Índices resultantes para São Paulo.....	63
Tabela 8 - Índices resultantes para o Ceará.	64
Tabela 9 - Qualificação da vulnerabilidade à seca em São Paulo.	73
Tabela 10 - Quantidade de UGRHI em cada classificação para cada índice.....	73
Tabela 11 - Número de bacias em cada classificação para cada índice.....	77
Tabela 12 - Qualificação da vulnerabilidade à seca no Ceará.	78
Tabela 13 - Número de municípios nas diferentes classes para cada índice no Ceará.	83
Tabela 14 - Divisão das regiões geográficas na análise de percepção da seca.	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Evolução do conceito de vulnerabilidade.....	25
Quadro 2 - Estado da Arte em vulnerabilidade às mudanças climáticas.	29
Quadro 3 – Qualificação do processo de vulnerabilidade por município no Ceará.	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CRH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDEA-SP	Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPVS	Índice Paulista de Vulnerabilidade Social
MCDM	Multi-criteria decision making
MDT	Modelo Digital de Terreno
PIB	Produto Interno Bruto
PERH-SP	Plano Estadual de Recursos Hídricos – São Paulo
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
RMSP	Região Metropolitana de São paulo
RRV	<i>Reliability, Resilience, and Vulnerability</i>
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SEDAE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SINGREH	Sistema Nacional de Recursos Hídricos
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SPI	<i>Standardized Precipitation Index</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UGRHI	Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UTM	Sistema Universal Transversal de Mercator
ZCIT	Zona de convergência intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização do Problema	14
1.2	Justificativa	16
1.3	Objetivo	16
1.4	Estrutura do documento	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Gestão dos recursos hídricos.....	18
2.1.1	<i>Tomada de decisão e análise multicritério</i>	<i>20</i>
2.1.2	<i>Gestão do risco de secas.....</i>	<i>21</i>
2.2	Vulnerabilidade.....	24
2.2.1	<i>Evolução conceitual.....</i>	<i>24</i>
2.2.2	<i>Vulnerabilidade à seca.....</i>	<i>27</i>
2.3	Geoprocessamento e os Sistemas de Informações Geográficas	30
3	ÁREAS DE ESTUDO.....	34
3.1	Ceará.....	34
3.1.1	<i>Aspectos gerais.....</i>	<i>34</i>
3.1.2	<i>Os recursos hídricos no Ceará</i>	<i>37</i>
3.2	São Paulo	41
3.2.1	<i>Aspectos gerais.....</i>	<i>41</i>
3.2.2	<i>Os recursos hídricos em São Paulo.....</i>	<i>43</i>
4	METODOLOGIA.....	46
4.1	Materiais.....	46
4.1.1	<i>Obtenção de dados</i>	<i>46</i>
4.1.2	<i>Softwares</i>	<i>46</i>
4.2	Método	47
4.2.1	<i>Análise 1: Vulnerabilidade em escala de bacias/regiões hidrográficas.....</i>	<i>47</i>
4.2.1.1	<i>Processamento dos dados</i>	<i>49</i>
4.2.1.1.1	<i>Sensibilidade.....</i>	<i>49</i>
4.2.1.1.2	<i>Exposição.....</i>	<i>51</i>
4.2.1.2	<i>Elaboração dos índices.....</i>	<i>52</i>
4.2.1.2.1	<i>Sensibilidade e exposição</i>	<i>53</i>
4.2.1.2.2	<i>Vulnerabilidade.....</i>	<i>54</i>
4.2.1.3	<i>Teste de aderência</i>	<i>54</i>
4.2.1.4	<i>Qualificação dos índices.....</i>	<i>54</i>
4.2.1.4.1	<i>Probabilidades e Intervalos geométricos</i>	<i>55</i>
4.2.1.4.2	<i>Ad hoc.....</i>	<i>55</i>
4.2.1.4.3	<i>Intervalos iguais.....</i>	<i>56</i>
4.2.1.4.4	<i>Quantil</i>	<i>56</i>
4.2.1.4.5	<i>Otimização de Jenks</i>	<i>56</i>
4.2.1.4.6	<i>Classificação final.....</i>	<i>57</i>
4.2.1.5	<i>Georreferenciamento e espacialização dos resultados.....</i>	<i>57</i>
4.2.2	<i>Análise 2: Influência da capacidade adaptativa em escala municipal.....</i>	<i>58</i>
4.2.2.1	<i>Desenvolvimento da análise</i>	<i>58</i>
4.2.2.1.1	<i>Capacidade adaptativa</i>	<i>58</i>
4.2.2.1.2	<i>Vulnerabilidade.....</i>	<i>60</i>
4.2.3	<i>Avaliação da percepção dos impactos da seca</i>	<i>60</i>
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	62

5.1	Método 1: Análise da vulnerabilidade em escala de bacia/região	
	hidrográfica	62
5.1.1	<i>Análise do processo de quantificação</i>	<i>62</i>
5.1.2	<i>Análise do processo de qualificação</i>	<i>72</i>
5.2	Método 2: Influência da capacidade adaptativa em escala municipal.....	83
5.3	Análise da percepção dos impactos da seca.....	91
6	CONCLUSÕES.....	96
	REFERÊNCIAS.....	98
	ANEXO A – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO	
	DA SECA	107
	ANEXO B – RESULTADOS DA QUALIFICAÇÃO UTILIZANDO A	
	ANÁLISE 2	113

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização do Problema

Sistemas hidrológicos estão sofrendo cada vez mais com os impactos causados pelas ações humanas. Países menos favorecidos enfrentam escassez hídrica devido ao clima e à falta de infraestrutura, e países industrializados lidam diariamente com conflitos relacionados à alocação da água, degradação de mananciais e eventos como as secas (PRYSHLAK et al., 2014). Durante as últimas décadas, o aumento no consumo de água foi duas vezes maior que o aumento da população (COSGROVE; LOUCKS, 2015). Como consequência, um maior número da população entra em situação de estresse hídrico.

A Terra, atualmente, caminha para o próximo período glacial. Entretanto, a temperatura média tem aumentado durante as últimas décadas. As mudanças climáticas estão inseridas nesse processo que tem sido alterado por intervenções humanas no ambiente. O acréscimo no nível de lançamento de efluentes, reduzindo a disponibilidade hídrica, principalmente em períodos de escassez hídricas, que se tornam cada vez mais frequentes diante das adversidades climáticas. Devido a essas mudanças, há uma elevada probabilidade de que regiões semiáridas deverão sofrer ainda mais com a diminuição do estoque de água (VARGAS-AMELIN; PINDADO, 2014). Durante os próximos anos, é esperado que o aumento na demanda combinado com a escassez hídrica contribua com a ampliação do quadro de estresse hídrico em diversas regiões do planeta (SUÁREZ-ALMIÑANA et al., 2017).

O impacto nos sistemas hidrológicos causado por ações antrópicas gera cada vez mais dificuldades no que tange o gerenciamento do recurso água (MONTANARI et al., 2013). A incerteza na capacidade de oferta da água devido às mudanças na natureza e às lacunas nas observações requer a necessidade por maior eficiência no gerenciamento e uso mais equitativo dos recursos hídricos (PIENAAR; HUGHES, 2017).

De modo a assistir a população atingida pelas secas, cabe aos gestores de recursos hídricos desenvolver estratégias que visem minimizar os impactos causados por tais eventos, a partir de diretrizes fornecidas por planos de gestão de secas, que devem tomar como base constatações técnicas e científicas. A avaliação da vulnerabilidade de um sistema é um passo essencial na elaboração de estratégias no âmbito da gestão das secas.

A vulnerabilidade depende de fatores externos (biofísicos) e internos (socioeconômicos). Grupos distintos em uma mesma sociedade se encontram em diferentes níveis de risco por apresentarem diferentes capacidades de absorção dos impactos e recuperação

(BOGARD, 1988; DOW, 1992; HEWITT, 1983). A vulnerabilidade se apresenta como uma medida agregada de bem-estar humano, que integra a sensibilidade ambiental, social e econômica à exposição a perturbações de potencial danoso e varia, dinamicamente, no espaço e no tempo, de acordo com medidas de cunho político e de justiça social (BOHLE et al., 1994; HEWITT, 2013; THOMAS et al., 2016). Diversos projetos identificam a necessidade de um método robusto de análise de vulnerabilidade e, também, de uma maior conexão entre estudos acadêmicos e as demandas da tomada de decisão (TURNER et al., 2003).

As secas são classificadas como desastre natural do tipo hidrológico (MARCELINO, 2008) e representam o tipo de desastre que mais afeta a população por serem mais recorrentes (UFSC, 2012). Ainda que não seja possível evitar a ocorrência de desastres naturais, como a seca, é possível minimizar seus impactos. Um dos métodos de prevenção de desastres é o zoneamento, caracterizado pelo mapeamento das áreas de risco a partir de variáveis biofísicas, sociais e econômicas (KOBAYAMA et al., 2006).

Diante do contexto apresentado, o estudo desenvolvido neste trabalho propõe a criação de um método inovador capaz de quantificar e qualificar o nível de vulnerabilidade à seca, em escala de bacia e/ou região hidrográfica e municipal. A metodologia foi batizada de iSECA e consiste na elaboração de índices de Sensibilidade, Exposição e Capacidade Adaptativa para poder calcular o índice de Vulnerabilidade, utilizando-se de indicadores dos aspectos socioeconômicos, ambientais, hídricos, físico-climáticos e de infraestrutura física e gestora dos recursos hídricos, identificando espacialmente as áreas mais críticas em períodos de estiagem. O estudo apresenta, também, uma avaliação da percepção dos impactos da seca para que se possa comparar os resultados obtidos a partir do iSECA com a realidade relatada por profissionais que lidam com o gerenciamento dos recursos hídricos na área aplicada.

As metodologias desenvolvidas foram aplicadas nos estados de São Paulo e Ceará. As áreas foram escolhidas com o objetivo de comprovar o poder de aplicabilidade do método iSECA. Os dois estados, ainda que situados no mesmo país, apresentam dinâmicas divergentes que garantem a funcionalidade do método para diferentes contextos. São Paulo é o estado mais populoso do Brasil e apresenta intensa produção de riqueza, representando, sozinho, 32% do PIB nacional. O estado está geograficamente localizado entre 20° e 25° de latitude no hemisfério sul e apresenta, majoritariamente, clima subtropical úmido. Já o estado do Ceará, situado entre 3° e 7° de latitude sul, tem o semiárido como classe climática predominante em seu território e apresenta, em sua série histórica, eventos marcantes de secas severas e prolongadas.

1.2. Justificativa

O gerenciamento de secas toma como base diretrizes e estratégias apresentadas em planos, como plano de secas ou plano de segurança hídrica. A eficácia desse processo depende, dentre outros valores, da vulnerabilidade do conjunto sócio-natural estudado, visando sempre a minimização dos potenciais impactos das secas. A identificação da população e das regiões em situação crítica é uma tarefa essencial no planejamento de estratégias de gestão de secas.

É necessário, portanto, criar uma conexão entre o conhecimento técnico e científico e os tomadores de decisão no âmbito dos recursos hídricos, provendo subsídios teórico para o gerenciamento eficiente do uso do recurso água.

O presente estudo justifica-se, portanto, ao fornecer base teórica e técnica para identificação de regiões e da população com maior vulnerabilidade à seca, alimentando um sistema de tomada de decisão que tem o potencial de auxiliar a elaboração de estratégias na gestão das secas.

1.3. Objetivo

O objetivo geral deste estudo é elaborar uma metodologia para quantificação, qualificação e identificação espacial da vulnerabilidade à seca em escala de bacia hidrográfica e escala municipal, visando a auxiliar processos adaptativos, minimizando riscos e mitigando impactos das secas.

Como objetivos específicos, espera-se:

- i. Elaborar método para quantificar e qualificar a vulnerabilidade à seca em escala de bacia hidrográfica;
- ii. Elaborar método para quantificar e qualificar a vulnerabilidade à seca em escala municipal, considerando a influência da capacidade adaptativa;
- iii. Espacializar os resultados obtidos, visando auxiliar a identificação espacial da vulnerabilidade;
- iv. Analisar a percepção dos impactos causados pela seca.

1.4. Estrutura do documento

Esse documento é constituído de seis capítulos, onde no primeiro capítulo é feito uma contextualização do estudo apresentando, justificando sua elaboração e definindo os

objetivos esperados. O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o processo de tomada de decisão, a elaboração de índices e o estudo de vulnerabilidades. Os objetos de estudo são apresentados no capítulo três, e o procedimento realizado no estudo está detalhado no quarto capítulo. O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos, além de discussões sobre os produtos da pesquisa, e, por fim, o sexto capítulo conta com as conclusões e recomendações da pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Gestão dos recursos hídricos

O gerenciamento do recurso água lida com diversos fatores incertos, como as mudanças no ritmo do desenvolvimento econômico, nos processos de urbanização, na estruturação industrial regional, além das variações e aleatoriedade no processo de afluxo hídrico nos sistemas ambientais. Os benefícios de um gerenciamento hídrico eficiente refletem nas camadas sociais, econômicas e ambientais da população atingida (LIANQING *et al.*, 2012). Os sistemas de gestão dos recursos hídricos apresentam como um dos objetivos ordenar as demandas hídricas provenientes dos múltiplos usos da água, minimizando os conflitos e as externalidades geradas (SANTOS, 2002).

Durante a década de 1930, o Código das Águas, Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, foi pioneiro no modelo de gestão de recursos hídricos no Brasil. Apresentava fragmentação do gerenciamento, centralização do poder decisório, unificação no modelo de atendimento de demandas e priorização do setor elétrico e industrial (CHODI; SARCINELLE; UEZU, 2013). O poder estatal central era responsável pela decisão dos objetivos e alocação de recursos. Não era concedida voz à sociedade civil e ao setor usuário no processo de gerenciamento dos recursos hídricos. O processo era majoritariamente político quando deveria se basear em conhecimento teórico e técnico.

No início da década de 1980, a gestão dos recursos hídricos era concentrada no setor operacional, onde o governo se portava como planejador/investidor. Em cenários de escassez hídrica, a solução prevista era ampliação da oferta e/ou aprimorar o sistema de operação, caracterizando um planejamento racional. A partir de meados dos anos 1980, surge uma visão diferenciada do planejamento dos recursos hídricos, motivada pelos conflitos gerados pelo recurso água (SOUZA FILHO, 2005).

De acordo com o Art. 225 da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 2012, p. 59)

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

A compreensão do artigo inclui a população como detentora do poder de usufruir, defender e preservar os corpos de água, inseridos no conceito do meio ambiente ecologicamente equilibrado. O cumprimento desse poder abrange a ideia do gerenciamento do uso da água.

O Art. 21, inciso XIX, da Constituição Federal, define a instituição de sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definição de critérios de outorga de direitos de seu uso como competência da União (BRASIL, 2012).

Adicionalmente, a Constituição define os limites de esfera de domínio das águas, onde rios com nascente e foz em um mesmo Estado, além das águas subterrâneas, são de domínio estadual, e águas fronteiriças e transfronteiriças, de domínio federal.

A partir da década de 1990, é observada uma reforma no cenário do gerenciamento das águas, fortalecendo a descentralização ao transferir o poder decisório da União para os Estados e, destes, para as localidades (SOUZA FILHO, 2005).

Os estados de São Paulo e do Ceará foram pioneiros na mudança do paradigma da gestão dos recursos hídricos ao publicarem seu plano estadual de recursos hídricos em 1991 (Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991) e 1992 (Lei Estadual nº 11.996, de 24 de julho de 1992), respectivamente, precedendo a publicação da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que apresentou a gestão integrada, participativa e descentralizada dos recursos hídricos, sendo um marco da mudança no gerenciamento de recursos hídricos em escala nacional. A água passa a ser compreendida como um recurso natural e limitado, dotado de valor econômico (BRASIL, 1997).

As bacias hidrográficas passam a ser a unidade territorial de planejamento dos recursos hídricos, onde deve ser aplicada a Política nacional de Recursos Hídricos, atuando o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. A PNRH proveu responsabilidades e poder de decisão aos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH), que reúne o poder público, setor usuário e sociedade civil a fim de agregar visões e interesses distintos, estabelecer prioridades e tomar decisões, compondo um sistema de gestão integrada dos recursos hídricos (CHODI; SARCINELLE; UEZU, 2013; PEREIRA; MEDEIROS, 2009; BRASIL, 1997).

O Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SINGREH) foi criado pela Lei nº 9.433 após delegação à União da sua instituição na Constituição Federal de 1988, Art. 21 (BRASIL, 2012; BRASIL, 1997). O SINGERH é incumbido de coordenar a gestão integrada das águas, da cobrança pelo uso da água, de administrar conflitos, planejar e regular o uso, preservação e recuperação dos recursos hídricos e implantar a PNRH, e é composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), pela Agência Nacional das Águas (ANA), os Conselhos Estaduais e do Distrito Federal de Recursos Hídricos, os Comitês de Bacias Hidrográficas, os órgãos de poder público cujas competência se relacionem à gestão dos recursos hídricos e pelas Agências de Água (BRASIL, 2000).

A gestão de recursos hídricos é executada por intermédio dos instrumentos

definidos pela PNRH. São eles:

- i. os Planos de Recursos Hídricos;
- ii. o enquadramento dos corpos de água;
- iii. a outorga do direito de uso;
- iv. a cobrança pelo uso da água;
- v. o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os planos de recursos hídricos, elaborados em diversas escalas de gestão (bacia hidrográfica, estadual, nacional), são compostos de diretrizes formuladas a fim de embasar e orientar o gerenciamento dos recursos hídricos, a partir da PNRH. São responsáveis por desenvolver metas e estratégias com soluções de curto, médio e longo prazo. Devem, ainda, apresentar caráter dinâmico, estando em contínua atualização de maneira integrada aos planejamentos regionais (RAMOS, 2007).

O modelo nacional atual de gestão integrada de bacias considera fortemente a necessidade de compatibilizar oferta e demanda hídrica, mas diminui a influência causada por diferenças sociais e espaciais na constituição da demanda e na formação da oferta. Existe, portanto, a necessidade de se desenvolver uma avaliação que considere e interprete os cenários de desigualdades sociais e econômicas dentro do âmbito da gestão dos recursos hídricos (IORIS, 2009).

2.1.1. Tomada de decisão e análise multicritério

Planos são elaborados de modo a fornecerem diretrizes com base técnica e teórica para auxiliar no processo de tomada de decisão. Em um plano de segurança hídrica, por exemplo, identificar as áreas e/ou a população em situação com maior vulnerabilidade é um passo fundamental e que deve ter grande importância durante o processo decisório no âmbito da gestão dos recursos hídricos.

Decisão é usualmente definida como um sinônimo de escolha, quer seja escolhas sobre a vida ou teorias acadêmicas. As pessoas estão frequentemente envolvidas no processo denominado “tomada de decisão” e precisam considerar diversos aspectos: o que é desejável, quais as possíveis ações e consequências, e fazer a escolha. Os objetivos almejados no futuro devem guiar as decisões e espera-se, cada vez mais, que esses processos resultem em decisões com maior eficiência e racionalidade. De acordo com a regra da racionalidade, tende-se a tomar decisões mediante análise de diversos fatores influentes e quais as possíveis consequências.

Diversas decisões, após concluídas, recebem críticas por terem sido tomadas com pouca racionalidade (BRUNSSON, 2007). O uso da razão é ferramenta fundamental para o processo de tomada de decisão.

A tomada de decisão está atrelada, também, ao aspecto comportamental dos atores diante das dificuldades externas, uma vez que os indivíduos não portam de informações completas, considerando apenas parcialmente as possíveis alternativas durante o processo de decisão. Diante disso, conclui-se que a racionalidade é limitada pela falta de conhecimento (SOUZA FILHO, 2005).

Durante a avaliação de alternativas no processo de tomada de decisão, os agentes tendem a confiar em suas próprias percepções de riscos e benefícios e não necessariamente nos riscos e benefícios reais relacionados aos processos. Adicionalmente, os riscos muitas vezes são influenciados pelo estado emocional. A incerteza também pode ser capaz de alterar a percepção do agente sobre os riscos envolvidos com cada alternativa potencial, aumentando ou diminuindo a percepção da situação de risco (GUTNIK *et al.*, 2006).

A tomada de decisão por análise multicritério (*Multi-criteria decision making* – MCDM) é o campo de avaliação onde as alternativas de escolha são analisadas levando em consideração um conjunto de múltiplos (e, muitas vezes, conflitantes) critérios (ISHIZAKA; SIRAJ, 2017). Os métodos de MCDM são adaptáveis aos mais variados contextos, sendo aplicados em diversos trabalhos (MELA; TIAINEN; HEINISUO, 2012; HÜLLE; KASPAR; MÖLLER, 2011; TRIANTAPHYLLOU, 2000; OZERNOY, 1987), onde é seguro concluir que diferentes métodos de MCDM fornecem diferentes soluções e que não é possível afirmar que existe um único método “mais adequado” para qualquer cenário (ISHIZAKA; SIRAJ, 2017).

A ponderação de fatores ocupa um importante papel no processo de tomada de decisão por representar parâmetros de medição de importância e influência em uma análise com diversas variáveis e critérios (LIANQING *et al.*, 2012).

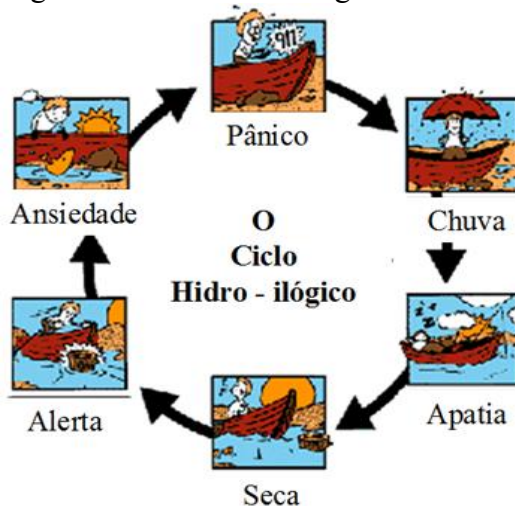
2.1.2. Gestão do risco de secas

A gestão dos recursos hídricos brasileira, que segue o modelo integrado de bacias hidrográficas como unidade de planejamento, baseia-se na capacidade do o poder público, do setor privado (usuário) e da sociedade civil de tomarem decisões e desenharem estratégias para que se atinja o objetivo almejado para servir um conjunto de atores que dividem o recurso água dentro de um mesmo território. Essas decisões e estratégias alimentam os planos de gestão de recursos hídricos (CORREIO; BARP, 2014).

Culturalmente, a memória da população diante da percepção da seca é curta. O tratamento dos impactos da seca só é considerado quando há um período de estiagem flagelando a população, havendo a necessidade do desenvolvimento de estratégias de prevenção.

De acordo com Wilhite (2005), esse conceito é denominado Ciclo Hidro-ilógico e está ilustrado na Figura 1. O primeiro estágio do ciclo é a Apatia, onde a população conta com abastecimento satisfatório e os planejadores e operadores não se preocupam com a possibilidade de escassez uma vez que há água o suficiente. Em seguida, a Seca caracteriza o início do período de estiagem, com redução da precipitação. Na fase seguinte, a população e os tomadores de decisão entram em estado de Alerta e se iniciam as ações mitigadoras, deixando todos(as) em um cenário de Ansiedade e, ao se agravar a situação, Pânico. Porém, ao fim do período de estiagem, marcado pela ocorrência das chuvas e disponibilidade hídrica, a população e os tomadores de decisão voltam ao primeiro estágio do Ciclo, a Apatia.

Figura 1 - Ciclo Hidro-ilógico.



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

Segundo Silva (2015), o cenário de seca só é considerado nas decisões durante sua ocorrência. Uma vez finalizada, a seca sai da agenda dos tomadores de decisão. Essa atitude amplia a ineficiência ao lidar com situações de seca.

O planejamento é uma ferramenta fundamental e decisória para que se faça o rompimento do Ciclo Hidro-ilógico pois é a etapa onde se refletem e se elaboram estratégias antecipadas no âmbito do gerenciamento de risco.

A palavra “risco” pode ser interpretada tanto como um perigo em potencial quanto como a percepção de uma situação perigosa, onde o indivíduo está situado ou simplesmente

pode sentir os efeitos. Para que possa ser levado em consideração em um plano de gestão de políticas públicas, o risco deve ser tal que seja possível calcular. Caso contrário, a noção de risco vira apenas incerteza. O risco equivale ao produto entre a probabilidade associada ao evento e os danos consequentes. Um evento de baixa probabilidade, mas com grandes danos apresenta um grande risco. A percepção e gestão do risco têm se aperfeiçoado, melhorando as políticas de prevenção, que contam com a cartografia como ferramenta fundamental. Os riscos são frequentemente assinalados em mapas, por meio de zoneamentos, que são essenciais tanto na tomada de decisão quanto na comunicação com a população, permitindo a objetivação do risco e tornando clara a sua designação como problema público (VEYRET, 2007).

Para a hidrologia, o risco é conceituado como a probabilidade de ocorrência de eventos, fatos ou resultados indesejáveis (VIEIRA, 2005). Já no âmbito do processo de decisão, o risco inclui a probabilidade de ocorrência e as consequências potenciais de tal evento, onde um acontecimento com pouca probabilidade de ocorrência pode ser caracterizado com um risco elevado pois as consequências desse evento podem ser catastróficas (DAMODARAN, 2009). O grau do risco está, ainda, diretamente atrelado ao processo de tomada de decisão realizado no presente, previamente à ocorrência do risco (SILVA, 2015; AREOSA, 2008).

Em uma estratégia de gerenciamento do risco, deve-se levar em conta quatro componentes (NIST, 2011):

- i. Estabelecer o cenário do risco, identificando ameaças, vulnerabilidades e consequências;
- ii. avaliar o risco dentro do cenário definido;
- iii. considerar a resposta das pessoas e instituições ao risco;
- iv. monitorar o risco ao longo do tempo.

A gestão do risco está intrínseca ao desenvolvimento de planos de preparação de seca que apresentem ações de curto e longo prazo, abordando tarefas como a avaliação de riscos e impactos e a elaboração de ações e/ou programas de preparação, mitigação e resposta à seca (SILVA, 2015). A gestão da seca integra o planejamento geral de sistemas hídricos às regras de operação e às estratégias de resolução de cenários para mitigar os impactos originados pela seca (GONZÁLEZ; MORCILLO, 2007).

O planejamento e preparo anteriores a períodos de seca, uma vez que corretamente desenvolvidos e implementados, podem prover uma melhor capacidade governamental para lidar antecipadamente, e com maior eficácia, com a escassez hídrica. O planejamento prévio pode, então, minimizar impactos físicos e emocionais na população (WILHITE, 1996).

2.2. Vulnerabilidade

A vulnerabilidade é um conceito chave no gerenciamento e no processo de tomada de decisão em qualquer setor que envolva a dinâmica entre a população e o uso do meio ambiente e seus recursos naturais. Nas cidades latino-americanas, a vulnerabilidade diante de ameaças externas aumenta devido a razões espaciais, sociais, históricas e institucionais. Classes de baixa renda aparecem ligadas ao subdesenvolvimento e à falta de infraestrutura urbana. Cidades com grande segregação de classe dispõem de fraco preparo para enfrentar crises e urgências (VEYRET, 2007). A vulnerabilidade pode ser analisada tanto como risco biofísico quanto como uma resposta social, ambos dentro de certo domínio espacial, onde se identifica a localização de pessoas e locais vulneráveis ao risco natural e também quais destas pessoas se enquadram no grupo social de maior vulnerabilidade, sendo possível a integração das duas análises (CUTTER, 1996).

De acordo com Birkmann (2006), a vulnerabilidade dispõe de estrutura interna, sendo as condições físicas, econômicas, sociais e ambientais em que um indivíduo ou uma comunidade estão inseridos, e de estrutura externa, sendo a exposição desse indivíduo ou comunidade aos impactos de fatores externos às suas condições de vida, como desastres naturais, expressando uma multidimensionalidade da vulnerabilidade.

2.2.1. *Evolução conceitual*

O conceito da vulnerabilidade era tratado no ramo das ciências sociais. A partir da década de 70, estudos envolvendo a dinâmica e resiliência de sistemas naturais e sociais passaram a absorver os conceitos de vulnerabilidade, assim como estudos no âmbito da percepção do risco de desastres naturais. A publicação de Holling (1973) marcou essa transição, considerando o conceito de resiliência e estabilidade de sistemas ecológicos. Logo mais, o conceito de vulnerabilidade passou a ser aplicado aos estudos envolvendo riscos de desastres naturais. Não foi estabelecido, ainda, um conceito específico que defina a vulnerabilidade.

O Quadro 1 apresenta uma breve evolução histórica dos conceitos de vulnerabilidade, aplicado no estudo de sistemas naturais e sociais e aos estudos de desastres naturais e mudanças climáticas, além de outras contribuições consideradas pertinentes à temática da vulnerabilidade.

Quadro 1 - Evolução do conceito de vulnerabilidade.

Autor(a) (Ano)	Conceitos e contribuições
Holling (1973)	O comportamento de sistemas ecológicos é definido pela sua resiliência, definida como a capacidade do sistema manter sua estrutura e função após perturbações, e sua estabilidade, que é a habilidade de um sistema de retornar a um equilíbrio após sofrer uma perturbação.
Timmerman (1981)	Vulnerabilidade é intensidade na qual um sistema responde adversamente à ocorrência de um evento danoso. A magnitude e a qualidade da reação estão condicionadas pela resiliência do sistema.
Hashimoto, Stedinger, e Loucks (1982)	Descreve a performance de um sistema hídrico em três pilares: a frequência com que o sistema falha (confiabilidade), a rapidez com que o sistema retorna a um estado satisfatório de operação após a falha (resiliência) e quão significante foram as consequências da falha (vulnerabilidade).
Hewitt (1983)	A intensidade na qual diferentes classes na sociedade estão em diferentes situações de risco.
Liverman (1986)	Considera vulnerabilidade como condição biofísica (onde é mais vulnerável) e política (quem nesse lugar é mais vulnerável)
Chambers (1989)	A exposição a perturbações e a dificuldade de lidar. Lado externo, no qual grupos e indivíduos estão sujeitos ao risco, e lado interno, representando a ausência de meios para suportar os impactos.
Dow (1992)	A capacidade diferenciada de grupos e indivíduos de lidar com eventos perigosos, baseada na sua situação física e social.
Blaikie <i>et al.</i> (1994)	Estar propenso ou susceptível a danos ou prejuízos.
Bohle <i>et al.</i> (1994)	Uma medida agregada de bem-estar humano que integra exposição ambiental, social, econômica e política a um intervalo de perturbações com potencial danoso. Ideia de multidimensionalidade.
Cutter (1996)	A probabilidade de que um indivíduo ou grupo será exposto e adversamente afetado por um desastre natural. É a interação do desastre em um local com o perfil social das comunidades.
McCarthy	A vulnerabilidade é o nível ao qual um sistema natural e/ou social está

<i>et al.</i> (2001)	capacitado ou não a aguentar danos provenientes das mudanças climáticas; é função da sensibilidade, exposição e capacidade adaptativa.
Folke <i>et al.</i> (2004)	Eventos externos afetam a vulnerabilidade do sistema; ações humanas podem catalisar a ocorrência de eventos extremos.
UN/ISDR (2004)	Conjunto de condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentem a suscetibilidade de uma comunidade de sofrer impactos consequentes de desastres
Adger (2006)	Relação da vulnerabilidade com a resiliência: elementos de interesse em comum – os impactos e os estresses sofridos pelo sistema, a resposta do sistema e a capacidade adaptativa
Gallopín (2006)	Vulnerabilidade se refere, também, a mudanças estruturais no sistema, considerando fatores internos e externos. Resiliência: propriedade interna do sistema.
Hewitt (2013)	O espectro do risco de desastres está ligado à justiça social ou à sua ausência, podendo mudar com alterações sociais e habitacionais. A vulnerabilidade é uma dinâmica social.
Thomas <i>et al.</i> (2016)	A vulnerabilidade à seca depende basicamente na intensidade de exposição à seca e nas habilidades regionais de se lidar com os impactos. A vulnerabilidade tem dimensões de tempo e espaço, uma vez que pode variar constantemente devido a mudanças em tecnologia, comportamento populacional, ações e políticas governamentais.

Fonte: elaboração da autora.

Entre as décadas de 1970 e 1980, os estudos de vulnerabilidade apareciam atrelados aos estudos de resiliência. Holling (1973) define a resiliência como a habilidade de um sistema de absorver mudanças e persistir, e esse conceito passou a receber bastante atenção nas áreas relevantes para o estudo de mudanças ambientais globais. Para Timmerman (1981), a resiliência é a medida da capacidade de um sistema ou subsistema de absorver danos e se recuperar diante da ocorrência de um desastre. A vulnerabilidade aparecia com uma maior conexão ao sistema ambiental e ao risco de ocorrência de eventos danosos.

Em meados dos anos 1980, Hewitt (1983) considera que grupos distintos em uma mesma sociedade se encontram em diferentes níveis de risco por apresentarem diferentes capacidades de absorção dos impactos e recuperação. Liverman (1986) apresenta a

vulnerabilidade como conceito bidimensional, avaliando ambiente e sociedade: onde é mais vulnerável e quem é mais vulnerável. Essa bidimensionalidade é abordada em diversos outros estudos, como a elaboração de métodos para a análise de vulnerabilidade social frente ao risco de desastres naturais e vulnerabilidade socioambiental (SANTOS, 2015; ALMEIDA, 2010; ALVES *et al.*, 2010; CUTTER, 1996; DOW, 1992; CHAMBERS, 1989).

A partir de meados da década de 1990 e início dos anos 2000, os estudos de vulnerabilidade passaram a abordar mais fatores em sua análise, tornando-a multidimensional e mais complexa, assim como mais robusta. Bohle *et al.* (1994) agregam à análise os valores econômicos e políticos, além do fator ambiental e do fator social já existentes.

O conceito de resiliência é adicionado como uma propriedade interna do sistema e um fator que pode interferir no nível de vulnerabilidade. Considera-se que a resiliência tem conexão com as ações humanas, podendo ser alterada por atividade antrópica, tornando o sistema mais ou menos resiliente. Em diversos estudos, a resiliência é tratada como a capacidade do sistema de se adaptar aos estresses causados por eventos externos, e essa capacidade adaptativa pode reduzir o nível de vulnerabilidade de um sistema (ADGER, 2006; GALLOPÍN, 2006; FOLKE *et al.*, 2004; MCCARTHY *et al.*, 2001). Devido à multidimensionalidade dos fatores que contribuem para a vulnerabilidade, ainda não foram definidas variáveis que possam garantir o completo sucesso dos índices de vulnerabilidade (SCHMIDTLEIN *et al.*, 2008).

Turner *et al.* (2003) identificam os seguintes elementos como fundamentais para serem considerados em uma análise de vulnerabilidade:

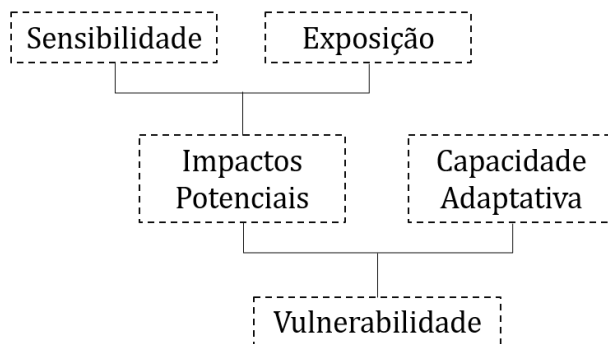
- i. Múltiplas perturbações e estresses/estressores;
- ii. Exposição, considerando a maneira com que o sistema enfrenta danos, além das perturbações e estresses/estressores;
- iii. Sensibilidade do sistema à exposição;
- iv. A capacidade do sistema de lidar e responder a eventos (resiliência);
- v. A reestruturação do sistema após as respostas realizadas (adaptações e ajustes).

2.2.2. Vulnerabilidade à seca

As secas são classificadas como desastre natural do tipo hidrológico (MARCELINO, 2008) e representam o tipo de desastre que mais afeta a população por serem mais recorrentes (UFSC, 2012). McCarthy *et al.* (2001), em publicação elaborada por grupos de pesquisa do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), definem vulnerabilidade

às mudanças climáticas como a medida na qual um sistema social ou natural é capaz de aguentar danos causados pelas mudanças climáticas. Os(as) autores(as) dividem a vulnerabilidade às mudanças climáticas em três fatores: sensibilidade, exposição e capacidade adaptativa. A Figura 2 ilustra o raciocínio dessa definição aplicada no estudo de Fontaine (2007).

Figura 2 - Diagrama para vulnerabilidade à seca



Fonte: adaptado de Fontaine (2007).

A sensibilidade representa o grau de preparo em que o sistema se encontra, refletindo sua habilidade de resposta a mudanças no clima, sejam elas benéficas ou maléficas. Representa, ainda, a capacidade do sistema de absorver impactos sem sofrer danos a longo prazo ou quaisquer mudanças significativas de estado. A exposição é a magnitude, espacial e temporal, de eventos climáticos extremos. Por fim, a capacidade adaptativa representa o grau em que os ajustes e adaptações, na forma de práticas, processos ou estruturas, podem mitigar e minimizar os impactos potenciais de ocorrências de mudanças no clima (ABRAHAM, 2006; MACCARTHY *et al.*, 2001).

Os estudos da vulnerabilidade à seca formam um novo paradigma no gerenciamento de desastres. A vulnerabilidade à seca depende, basicamente, do grau de exposição à seca e das habilidades de resposta e gerenciamento de seca da região analisada. A vulnerabilidade tem dimensões de espaço e tempo, uma vez que seu nível varia constantemente a partir de mudanças tecnológicas, comportamentais e práticas políticas (THOMAS *et al.*, 2016). Ou seja, vulnerabilidade à seca depende, especialmente, das condições físicas às quais a região analisada está exposta. O nível de vulnerabilidade pode mudar, com o tempo, de acordo com as mudanças climáticas. Adicionalmente, medidas antrópicas podem aumentar ou diminuir a capacidade adaptativa da região, influenciando na sua vulnerabilidade.

O Quadro 2 apresenta um breve estado na arte na área do estudo de vulnerabilidade frente a mudanças climáticas. A investigação compreende trabalhos publicados a partir de 2010 nos periódicos mais influentes no âmbito dos recursos hídricos (*Journal of Hydrology*, *HESS*,

Water Resources Research e *Water Resources Planning and Management* – a *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* não apresentou nenhum resultado). Muitos dos resultados encontrados são concentrados nas vulnerabilidades da infraestrutura hídrica de abastecimento, que foge do escopo deste trabalho.

Quadro 2 - Estado da Arte em vulnerabilidade às mudanças climáticas.

Autores(as) e ano	Contribuição
Nazemi <i>et al.</i> (2013)	Metodologia alternativa de análise da vulnerabilidade de sistema hídrico, considerando-o como função das variações potenciais no regime de vazão, que represente as respostas do escoamento às mudanças climáticas
Acosta; Martínez (2014)	Avaliação da vulnerabilidade às mudanças climáticas utilizando o método do IPCC e aplicando dados de escoamento superficial, com o uso de ferramentas SIG.
Asefa <i>et al.</i> (2014)	Análise de diferentes cenários de variação climática combinada com aplicação do método RRV e outros métodos.
Chanda <i>et al.</i> (2014)	Elaboração de Índice de Gerenciamento de Seca a partir do método RRV
Naumann <i>et al.</i> (2014)	Elaboração de um indicador de vulnerabilidade à seca considerando quatro componentes: capital natural renovável, capacidade econômica, recursos humanos e civis e infraestrutura e tecnologia.
Goharian <i>et al.</i> (2016)	Combinação da medição de severidade de falha de sistemas hídricos com análise de sensibilidade às mudanças climáticas
Mateus; Tullos (2017)	Aplicação do método RRV para a operação de reservatórios modelando com cenários afetados pelas mudanças climáticas
Zhang <i>et al.</i> (2017)	Análise da relação entre os fatores do método RRV aplicado em sistemas hídricos a partir do uso de análises gráficas multi-objetivas
Anandhi; Kannan (2018)	Combinação do método de Pressão-Estado-Impacto-Resposta com o método do IPCC para medir a vulnerabilidade dos recursos hídricos.

Fonte: elaboração da autora.

2.3. Geoprocessamento e os Sistemas de Informações Geográficas

Existentes desde a década de 1960, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) apresentaram expansão na sua utilização em meados de 1980, continuando a se expandir nos dias atuais (DELANEY; VAN NIEL, 2007). Os SIG constituem-se de sistemas que integram ferramentas com funções de coleta, armazenamento, transformação e exibição de informações espaciais para um ou mais objetivos, onde estas informações descrevem a localização de quaisquer objetos no mundo real, acompanhados de seus respectivos atributos (BURROUGH, 1986). Sistemas de Informações Geográficas é o termo utilizado para denominar sistemas computacionais que utilizam referências geográficas. Corresponde, ainda, à ferramenta computacional que auxilia o geoprocessamento (MEDEIROS, 2014).

O termo geoprocessamento se refere ao processamento de dados geográficos ou georreferenciados, que são dados cuja informação está atribuída a uma localização geográfica (XAVIER, 2010). Câmara, Davis e Monteiro (2001) definem geoprocessamento como uma disciplina de conhecimento que faz uso de técnicas computacionais e matemáticas com o objetivo de tratar informações espaciais.

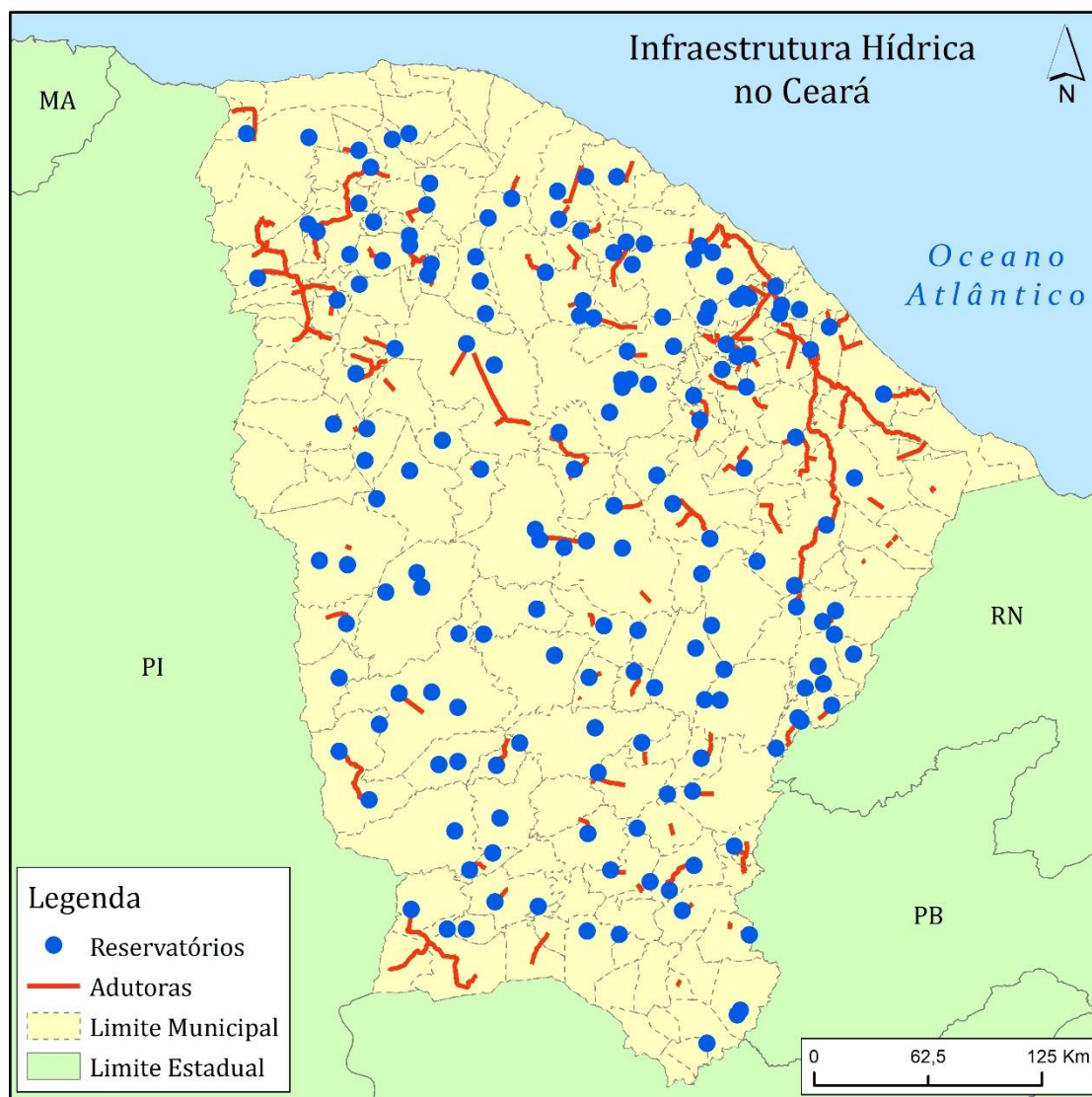
Os dados em um SIG representam componentes espaciais associados a informações geográficas (informações georreferenciadas), e estão estruturados, usualmente, em dois modelos: a estrutura matricial e a estrutura vetorial (CÂMARA et al., 1997).

A estrutura vetorial é a de mais simples compreensão pois sua representação gráfica é a mais usual em mapas. Seus componentes básicos são polígonos, linhas e pontos. O formato mais comum de arquivo manuseado em SIG é o *shapefile* (DELANEY; VAN NIEL, 2007).

O *shapefile* foi desenvolvido pelo Environmental Systems Research Institute – ESRI® e armazena posição, formato e atributos de feições geográficas. Ao adicionar um *shapefile* em um *software* de SIG, o visualizador de mapa exibe o arquivo em um formato de rápida visualização e leitura (ESRI, 1998).

Polígonos, linhas e pontos representam as menores unidades de informação espacial em uma camada de dados de um SIG. Dependendo da escala do mapa, os atributos podem ser representados por diferentes componentes (DELANEY; VAN NIEL, 2007). Como exemplo ilustrativo, a Figura 3 apresenta os reservatórios, que são representados por pontos; as adutoras, por linhas; e os municípios e estados, por polígonos.

Figura 3 - Infraestrutura Hídrica no Ceará

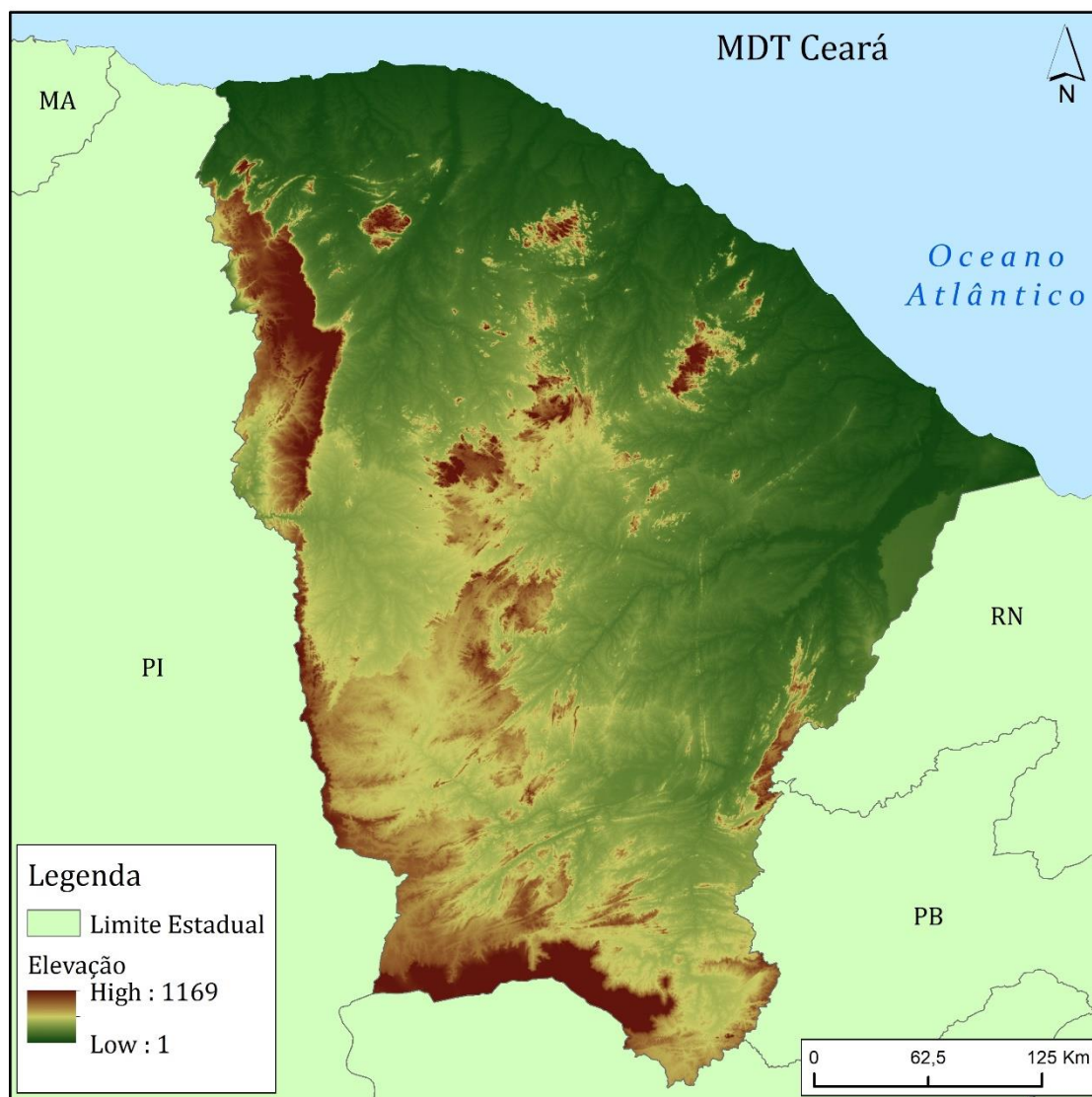


Fonte: elaboração da autora.

Em uma estrutura matricial, o mundo real é dividido em células, que são o componente básico para este modelo. As células são pixels que contêm um número ou código chave, que está ligado à sua descrição. Este modelo é compatível com atributos contínuos (exibe mudanças contínuas através do espaço – qualquer localização no espaço receberá um valor diferente), como informações de elevação (DELANEY; VAN NIEL, 2007).

A Figura 4 apresenta um Modelo Digital de Terreno (MDT) do estado do Ceará, em superfície *raster*, estrutura matricial. Os tons esverdeados representam baixas cotas altimétricas e, à medida que a representação gráfica varia entre tons amarelados e marrons, os valores das cotas vão aumentando, indicando elevações no relevo.

Figura 4 - MDT do estado do Ceará.



Fonte: elaboração da autora.

Os dados no SIG pertencem a um sistema de coordenadas, cuja função é garantir a localização espacial dos objetos. As coordenadas são definidas pela projeção e/ou pelo *datum* utilizado, que existem devido à conversão do mundo real em três dimensões para informações em duas dimensões, como normalmente são representadas em mapas (DELANEY; VAN NIEL, 2007). O Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) é baseado em coordenadas plano-retangulares e conta com 60 cilindros transversos e secantes ao elipsóide da Terra e fusos que são numerados de 1 a 60, a partir do anti-meridiano de Greenwich. O sistema UTM é uma das projeções mais utilizadas por preservar ângulos e ter pequena deformação de área (SILVA, 2003; FITZ, 2008). No Brasil, o único sistema de coordenadas geográficas e *datum* oficialmente adotado atualmente é o SIRGAS 2000.

A representação gráfica, através de mapas temáticos, da distribuição espacial de informações pertinentes no âmbito dos recursos hídricos, da segurança hídrica e da gestão de secas, apresenta-se como importante auxílio para o processo do gerenciamento de recursos hídricos. A visualização da distribuição espacial ajuda na identificação das áreas mais críticas em diversos cenários, sob diversas perspectivas. A manipulação de dados georreferenciados, a análise espacial e a elaboração de mapas temáticos, caracterizando funções cabíveis ao geoprocessamento, podem ser consideradas como ferramentas fundamentais para auxiliar o processo de tomada de decisão.

3. ÁREAS DE ESTUDO

3.1. Ceará

3.1.1. Aspectos gerais

O estado do Ceará situa-se na região Nordeste do Brasil e apresenta uma área de 148.826 km². Cerca de 87% do território cearense encontra-se inserida no semiárido brasileiro, delimitado utilizando os critérios (BRASIL, 2005):

- i. Precipitação média anual inferior a 800mm;
- ii. índice de aridez de até 0,5;
- iii. risco de seca maior que 60%.

A noção pragmática do semiárido é de caracterizar a região pela incidência de secas prolongadas. Outras características marcantes do semiárido brasileiro são a vegetação caatinga, predominância do embasamento cristalino, solos rasos, rios intermitentes, eventos hidrológicos extremos frequentes, escoamento específico reduzido, insolação intensa e elevadas taxas de evapotranspiração (SANTANA, 2008). Essas características deixam grande parte do Ceará em situação de maior vulnerabilidade aos fenômenos da seca (IPECE, 2007).

As rochas cristalinas constituem cerca de 75% do território estadual, constituindo a ocorrência de águas subterrâneas no Estado, que, no domínio cristalinos, são acumuladas em fraturas nas rochas, caracterizando aquíferos de baixa produtividade e de qualidade limitante a certos usos (SANTANA, 2008). Ainda no domínio cristalino, os sertões são caracterizados pelo clima semiárido seco ou sub-úmido. Os domínios sedimentares estão, principalmente, na faixa costeira, na região da Chapada do Apodi, na região do Cariri Cearense e na região da Serra da Ibiapaba. As regiões serranas apresentam superfícies topograficamente elevadas submetidas à influência de mesoclimas de altitude, apresentando condições de recursos naturais mais seguras (FUNCEME, 2009; SANTANA, 2008). O estado do Ceará conta com três tipos de solos com maior ocorrência: os Neossolos com cerca de 53.525,5 km² ou 35,96% da área do Ceará; os Argissolos com 36.720,6 km² ou 24,67%; e os Luvisolos com 16,72% da área total do Estado ou 24.885,6 km² (IPECE, 2007).

O estado do Ceará apresenta onze diferentes tipos de vegetação: Complexo Vegetacional da Zona Litorânea; Floresta Subperenifolia Tropical Plúvio-Nebular (Matas úmidas); Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial (Matas secas); Floresta Caducifolia

Espinhosa (Caatinga arbórea); Caatinga Arbustiva Densa; Caatinga Arbustiva Aberta; Carrasco; Floresta Perenifolia Paludosa Marítima; Floresta Mista Dicotilo-Palmácea (Mata ciliar com carnaúba e dicotiledôneas); Floresta Subcaducifolia Tropical Xeromorfa (Cerradão) e Cerrado. O bioma da caatinga representa a vegetação preponderante do Estado, ocupando cerca de 46% de sua área total. Contudo, a vegetação nativa encontra-se, atualmente, em cenário bastante alterado devido a ações antrópicas desordenadas e predatórias (IPECE, 2007).

O Ceará apresenta uma estação de chuva e uma estação de seca, que se concentram durante o primeiro e o segundo semestre do ano, respectivamente. A estação chuvosa apresenta três etapas: pré-estação chuvosa (janeiro), estação chuvosa (fevereiro a maio) e estação pós-chuvosa (junho). A zona de convergência intertropical (ZCIT) se apresenta como principal sistema causador de chuvas da estação chuvosa cearense, além da proximidade das frentes frias, os vórtices ciclônicos e a formação de Complexos Convectivos de Mesoescala. Condições termodinâmicas dos Oceanos Pacífico e Atlântico (El-Niño, La Niña e Dipolo do Atlântico) também influenciam o regime de chuvas do Estado. Diante de tantos fatores e diferentes sistemas meteorológicos que apresentam diferentes escalas, a estação chuvosa do Ceará apresenta grande variabilidade na distribuição temporal, espacial e quantitativa da chuva. Adicionalmente, nota-se, atualmente, o agravamento de extremos hidrológicos e aumento na taxa de evapotranspiração, apontando para mudanças importantes na econômica dependente da oferta hídrica (SANTANA, 2008).

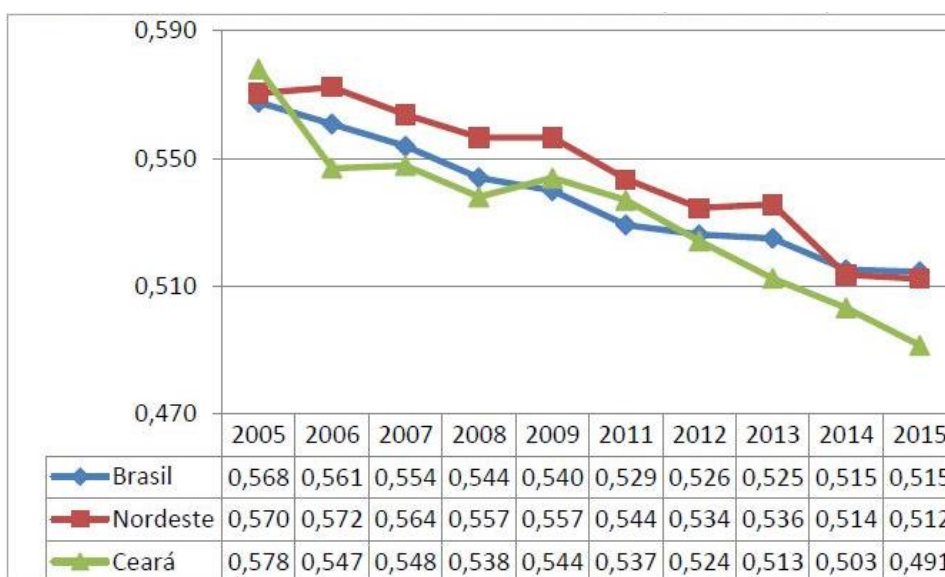
Em um panorama considerando o período de 2011 a 2015, onde o estado do Ceará estava afetado por estiagem severa e prolongada, conseguiu resultados positivos no PIB, estando, em 2011 e 2012, na média nacional e, em 2013 e 2014, com crescimento muito acima da média nacional. Entretanto, em 2015, afetado por crise macroeconômica nacional no ano de 2014, o PIB do Estado sofreu retração de 4,65%, ainda menor que a queda nacional. Nesse período, observou-se recuo da atividade agropecuarista, devido à forte dependência do setor às condições climáticas, considerando o comprometimento da produção de grãos que compreende, em sua grande maioria, culturas de sequeiro. Já o setor de serviços apresentou crescimento considerável. O PIB do Estado está fortemente concentrado na Grande Fortaleza, representando 65,7% do PIB estadual (TROMPIERI NETO; PAIVA, 2016).

No setor industrial, predomina-se o setor de transformação e da construção civil. A indústria da transformação cearense apresentou resseção a partir de 2011 diante da redução de consumo da população. Já a construção civil, a partir de favorecimentos de estímulos e incentivos públicos e privados, manteve constante taxa de expansão. Contudo, em 2015, ambos segmentos obtiveram resultados financeiros negativos (TROMPIERI NETO; PAIVA, 2016).

Entre os anos de 2005 e 2015, a renda domiciliar *per capita* dos 10% mais pobres cresceu seis vezes mais que a renda dos 10% mais ricos, desencadeando uma redução sustentável no índice de Gini no Ceará. O índice de Gini assim se denomina por ter sido elaborado pelo matemático italiano Conrado Gini. É amplamente utilizado para realizar a medição do nível de concentração de renda em um grupo, apontando a diferença de renda e comparando os 20% mais ricos com os 20% mais pobres. O Índice apresenta uma escala de 0 a 1, onde 1 representa maior concentração de renda em um indivíduo e 0, menor concentração, ou seja, maior distribuição de renda (LETTIERI; PAES, 2006; WOLFFENBÜTTEL, 2004).

A infraestrutura domiciliar e a extrema pobreza no Estado ainda são desafios sociais a serem superados. Cerca de 22% dos domicílios cearenses ainda não contam com acesso ao abastecimento de água pela rede geral de distribuição e apenas 36% estão ligados à rede coletora de esgoto. A Figura 5 ilustra a comparação da evolução do índice de Gini no Brasil, no Nordeste e no Ceará, no período de 2005 a 2015 (excluindo-se o ano de 2010). Durante o mesmo período, o Brasil e o Nordeste conseguiram uma redução de, respectivamente, 10% e 11% no índice. Já para o estado do Ceará, a redução foi de 17%. Em 2005, o índice estadual estava acima do índice regional e nacional e, em 2015, o índice estadual apresentou-se como menor que os outros dois (IPECE, 2017).

Figura 5 - Índice de Gini para o Brasil, Nordeste e Ceará.



Fonte: IPECE (2017).

3.1.2. Os recursos hídricos no Ceará

No estado do Ceará, há um descompasso no balanço hídrico, envolvendo oferta e demanda de água. Além das condições climáticas adversas, há de se responsabilizar a má utilização do recurso em alguns setores, como na irrigação, que apresenta um alto desperdício em algumas técnicas. A oferta hídrica no Ceará tem melhorado. Contudo, ainda há a necessidade de acompanhamento da utilização dos recursos hídricos, pois ainda é possível verificar deficiência na disponibilidade de dados da relação oferta x demanda (SANTANA, 2008).

A Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará (SRH) foi estabelecida a partir da Lei Estadual Nº 11.306, de 01 de abril de 1987. Compete à SRH (CEARÁ, 1987):

- i. Promover o aproveitamento racional e integrado dos Recursos Hídricos no Ceará;
- ii. Coordenar, gerenciar e operacionalizar estudos, pesquisas, programas, projetos, obras, produtos e serviços referentes a recursos hídricos;
- iii. Promover a articulação dos órgãos e entidades estaduais do setor com os federais e municipais.

A SRH forma um sistema que conta, também, com entidades vinculadas à Secretaria: a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), a Superintendência de Obras Hidráulicas (SOHIDRA) e a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH).

A FUNCEME foi criada em 1972, a partir da Lei Estadual nº 9.618, de 18 de setembro de 1972, e passou a ser vinculada à SRH a partir de 1987, através da Lei Estadual nº 11.380, de 15 de dezembro de 1987. Sua finalidade básica é realizar pesquisas científicas e tecnológicas, estudos no âmbito dos recursos hídricos e prestar serviços especializados nas áreas de meteorologia e recursos hídricos. Atualmente, o Órgão desenvolve tecnologias, pesquisas aplicadas e é responsável pela criação, manutenção e expansão de banco de dados com informações meteorológicas, climatológicas, geográficas, ambientais, hidrográficas e sobre a cobertura vegetal e dos solos do estado cearense.

Criada a partir da Lei Estadual nº 11.380, de 15 de dezembro de 1987, a SOHIDRA tem a missão de executar, supervisionar e acompanhar empreendimentos de infraestrutura hídrica, incrementando a oferta de água subterrânea e superficial, qualitativa e quantitativamente, atendendo à população em seus múltiplos usos. A SOHIDRA é responsável por executar trabalhos de fiscalização e construção de barragens, eixos de integração, canais,

adutoras, poços e sistemas de abastecimento de água. Suas ações são voltadas para o atendimento de áreas atingidas por secas, auxiliando essas áreas com o desenvolvimento de infraestrutura hídrica.

A COGERH, estabelecida em 1993, tem como finalidade implantar um sistema de gerenciamento da oferta de água superficial e subterrânea do Estado. Compete à COGERH (CEARÁ, 2010):

- i. Operação e manutenção dos sistemas hídricos e monitoramento dos recursos hídricos;
- ii. estudos técnicos para implementação, efetivação e alteração das tarifas pelos usos dos recursos hídricos;
- iii. aplicar recursos financeiros nas atividades de gerenciamento dos recursos hídricos;
- iv. manter atualizado balanço hídrico e cadastro de usuários;
- v. elaborar planos de gerenciamento de recursos hídricos para as bacias hidrográficas;
- vi. apoiar a formação dos comitês de bacia;
- vii. elaborar relatório anual de situação dos recursos hídricos;
- viii. emitir parecer sobre pedidos de outorga de recursos hídricos;
- ix. efetivar cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

Os Comitês de Bacias Hidrográficas estão divididos entre as 12 bacias hidrográficas cearenses (Figura 6) e são compostos por quatro setores em suas devidas proporções: usuários (30%), sociedade civil (30%), poder público municipal (20%) e poder público estadual/federal (20%). Os CBH formam a instância mais importante de planejamento na área dos recursos hídricos, com o gerenciamento participativo e integrado (ARAÚJO, 2012).

Figura 6 - Regiões hidrográficas do estado do Ceará.



Fonte: elaboração da autora.

A Tabela 1 apresenta dados hídricos de cada bacia hidrográfica do Estado. A capacidade de reservação da bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe compreende maior volume potencial devido à presença do reservatório Castanhão, que conta com capacidade de 6.700 hm³. Ou seja, apenas o reservatório Castanhão tem maior capacidade de reservação que cada uma das outras bacias hidrográficas.

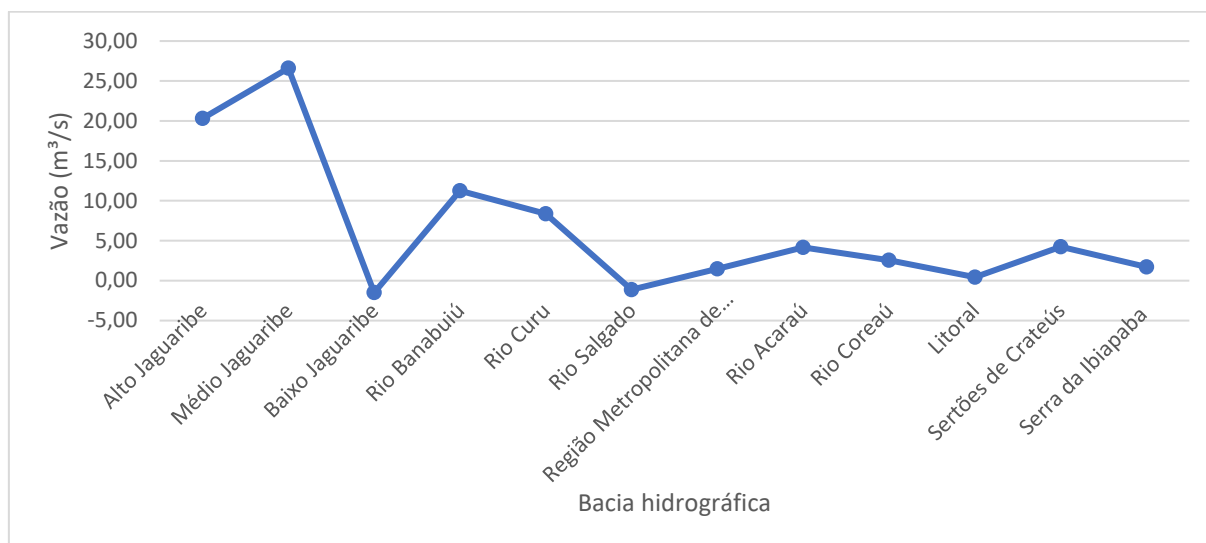
Tabela 1 - Características hídricas por bacia hidrográfica do Ceará.

Bacia Hidrográfica	Disponibilidade Hídrica (Q90) (m ³ /s)	Demanda Hídrica Total (m ³ /s)	Capacidade Reservaço (hm ³)	Área irrigada total (ha)
Alto Jaguaribe	21,22	0,91	2840,11	1322
Médio Jaguaribe	31,68	5,08	7401,96	10864
Baixo Jaguaribe	0,66	2,17	24,00	6244
Rio Banabuiú	20,58	9,31	2802,86	15687
Rio Curu	11,53	3,18	1064,66	4963
Rio Salgado	2,39	3,53	492,06	5487
Região Metropolitana de Fortaleza	17,70	16,21	1394,83	1241
Rio Acaraú	11,53	7,36	1766,66	10873
Rio Coreaú	3,12	0,56	297,09	172
Litoral	0,80	0,35	219,01	111
Sertões de Crateús	4,53	0,29	610,11	846
Serra da Ibiapaba	1,96	0,24	136,76	587

Fonte: Adaptado de Ceará (2009).

O gráfico ilustrado na Figura 7 foi elaborado a partir dos dados apresentados na Tabela 1, e consiste no balanço hídrico, obtido através da diferença entre a oferta e a demanda hídrica. Nota-se que há um déficit no balanço hídrico das bacias hidrográficas do Baixo Jaguaribe e do Rio Salgado. A bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, mesmo com a maior demanda hídrica do Estado, consegue saldo positivo no balanço hídrico. Pode-se considerar como fator importante para esse sucesso a integração existente no sistema hídrico Jaguaribe-Metropolitano, que interliga os reservatórios Orós, Castanhão, Banabuiú, Gavião, Pacoti/Riachão, Pacajus e Aracoiaba por intermédio do Eixão das Águas.

Figura 7 - Balanço hídrico no Ceará por bacia hidrográfica.



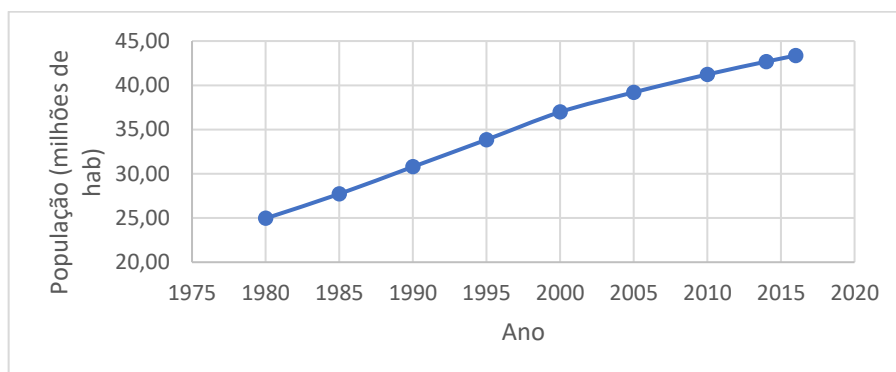
Fonte: elaboração da autora.

3.2. São Paulo

3.2.1. Aspectos gerais

Com uma área de aproximadamente 248.209 km² e população de 43,35 milhões de habitantes, São Paulo é o estado com maior população no Brasil, abrigando aproximadamente 22% da população total do país (MARTIRANI, PERES, 2016). A maior parte da população de São Paulo habita áreas urbanizadas, e seu grau de urbanização é cerca de 96% (CRH/CORHI, 2017). A população de São Paulo cresceu cerca de 42% entre o período de 1980 e 2016 e, apesar do constante crescimento populacional apresentado na Figura 8, a projeção para 2050 é de 47 milhões de habitantes, ocorrendo taxa negativa de crescimento entre 2040 e 2050 (WALDVOGEL *et al.*, 2017). De toda a população do Estado, 16,4% se encontra em quadro de vulnerabilidade social alta ou muito alta, de acordo com o IPVS (Índice Paulista de Vulnerabilidade Social), elaborado pela SEDAE a partir de 15 indicadores sociais (SEDAE, 2010). O estado de São Paulo apresenta grande importância no setor econômico e produtivo do país, compreendendo cerca de 32% do PIB nacional (CRH/CORHI, 2017).

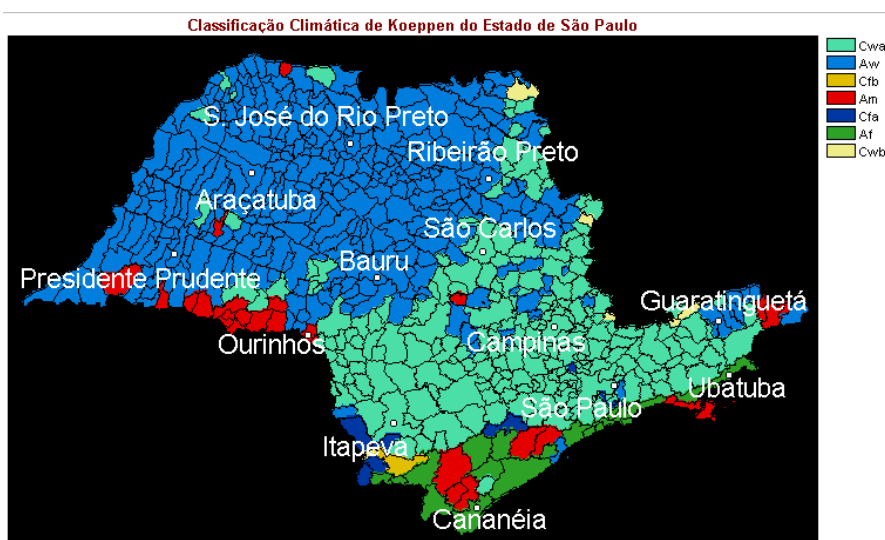
Figura 8 - Crescimento da população do estado de São Paulo.



Fonte: Adaptado de Biblioteca Virtual do Governo do Estado de São Paulo (2017).

O clima do Estado varia entre tropical, tropical de altitude e subtropical. Seguindo a classificação de Köppen (Figura 9), em São Paulo ocorrem sete classificações climáticas: *Af* (tropical superúmido com chuvas distribuídas durante o ano, mais presente na baixada litorânea e na região da Serra do Mar), *Aw* (tropical subúmido, com chuvas de verão e invernos secos, predominante na região do planalto ocidental); *Am* (clima de monções, chuvoso mas com inverno seco e temperatura mínima superior a 18°C; ocorre em pontos isolados); *Cwa* (clima temperado úmido, com chuvas e temperatura quente no verão e seca no inverno, é a classificação dominante no Estado, abrangendo toda a parte central); *Cwb* (clima temperado úmido, com no verão temperado e seca no inverno; de pouca ocorrência no Estado); *Cfa* (clima temperado úmido com verão quente) e *Cfb* (clima temperado úmido com verão temperado), os dois últimos ocorrendo nas áreas serradas (MIRANDA *et al.*, 2017).

Figura 9 - Classificação climática de Köppen para São Paulo



Fonte: Miranda *et al.* (2017).

3.2.2. Os recursos hídricos em São Paulo

O CRH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos foi criado através do Decreto nº 27.576 de 11 de novembro de 1987 e é constituído de 33 conselheiros(as), subdividido igualmente em três segmentos: Estado, município e sociedade civil. Cabe ao CRH, entre outras responsabilidades (SÃO PAULO, 2015):

- i. Elaborar propostas de projetos de lei referentes ao Plano Estadual de Recursos Hídricos;
- ii. Exercer funções relativas à formulação, implantação e acompanhamento da Política Estadual de Recursos Hídricos;
- iii. Estabelecer critérios e normas relativos ao rateio dos custos das obras de uso múltiplo dos recursos hídricos;
- iv. Efetuar enquadramento dos corpos d'água;
- v. Decidir conflitos entre os CBH;
- vi. Criar, extinguir e reorganizar os CBH;
- vii. Estabelecer os limites condicionantes para fixação dos valores para cobrança pelo uso da água.

O sistema de gestão de recursos hídricos no estado de São Paulo é baseado em 3 níveis independentes: o FEHIDRO (Fundo Estadual de Recursos Hídricos); o Plano Estadual de Recursos Hídricos, traçado com base nos planos das principais bacias hidrográficas do estado e atualizado a cada quatro anos; e os comitês de bacia, feitos por representantes do Estado, dos municípios, e da sociedade civil (TARGA; BATISTA, 2015). O gerenciamento dos recursos hídricos é dividido entre vinte e duas Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGHRI), representadas na Figura 10.

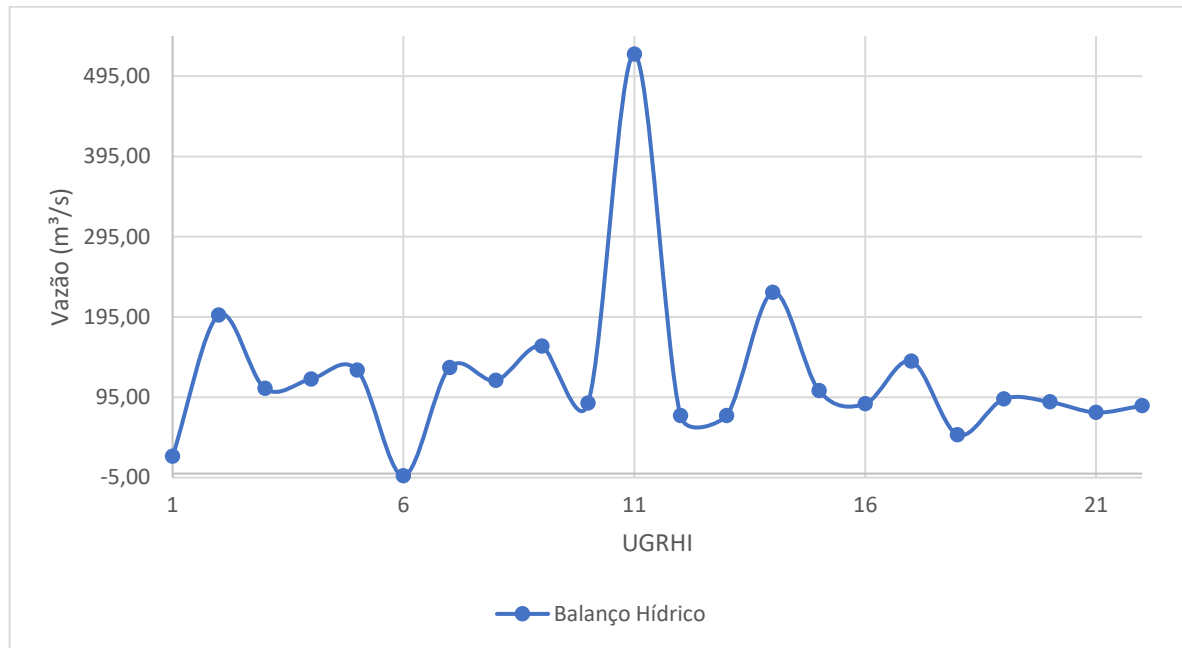
Figura 10 - UGHRI de São Paulo.



Fonte: elaboração da autora.

São Paulo conta com oferta hídrica superficial média de $3121 \text{ m}^3/\text{s}$ e uma demanda hídrica estimada em $443 \text{ m}^3/\text{s}$, apresentando balanço hídrico positivo. Entre 2013 e 2015, o estado de São Paulo enfrentou uma crise hídrica histórica, onde a Macrometrópole Paulista foi a região mais afetada. Em 2014, foram registrados os menores índices pluviométricos desde o início do monitoramento das séries históricas (CRH/CORHI, 2017). Entretanto, não se deve atribuir a crise hídrica apenas aos fatores climáticos, sem considerar as responsabilidades dos gestores hídricos (JACOBI, CIBIM, LEÃO, 2015), assim como os cenários nos quais a população atingida está inserida. A Figura 11 ilustra o balanço hídrico elaborado para o estado de São Paulo, por UGRHI. É perceptível que a UGRHI do Alto Tietê, onde se encontra a Região Metropolitana de São Paulo, apresenta um saldo negativo.

Figura 11 - Balanço Hídrico em São Paulo



Fonte: elaboração da autora.

4. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados com o fim de alcançar os objetivos propostos.

4.1. Materiais

O trabalho foi desenvolvido a partir de dados tabulares e georreferenciados. As informações foram processadas por intermédio de *softwares*.

4.1.1. Obtenção de dados

Os dados foram adquiridos através de sítio eletrônico de órgãos competentes, além de documentos e relatórios publicados. A avaliação da percepção dos impactos da seca, descrita na seção 4.2.3. deste documento, conta com informações adquiridas a partir da aplicação de questionário. A Tabela 2 apresenta os grupos de dados obtidos e suas fontes.

Tabela 2 - Aquisição e caracterização dos dados e informações obtidas.

Dados	Fonte
Dados sociais	IBGE, IPEA
Dados econômicos	IBGE, IPEA
Informações sobre as condições sanitárias	ANA
Informações sobre as condições hídricas	ANA, PERH-SP, Pacto das Águas (CE)
Dados geográfico georreferenciados	IBGE, COGERH, IDEA-SP
Avaliação de percepção da seca	Aplicação de questionários

Fonte: elaboração da autora.

4.1.2. Softwares

Foram utilizados os *softwares* ArcGIS© 10.2.2, para o desenvolvimento das análises espaciais e elaboração de mapas temáticas, e R© e MS-Excel© 2016 para manuseio e processamento de dados tabulares.

4.2. Método

O trabalho consiste de três análises. A primeira, analisa quantitativa e qualitativamente a vulnerabilidade à seca em escala de bacias/regiões hidrográficas, utilizando como base os índices de sensibilidade e exposição à seca. A segunda, faz análise semelhante, porém em escala municipal e considera o efeito da capacidade adaptativa na vulnerabilidade. Por fim, é feita uma avaliação da percepção do impacto à seca. As três análises são descritas nas seções a seguir.

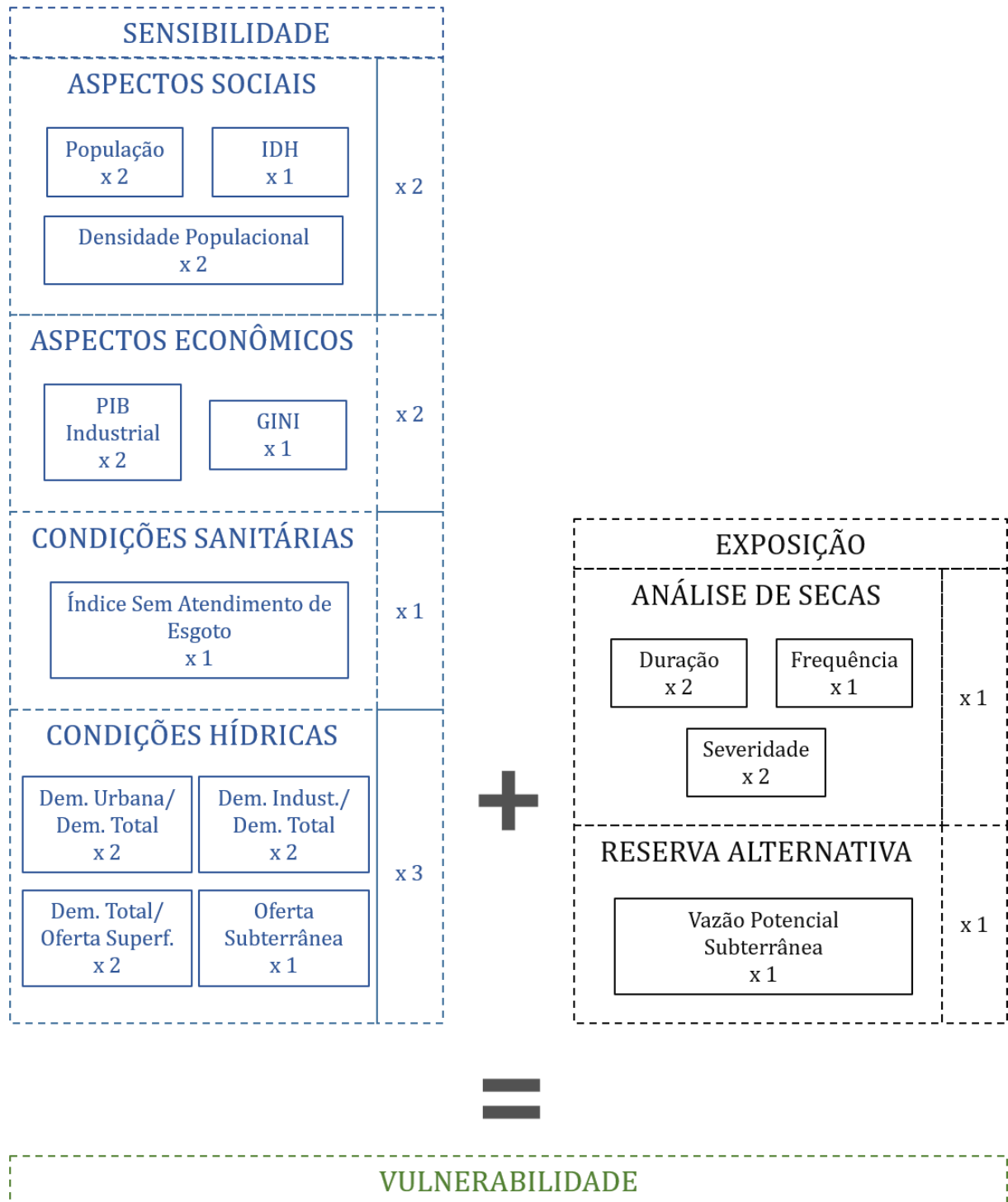
4.2.1. *Análise 1: Vulnerabilidade em escala de bacias/regiões hidrográficas*

Para este primeiro método, o estudo foi desenvolvido na escala de bacias e/ou regiões hidrográficas. Considerou-se, para o cálculo da vulnerabilidade, o nível de sensibilidade e exposição. A vulnerabilidade (V) é quantificada a partir da Equação 1, onde S representa a sensibilidade e E, a exposição.

$$V = S + E \quad (1)$$

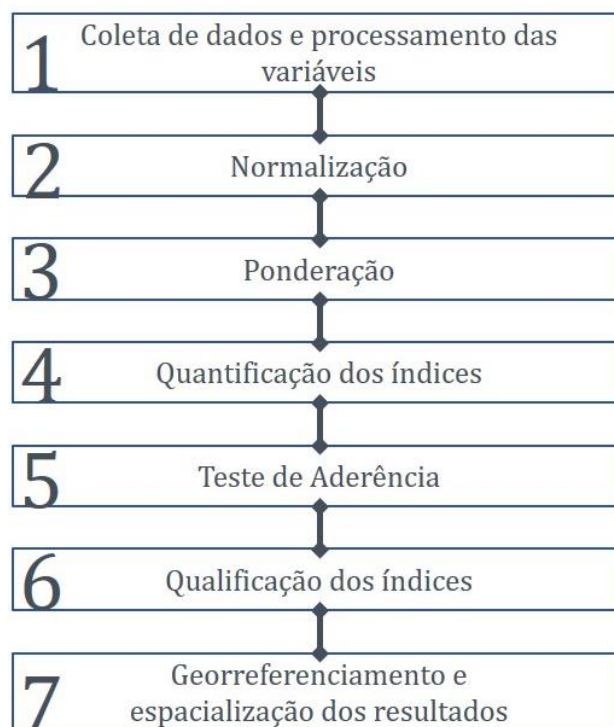
Uma análise multicritério foi elaborada a fim de calcular a sensibilidade e a exposição, utilizando normalização e ponderação de diversos indicadores divididos entre diferentes setores, ilustrados na Figura 12. Os setores apresentam diferentes pesos na sensibilidade e na exposição e os indicadores contam com diferentes pesos dentro de cada setor. Por exemplo, no setor de análise de secas, na exposição, considerou-se que a duração e a severidade das secas apresentam um maior impacto dentro desse setor. A Figura 13 ilustra o passo a passo geral executado para se obter os índices de sensibilidade e de exposição. A cada setor foi atribuído um peso geral para o cálculo dos índices, tanto de exposição quanto de sensibilidade. E, dentro de cada setor, os indicadores têm diferentes pesos, considerando sua importância e representatividade dentro de seu setor específico. A atribuição dos pesos é feita de maneira subjetiva, cabendo às pessoas que vão operar o método estabelecer os critérios de definição dos pesos. Caso não haja experiência ou conhecimento o suficiente da área de estudo escolhida, aconselha-se procurar profissionais que participem do gerenciamento de recursos hídricos do local para auxiliar no processo de ponderação.

Figura 12 - Diagrama representativo do processo de quantificação da vulnerabilidade.



Fonte: elaboração da autora.

Figura 13 - Passo a passo da quantificação e qualificação da sensibilidade e exposição.



Fonte: elaboração da autora.

4.2.1.1. Processamento dos dados

Esta seção representa o primeiro dos sete passos ilustrados na Figura 13.

4.2.1.1.1. Sensibilidade

A sensibilidade deve apresentar um diagnóstico do cenário no qual a população que habita a região delimitada do estudo se encontra. Devem ser considerados aspectos que reflitam seu nível de susceptibilidade ao evento da seca, assim como aspectos que representem sua resiliência. Para isso, a sensibilidade foi dividida entre 4 setores, ilustrados na Figura 12: aspectos sociais, aspectos econômicos, condições sanitárias e condições hídricas.

A seca proporciona impactos diversos no desenvolvimento econômico e social da população atingida pois a água é um recurso natural utilizado nos meios de produção e nos hábitos diários da população. O desenvolvimento precário de uma sociedade acarreta em um fraco preparo para enfrentar crises e urgências (VEYRET, 2007). Neste contexto, os aspectos sociais e econômicos aparecem com peso 2 no cálculo da sensibilidade.

Dentro dos Aspectos Sociais, foram escolhidos a população, densidade

populacional e IDH como indicadores. A população (nº de habitantes) retrata quantos devem ser abastecidos; quanto maior a população, mais complexo o sistema hídrico e mais problemático em um período de escassez hídrica. A densidade populacional (habitantes/km²) foi escolhida para indicar a distribuição dessa população no espaço. Como ambos os indicadores representam, ainda que de forma distinta, a quantidade da população a ser abastecida, foi lhes atribuídos peso 2 dentro do setor dos Aspectos Sociais.

O IDH, Índice de Desenvolvimento Humano, exibe a qualidade de vida da população estudada. O indicador foi escolhido partindo do princípio de que populações menos privilegiadas estão mais susceptíveis aos impactos de desastres naturais e menos predispostos a se recuperar dos danos sofridos (HYNDMAN; HYNDMAN, 2011; VEYRET, 2007). O IDH foi obtido como dado em escala municipal. Para se encontrar o valor distribuído na bacia ou região hidrográfica, utilizou-se de uma média ponderada entre o IDH municipal e a população do respectivo município, dentre os municípios inseridos na bacia ou região hidrográfica. A Equação 2 apresenta o cálculo, onde IDH_p representa o IDH ponderado para a região ou bacia hidrográfica; $IDHm_i$ o IDH municipal do município i ; e $POPm_i$, a população do município i :

$$IDH_p = \frac{IDHm_i \times POPm_i}{\sum_{i=1}^n POPm_i} \quad (2)$$

Para os Aspectos Econômicos, foram considerados o valor adicionado bruto da indústria, a preços recorrentes, ou seja, a contribuição da produção industrial para o cálculo do PIB, e o Índice de Gini. Assim como o IDH, o índice de Gini foi obtido em escala municipal. Foi realizado o mesmo processo de ponderação com os valores do Índice de Gini ilustrado na Equação 2.

O PIB Industrial foi escolhido especificamente para esta aplicação devido à caracterização econômica de uma das áreas de estudo escolhidas, o estado de São Paulo, que apresenta forte papel na produção industrial do país. Para o Ceará, foi mantido o mesmo indicador de modo a manter o mesmo método de análise da sensibilidade para ambos os objetos de estudo. Aconselha-se levar este fator em consideração na aplicação do método em outras regiões, podendo optar pelo PIB agropecuário ou, ainda, o valor cheio do PIB. O PIB industrial representa o nível de atividade econômica e a riqueza produzida por região. Vale ressaltar que as atividades econômicas podem ser bastante afetadas em um período de escassez hídrica, visto que a água é um recurso natural indispensável em diversos setores de produção. Por tal motivo, foi considerado que o PIB industrial teria mais importância para o cálculo da sensibilidade,

atribuindo-o o peso 2 dentro do setor econômico.

As condições sanitárias consideram o nível de esgotamento sanitário não tratado, que acaba por ser despejado em corpos hídricos. Com o aumento da carga orgânica, os corpos hídricos tornam-se impróprios para uso no abastecimento humano e, consequentemente, em períodos de estiagem, o número de alternativas de mananciais é reduzido. Para essa representação, foi utilizado o indicador Índice Sem Atendimento de Esgoto, a nível municipal, divulgado pela ANA. Portanto, também foi realizada a ponderação a partir da Equação 2.

Por fim, os cenários de oferta e demanda da população situada na área de estudo foram combinados de modo a representar as condições hídricas, às quais foram atribuídas o triplo da importância na análise da sensibilidade ao considerar que o estudo está focado na susceptibilidade a um cenário de escassez hídrica. Os indicadores escolhidos para representar as condições hídricas foram relações de oferta e demanda, priorizando o abastecimento humano e industrial. Adicionalmente, foi escolhido o indicador Oferta Subterrânea, constituído da vazão subterrânea explorada como modo de considerar uma fonte “alternativa” de abastecimento, uma vez que o volume de água armazenado nos mananciais superficiais é mais vulnerável aos efeitos da seca do que em mananciais subterrâneos.

4.2.1.1.2. *Exposição*

A exposição foi representada por um setor de análise de secas e outro de reserva alternativa, ambos com o mesmo peso no processo de quantificação. A análise de secas visa representar a variabilidade do regime de secas na área escolhida. Para tal, foi obtida a média mensal de precipitação de cada grupo analisado. É ideal que a série histórica tenha, no mínimo, 30 anos de dados. Para este estudo, foram utilizadas séries com 35 e 38 anos.

Para a obtenção da série histórica, foram utilizados dados de postos pluviométricos e foi obtida uma média mensal de precipitação de cada bacia ou região hidrográfica. Os intervalos obtidos são de 1979 a 2014 e 1979 a 2017 para os dois objetos de estudo escolhidos. De posse desses dados, foi calculado, portanto, o SPI-12.

O SPI (*Standardized Precipitation Index*) é um índice meteorológico amplamente utilizado, desenvolvido por McKee, Doesken e Kleist (1993). É constituído da aproximação de uma série histórica de precipitação a uma distribuição gama. Após a aproximação, são calculados os valores de probabilidade de não excedência do evento de chuva e, por fim, calcula-se a variável reduzida que representa tais valores (ALBUQUERQUE, 2010; PAULO; PEREIRA, 2007). O SPI-12 é o índice que representa o acumulado de chuva de 12 meses. O

cálculo foi feito para os meses de dezembro, representando a precipitação anual para cada ano da série histórica, em cada região ou bacia hidrográfica.

Os valores do SPI-12 foram classificados de acordo com a Tabela 3. A partir dessa classificação, foi possível obter os indicadores da Análise de secas: Duração, Frequência e Severidade, referentes à seca. A duração foi quantificada através do número máximo de anos seguidos classificados como seco, independentemente da severidade (ou seja, anos seguidos em que o SPI-12 seja menor que -0,80). A frequência é a razão entre anos com ocorrência de seca (SPI-12 menor que -0,80) e todos os anos da série histórica. Por fim, a severidade foi classificada de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação do SPI-12.

Classificação	Intervalo SPI-12
Normal ou Chuvoso	$X > -0,80$
Seca Fraca	$-0,80 > X > -1,29$
Seca Moderada	$-1,29 > X > -1,59$
Seca Severa	$-1,59 > X > -1,99$
Extrema	$-1,99 > X$

Fonte: adaptado de Cunha (2008).

Por fim, a Reserva Alternativa é representada pela vazão potencial subterrânea, que difere da oferta subterrânea por considerar o valor potencial a ser explorado e não apenas o valor que é explorado, levando em conta que os mananciais superficiais são os mais vulneráveis aos impactos das secas e a reserva subterrânea pode aparecer como uma alternativa de abastecimento, reduzindo a exposição à seca.

4.2.1.2. Elaboração dos índices

Esta seção descreve os passos 2, 3 e 4, ilustrados na Figura 13.

4.2.1.2.1. Sensibilidade e exposição

As variáveis brutas são coletadas em diferentes ordens de grandeza e diferentes unidades. Por exemplo, a população é dada em número de habitantes e oferta subterrânea, em metros cúbicos por hora. De modo a deixá-las adimensionais e em uma mesma escala, foi feito o processo de normalização através das Equações 3 e 4, onde a primeira foi utilizada para variáveis que apresentam relação direta com a sensibilidade ou com a exposição (quanto maior a variável, maior a sensibilidade/exposição), e a segunda, para variáveis que apresentam relação inversa (quanto maior a variável, menor a sensibilidade/exposição).

$$I_i = \frac{X_i - Min}{Max - Min} \quad (3)$$

$$I_i = \frac{X_i - Max}{Min - Max} \quad (4)$$

I_i representa o indicador e X_i , a variável. Min e Max representam os valores mínimos e máximos fixados para cada indicador. Após o processo de normalização, os indicadores se apresentam em uma escala de 0 (menor sensibilidade/exposição) a 1 (maior sensibilidade/exposição). A fixação dos valores máximos e mínimos faz com que grupos com comportamentos mais extremos se destaquem e extrapolem o valor limite de 1.

Após o processo de normalização, inicia-se o de ponderação. Os pesos de cada indicador dentro de seu setor estão representados na Figura 12. A ponderação absoluta do indicador é obtida através da Equação 5, onde, w_i representa a ponderação absoluta para cada indicador, PS representa o peso do setor e PI_i , o peso do indicador no setor. Como exemplo: o setor “Aspectos sociais” apresenta peso 2 e o indicador “População”, dentro do setor, apresenta peso 2. Assim, o peso absoluto do indicador “População” será equivalente a 0,8.

$$w_i = \frac{PS}{\sum_{i=1}^n PI_i} \times PI_i \quad (5)$$

O índice de Sensibilidade e o índice de Exposição são calculados a partir da média ponderada dos indicadores, representada pelas Equações 6 e 7.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (7)$$

4.2.1.2.2. Vulnerabilidade

Após a finalização do passo 6, seguindo a Figura 13, para a Sensibilidade e a Exposição, é possível calcular o Índice de Vulnerabilidade. A análise de quantificação e qualificação da vulnerabilidade corresponde, portanto, aos passos 4 a 7 da Figura 13, uma vez que já quantificadas e qualificadas a sensibilidade e a exposição.

A vulnerabilidade é calculada, então, a partir dos índices de sensibilidade e de exposição utilizando a Equação 1. Para fins comparativos, o cálculo da vulnerabilidade foi realizado em dois métodos: a partir dos índices de sensibilidade e exposição obtidos na etapa de quantificação e a partir das notas finais de sensibilidade e exposição, atribuídas na etapa de qualificação, que será descrita nas próximas seções deste capítulo.

4.2.1.3. Teste de aderência

O teste de aderência foi realizado com o fim de identificar a aderência dos conjuntos de dados à distribuição normal, possibilitando estabelecer com mais clareza a etapa de qualificação dos índices. O teste se baseia no método do qui-quadrado e foi desenvolvido através de biblioteca disponibilizada no *software* R© (DELIGNETTE-MULLER; DUTANG, 2015). Os conjuntos de dados utilizados foram: os índices de sensibilidade, exposição e vulnerabilidade.

4.2.1.4. Qualificação dos índices

A qualificação consiste na divisão dos valores dos índices em diferentes níveis de intensidade (baixa, moderada, alta, muito alta ou extrema). Visando evitar viés metodológico, a qualificação foi feita a partir de seis métodos de classificação, distribuído em cinco passos de acordo com o resultado obtido no teste de aderência. Os métodos estão descritos nas seções que se seguem. Os métodos de Intervalos geométricos, quantil e otimização de Jenks foram

realizados por intermédio do *software* ArcGIS© 10.2.2.

4.2.1.4.1. *Probabilidades e Intervalos geométricos*

O Método das Probabilidades é aplicado ao conjunto de dados no qual o teste de aderência acusou, com 90% de confiança, a distribuição normal. Neste método, os intervalos das classes são estabelecidos de acordo com a média (μ) e o desvio padrão (α^2) da distribuição, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação de acordo com o Método das Probabilidades.

Classificação	Intervalo
Baixa	$X \leq \mu - \alpha^2$
Moderada	$\mu - \alpha^2 < X \leq \mu$
Alta	$\mu < X \leq \mu + \alpha^2$
Muito Alta	$\mu + \alpha^2 < X \leq 1$
Extrema	$1 < X$

Fonte: elaboração da autora.

O método dos Intervalos Geométricos é aplicado a dados com distribuições assimétricas, que cria intervalos geométricos ao minimizar a soma dos quadrados do número de elementos em cada classe, fazendo com que as classes possuam aproximadamente a mesma quantidade de elementos e que a diferença entre as classes seja consistente (FYRE, 2007). É utilizado para substituir o método das Probabilidades para os conjuntos de dados que não passarem no teste de aderência.

4.2.1.4.2. *Ad hoc*

Este método se baseia no conhecimento prévio e experiência dos usuários que estão aplicando. É amplamente utilizado nos estudos ambientais, como na elaboração de um Estudo

de Impacto Ambiental. Os usuários se reúnem e definem o intervalo numérico que deverá representar cada classe.

4.2.1.4.3. *Intervalos iguais*

As classes são divididas em intervalos com amplitude constante, apresentando faixas de valores iguais. A diferença de uma classe para a outra consistirá no número de feições agrupadas em cada uma (RAMOS *et al.*, 2016). Como vantagem, essa classe apresenta a fácil aplicabilidade pois a metodologia de cálculo é simples e é mais compreensiva para o público geral. Já como desvantagem, surge o fato de que essa classificação não leva em conta a distribuição dos dados para a definição das classes, havendo a possibilidade de serem geradas classes vazias (SLOCUM *et al.*, 2009).

4.2.1.4.4. *Quantil*

Esse método apresenta como principal objetivo gerar classes que apresentem a mesma quantidade de elementos; dessa forma, não são geradas classes vazias. A diferença entre as classes passa a ser, então, a amplitude. Outra vantagem do método é o potencial de enfatizar as diferenças dentro das faixas de valores (RAMOS *et al.*, 2016; SLOCUM *et al.*, 2009).

4.2.1.4.5. *Otimização de Jenks*

Este método é também conhecido como o método das quebras naturais, e foi desenvolvido por Fisher (1958) e aprimorado por Jenks (1977). É amplamente aplicado na técnica do mapeamento coroplético. A otimização de Jenks tem como princípio minimizar as diferenças dos valores de elementos de uma mesma classe e maximizar as diferenças entre as classes (RAMOS *et al.*, 2016; FINN *et al.*, 2006). A classificação é feita com base em um processo iterativo que visa otimizar o valor do Melhor Ajuste de Variância (índice utilizado para medir a qualidade da distribuição dos elementos dentro de cada classe considerando a similaridade entre esses elementos) (RAMOS *et al.*, 2016; SLOCUM *et al.*, 2009). Para melhor compreensão do processo de cálculo do método de Otimização de Jenks, é recomendada a leitura da publicação de Ramos *et al.* (2016).

4.2.1.4.6. Classificação final

Os métodos de classificação dividiram os valores em cinco classes de sensibilidade ou exposição: baixa, moderada, alta, muito alta ou extrema. A classificação “extrema” caracteriza grupos que extrapolam o valor limite de 1. A fim de sintetizar os cinco métodos, a classificação final foi feita a partir da atribuição de notas para cada grupo de acordo com suas classificações adquiridas. As notas para cada classe estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Atribuição das notas por classificação.

Classe	Nota
Baixa	0
Moderada	1
Alta	2
Muito Alta	3
Extrema	4

Fonte: elaboração da autora.

A nota final (NF) foi obtida a partir da Equação 8, onde GB_i , GM_i , GA_i , GMA_i e GE_i representam o número de vezes que cada grupo foi classificado como baixa, moderada, alta, muito alta e extrema, respectivamente, e NB , NM , NA , NMA e NE representam a nota de cada classe, de acordo com a Tabela 5. A partir da nota final, a sensibilidade, a exposição e a vulnerabilidade são classificadas entre as cinco classes já introduzidas.

$$NF = GB_i \times NB + GM_i \times NM + GA_i \times NA + GMA_i \times NMA + GE_i \times NE \quad (8)$$

4.2.1.5. Georreferenciamento e espacialização dos resultados

Os resultados obtidos a partir da qualificação foram, então, georreferenciados e espacializados com utilização do software ArcGIS© 10.2.2. Os dados foram adicionados à tabela de atributos de suas determinadas feições geográficas (que representam as bacias e/ou regiões hidrográficas). Foi realizada a categorização das informações a partir das classificações resultantes, possibilitando a elaboração dos mapas temáticos de sensibilidade, exposição e vulnerabilidade. Os dados foram processados em *datum* SIRGAS2000.

4.2.2. *Análise 2: Influência da capacidade adaptativa em escala municipal*

A segunda análise foi elaborada seguindo o mesmo passo a passo ilustrado na Figura 13, passando pelo processamento dos dados, normalização, ponderação, teste de aderência, qualificação dos índices e, por fim, a espacialização dos resultados. A segunda análise, contudo, é aplicada em escala municipal e considera a influência da capacidade adaptativa na vulnerabilidade. Nem todos os indicadores foram disponibilizados em escala municipal. Para esses casos, foi elaborado um índice de bacia e distribuído o valor entre os municípios. As próximas seções descrevem estes processos com maior detalhe.

4.2.2.1. Desenvolvimento da análise

No processo do cálculo da sensibilidade, não foram adquiridos os indicadores do setor das Condições Hídricas em escala municipal. Portanto, foi criado o Índice de Bacia das Condições Hídricas. O Índice foi feito a partir de média ponderada dos indicadores do setor das Condições Hídricas, onde o processo de normalização e ponderação foi o mesmo utilizado na Análise 1 deste trabalho. Cada município se encontra dentro do território de uma bacia/região hidrográfica, então aferiu-se, para cada município, o valor do Índice de sua respectiva bacia, onde esse valor representa todo o setor das Condições Hídricas para o cálculo da sensibilidade por município. Os pesos das variáveis e dos setores foram mantidos.

Diferentemente da Análise 1, nesta segunda análise considerou-se apenas o setor da análise de secas para o cálculo da exposição. Seguindo o mesmo método, foi obtido o SPI-12 para cada município em base nos dados de postos pluviométricos, definindo-se os valores dos indicadores de Duração, Severidade e Frequência. Os pesos das variáveis foram mantidos.

4.2.2.1.1. *Capacidade adaptativa*

A capacidade adaptativa consiste de ações antrópicas que visem minimizar os efeitos das secas, desde grandes obras de infraestrutura hídrica a políticas de gestão de recursos hídricos. É composta por quatro indicadores, onde três foram agrupados como dados de bacia e um foi adquirido em escala municipal. Assim como o que foi feito com o Índice de Bacia das Condições Hídricas, desenvolveu-se o Índice de Bacia de Adaptabilidade, que consiste de três indicadores, representados com seus respectivos pesos na Tabela 6: a razão entre os quilômetros

de adutoras construídos e a área total da bacia hidrográfica; a presença de uma unidade de gestão (CBH) ativa e atuante (marcado como 1 para sim e 0 para não); e a capacidade de reservação por bacia, que considera a capacidade de volume de armazenamento total de todos os reservatórios de cada bacia.

Tabela 6 - Indicadores utilizados no Índice de Bacia de Adaptabilidade

Indicador	Peso
Km Adutoras / Área da bacia	2
Unidade de gestão	1
Capacidade de reservação	2

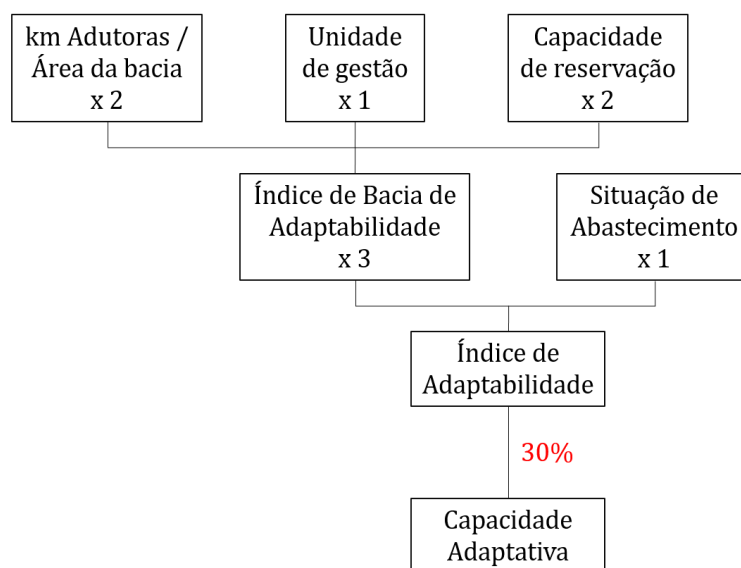
Fonte: elaboração da autora.

O quarto indicador, adquirido em escala municipal, trata-se da situação de abastecimento, disponibilizado pela ANA, datado de 2015. O valor indica a situação dos mananciais e dos sistemas produtores de água quanto ao atendimento das demandas hídricas futuras, identificando a necessidade de investimentos em infraestrutura hídrica para a construção de sistemas novos ou ampliação de sistemas existentes.

De posse dos dados normalizados em escala de 0 a 1, a ponderação é feita atribuindo um peso 3 ao Índice de Bacia de Adaptabilidade e 1 à Situação de Abastecimento. A partir de média ponderada, obtém-se, então, o Índice de Adaptabilidade. Por fim, o valor da Capacidade Adaptativa será referente a 30% do valor do Índice de Adaptabilidade. Os 30% foram definidos partindo do princípio de que a Capacidade Adaptativa somente não é capaz de reduzir todos os efeitos da seca e anular a sensibilidade e/ou a exposição. Por isso, considera-se apenas um percentual do seu valor.

A Figura 14 apresenta uma síntese do processo de cálculo da capacidade adaptativa em escala municipal, ilustrando os pesos utilizados para o cálculo do Índice de Bacia e, posteriormente, para o Índice de Adaptabilidade.

Figura 14 - Diagrama do cálculo da Capacidade Adaptativa.



Fonte: elaboração da autora.

4.2.2.1.2. Vulnerabilidade

Agora que a vulnerabilidade considera o poder da capacidade adaptativa (CA) de minimizar os impactos da seca, não será mais utilizada a Equação 1 para o cálculo do índice, como foi feito na Análise 1. Entretanto, o cálculo continua simples, como apresenta a Equação 9:

$$V = S + E - CA \quad (9)$$

O método para a quantificação e qualificação da vulnerabilidade segue o mesmo que foi aplicado na Análise 1, passando pela quantificação do índice pelo método dos índices e das notas, realizando o teste de aderência para os conjuntos de dados, desenvolvendo a qualificação da vulnerabilidade e o processo de espacialização dos resultados.

4.2.3. Avaliação da percepção dos impactos da seca

A avaliação foi feita mediante aplicação de questionário elaborado com o objetivo de identificar vulnerabilidades nos sistemas de recursos hídricos do Estado de São Paulo, com foco na seca que afetou o Estado entre o fim de 2013, 2014 e 2015. As perguntas foram agrupadas de acordo com os impactos da seca em diferentes setores: dos diversos usos da água

e saneamento, dos conflitos gerados, da disponibilidade de água, das comunidades, dos setores econômicos e dos setores ambientais/recreacionais.

O questionário foi aplicado por intermédio de plataforma online entre profissionais com conhecimento e experiência na gestão de recursos hídricos do Estado, distribuídos entre representantes do poder público, dos setores usuários e da sociedade civil, dentre as vinte e duas UGRHIS do estado de São Paulo. A aplicação também ocorreu para o estado do Ceará. Entretanto, o número de respostas obtidas não foi satisfatório para que o resultado pudesse ser considerado nesse estudo.

A estrutura completa do questionário é apresentada no Anexo A deste documento.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os principais resultados obtidos a partir da aplicação das metodologias descritas no capítulo anterior, demonstrando o comportamento dos índices elaborados e apontando sua distribuição espacial. Será feita, ainda, uma comparação entre os métodos de quantificação e qualificação da vulnerabilidade entre diferentes escalas e com e sem a influência da capacidade adaptativa.

5.1. Método 1: Análise da vulnerabilidade em escala de bacia/região hidrográfica

O primeiro método foi aplicado em dois objetos de estudo: os estados de São Paulo e Ceará, apresentados no terceiro capítulo desse documento. O estudo foi aplicado em escala de bacias e regiões hidrográficas. Para o Ceará, foram utilizadas as delimitações de suas doze bacias hidrográficas. Já no estado de São Paulo, seguiu-se as delimitações das vinte e duas UGHRI.

5.1.1. Análise do processo de quantificação

A etapa de quantificação exhibe os primeiros resultados almejados do desenvolvimento desse estudo. Foram calculados os índices de Sensibilidade e Exposição para cada grupo hidrográfico dos dois objetos de estudo. Então, foi possível calcular o índice de Vulnerabilidade a partir da Equação 1. Os valores dos índices estão apresentados na Tabela 7, para o estado de São Paulo, e na Tabela 8, para o Ceará. As tabelas apresentam os valores para a vulnerabilidade obtidos através da soma dos índices de sensibilidade e exposição e através da soma das notas de sensibilidade e exposição.

Tabela 7 - Índices resultantes para São Paulo.

UGRHI	S	E	V (índices)	V (notas)
Mantiqueira	0,404	0,355	0,758	0,533
Paraíba do Sul	0,382	0,533	0,914	1,033
Litoral Norte	0,384	0,731	1,114	1,633
Pardo	0,255	0,455	0,710	0,633
Piracicaba/Capivari/Jundiaí	0,622	0,419	1,041	0,933
Alto Tiete	1,288	0,732	2,020	2,633
Baixada Santista	0,434	0,598	1,032	1,267
Sapucaí/Grande	0,235	0,648	0,883	1,033
Mogi-Guaçu	0,322	0,345	0,667	0,467
Tiete/Sorocaba	0,379	0,620	0,999	1,367
Ribeira de Iguape/Litoral Sul	0,370	0,518	0,888	0,867
Baixo Pardo/Grande	0,229	0,371	0,600	0,000
Tiete/Jacaré	0,247	0,523	0,770	0,533
Alto Paranapanema	0,242	0,616	0,859	0,933
Turvo/Grande	0,231	0,574	0,805	0,667
Tiete/Batalha	0,236	0,574	0,810	0,733
Médio Paranapanema	0,220	0,641	0,861	0,900
São José dos Dourados	0,216	0,713	0,928	1,100
Baixo Tiete	0,226	0,610	0,836	0,800
Aguapeí	0,250	0,610	0,860	1,067
Peixe	0,233	0,532	0,765	0,633
Pontal do Paranapanema	0,215	0,584	0,799	0,600

Fonte: elaboração da autora.

Tabela 8 - Índices resultantes para o Ceará.

Bacias Hidrográficas	S	E	V (índices)	V (notas)
Alto Jaguaribe	0,348	0,864	1,212	1,559
Médio Jaguaribe	0,264	0,490	0,755	1,019
Baixo Jaguaribe	0,716	0,713	1,429	2,145
Rio Banabuiú	0,384	0,521	0,905	1,289
Rio Curu	0,310	0,674	0,984	1,294
Rio Salgado	0,525	0,639	1,164	1,689
Região Metropolitana de Fortaleza	1,301	0,887	2,188	3,489
Rio Acaraú	0,421	1,110	1,531	1,952
Rio Coreaú	0,364	0,902	1,266	1,630
Litoral	0,393	0,884	1,277	1,671
Sertões de Crateús	0,283	1,300	1,584	1,867
Serra da Ibiapaba	0,276	1,288	1,564	1,840

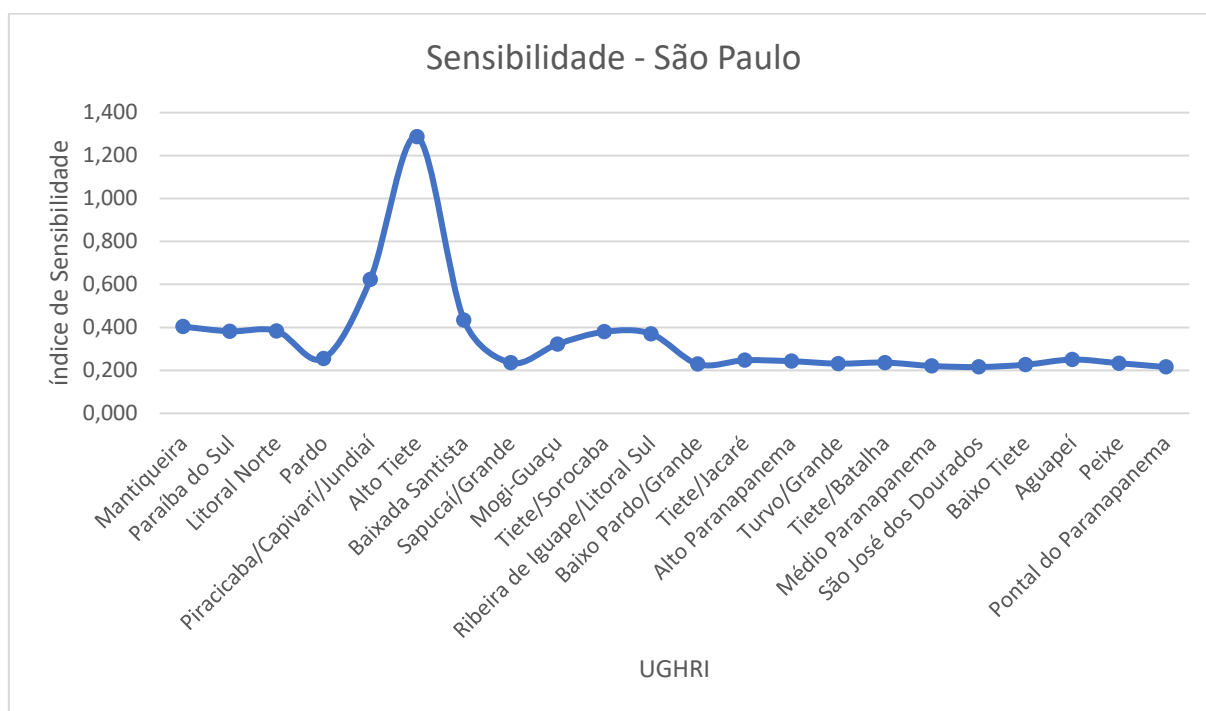
Fonte: elaboração da autora.

Vale ressaltar que os índices de exposição e sensibilidade estão em escalas de 0 a 1, onde 0 significa menor exposição/sensibilidade e 1, maior exposição/sensibilidade. Bacias e regiões que apresentem nesses índices valores superiores a 1, se enquadram na classificação de cenários “extremos”. Sendo um resultado da soma da exposição e da sensibilidade, a vulnerabilidade é representada em escala de 0 a 2, onde 0 significa menor vulnerabilidade e 2, maior vulnerabilidade. Assim como no caso dos outros índices, valores superiores a 2 apresentam cenários “extremos”.

Em ambos os objetos de estudo, é possível observar a ocorrência do cenário extremo na sensibilidade da bacia/região que enquadra a sua maior região metropolitana (Região Metropolitana de São Paulo e Região Metropolitana de Fortaleza), indicando que há a necessidade de maior atenção às características sociais, econômicas e sanitárias de áreas mais populosas em períodos de estiagem, além, claro, das condições hídricas de oferta e demanda.

A Figura 15 exibe a distribuição dos valores de sensibilidade através das UGRHI em São Paulo. É notável a grande diferença do nível de Sensibilidade da UGRHI Alto Tietê (onde está localizada a Região Metropolitana de São Paulo) para as outras UGRHI.

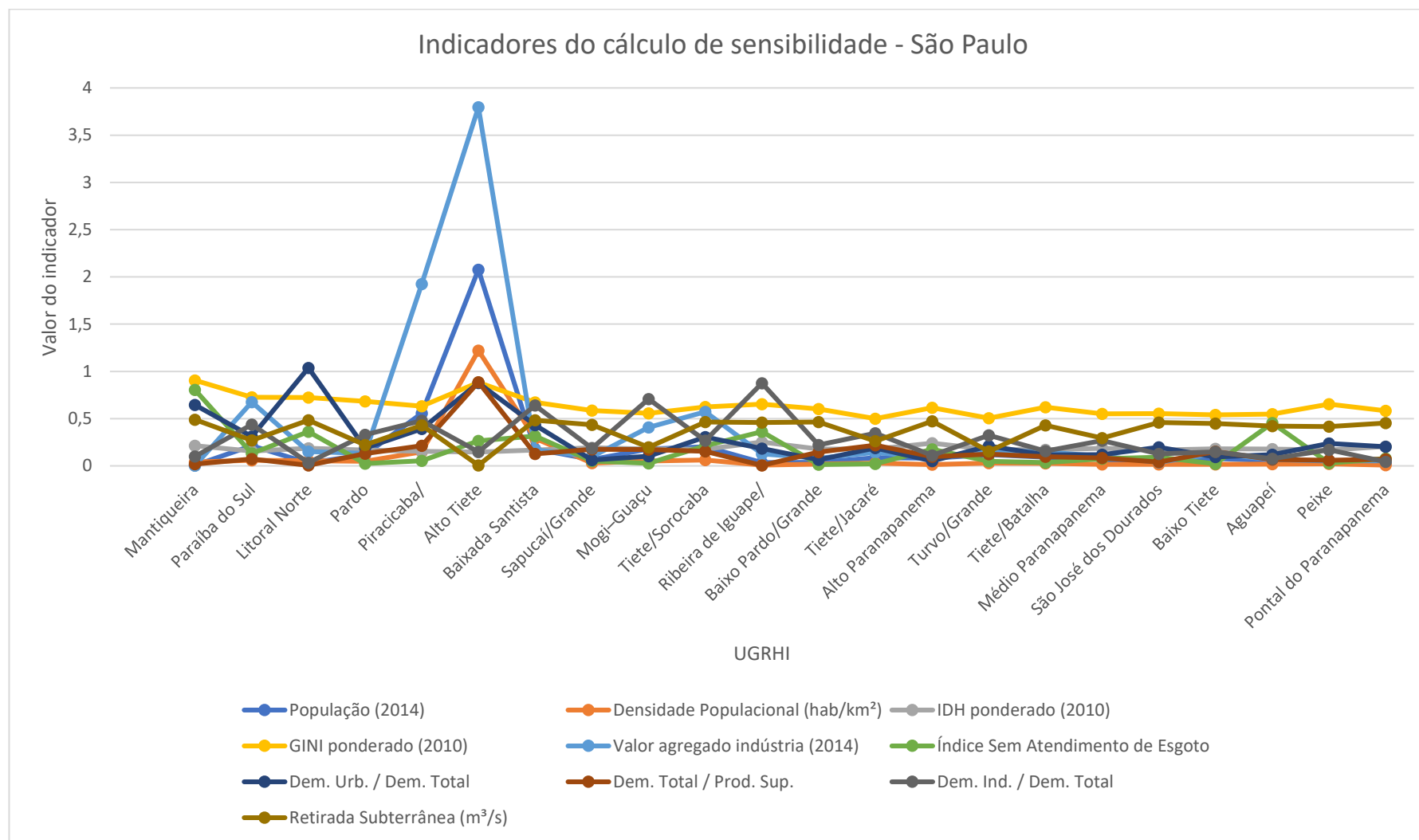
Figura 15 - Índice de Sensibilidade para São Paulo.



Fonte: elaboração da autora.

A fim de identificar a(s) principal(is) causa(s) para o alto valor da sensibilidade da região do Alto Tietê, foi elaborada a Figura 16, que exibe os valores normalizados e ponderados dos dez indicadores utilizados para o cálculo da sensibilidade em São Paulo. Observa-se, então, que os valores do PIB industrial, população e densidade populacional se destacam dentre as demais UGRHI. A razão entre a demanda urbana e a demanda total do Alto Tietê, assim como o Índice de Gini e a razão entre a demanda total e a oferta total, encontram-se próximos ao valor limite do cenário extremo (valor igual a 1). Já a razão da demanda industrial apresenta um valor de baixa sensibilidade. Conclui-se que a atividade industrial não deve ser muito impactada em períodos de escassez hídrica uma vez que há uma menor demanda hídrica relativa para este setor. Pode-se inferir, portanto, que a maior sensibilidade da Região Metropolitana de São Paulo, diante de um cenário de escassez hídrica, seriam sua grande quantidade de habitantes e o adensamento espacial desses habitantes.

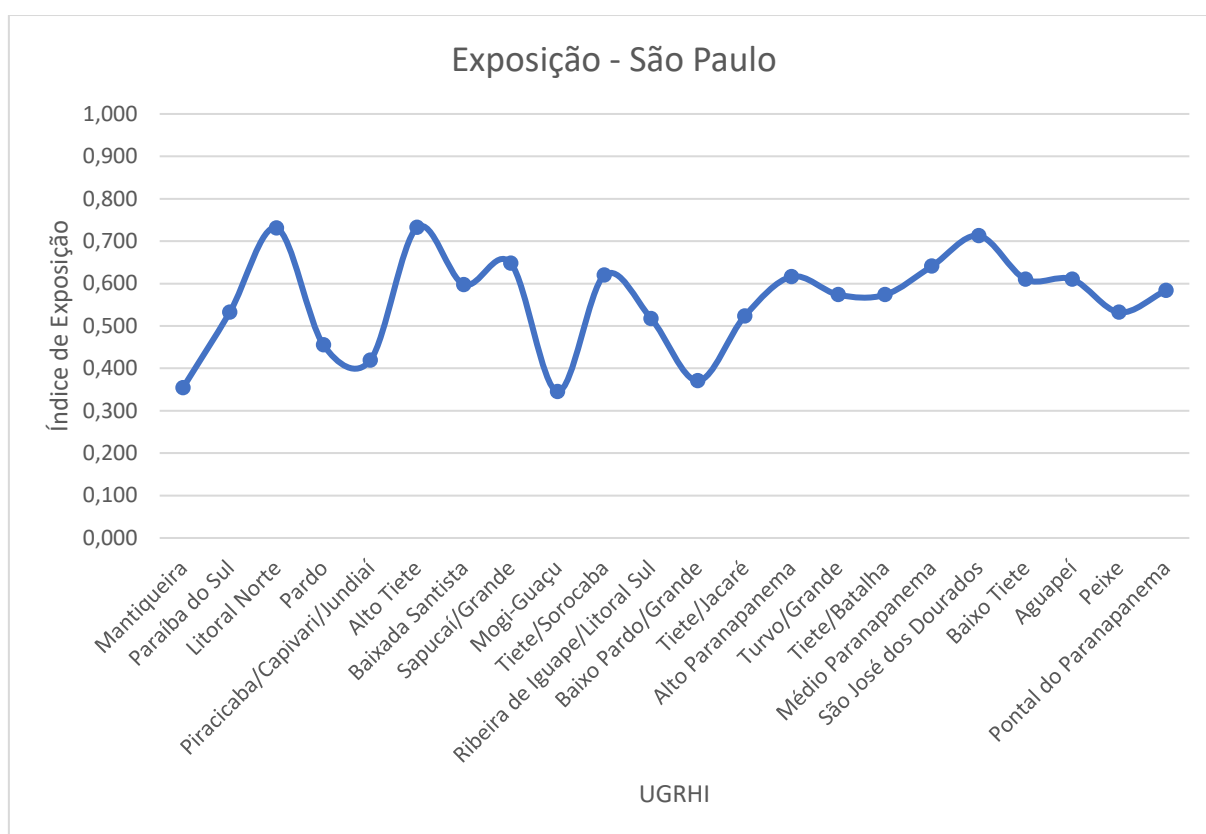
Figura 16 - Valores dos indicadores da sensibilidade para São Paulo.



Fonte: elaboração da autora.

A exposição, ilustrada na Figura 17, não apresenta grande amplitude de valores como a sensibilidade (Figura 15), com valores entre 0,35 e 0,75 (amplitude de 0,4) e nenhuma UGRHI em cenário extremo. Esse resultado é esperado, pois a exposição se baseia, principalmente, na variabilidade da série histórica de precipitação, medida por intermédio do SPI-12. Essa variação não tende a ser grande em regiões com o clima de São Paulo.

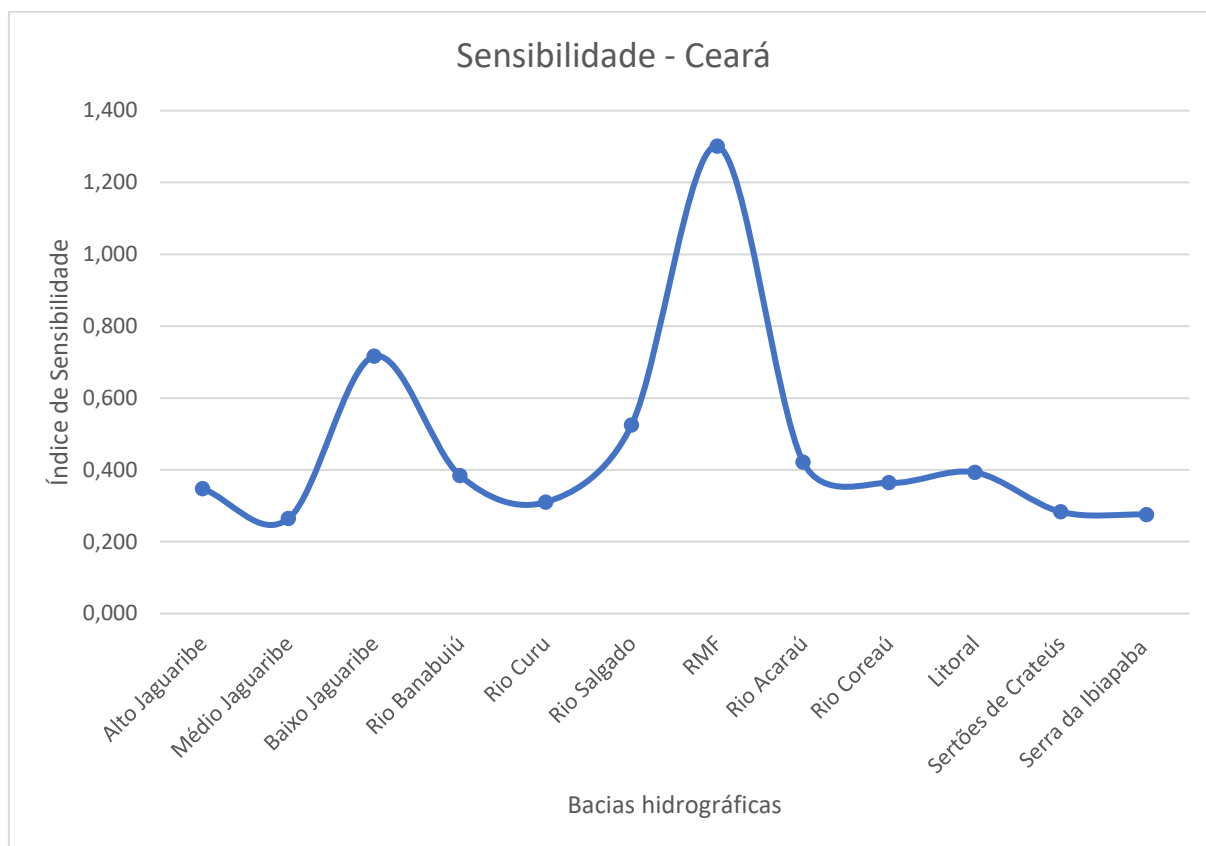
Figura 17 - Índice de Exposição para São Paulo.



Fonte: elaboração da autora.

A bacia da Região Metropolitana de Fortaleza apresenta Índice de Sensibilidade (Figura 18) semelhante ao da UGRHI Alto Tietê, no estado de São Paulo (Figura 15). Contudo, a bacia do Baixo Jaguaribe apresenta um índice de valor mais acentuado, ainda que não se enquadre no cenário extremo.

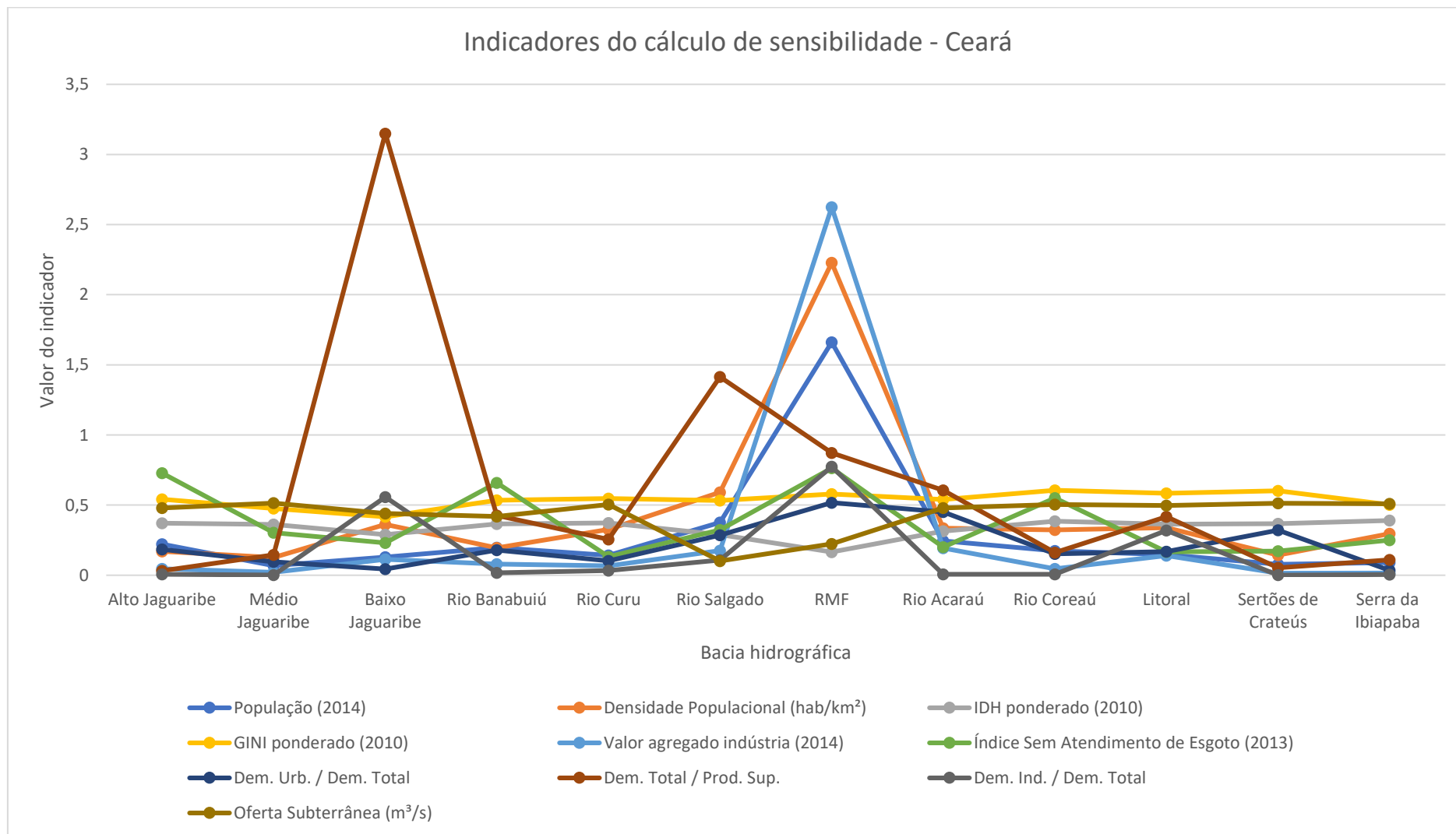
Figura 18 - Índice de Sensibilidade para o Ceará.



Fonte: elaboração da autora.

A Figura 19 apresenta os valores normalizados e ponderados dos dez indicadores utilizados para o cálculo da sensibilidade no estado do Ceará. Assim como na UGRHI Alto Tietê, as influências da população, densidade populacional e PIB industrial da Região Metropolitana de Fortaleza são as mais fortes no cálculo da sensibilidade. Pode-se inferir, portanto, que locais populosos e demograficamente adensados tendem a ser mais sensíveis à seca. Apesar da grande influência da renda industrial apresentada, recomenda-se uma análise dos setores industriais mais ativos na região a ser estudada a fim de encontrar relação da atividade industrial com o uso do recurso água antes de inferir sua importância na sensibilidade à seca. Já na bacia do Baixo Jaguaribe, o indicador mais influente é a razão entre demanda total e oferta hídrica. Essa bacia apresenta grandes perímetros irrigados e áreas com intensa atividade de carcinicultura. Estas atividades apresentam grande demanda hídrica e podem ter proporcionado o alto valor da razão para esta bacia.

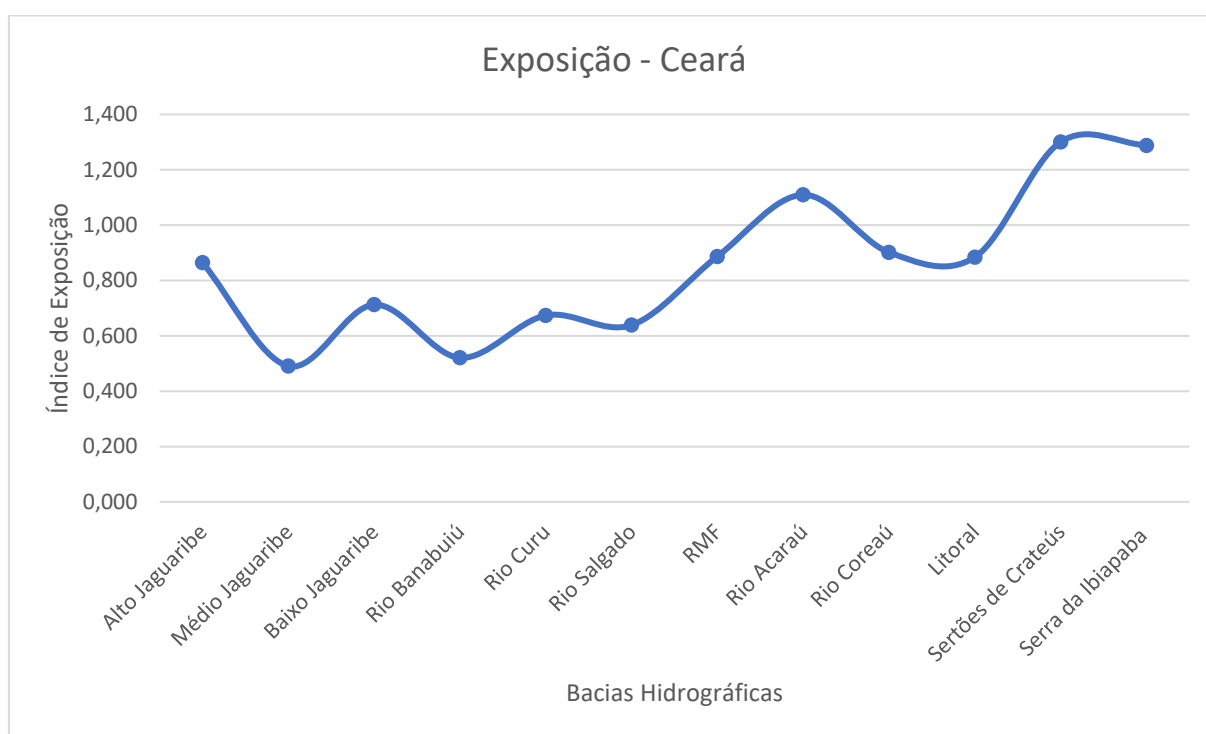
Figura 19 - Valores dos indicadores da sensibilidade para o Ceará.



Fonte: elaboração da autora.

A exposição no estado do Ceará (Figura 20) apresenta valores bem superiores aos encontrados para São Paulo (Figura 17). A amplitude dos elementos também é superior, com valores indo de 0,49 até 1,30, sendo o dobro da amplitude da exposição em São Paulo. O Ceará conta, ainda, com três bacias no cenário extremo de exposição. A variabilidade climática no Ceará é, portanto, superior à de São Paulo, tornando-o mais exposto aos períodos de estiagem. Vale observar, entretanto, que a exposição está considerando apenas elementos de variabilidade climática. Seria ideal, portanto, adicionar informações sobre o volume de precipitação, uma vez que uma alta variabilidade com uma média de 1000mm de precipitação anual é um cenário diferente de uma média de 500mm de precipitação anual.

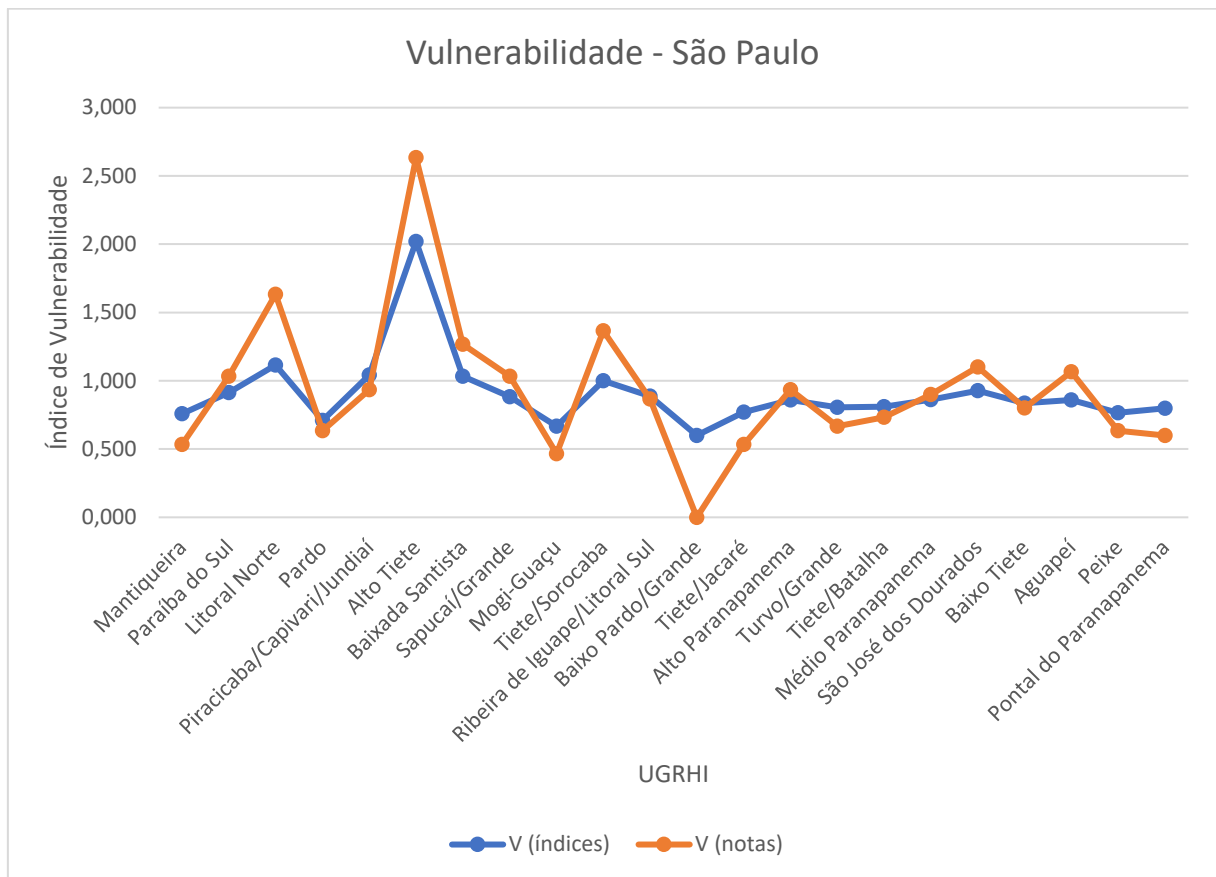
Figura 20 - Índice de Exposição para o Ceará.



Fonte: elaboração da autora.

A Figura 21 ilustra um comparativo dos índices de vulnerabilidades obtidos através dos índices de exposição e sensibilidade e das notas de exposição e sensibilidade para o estado de São Paulo. Considerando a escala da vulnerabilidade de 0 a 2, observa-se que, para ambos os métodos, a vulnerabilidade é extrema apenas na UGRHI Alto Tietê. É possível observar que as curvas para os dois métodos possuem comportamento semelhante, ainda que o método das notas apresente picos mais acentuados.

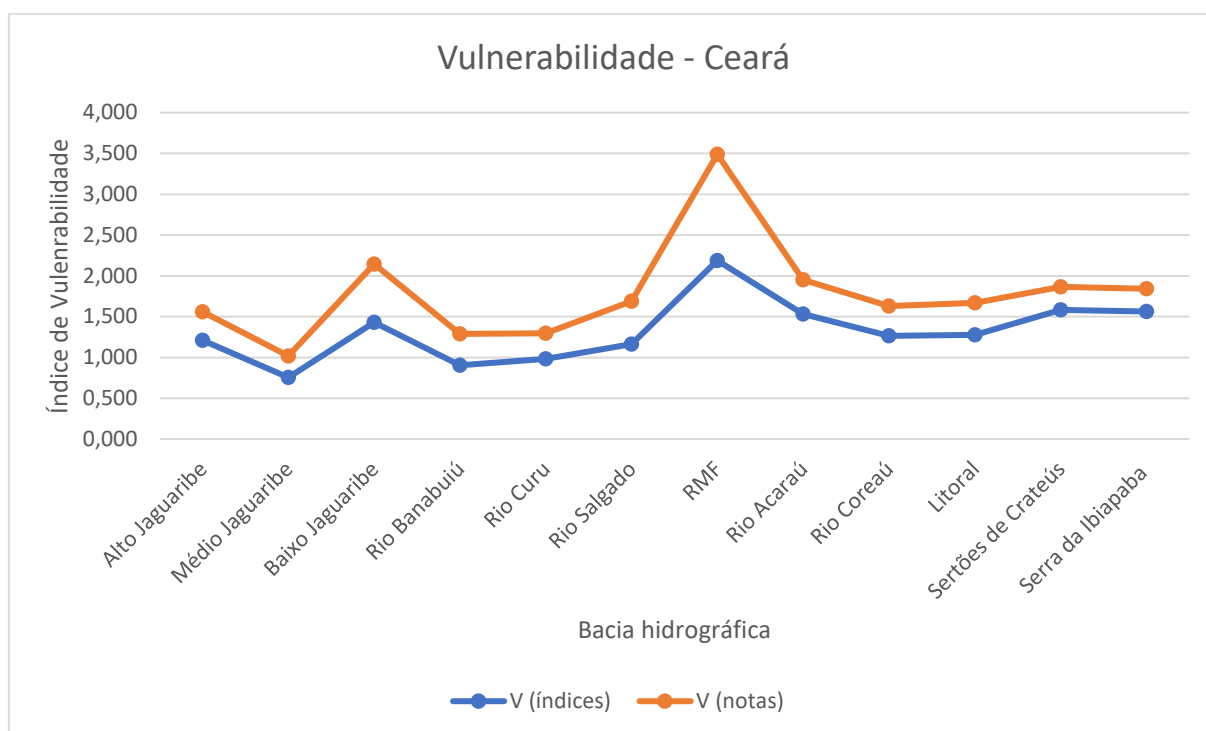
Figura 21 - Índices de Vulnerabilidade para São Paulo.



Fonte: elaboração da autora.

Para o estado do Ceará, os índices de vulnerabilidade estão ilustrados na Figura 22. Há uma maior diferença nos valores entre os métodos dos índices e notas, mas o comportamento é bastante similar. Como os valores obtidos a partir do método das notas são mais altos para o Ceará, duas bacias são caracterizadas como situação extrema (valores acima de 2,0): Baixo Jaguaribe e RMF. Vale ressaltar que essas duas bacias apresentaram valores de sensibilidade mais altos que as demais. Já no método dos índices, apenas a RMF foi caracterizada como extrema vulnerabilidade. Analisando as curvas e as linhas de tendência linear, pode-se inferir que ambos os métodos retratam a mesma tendência para o índice de vulnerabilidade e, portanto, os dois podem ser utilizados na análise da vulnerabilidade.

Figura 22 - Índices de Vulnerabilidade para o Ceará.



Fonte: elaboração da autora.

5.1.2. Análise do processo de qualificação

As classificações finais da sensibilidade, exposição e vulnerabilidade para o estado de São Paulo estão apresentadas na Tabela 9. Observa-se que, como foi notado na Figura 15 (página 65), a sensibilidade é relativamente constante entre as UGHRI. As classificações finais de sensibilidade e vulnerabilidade entre alta, muito alta e extrema estão predominantemente distribuídas entre as UGHRI que estão inseridas na Macrometrópole Paulista: Paraíba do Sul, Litoral Norte, Piracicaba/Capivari/Jundiaí, Alto Tietê, Baixada Santista, Tietê/Sorocaba, e Ribeira do Iguape/Litoral Sul. A Tabela 10 exhibe quantas UGHRI foram enquadradas em cada classe para cada índice elaborado. O cenário de sensibilidade em 50% do estado é favorável. A vulnerabilidade pelo método das notas oscila entre moderada, alta e muito alta, em sua maioria, enquanto que a vulnerabilidade pelo método dos índices conta com uma distribuição mais equilibrada de UGHRI classificadas entre baixa a muito alta.

Tabela 9 - Qualificação da vulnerabilidade à seca em São Paulo.

UGRHI	Sensibilidade	Exposição	V (índices)	V (notas)
Mantiqueira	ALTA	BAIXA	BAIXA	MODERADA
Paraíba do Sul	ALTA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA
Litoral Norte	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
Pardo	MODERADA	MODERADA	BAIXA	MODERADA
Piracicaba	MUITO ALTA	BAIXA	MUITO ALTA	ALTA
Alto Tiete	EXTREMA	MUITO ALTA	EXTREMA	EXTREMA
Baixada Santista	MUITO ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
Sapucai/Grande	BAIXA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
Mogi-Guaçu	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
Tiete/Sorocaba	ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
Ribeira de Iguape	ALTA	MODERADA	ALTA	ALTA
Baixo Pardo/Grande	BAIXA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
Tiete/Jacaré	BAIXA	MODERADA	BAIXA	MODERADA
Alto Paranapanema	BAIXA	ALTA	MODERADA	ALTA
Turvo/Grande	BAIXA	MODERADA	MODERADA	MODERADA
Tiete/Batalha	BAIXA	MODERADA	MODERADA	MODERADA
Médio Paranapanema	BAIXA	ALTA	ALTA	ALTA
São José	BAIXA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA
Baixo Tiete	BAIXA	ALTA	MODERADA	ALTA
Aguapeí	MODERADA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
Peixe	BAIXA	MODERADA	BAIXA	MODERADA
Pontal Paranapanema	BAIXA	MODERADA	MODERADA	MODERADA

Fonte: elaboração da autora.

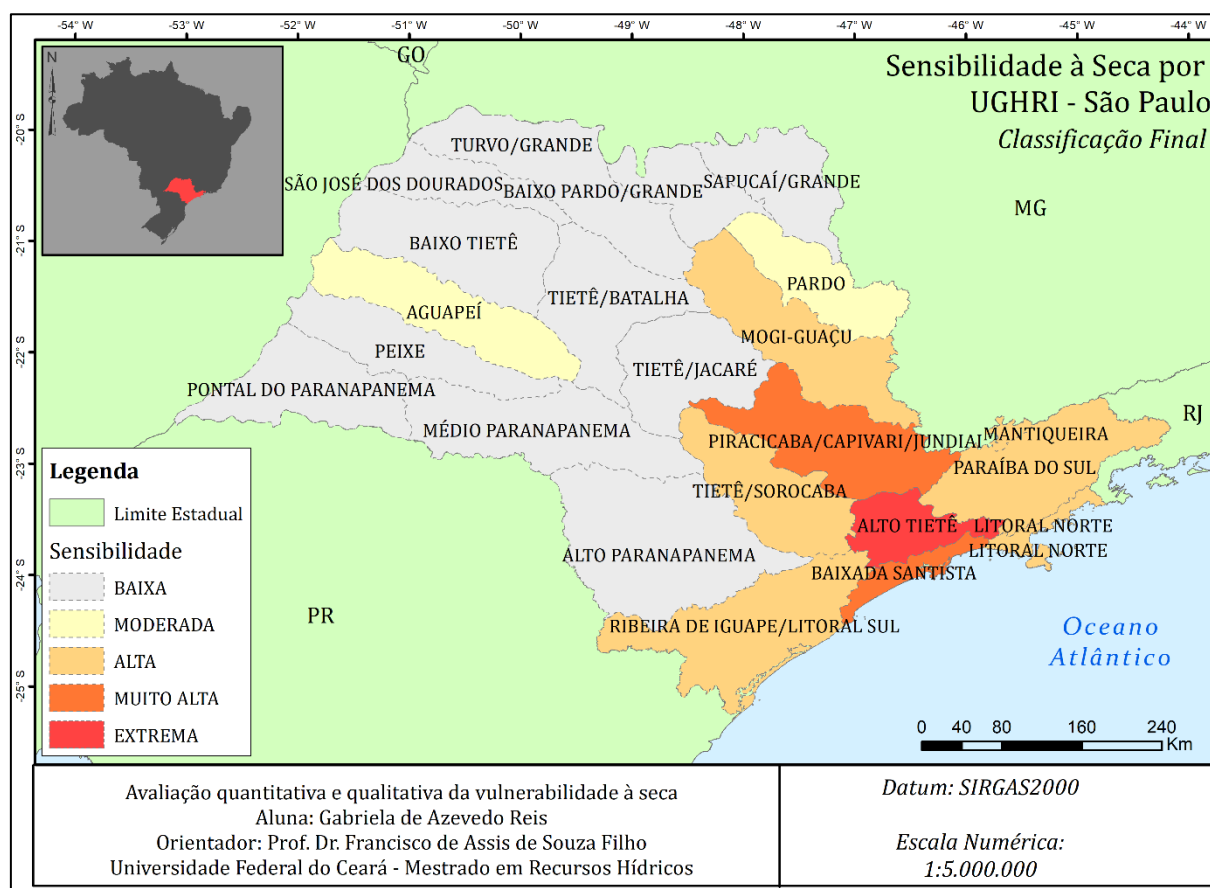
Tabela 10 - Quantidade de UGRHI em cada classificação para cada índice.

	BAIXA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
Sensibilidade	11	2	6	2	1
Exposição	4	9	6	3	0
V (índices)	6	5	6	4	1
V (notas)	2	7	5	7	1

Fonte: elaboração da autora.

Através da Figura 23 é possível observar que grande parte do estado se encontra em situação de baixa e moderada sensibilidade à seca. Há a ocorrência de uma região mais sensível no estado de São Paulo. A UGHRI Alto Tietê, em condição de extrema sensibilidade, comporta a área da RMSP, enquanto que as UGHRI Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Baixada Santista, em condição de sensibilidade muito alta, comportam, respectivamente, a Região Metropolitana de Campinas e a Região Metropolitana da Baixada Santista. Pode-se observar que a dinâmica de grandes metrópoles e aglomerados urbanos se enquadram em maior sensibilidade à seca por apresentar dinâmicas sociais e econômicas mais complexas.

Figura 23 - Distribuição da Sensibilidade por UGHRI em São Paulo.

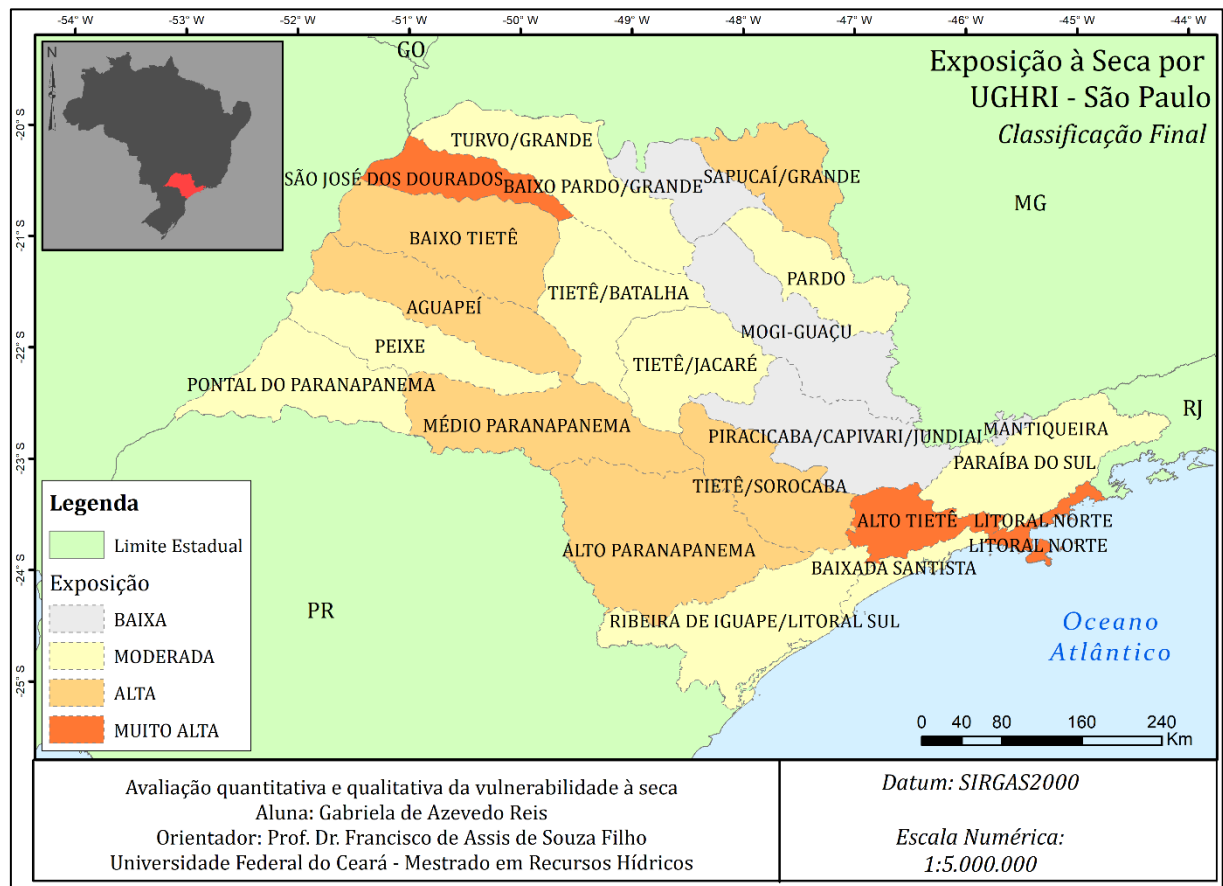


Fonte: elaboração da autora.

A classificação final da exposição não apresentou nenhuma UGHRI em situação de exposição extrema à seca (Figura 24). Apesar de algumas UGHRI se destacarem (Alto Tietê, Litoral Norte e São José dos Dourados), a distribuição apresenta alguns grupos com classificação mais uniforme, exibindo áreas com classificação baixa e moderada e áreas com

classificação alta. Vale observar, ainda, a ocorrência da alta exposição à seca isoladamente na UGHRI Sapucaí/Grande.

Figura 24 - Distribuição da Exposição por UGHRI em São Paulo.

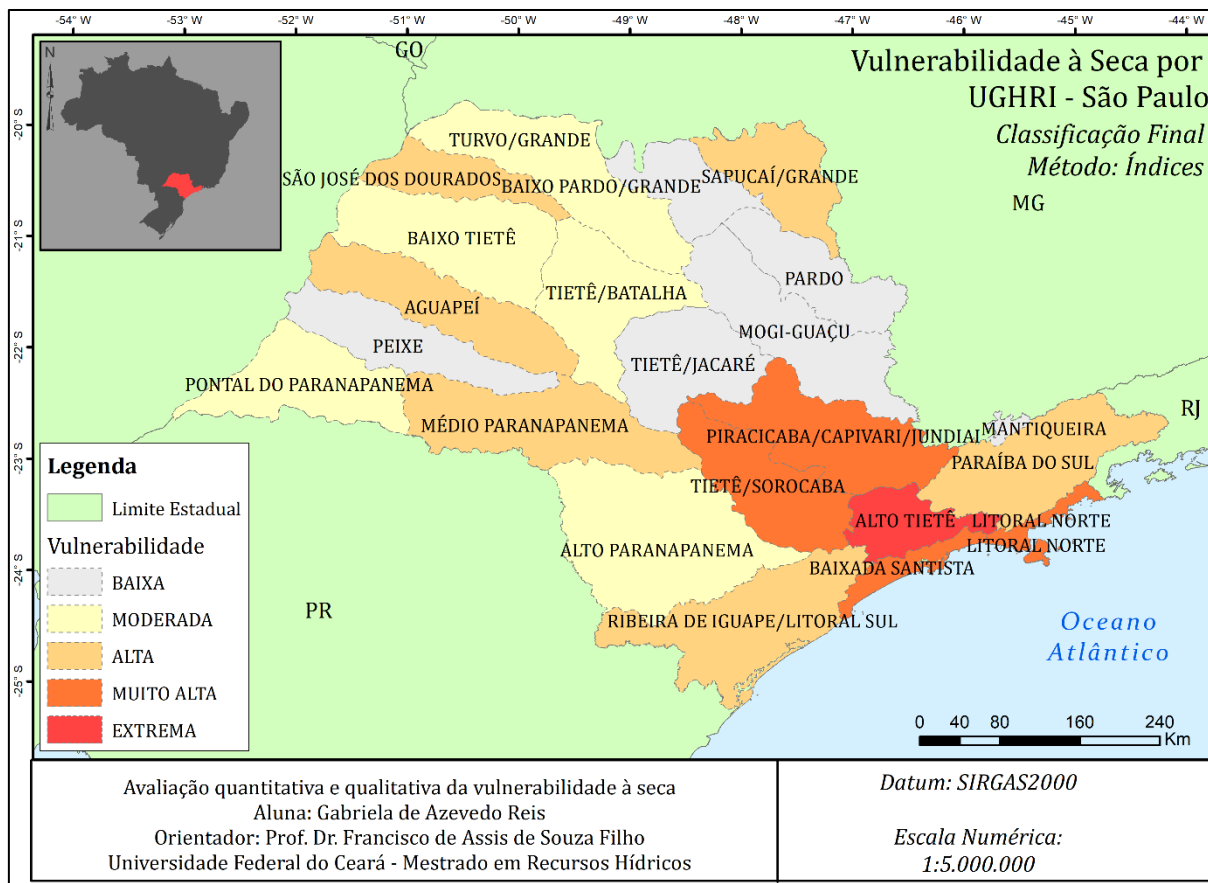


Fonte: elaboração da autora.

Por fim, a Figura 25 e a Figura 26 apresentam, respectivamente, a vulnerabilidade por índices e a vulnerabilidade por notas. A qualificação método das notas apresenta um cenário mais crítico, com mais unidades classificadas com vulnerabilidade alta e muito alta. Contudo, a diferença na qualificação da vulnerabilidade entre os dois métodos não é tão grande. Apesar de 8 das 22 UGRHIs apresentarem diferença entre uma classificação e outra, a diferença é sempre de apenas uma classe, não havendo, por exemplo, qualificação como baixa vulnerabilidade em um método e qualificação como alta vulnerabilidade no outro método em nenhuma das UGRHIs. Em ambos os métodos, a região da Macrometrópole Paulista apresenta uma maior tendência à vulnerabilidade à seca. Em algumas UGRHIs, como Baixada Santista e Paraíba do Sul, apresentaram exposição moderada, mas vulnerabilidade alta ou muito alta. Já a UGHRI Sapucaí/Grande, classificada com baixa sensibilidade e alta exposição, apresenta

vulnerabilidade alta ou muito alta. Dependendo do grupo avaliado, pode-se observar que a sensibilidade ou a exposição podem ter valor tão significativo que reflete majoritariamente no resultado da vulnerabilidade.

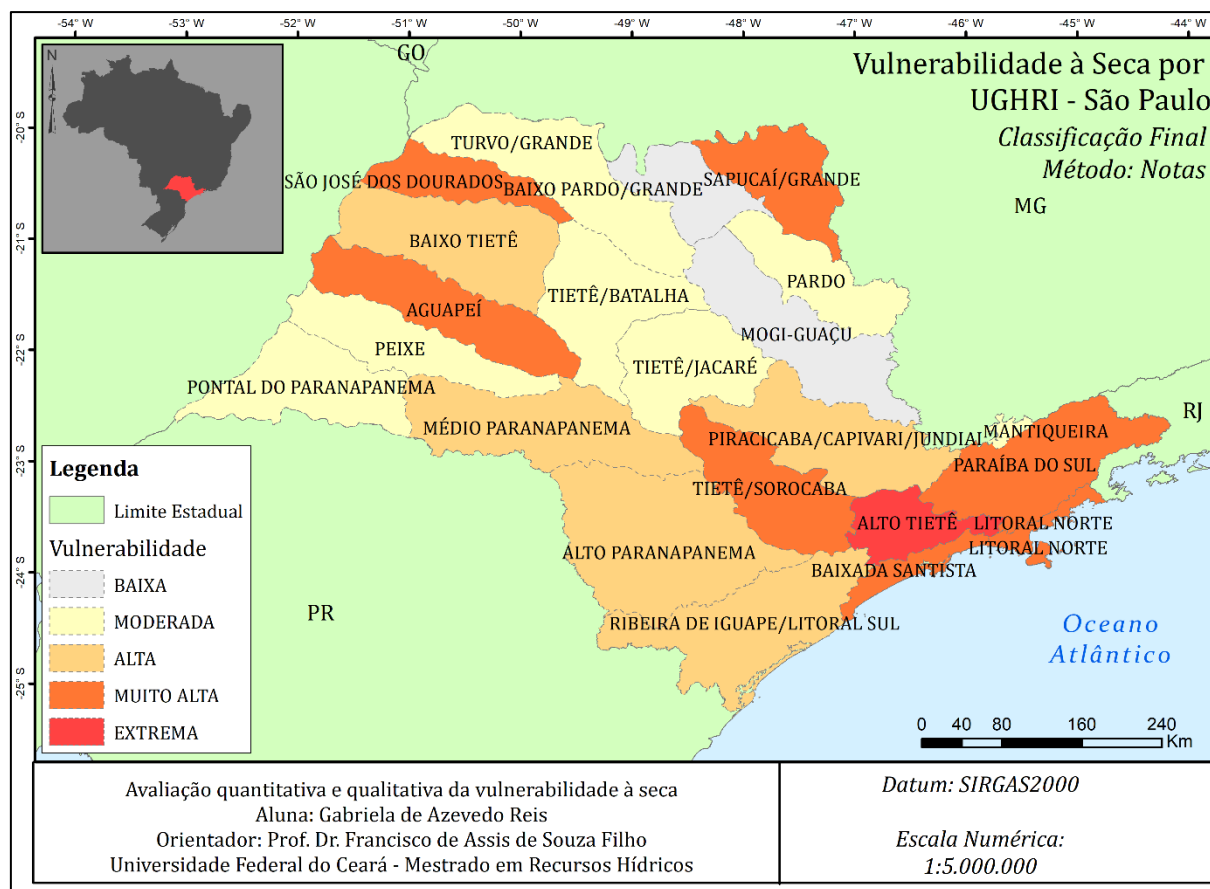
Figura 25 - Distribuição da vulnerabilidade (índices) por UGHRI em São Paulo.



Fonte: elaboração da autora.

Analisando a vulnerabilidade por índices (Figura 25), calcula-se que 69% da população do estado se encontra em situação de muito alta ou extrema vulnerabilidade à seca, totalizando mais de 30 milhões de habitantes, que representa aproximadamente 15% da população nacional. Estima-se, ainda, que as UGRHI com essa qualificação de vulnerabilidade são responsáveis por cerca de 72% do produto interno bruto da indústria estadual e aproximadamente 21% do valor nacional.

Figura 26 - Distribuição da vulnerabilidade (notas) por UGHRI em São Paulo.



Fonte: elaboração da autora.

Para o estado do Ceará, a Tabela 11 representa o número de bacias em suas determinadas classes para cada índice, enquanto a Tabela 12 ilustra as classes para cada bacia.

Tabela 11 - Número de bacias em cada classificação para cada índice.

	BAIXA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
Sensibilidade	3	5	2	1	1
Exposição	2	3	3	1	3
V (índices)	2	4	2	3	1
V (notas)	3	2	2	4	1

Fonte: elaboração da autora.

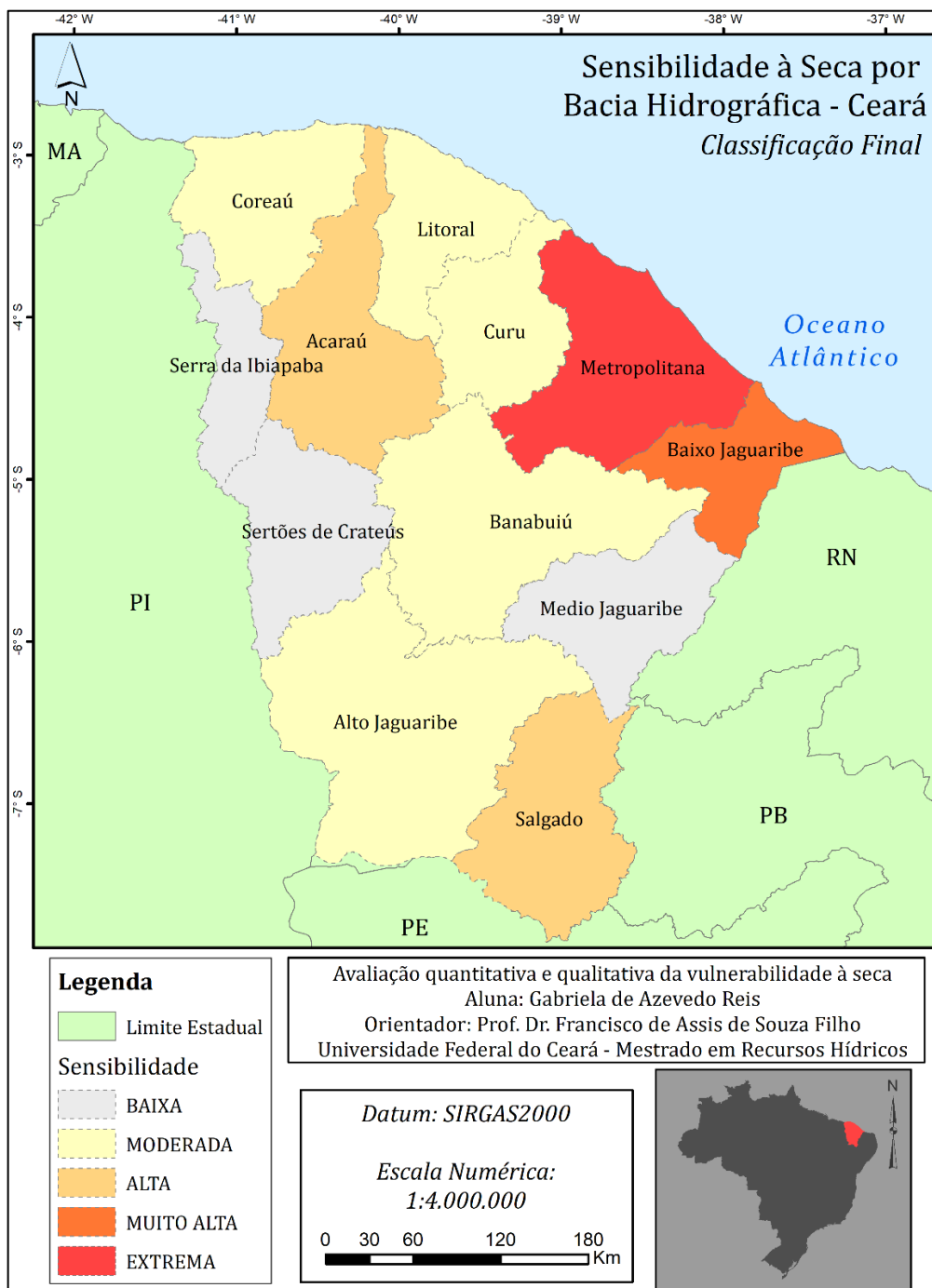
Tabela 12 - Qualificação da vulnerabilidade à seca no Ceará.

Bacias Hidrográficas	Sensibilidade	Exposição	V (índices)	V (notas)
Alto Jaguaribe	MODERADA	ALTA	MODERADA	MODERADA
Médio Jaguaribe	BAIXA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
Baixo Jaguaribe	MUITO ALTA	MODERADA	ALTA	ALTA
Rio Banabuiú	MODERADA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
Rio Curu	MODERADA	MODERADA	MODERADA	BAIXA
Rio Salgado	ALTA	MODERADA	MODERADA	MODERADA
RMF	EXTREMA	ALTA	EXTREMA	EXTREMA
Rio Acaraú	ALTA	EXTREMA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
Rio Coreaú	MODERADA	MUITO ALTA	MODERADA	MUITO ALTA
Litoral	MODERADA	ALTA	ALTA	ALTA
Sertões de Crateús	BAIXA	EXTREMA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
Serra da Ibiapaba	BAIXA	EXTREMA	MUITO ALTA	MUITO ALTA

Fonte: elaboração da autora.

Examinando a Figura 27, repete-se o cenário de São Paulo, onde a maior Região Metropolitana do Estado encontra-se em cenário de extrema sensibilidade à seca. A bacia do Baixo Jaguaribe encontra-se com sensibilidade muito alta e essa classificação pode ser aferida à alta taxa de demanda hídrica devido à intensa atividade agrícola da região.

Figura 27 - Distribuição da Sensibilidade por bacia no Ceará.

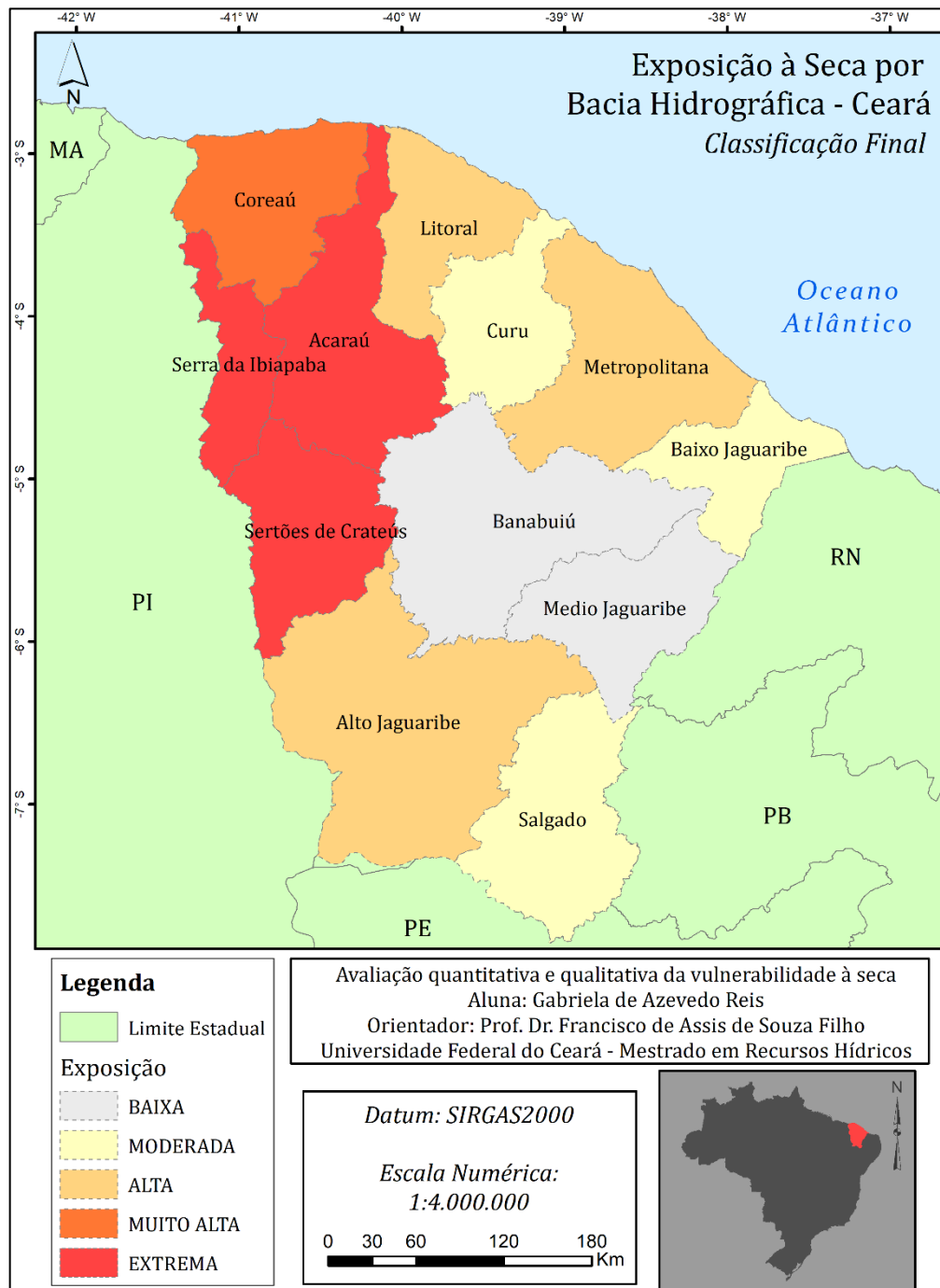


Fonte: elaboração da autora.

A Figura 28 ilustra a distribuição espacial da exposição no estado do Ceará. Diferentemente dos resultados obtidos para São Paulo, onde nenhuma UGRHI apresentou cenário extremo de exposição, o Ceará conta com três bacias hidrográficas extremamente expostas à seca: Sertões de Crateús, Serra da Ibiapaba e Acaraú. Contudo, o resultado mais esperado seria uma maior exposição na região do sertão central, ao centro do Estado.

Recomenda-se mais uma vez, portanto, que deva ser adicionado ao método da exposição dados absolutos do volume precipitado, além da variabilidade de chuva.

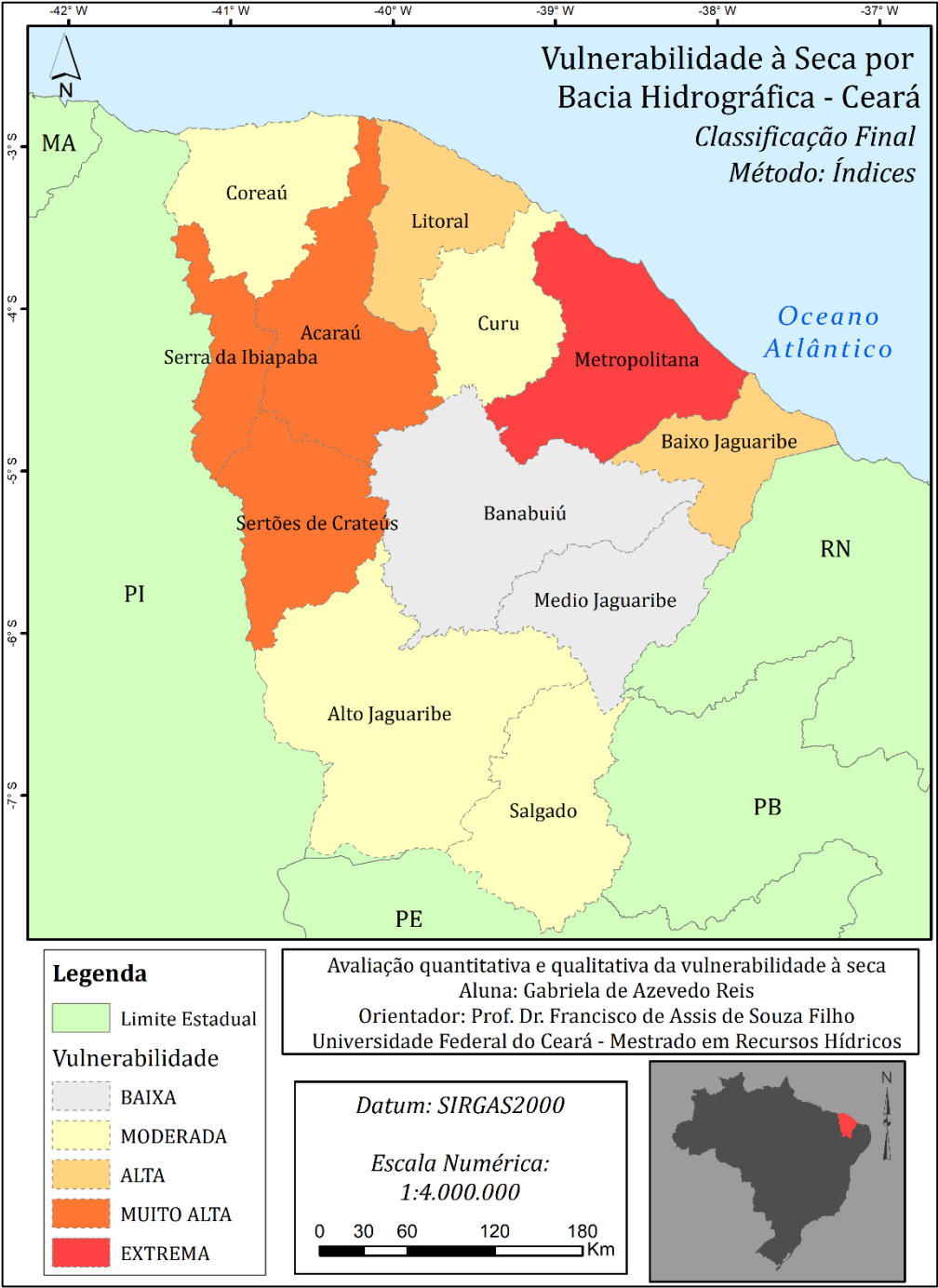
Figura 28 - Distribuição da Exposição pro bacia no Ceará.



Fonte: elaboração da autora.

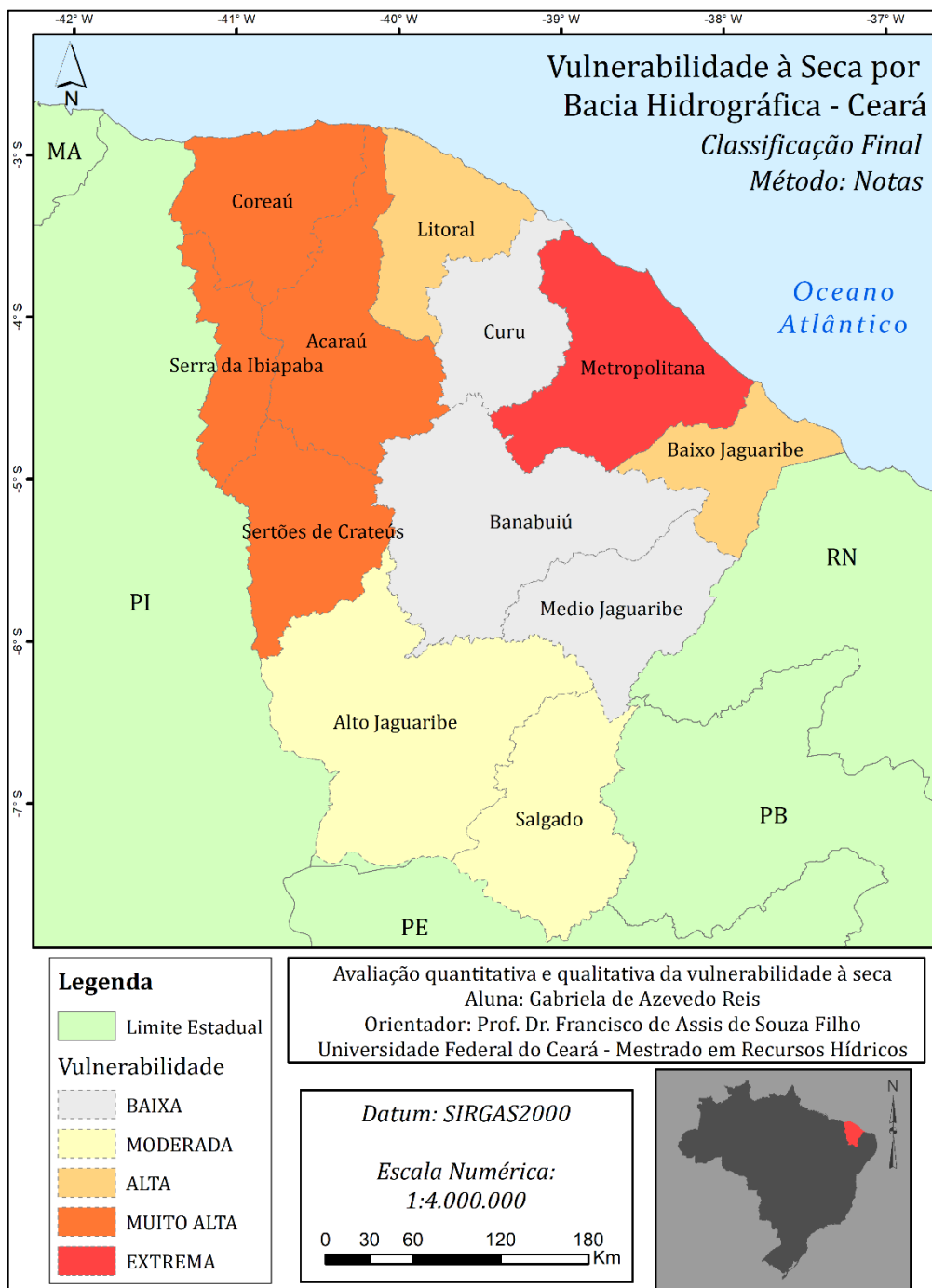
A distribuição espacial da vulnerabilidade calculada por índices está ilustrada na Figura 29, enquanto a vulnerabilidade por notas é representada através da Figura 30.

Figura 29 - Distribuição da Vulnerabilidade (índices) por bacia no Ceará.



Fonte: elaboração da autora.

Figura 30 - Distribuição da Vulnerabilidade (notas) por bacia no Ceará.



Fonte: elaboração da autora.

Assim como em São Paulo, a diferença na qualificação da vulnerabilidade entre os dois métodos não é tão grande. Três das doze bacias hidrográficas apresentarem diferença entre uma classificação e outra. Entretanto, a diferença é sempre de apenas uma classe, não havendo, por exemplo, qualificação como baixa vulnerabilidade em um método e qualificação como alta vulnerabilidade no outro método em nenhuma das bacias hidrográficas estudadas.

Em questões de medidas demográficas em escala nacional, o estado do Ceará não apresenta questões tão graves quanto São Paulo, apesar de ter resultados que indicam uma exposição à seca bem superior ao estado paulista. De acordo com o resultado da vulnerabilidade obtida a partir do método dos índices (Figura 29), cerca de 63% da população do Estado encontra-se em situação de vulnerabilidade muito alta ou extrema, o que equivale a cerca de 5,6 milhões de habitantes. As bacias com essa classificação de vulnerabilidade são responsáveis por 81% do valor do PIB da indústria estadual. O quadro estadual no Ceará apresenta-se mais crítico que o quadro de São Paulo. Entretanto, em escala nacional, esse PIB e essa população representam, respectivamente, 1% e 2% dos números nacionais. É importante ressaltar que São Paulo apresentar números mais significativos na escala nacional não justificaria um abandono de investimentos federais na capacidade adaptativa do Ceará, ou mesmo outros estados, a fim de mitigar e combater os efeitos da seca.

5.2. Método 2: Influência da capacidade adaptativa em escala municipal

O segundo método foi aplicado no estado do Ceará em escala municipal. A principal diferença entre este método e o primeiro é a consideração do índice de capacidade adaptativa. Assim, o cálculo do índice de vulnerabilidade foi realizado a partir da Equação 9, onde a capacidade adaptativa desconta o valor da vulnerabilidade.

A Tabela 13 apresenta o número de municípios em suas respectivas classes para os diferentes índices elaborados. É fácil perceber a diferença quantitativa entre a vulnerabilidade por índices e a vulnerabilidade por notas. O primeiro apresenta apenas dois municípios em situação extrema (Fortaleza e Tabuleiro do Norte), enquanto o segundo classificou como extrema a situação de 28 municípios, que equivale a 15% do Estado. Observa-se, entre os diferentes índices, a alta frequência de municípios alocados na classe “ALTA”.

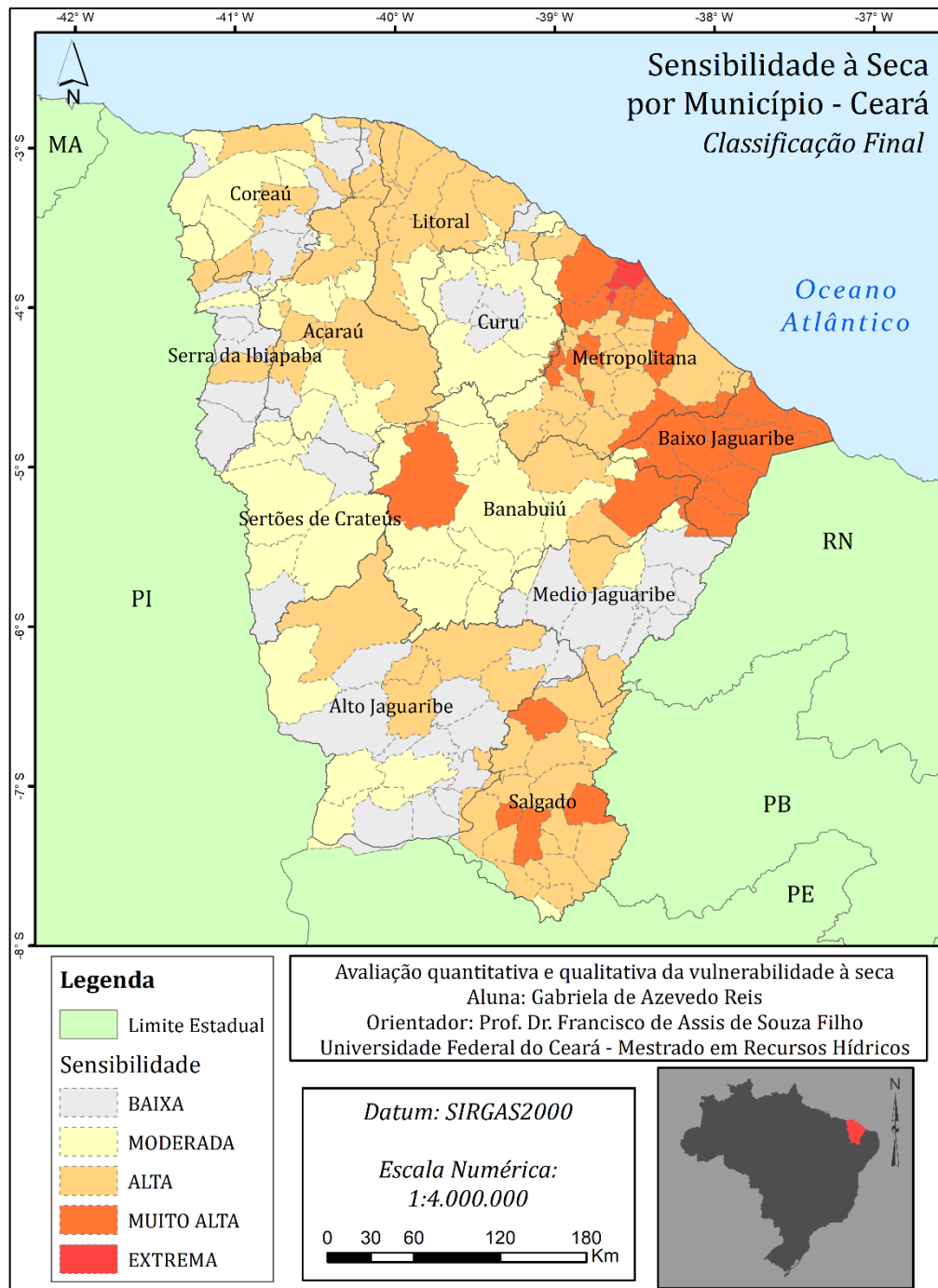
Tabela 13 - Número de municípios nas diferentes classes para cada índice no Ceará.

	BAIXA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
Sensibilidade	42	49	65	26	2
Exposição	25	20	92	34	13
Cap. Adaptativa	24	34	66	49	11
V (índices)	17	59	61	45	2
V (notas)	28	34	31	63	28

Fonte: elaboração da autora.

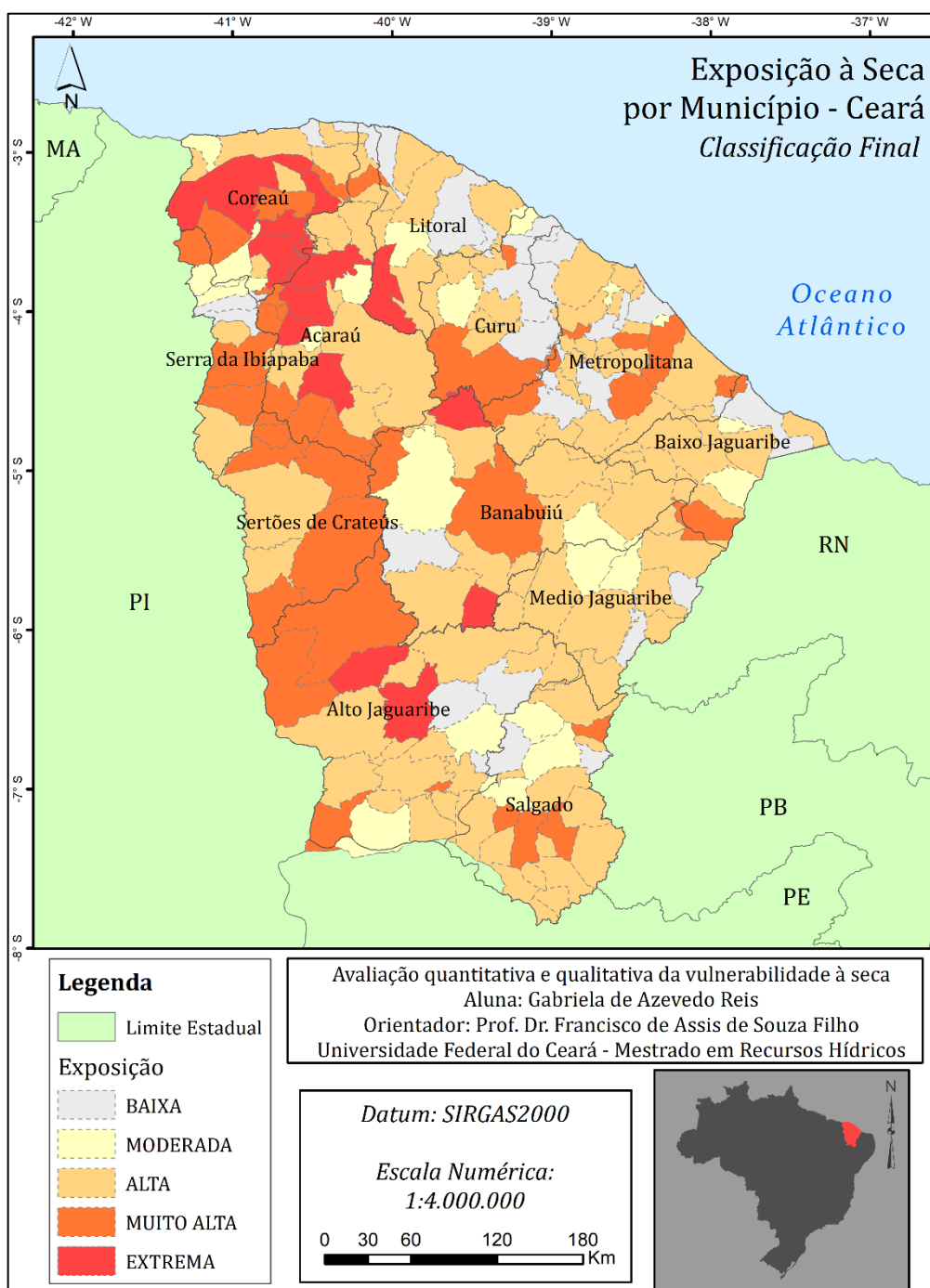
A distribuição da sensibilidade está representada na Figura 31 e, comparando com o resultado obtido na primeira análise e ilustrado na Figura 27 (página 79), nota-se que a tendência espacial segue a mesma. Essa observação é um resultado esperado e satisfatório, pois mostra que, mesmo com o *downscaling*, o método iSECA apresenta uma robustez nos resultados. O mesmo comportamento é observado para a exposição (Figura 32).

Figura 31 - Distribuição da Sensibilidade por município no Ceará.



Fonte: elaboração da autora.

Figura 32 - Distribuição da Exposição por município no Ceará.



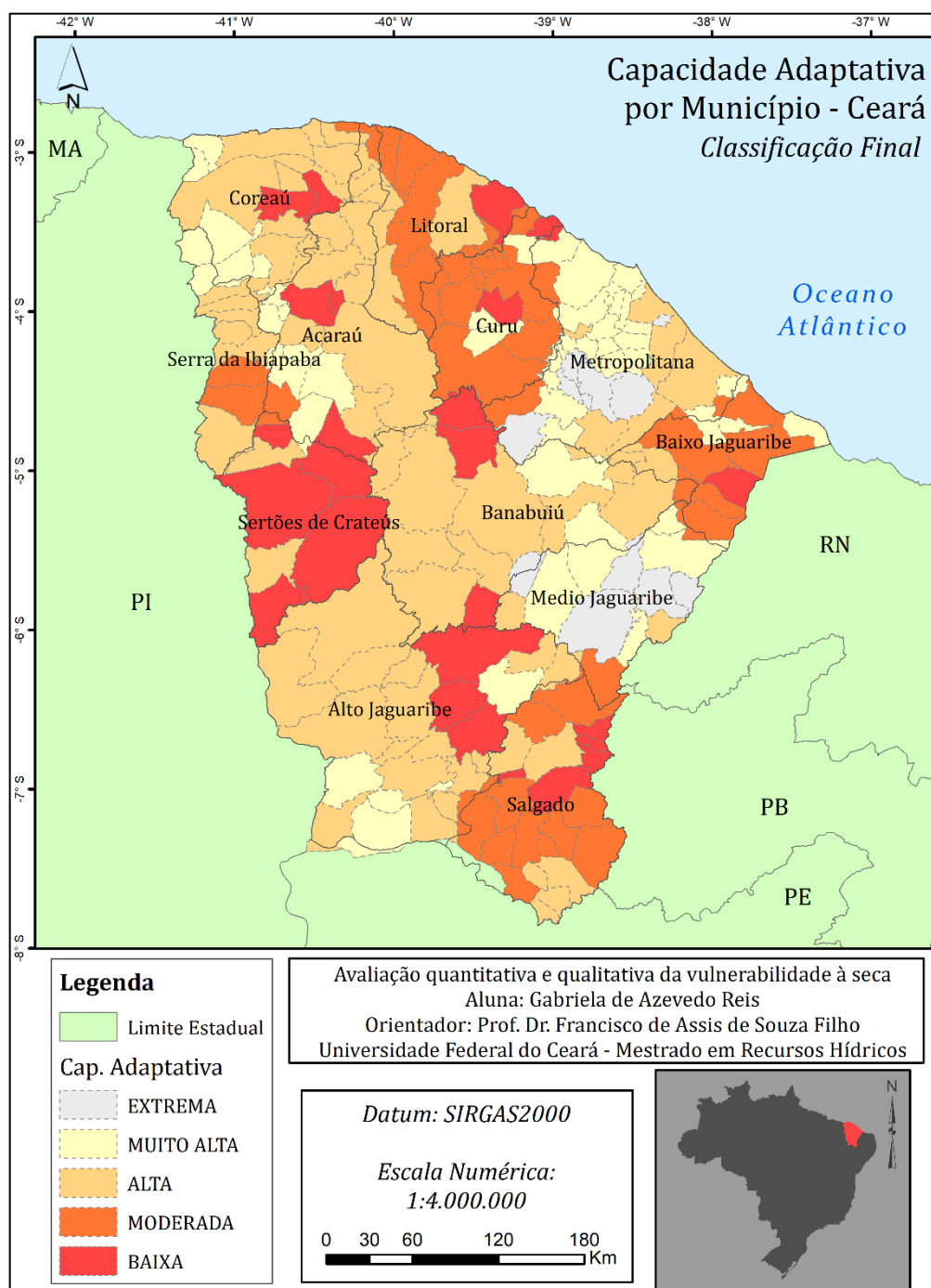
Fonte: elaboração da autora.

Na bacia da Serra da Ibiapaba e do Rio Banabuiú, alguns municípios (Ibiapina, São Benedito e Pedra Branca) apresentam comportamento inesperado, sendo classificados com baixa exposição em meio a vários outros municípios com exposição alta, muito alta e até mesmo extrema. Foram analisadas as fontes de dados dos municípios e os postos pluviométricos que forneceram dados para o cálculo do SPI-12 não apresentaram anormalidades. Sendo assim,

ênfatisa-se mais uma vez a recomendação de utilizar o volume absoluto de precipitação como indicador para o cálculo do índice de exposição, uma vez que apenas a variabilidade pode não retratar precisamente este índice.

A Figura 33 exibe a capacidade adaptativa. É importante frisar que, diferentemente do que ocorre com a sensibilidade e a exposição, a capacidade adaptativa mantém relação inversa com a vulnerabilidade, pois quanto mais alta a capacidade adaptativa, menor será a vulnerabilidade. Portanto, a capacidade adaptativa “extrema” é um fator positivo para o município. Observando o mapa da Figura 33, é possível notar um “corredor” de capacidade adaptativa extrema e muito alta, cortando as bacias Metropolitana, do Rio Banabuiú e do Médio Jaguaribe. Pode-se aferir este comportamento à presença do Sistema Jaguaribe-Metropolitano, que conta com forte rede de integração de importantes reservatórios, como o Orós, Castanhão e Banabuiú, através de extensos canais para transposição da água de modo a alimentar a Região Metropolitana de Fortaleza, que além da grande quantidade de habitantes, conta com intensa atividade industrial, como no Complexo Industrial e Portuário do Pecém. Algumas regiões dentro das bacias do Rio Coreaú e Acaraú também apresentam um comportamento mais positivo da capacidade adaptativa. É possível aproveitar a Figura 3 (página 31) e observar que nessas duas regiões destacadas há uma maior concentração de adutoras construídas, que é um fator que contribui fortemente para o maior nível da capacidade adaptativa.

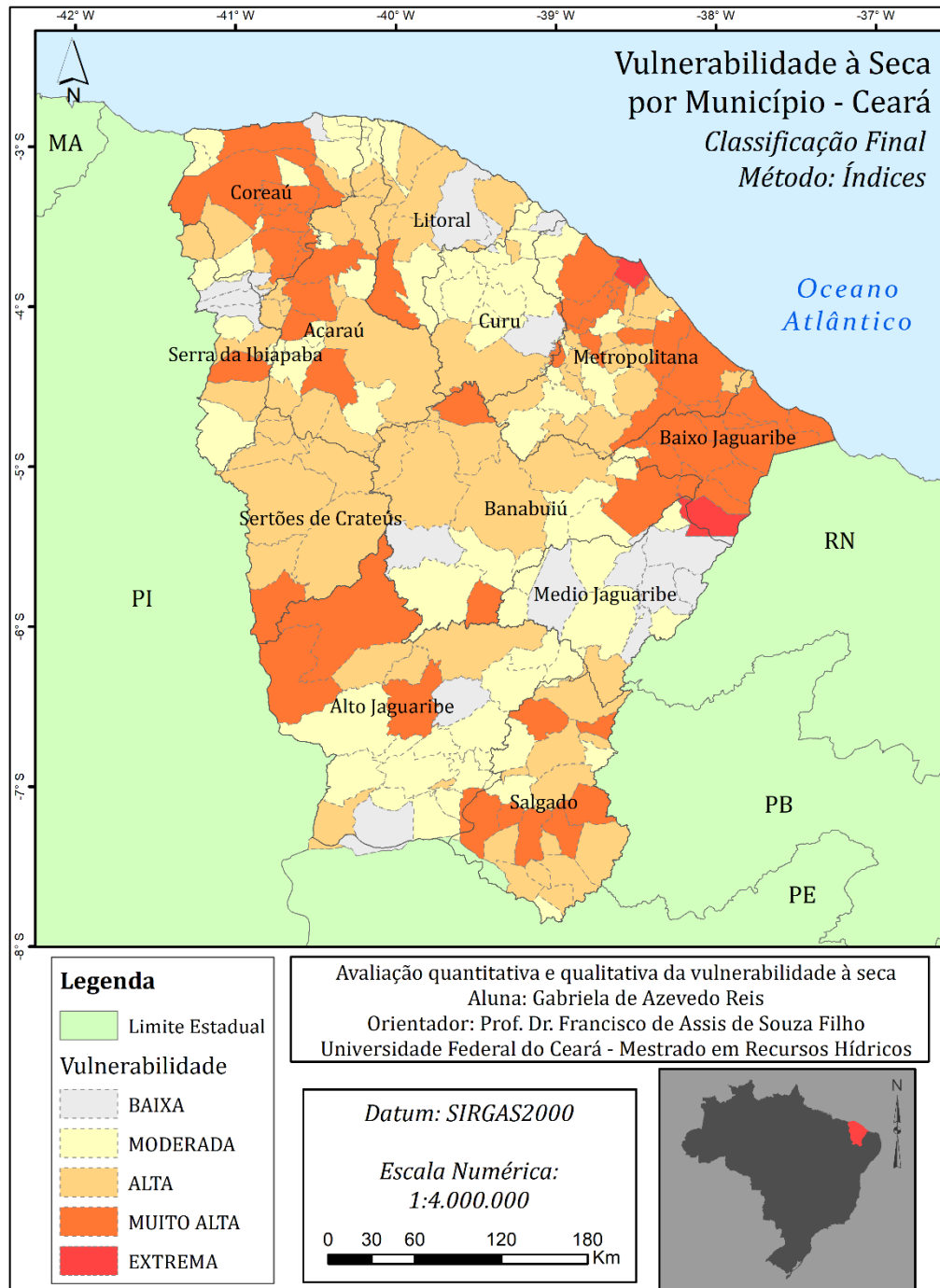
Figura 33 - Distribuição da Capacidade Adaptativa por município no Ceará.



Fonte: elaboração da autora.

A vulnerabilidade à seca medida através dos índices de sensibilidade, exposição e capacidade adaptativa, ilustrada na Figura 34, apresenta algumas diferenças no padrão de distribuição nas regiões das bacias hidrográficas (Figura 29, página 81). Essa diferença é esperada, já que a capacidade adaptativa reduz numericamente os índices de vulnerabilidade, alterando a classificação final.

Figura 34 - Distribuição da Vulnerabilidade (índices) por município no Ceará.

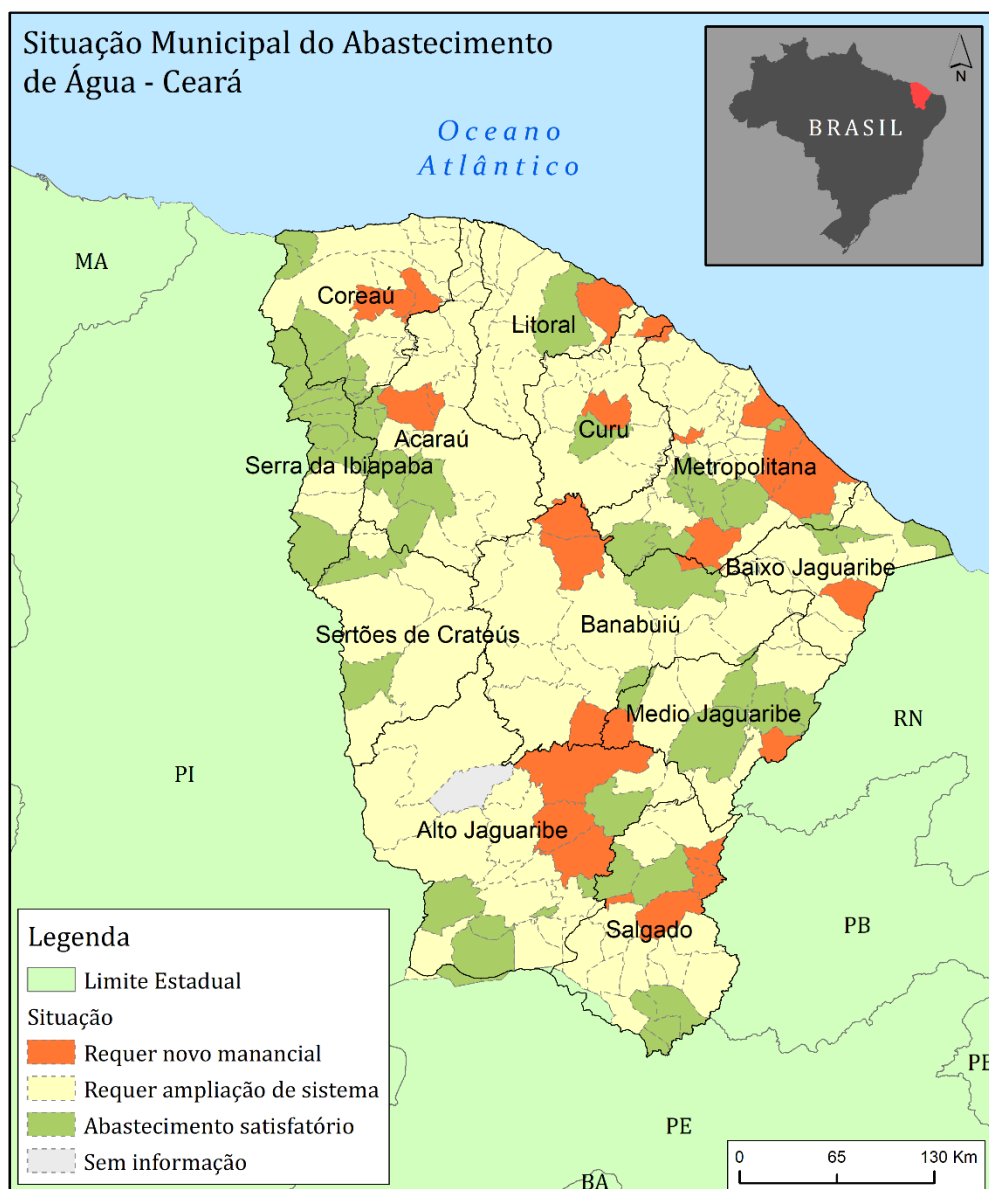


Fonte: elaboração da autora.

É possível notar a redução na vulnerabilidade de municípios inseridos na bacia Metropolitana, apesar de ainda haverem ocorrências de vulnerabilidade muito alta. Algumas dessas ocorrências coincidem com situação crítica do sistema de abastecimento municipal, ilustrado na Figura 35, e que forma um dos indicadores no cálculo da capacidade adaptativa. Portanto, apesar de a bacia Metropolitana possuir uma maior densidade de infraestrutura

hídrica, ainda contém uma pequena região em seu domínio que apresenta fragilidade em seus sistemas de abastecimento.

Figura 35 - Situação municipal do abastecimento de água no Ceará.

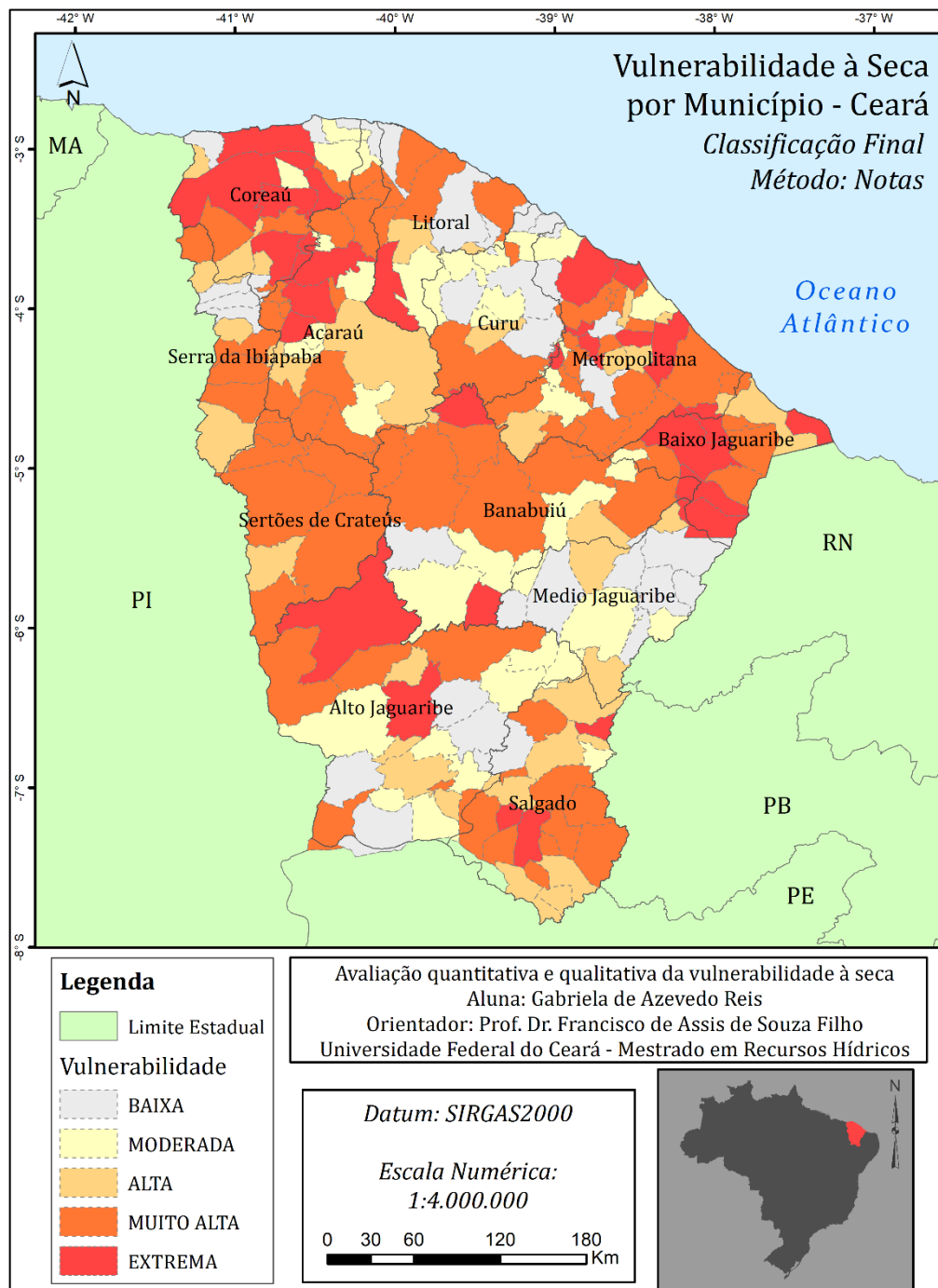


Fonte: elaboração da autora.

Como já foi possível observar na Tabela 13, há uma grande diferença na quantidade de municípios classificados como vulnerabilidade extrema entre os métodos dos índices e das notas. Isso fica visível na Figura 36. A Figura 21 (página 71) e a Figura 22 (página 72) já haviam apontado que o método das notas apresenta picos máximos mais acentuados que nos métodos dos índices, o que justifica a alta frequência de municípios classificados como extrema

vulnerabilidade na Figura 36. Pode-se inferir, portanto, que é mais seguro calcular a vulnerabilidade através do método dos índices, ainda que ambos os métodos apresentem comportamento e tendência bastante similares.

Figura 36 - Distribuição da Vulnerabilidade (notas) por município no Ceará.

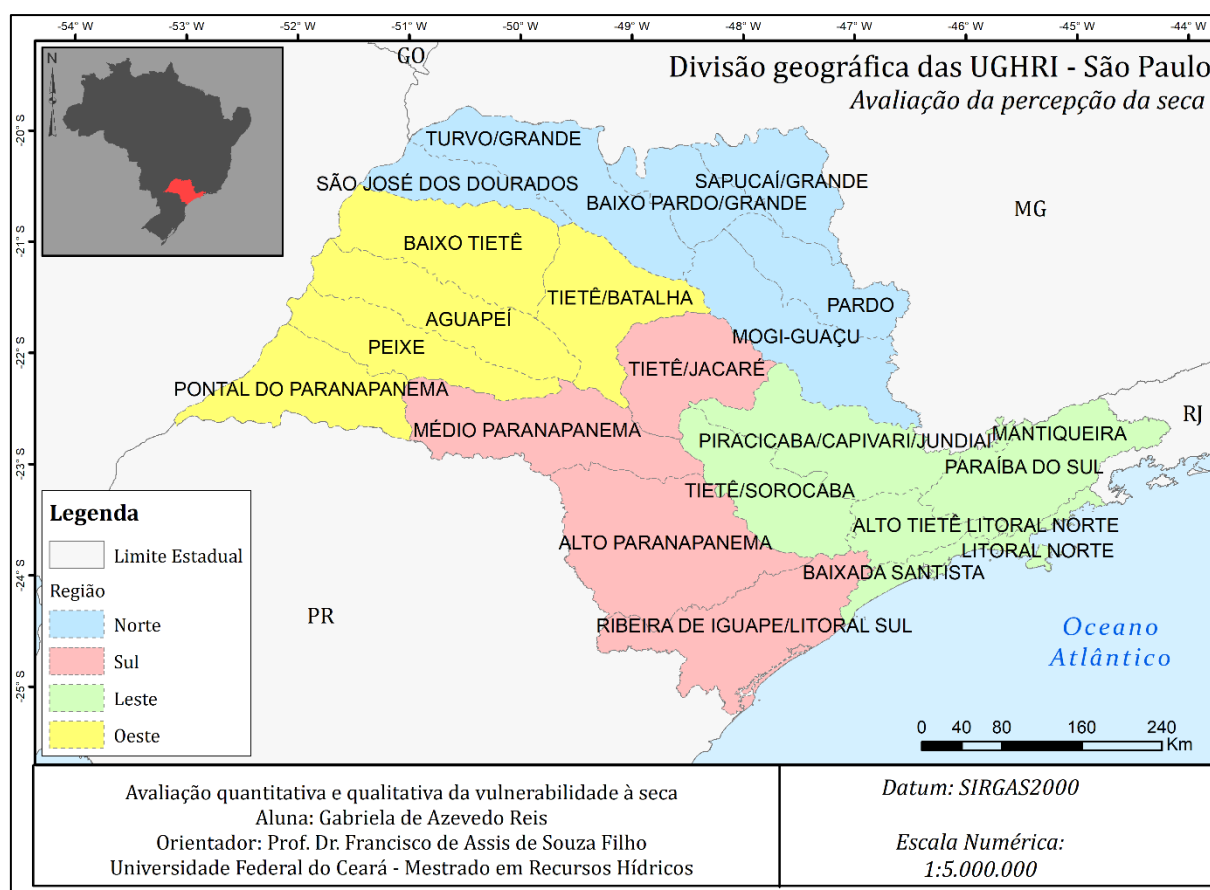


Fonte: elaboração da autora.

5.3. Análise da percepção dos impactos da seca

O questionário obteve 61 respostas de membros de diversas instituições, onde cada membro representa uma ou mais UGHRI. Para sintetizar a análise da percepção dos impactos da seca, foi feita uma divisão das UGRHI dentre quatro regiões geográficas: Norte, Sul, Leste e Oeste. Esta divisão é apresentada na Figura 37. Desse modo, as respostas para determinadas UGHRI foram condensadas para a região que tal UGHRI está inserida. Por exemplo, respostas referentes ao Alto Tietê e Mantiqueira serão contabilizadas como respostas referente à região Leste. O número de respostas para cada região e em cada setor (poder público, setor usuário e sociedade civil) está ilustrado na Tabela 14.

Figura 37 - Regiões geográficas das UGHRI - São Paulo.



Fonte: elaboração da autora.

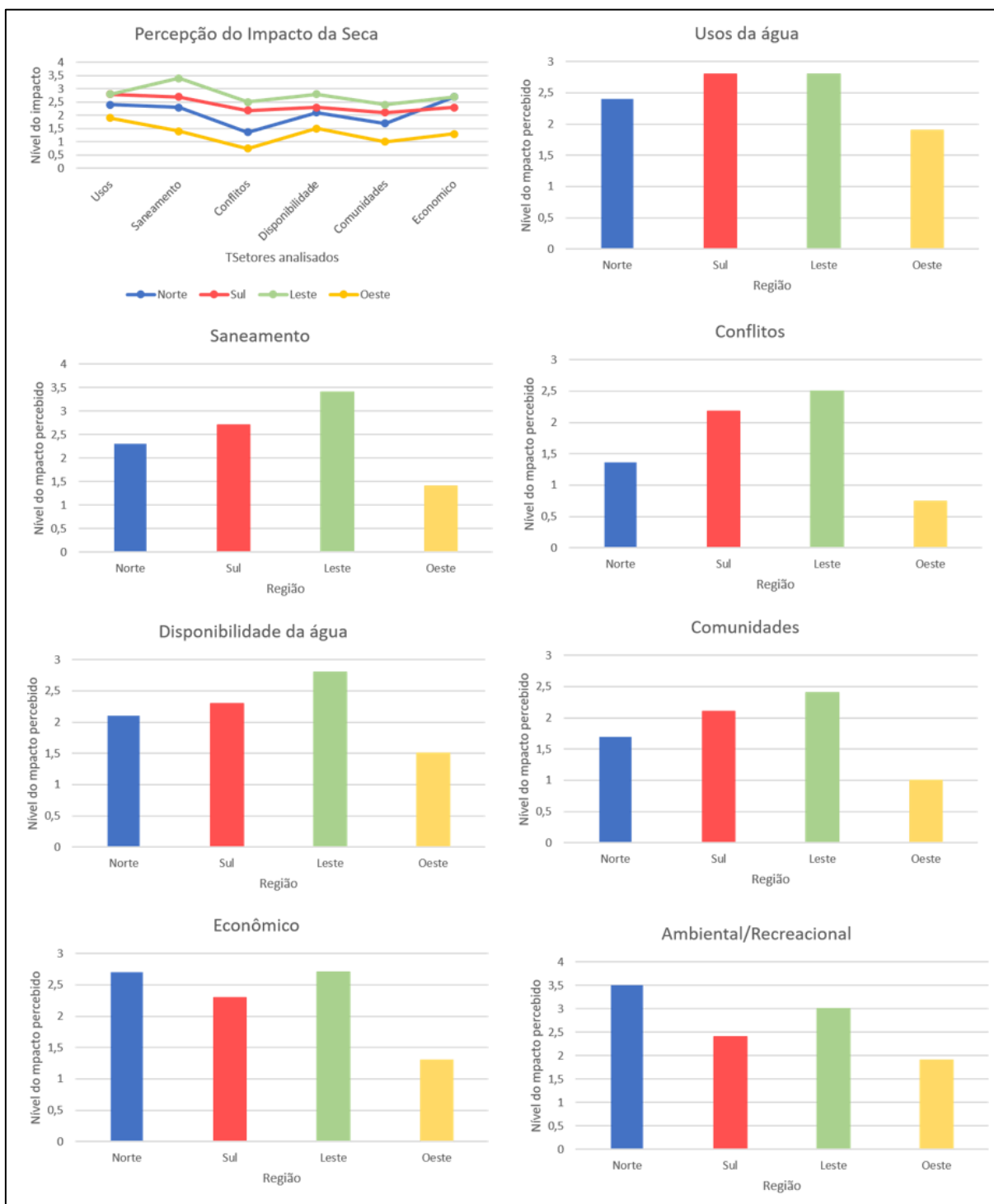
Tabela 14 - Divisão das regiões geográficas na análise de percepção da seca.

Região Geográfica	Poder Público	Setor Usuário	Sociedade Civil
Norte	16	1	0
Sul	11	2	1
Leste	18	5	1
Oeste	13	1	0

Fonte: elaboração da autora.

A percepção dos impactos nos diferentes setores foi analisada através da atribuição de notas de 0 (menor impacto) a 4 (maior impacto). A Figura 38 exibe gráficos elaborado a partir do resultado médio obtido por região hidrográfica para cada um dos sete setores analisados. O padrão das cores que representam as regiões geográficas das UGHRI na Figura 37. O primeiro gráfico aponta a região Leste, em verde, como a mais atingida pela seca. Vale observar que a região Leste é constituída, majoritariamente, pela área da Macrometrópole Paulista, que foi a região do Estado mais afetada pela recente crise hídrica. Nota-se, também, que dentre os setores, os usos da água, saneamento e disponibilidade da água causaram maior percepção de impacto. O primeiro gráfico apresenta, ainda, que o setor Norte apresenta notável crescimento da percepção do impacto no setor econômico. Diante desse fato, foram analisados os dados disponíveis de demanda hídrica no setor de irrigação por UGHRI, aglomerando-os por região geográfica (CRH/CORHI, 2017). Foi observado que a região Norte apresenta maior demanda hídrica no setor de irrigação, responsável por aproximadamente 37% dessa demanda em todo o Estado. É possível concluir, portanto, que a crise hídrica proporcionou grande impacto na atividade agrícola da região, interferindo no seu setor econômico.

Figura 38 - Avaliação da percepção à seca por setor analisado.



Fonte: elaboração da autora.

Na região Norte, o setor público sentiu um maior impacto nos diversos usos da água e no saneamento, enquanto que no setor privado, os impactos mais graves foram sentidos por metade dos entrevistados. Os conflitos não foram sentidos com tanta magnitude nessa região. A disponibilidade de água durante a seca afetou similarmente os dois setores, que também

apresentaram uma visão similar dos impactos sentidos nas comunidades. Para o setor privado, os impactos econômicos foram graves, mas, em sua grande maioria, representam potenciais futuros. Já no setor público, esses impactos foram sentidos durante a seca. 100% do setor privado afirmou um grave impacto no setor ambiental e recreacional. Para o setor público, esses impactos também foram graves.

A região sul sentiu os impactos no uso da água, mas a sociedade civil afirmou uma maior gravidade na leitura desses impactos do que os setores público e privado. Os impactos no saneamento foram mais sentidos pela sociedade civil e pelo setor privado; o setor público não constatou graves impactos; o mesmo vale para os conflitos. O setor privado não constatou grandes impactos na disponibilidade de água. Já o setor público e a sociedade civil afirmaram impactos mais graves. Ainda, os 3 setores admitiram impactos não tão graves sentidos pela comunidade. O mesmo vale para os setores econômico e ambiental e recreacional.

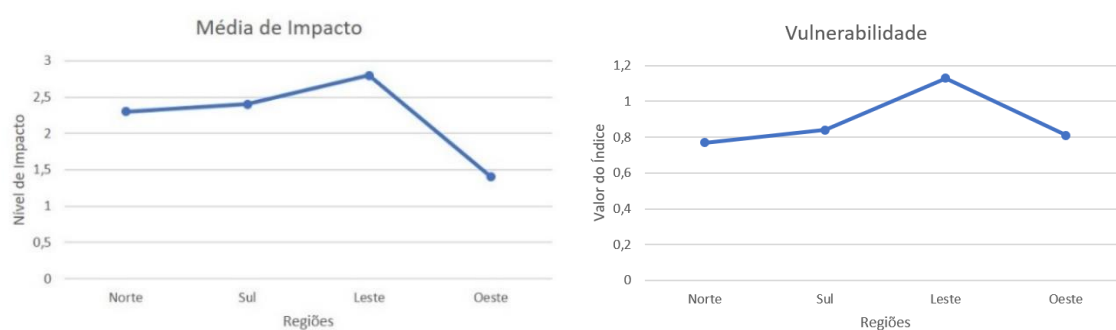
O setor privado da região Oeste não sentiu impactos na disponibilidade da água, apenas o setor público. No saneamento os impactos foram ainda menos graves. Ambos não registraram muitos conflitos, embora o setor público tenha considerado o potencial de ocorrer conflitos. O setor privado não considerou que houve graves impactos na disponibilidade de água, enquanto o setor público respondeu com um certo equilíbrio entre todas as graus de impactos sentidos. O setor público considerou uma certa percentagem de impacto sentido pela comunidade, enquanto o setor privado não o considerou em sua grande maioria, tal como nos setores econômico e ambiental. Já o setor público levantou uma grande consideração de impacto no setor econômico e ainda mais no setor ambiental.

A região leste foi a região com os maiores valores de vulnerabilidade. É também a região que engloba a Macrometrópole Paulista. Os três setores sentiram considerável impacto no uso de água e, especialmente, no saneamento, onde 100% dos representantes da sociedade civil afirmou grave impacto. A sociedade civil foi quem mais constatou a ocorrência de conflitos, seguida do setor público. O setor privado pouco sentiu na distribuição da água, ao contrário do setor público e, principalmente, da sociedade civil, que fez uma leitura de grandes impactos na comunidade e no setor econômico. Já os setores público e privado afirmaram haver de médios a graves impactos no setor econômico. Por fim, o setor privado afirmou que o impacto no setor ambiental não foi tão grave, discordando do setor público e, principalmente, da sociedade civil.

A Figura 39 apresenta um comparativo entre as curvas da média de impacto percebido por região e da média da vulnerabilidade quantificada pelo método dos índices por região. Não cabe comparação dos valores numéricos do índice de vulnerabilidade e do nível de

impacto percebido, uma vez que o método de elaboração difere entre os dois e estão representados, portanto, em diferentes escalas representativas. Entretanto, pode-se observar que o comportamento da curva, em ambos os casos, é considerado similar, levando à conclusão de que os resultados da análise da vulnerabilidade à seca e da avaliação da percepção dos impactos da seca convergiram, garantindo maior robustez no estudo.

Figura 39 - Comparativo do impacto percebido e da vulnerabilidade à seca.



Fonte: elaboração da autora.

6. CONCLUSÕES

A avaliação da vulnerabilidade de um sistema é um passo essencial na elaboração de estratégias no âmbito da gestão das secas. Diversos projetos identificam a necessidade de um método robusto de análise de vulnerabilidade e, também, de uma maior conexão entre estudos acadêmicos e as demandas da tomada de decisão.

Diante deste cenário, foi proposta uma nova metodologia de análise a vulnerabilidade à seca levando em consideração os aspectos da Sensibilidade, Exposição e Capacidade Adaptativa introduzidos pelo IPCC, e utilizando de ferramentas de georreferenciamento em plataforma SIG.

A metodologia foi batizada de iSECA e consiste na elaboração de índices de Sensibilidade, Exposição e Capacidade Adaptativa para poder calcular o índice de Vulnerabilidade. Os índices foram elaborados a partir de análise multicritério envolvendo indicadores sociais, econômicos, ambientais, hídricos e climáticos. A vulnerabilidade foi obtida e seus resultados foram georreferenciados para auxiliar a identificação espacial de áreas críticas e prioritárias. Os objetos de estudo abordados foram os estados de São Paulo, onde também foi desenvolvida uma avaliação de percepção dos impactos da seca, e Ceará, em escalas de bacia hidrográfica e município.

Em São Paulo, as regiões classificadas com vulnerabilidade muito alta e extrema englobam grande parte da Macrometropole Paulista, constituindo 69% da população estadual (equivalente a 15% da população nacional) e 72% do PIB da indústria estadual (21% do valor nacional). Os resultados da análise de vulnerabilidade convergiram com as informações obtidas a partir da avaliação de percepção dos impactos da seca, o que atribui maior segurança aos resultados obtidos a partir do modelo iSECA.

No estado do Ceará, a bacia Metropolitana foi classificada com vulnerabilidade extrema devido à grande quantidade e densidade populacional e intensa atividade econômica industrial, enquanto que a bacia do Baixo Jaguaribe foi classificada com vulnerabilidade muito alta por apresentar grande demanda hídrica originada de seus importantes perímetros irrigados. Com a influência da Capacidade Adaptativa, as cidades próximas ao “corredor” de adutoras e reservatórios do sistema Jaguaribe-Metropolitano apresentaram baixa considerável na sua vulnerabilidade. Entretanto, a cidade de Fortaleza permaneceu com vulnerabilidade extrema, dando a entender que o seu poder adaptativo, ainda que classificado como muito alto, não é suficiente para amenizar a condição de vulnerabilidade do município.

Os resultados obtidos através do modelo iSECA foram considerados satisfatórios e

condizentes com as informações acerca da realidade sentida na área de estudo. O modelo apresentado tem liberdade de aplicação em diferentes áreas de estudos desde que haja informação o suficiente para alimentar os indicadores que constituem os índices elaborados neste estudo. Entretanto, devem ser consideradas as seguintes recomendações: i) realizar análise dos setores industriais mais ativos na região a ser estudada a fim de encontrar relação da atividade industrial com o uso do recurso água antes de inferir sua importância na sensibilidade à seca; ii) adicionar ao método da exposição dados absolutos do volume precipitado, além da variabilidade de chuva.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, J. S. **Assessing drought vulnerability**. 2006. Tese (Doutorado em Geografia), University of Arizona, Arizona, 2006, 182 p.
- ACOSTA, I. R.; MARTÍNEZ, M. J. M. Assessment of surface runoff vulnerability to climate change in the Lerma-Chapala basin, Mexico. **J. Water Resour. Plann. Manage.**, v. 140, n. 12, 2014.
- ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 268-281, 2006.
- ALBUQUERQUE, T. M. A. **Estudo dos processos de gestão de seca**: Aplicação no estado do Rio Grande do Sul. 2010. 303 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- ALMEIDA, L. Q. **Vulnerabilidades Socioambientais de Rios Urbanos**. 2010. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.
- ALVES, H. P. F.; MELLO, A. Y. I.; D'ANTONA, A. O.; CARMO, R. L. Vulnerabilidade Socioambiental nos Municípios do Litoral Paulista no Contexto das Mudanças Climáticas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 17. 2010, Caxambu, MG. **Anais....** Belo Horizonte: ABEP, 2010.
- ANANDHI, A.; KANNAN, N. Vulnerability assessment of water resources – translating a theoretical concept to an operational framework using systems thinking approach in a changing climate: Case study in Ogallala Aquifer. **Journal of Hydrology**, v. 557, p. 460-474, 2018.
- ARAÚJO, B. A. M. **Alocação de água no Ceará: diagnóstico e desafios**. 2012. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- AREOSA, J. O risco no âmbito da teoria social. In: VI Congresso Português de Sociologia. **Anais...**, Lisboa, p. 1 -16, 2008.
- ASEFA, T.; CLAYTON, J.; ADAMS, A.; ANDERSON, D. Performance evaluation of a water resources system under varying climatic conditions: reliability, resilience, vulnerability and beyond. **Journal of Hydrology**, v. 508, p. 53-65, 2014.
- BIBLIOTECA VIRTUAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **São Paulo: população do estado**, 2017. Disponível em: <
<http://www.bibliotecavirtual.sp.gov.br/temas/sao-paulo/sao-paulo-populacao-do-estado.php>>. Acesso em 02 jan. 2018.
- BIRKMANN, J. (Org.). **Measuring Vulnerability to Natural Hazards**: Towards Disaster Resilient Societies. Hong Kong: United nations University Press, 2006. 575p.
- BLAIKIE, P. M.; WISNER, B.; CANNON, T.; DAVIS, I. **At Risk: Natural Hazards**,

People's Vulnerability, and Disasters. 1. ed. Londres: Routledge, 1994, 284p.

BOGARD, W. C. bringing social theory to hazards research: conditions and consequences of the mitigation of environmental hazards. **Sociological Perspectives**, v. 31, n. 2, p. 147–168, 1988.

BOHLE, H. G.; DOWNING, T. E.; WATTS, M. J. Climate change and social vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 4, n. 1, p. 37–48, 1994.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil.** 36 ed. Brasília: Edições Câmara, 2012. 103p.

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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 24 set. 2017.

BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 jul. 2000. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm>. Acesso em: 24 set. 2017.

BRASIL. Ministério Nacional da Integração. Gabinete do Ministro. Portaria nº 89 de 16 de março de 2005. Atualiza a relação dos municípios pertencentes à região Semi-Árida do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste – FNE. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 mar. 2005. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1116%3Aportaria-nd-89-de-16-de-marco-de-2005&catid=75&Itemid=717>. Acesso em: 06 dez. 2017.

BRUNSSON, N. **The consequences of decision-making**, OUP Oxford, 2007.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessments.** Oxford: Clarendon Press, 1986. 193p.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** Curitiba: Sagres Editora, 1997.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação.** 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2001.

CEARÁ – Assembleia Legislativa do Ceará. **Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas.** Fortaleza-CE: INESP, 2009.

CEARÁ. Lei nº 11.306, de 01 de abril de 1987. Dispõe sobre a extinção, transformação e criação de Secretarias de Estado e cria cargos de Subsecretário e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado do Ceará**, Fortaleza, CE, 01 abr. 1987. Disponível em: <

<https://sogi8.sogi.com.br/Arquivo/Modulo113.MRID109/Registro2135/documento%201.pdf>> . Acesso em: 24 jan. 2018.

CEARÁ. Lei nº 14.844, de 28 de novembro de 2010. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH, e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado do Ceará**, Fortaleza, CE, 18 nov. 2010. Disponível em: < <http://www.arce.ce.gov.br/index.php/legislacao/leis?download=171%3Alei-estadual-14844-de-281210>>. Acesso em: 06 dez. 2017.

CHAMBERS, R. Editorial introduction: vulnerability, coping and policy. **IDS Bulletin**, v. 20, n. 2, p. 1-7, 1989.

CHANDA, K.; MAITY, R.; SHARMA, A.; MEHROTRA, R. Spatiotemporal variation of long-term drought propensity through reliability-resilience-vulnerability based Drought Management Index. **Water Resour. Res.**, v. 50, p. 7662-7676, 2014.

CHODI, R. E.; SARCINELLE, O.; UEZU, A. Gestão dos recursos hídricos do sistema produtor de água Cantareira: um olhar para o contexto rural. **Ambiente & Água**, v. 8, n. 3, p. 151-165, 2013.

CORREIO, R. C. M.; BARP, A. R. B. Inovações Metodológicas para construção de cenários estratégicos em bacias hidrográficas. **Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 11, n.3, p. 200-226, 2014.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CRH/COMITÊ COORDENADOR DO PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CORHI. **Plano estadual de recursos hídricos – PERH 2016-2019**, São Paulo, 2017, 241p.

COSGROVE, W. J.; LOUCKS, D. P. Water management: current and future challenges and research directions. **Water Resources Research**, v. 51, p. 4823-4839, 2015.

CUNHA, R. L. A. **Definição de cenários de referência para avaliação dos impactos das secas**. 2008. 147p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in Human Geography**, v. 20, n. 4, 1996, p. 529-539.

DAMODARAM, A. **Gestão estratégica do risco: uma referência para a tomada de riscos empresariais**. Porto Alegre: Bookman, 1ª ed., 2009, 394p.

DELANEY, J.; VAN NIEL, K. **Geographic Information Systems: An Introduction**. 2. ed. Melbourne: Oxford University Press, 2007. 234p.

DELIGNETTE-MULLER, M. L.; DUTANG, C. fitdisrplus: An R package for fitting distributions. **Journal of Statistical Software**, v. 64, n. 4, p. 1-34, 2015.

DOW, K. Exploring differences in our common future(s): the meaning of vulnerability to global environmental change. **Geoforum**, v. 23, n. 3, p. 417–436, 1992.

ESRI Shapefile Technical Description: An ESRI White Paper, 1998. Disponível em: <<https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2017.

FISHER, W. D. On grouping for maximum homogeneity. **American Statistical Association Journal**, v. 53, p. 789-798, 1958.

FINN, M.; WILLIAMS, M.; URSEY, L. An Implementation of the Jenks-Caspall Algorithm for Optimal Classification of Data for Geographic Visualization. In: **American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Annual Conference:** Reno, New York. 2006.

FITZ, P. R. **Cartografia Básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 143p.

FOLKE, C.; CARPENTER, S.; WALKER, B.; SCHEFFER, M.; ELMQVIST, T.; GUNDERSON, L.; HOLLING, C.S. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. **Annu. Rev. Evol. Syst.**, v. 35, p. 557-581, 2004.

FONTAINE, M. M. **Assessing vulnerability to natural hazards:** an impact-based method and application to drought in Washington State. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). University of Washington, Seattle, 2007, 165p.

FUNCEME. **Compartimentação Geoambiental do Estado do Ceará**. Fortaleza, 2009. 37 p.

FYRE, C. **About the Geometrical Interval classification method**. 2007. Disponível em: <<https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2007/10/18/about-the-geometrical-interval-classification-method/>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

GALLOPÍN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 293-303, 2006.

GOHARIAN, E.; BURIAN, S. J.; BARDSLEY, T.; STRONG, C. Incorporating potential severity into vulnerability assessment of water supply systems under climate change conditions. **J. Water Resour. Plann. Manage.**, v. 142, n. 2, 2016.

GONZÁLEZ, F. C.; MORCILLO, J. C. **Guía para la elaboración de planes de emergencia por sequía em sistemas de abastecimiento urbano**. Ministerio de Medio Ambiente: Asociación Española de abastecimientos de agua y saneamiento. 83p. 2007.

GUTNIK, L. A.; HAKIMZADA, F. A.; YOSKOWITZ, N. A.; PATEL, V. L. The role of emotion in decision-making: A cognitive neuroeconomic approach towards understanding sexual risk behavior. **Journal of Biomedical Informatics**, v. 39, p. 720– 736, 2006.

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. **Water Resources Research**, v. 18, n.1, p.14-20, 1982.

HEWITT, K. (Org.) **Interpretations of Calamity for the Viewpoint of Human Ecology**, Allen & Unwin, Boston, MA. 1983, 304 p.

HEWITT, K. Environmental disasters in social context: Toward a preventive and precautionary approach. **Natural Hazards**, v. 66, n. 1, p. 3–14, 2013.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **A. Rev. Ecol. Systems**, v. 4, 1973, pp. 1-23.

HÜLLE, J.; KASPAR, R.; MÖLLER, K. Multiple criteria decision-making in management accounting and control –State of the art and research perspectives based on a bibliometric study. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 8, p. 253–265, 2011.

HYNDMAN, D.; HYNDMAN, D. **Natural Hazards and Disasters**. 3. ed. Canadá: Books-Cole, 2011. 591p.

IORIS, A. Desenvolvimento nacional e gestão de recursos hídricos no Brasil. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v. 85, p. 23-41, 2009.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em Mapas: Caracterização territorial**. Fortaleza, 2007. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12.htm>>. Acesso em 07 dez. 2017.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Indicadores Sociais do Ceará 2015**. Fortaleza: IPECE, 2017. 92p.

ISHIZAKA, A.; SIRAJ, S. Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. **European Journal of Operational Research**, v. 264, p. 462-471, 2018.

JACOBI, P. R.; CABIM, J.; LEÃO, R. S. Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, 2015, p. 27-42.

JENKS, G.F. **Optimal data classification for chropleth maps**. Ed. 2, Lawrence, Kansas: University of Kansas, 1977, 24p.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos**. 1. ed. Curitiba: Organic Trading, 2006.

LETTIERI, M.; PAES, N.L. Medidas de pobreza e desigualdade: uma análise teórica dos principais índices. **Ensaio Sobre Pobreza**, v. 2, 2006, 27p.

LIANQING, X.; YONGKUN, L.; ZHENGHANG, F.; JIEYOU, L. Optimal utilization simulation and decision making on water resources system. **Procedia Environmental Sciences**, v. 12, p. 1097-1103, 2012.

LIVERMAN, D. M. The vulnerability of urban areas to technological risks: An overview of US and European experience. **Cities**, v. 3, n. 2, p. 142–147. 1986.

MARCELINO, E.V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. Santa Maria-RS: CRS/INPE, 2008. 38p.

MARTIRANI, L. A.; PERES, I. K. Water crisis in São Paulo: News coverage, public reception and the right to information. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n.1, 2016, p. 1-20.

MATEUS, M. C.; TULLOS, D. Reliability, Sensitivity, and Vulnerability of reservoir operations under climate change. **J. Water Resour. Plann. Manage.**, v. 143, n. 4, 2017.

MCCARTHY, J. J.; CANZIANI, O. F.; LEARY, N. A.; DOKKEN, D. J.; WHITE, K. S. (Org.) **Climate change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001, Cambridge University Press, Cambridge e New York.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: **8th Conference on Applied Climatology**. American Meteorological Society, Boston, pp. 179-184, 1993.

MEDEIROS, C. B. **Vulnerabilidade Socioambiental do Município de Caucaia (CE): Subsídios ao Ordenamento Territorial**. 2014. Tese (Doutorado em Geografia). Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2014.

MELA, K.; TIAINEN, T.; HEINISUO, M. Comparative study of multiple criteria decision-making methods for building design. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, p. 716-726, 2012.

MIRANDA, M. J.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; FAGUNDES, R. M.; FONSECHI, D. B.; CALVE, L.; PELLEGRINO, G. Q. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

MONTANARI, A.; YOUNG, G.; SAVENIJE, H. H. G.; HUGHES, D.; WAGENER, T.; REN, L. L.; KOUTSOYIANNIS, D.; CUDENNEC, C.; TOTH, E.; GRIMALDI, S.; BLÖSCHL, G.; SIVAPALAN, M.; BEVEN, K.; GUPTA, H.; HIPSEY, M.; SCHAEFLI, B.; ARHEIMER, B.; BOEGH, E.; SCHYMANSKI, S. J.; DE BALDASSARRE, G.; YU, B.; HUBERT, P.; HUANG, Y.; SCHUMANN, A.; POST, D. A.; SRINIVASAN, V.; HARMAN, C.; THOMPSON, S.; ROGGER, M.; VIGLIONE, A.; MCMILLAN, H. CHARACKLIS, G.; PANG, Z.; BELYAEV, V. Panta Rhei – Everything flows: Change in hydrology and society – the IAHS scientific decade 2013-2022. **Hydrological Sciences Journal**, v. 58, n. 6, p. 1256-1275, 2013.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY - NIST. **Managing Information Security Risks**. United States: NIST Special Publication 800-39, 2011, 88p.

NAUMANN, G.; BARBOSA, P.; GARROTE, L.; IGLESIAS, A.; VOGT, J. Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 18, p. 1591-1604, 2014.

NAZEMI, A.; WHEATER, H. S.; CHUN, K. P.; ELSHORBAGY, A. A stochastic reconstruction framework for analysis of water resource system vulnerability to climate-induced changes in river flow regime. **Water Resources Research**, v. 49, p. 291-305, 2013.

OZERNOY, V. **A framework for choosing the most appropriate discrete alternative multiple criteria decision-making method in decision support systems and expert systems**. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, p. 56–64, 1987.

PAULO, A. A.; PEREIRA, L. S. Prediction of SPI drought class transitions using Markov chains. **Water Research Management**, vol. 21, n. 10, p. 1813–1827, 2007.

PEREIRA, R. M. V.; MEDEIROS, R. A aplicação dos instrumentos de gestão e do Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 4, n. 3, p. 211-229, 2009.

PIENAAR, G. W.; HUGHES, D. A. Linking hydrological uncertainty with equitable allocation for water resources decision-making. **Water Resour Manage**, v. 31, p. 269-282, 2017.

PRYSHLAK, T. T.; SAWYER, A. H.; STONEDAHN, S. H.; SOLTANIAN, M. R.; AL, R. E. T. Water demand management in times of drought: What matters for water conservation. **Water Resources Research**, v. 51, p. 125-139, 2014.

RAMOS, A. P. M.; MARCATO JUNIOR, J.; DECANINI, M. M. S.; PUGLIESI, E. A.; OLIVEIRA, R. F.; PARANHOS FILHOS, A. C. Avaliação qualitativa e quantitativa de métodos de classificação de dados para o mapeamento coroplético. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 3, p. 609-629, 2016.

RAMOS, M. **Gestão de Recursos Hídricos e Cobrança pelo Uso da Água**. Fundação Getúlio Vargas, Escola Brasileira de Administração Pública, 2007.

SANTANA, E. W. **Cenário atual dos recursos hídricos do Ceará**. Fortaleza: INESP, 2008. 174p.

SANTOS, J. O. Relação Entre Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Social na Suscetibilidade aos Riscos. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, mai./ago. 2015.

SANTOS, M. O. R. M. **O impacto da cobrança pelo uso da água no comportamento do usuário**. 2002. 231p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SÃO PAULO – Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. **Guia do sistema paulista de recursos hídricos**. São Paulo: SSRH, 3a. ed., 2015. 108p.

SCHMIDTLEIN, M. C.; DEUTSCH, R. C.; PIEGORSCH, W. W.; CUTTER, S. L. A Sensitivity Analysis of the Social Vulnerability Index. **Risk Analysis**, v. 28, n. 4, p. 1009-1114, 2008.

SEDAE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **IPVS versão 2010**, 2010. Disponível em: <<http://www.iprs.seade.gov.br/ipvs2010/view/index.php?prodCod=2>>. Acesso em 02 jan. 2018.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e Fundamentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003. 235p.

SILVA, S. M. O. **Compensação financeira como mecanismo de gestão de risco na alocação de água**. 2015. 176p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SLOCUM, A. T., MCMASTER, R. B., KESSLER, F. C.; HOWARD, H. H. **Thematic Cartography and Geovisualization**. 3rd ed. Prentice Hall, 2009. 576p.

SOUZA FILHO, F. A. **Alocação de água sazonal e anual: Modelos matemáticos, experimentação comportamental e justiça alocativa**. 2005. 439p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SUÁREZ-ALMIÑANA, S.; PEDRO-MONZONÍS, M.; PAREDES-ARQUIOLA, J.; ANDREU, J.; SOLERA, A. Linking Pan-European data to the local scale for decision making for global change and water scarcity within water resources planning and management. **Science of the Total Environment**, v. 603–604, p. 126–139, 2017.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T. Benefits and legacy of the water crisis in Brazil. **Ambiente & Água**, v. 10, n. 2, Taubaté, 2015, p. 234-239.

TIMMERMAN, P. **Vulnerability, resilience and the collapse of society**: Environmental monograph no. 1. Toronto: Institute for Environmental Studies, 1981, 46p.

TRANTAPHYLLOU, E. **Multi-criteria decision making methods: A comparative study**, Estados Unidos: Ed. Springer, 2000.

TROMPIERI NETO, N.; PAIVA, W. L. **Indicadores econômicos do Ceará 2015**. Fortaleza-CE: IPECE, 2016. 93p.

TURNER, B. L.; KASPERSON, R. E.; MATSON, P. A.; MCCARTHY, J. J.; CORELL, R. W.; CHRISTENSEN, L.; ECKLEY, N.; KASPERSON, J. X.; LUERS, A.; MARTELLO, M. L.; POLSKY, C.; PULSIPHER, A.; SCHILLER, A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. **PNAS**, v. 100, n. 14, p. 8074-8079, 2003.

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010**. Florianópolis, 2012.

UNDRO – OFFICE OF THE UNITED NATIONS DISASTER RELIEF CO-ORDINATOR. **Natural disasters and vulnerability analysis**. Geneva: Report of Expert Group Meeting, 1979.

UN/ISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives**. Geneva: UN Publications, 2004.

VARGAS-AMELIN, E.; PINDADO, P. The challenge of climate change in Spain: water resources agriculture and land. **Journal of Hydrology**, v. 518, p. 243-249, 2014.

VEYRET, Y. (Org.). **Os Riscos: o Homem como Agressor e Vítima**. São Paulo: Editora Contexto, 2007. 319p.

VIEIRA, V. P. P. B. **Análise de risco em recursos hídricos: Fundamentos e aplicações.** Porto Alegre: Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 10, 372p. 2005.

WALDVOGEL, B. C.; FERREIRA, C. E. C.; YAZAKI, L. M.; ARANHA, V. J.; CAPASSI, R.; CASTIÑEIRAS, L. L.; TEIXEIRA, M. L. P.; PERILLO, S. R. A população regional paulista em perspectiva histórica: projeções demográficas até 2050. **Resenha de Estatísticas Vitais do Estado de São Paulo - SEDAE**, ano 17, n. 1, 2017, 21p.

WILHITE, D. A. (Org.) **Drought and water crises: science, technology, and management issues.** CRC Press, Boca Raton, FL, 2005.

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

WOLLFENBUTTEL, A. O que é? Índice de Gini. **Desafios do desenvolvimento**, ano 1, ed. 4, 2004. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2048:catid=28&Itemid=23. Acesso em 30 dez. 2017.

XAVIER, S. C. **O Mapeamento Geotécnico por Meio de Geoprocessamento como Instrumento de Auxílio ao Planejamento de Uso e Ocupação do Solo em Cidades Costeiras: Estudo de Caso para Pelotas (RS).** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande-RS, 2010.

ZHANG, C.; XU, B.; LI, Y. FU, G. Exploring the relationships among Reliability, Resilience, and Vulnerability of water supply using many-objective analysis. **J. Water Resour. Plann. Manage.**, v. 143, n. 8, 2017.

ANEXO A – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA SECA**DADOS DO ENTREVISTADO**

1. Nome do Entrevistado

2. E-mail

3. Qual a sua Organização

() Secretaria de Recursos Hídricos

() DAEE

() SABESP

() OUTRO

4. Em caso de outro, qual?

5. Região Hidrográfica que será enfocada na resposta ao questionário

() DIVERSAS REGIOES

() MANTIQUEIRA

() PARAÍBA DO SUL

() LITORAL NORTE

() PARDO

() PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAI

() ALTO TIETÊ

() BAIXADA SANTISTA

() SAPUCA/GRANDE

() MOGI-GUAÇU

() TIETÊ/SOROCABA

() RIBEIRA DE IGUAPE/LITORAL SUL

() BAIXO PARDO/GRANDE

() TIETÊ/JACARÉ

() ALTO PARANAPANEMA

() TURVO/GRANDE

() TIETÊ/BATALHA

() MÉDIO PARANAPANEMA

() SÃO JOSÉ DOS DOURADOS

() BAIXO TIETÊ

() AGUAPE

() PEIXE

() PONTAL DO PARANAPANEMA

6. Listar as regiões no caso de ter marcado "diversas regiões"

Para cada item das próximas questões:

Considerar a escala de impactos:

Irrelevante (0), Baixo (1), Médio (2), Alto (3), Muito Alto (4), Potencial (P), Não Avaliada (NA)

Impacto Potencial poderá ocorrer no futuro apesar de ainda não ter sido observado

IMPACTO NOS SETORES USUÁRIOS

7. Impacto nos Diversos Usos da Água

() Irrigação

() Abastecimento Urbano

() Indústria

() Produção Hidroelétrica

() Navegação

() Ecossistemas Aquáticos

() Pescas

() Outros usos

8. Em caso de avaliar outros usos, qual foi adicionado?

9. Impacto no Setor de Saneamento

() A interrupção do abastecimento de água para as cidades

() Aumento dos custos de tratamento de água para os usos (urbano, industrial, irrigação...)

() Perda de receita com redução da água faturada

() Percepção desfavorável do público com relação à companhia de saneamento

() Perdas financeiras na companhia de saneamento

10. Liste Outros impactos relevantes no Saneamento (se necessário)

CONFLITOS

11.

() Conflitos alocativos

() Violência física ou simbólica no conflitos

() Fragilização de organizações de gestão dos recursos hídricos

() Reação quanto a legitimidade do processo de tomada de decisão sobre alocação no período seco

() Crítica a qualidade das decisões de gestão e planejamento da seca

() Rupturas institucionais / Conflitos entre Instituições

() Falta de equidade na alocação da água entre usos e regiões

() Falta de eficiência econômica na alocação de água entre usos e regiões

() Conflito entre pretendora do serviço de saneamento e instituição reguladora do setor

() Conflito entre usuários de água e ministério público

() Conflito entre usuários da água e instituição reguladora do meio ambiente

12. Liste Outros Conflitos (se necessário)

DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

13. Impacto na Oferta de Água

() Redução dos estoques de água

() A interrupção do abastecimento de água para algum uso

() Qualidade da água nos corpos hídricos degradada pela seca (eutrofização, carga orgânica...)

() Aumento de custos e tempo dos funcionários para implementar plano de seca

() Aumento da necessidade de dados / informação requeridas para monitorar e implementar plano de mitigação da seca

- () Custos de aquisição/transferência para acessar novos mananciais de abastecimento de água
 - () Custos para aumentar a eficiência do uso da água na operação dos mananciais e obras de transferência hídrica
 - () Percepção desfavorável do público com relação aos órgãos gestores de recursos hídricos
 - () Escassez de equipamentos e outros serviços relacionados com a água (ex. contratados para reparar/perfurar poços)
 - () Intensificação do Reuso de Água
 - () Intensificação na construção de poços
 - () Utilização de desalinização de água do mar
14. Liste Outros impactos relevantes na oferta (se necessário)

COMUNIDADES

15. Impacto Comunidades

- () Redução na renda da população
- () Aumento no nível de desemprego devido a seca
- () Água potável de qualidade inferior (isto é, mau gosto e odor)
- () Paisagismo Interno e Público estressado ou morto
- () Contaminação na rede como resultado de pressões mais baixas
- () Redução da qualidade de vida
- () A perda de vida humana (ex. diarreias)
- () Redução na capacidade de combate a incêndio
- () Estresse físico e mental (população)
- () Conflito político Maior
- () Redução ou modificação de atividades recreativas
- () Distribuição desigual dos impactos das secas entre grupos sociais
- () Alterações às tendências de crescimento da população (mais prováveis durante uma seca prolongada)
- () Maior conscientização sobre a conservação da água
- () Mudança no comportamento do uso da água para conservar a água

() Re-avaliação de valores sociais (prioridades, necessidades, direitos) no sentido de se adaptar a seca

16. Liste Outros impactos relevantes nas Comunidades(se necessário)

ECONÔMICO

17. Impacto Econômico

() Redução na produção de riquezas do município (PIB)

() Preços da terra (Diminuição)

() Subsidência do terreno como resultado do esgotamento (rebaixamento) da água subterrânea

() Perda econômica na agricultores

() Perda econômica no setor de turismo

() Desestruturação da cadeia produtiva industrial

() Redução de desenvolvimento econômico

() Aumento dos preços dos alimentos

() Redução na produção de hidroeletricidade

18. Liste Outros impactos relevantes na Economia (se necessário)

AMBIENTAL E RECREACIONAL

19. Impacto Ambiental e Recreacional

() Aumento do risco de frequência e gravidade dos incêndios florestais

() Estresse nos ecossistemas aquáticos e ribeirão

() Níveis mais baixos lago / reservatório reduzindo atividades recreacionais

() Aumento da susceptibilidade a doenças de plantas

() Redução do escoamento nas nascentes (fontes)

() O estresse para os peixes e outros animais selvagens

() Baixa qualidade da água em rios e / ou lagos / reservatórios

20. Liste Outros impactos relevantes no Ambiente e Recreacional (se necessário)

SECAS MAIS SEVERAS DO PASSADO

Esta seção objetiva recuperar a memória das secas mais severas observadas e identificar os principais impactos ocorridos

(1) Seca Mais Severa

21. Início

Example: December 15, 2012

22. Duração (meses)

23. Listar Principais impactos observados

(2) Segunda Seca Mais Severa

24. Início

Example: December 15, 2012

25. Duração (meses)

26. Listar Principais impactos observados

(3) Terceira Seca Mais Severa

Example: December 15, 2012

27. Início

28. Duração (meses)

29. Listar Principais impactos observados

COMENTÁRIOS FINAIS

30. Espaço para Comentários que Julgar Pertinente

ANEXO B – RESULTADOS DA QUALIFICAÇÃO UTILIZANDO A ANÁLISE 2

Quadro 3 – Qualificação do processo de vulnerabilidade por município no Ceará.

Municípios	Sensibilidade	Exposição	Capacidade Adaptativa	V (índices)	V (notas)
ABAIARA	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA
ACARAPE	ALTA	ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA
ACARAÚ	ALTA	BAIXA	MODERADA	MODERADA	BAIXA
ACOIARA	ALTA	ALTA	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA
AIUABA	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
ALCÂNTARAS	BAIXA	EXTREMA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
ALTANEIRA	BAIXA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA
ALTO SANTO	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA	BAIXA	BAIXA
AMONTADA	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA
ANTONINA DO NORTE	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA
APUIARÉS	BAIXA	ALTA	BAIXA	MODERADA	MODERADA
AQUIRAZ	MUITO ALTA	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA
ARACATI	MUITO ALTA	BAIXA	MODERADA	MUITO ALTA	ALTA
ARACOIABA	ALTA	BAIXA	EXTREMA	MODERADA	BAIXA
ARARENDÁ	MODERADA	MUITO ALTA	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA
ARARIPE	BAIXA	MODERADA	MUITO ALTA	BAIXA	BAIXA
ARATUBA	MUITO ALTA	BAIXA	MUITO ALTA	MODERADA	MODERADA
ARNEIROZ	BAIXA	EXTREMA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
ASSARÉ	MODERADA	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA
AURORA	ALTA	ALTA	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA
BAIXIO	MODERADA	ALTA	BAIXA	ALTA	ALTA

BANABUIÚ	MODERADA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
BARBALHA	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA
BARREIRA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA	ALTA	ALTA
BARRO	MUITO ALTA	ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
BARROQUINHA	MODERADA	MODERADA	MUITO ALTA	MODERADA	BAIXA
BATURITÉ	MUITO ALTA	ALTA	EXTREMA	ALTA	MUITO ALTA
BEBERIBE	ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
BELA CRUZ	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
BOA VIAGEM	MUITO ALTA	MODERADA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
BREJO SANTO	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
CAMOCIM	ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
CAMPOS SALES	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	BAIXA
CANINDÉ	MODERADA	MUITO ALTA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA
CAPISTRANO	ALTA	ALTA	EXTREMA	ALTA	MUITO ALTA
CARIDADE	MODERADA	BAIXA	MODERADA	BAIXA	BAIXA
CARIRÉ	MODERADA	EXTREMA	BAIXA	MUITO ALTA	EXTREMA
CARIRIAÇU	ALTA	MODERADA	MODERADA	MODERADA	ALTA
CARIÚS	BAIXA	MODERADA	BAIXA	MODERADA	BAIXA
CARNAUBAL	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA
CASCAVEL	MUITO ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
CATARINA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
CATUNDA	MODERADA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
CAUCAIA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
CEDRO	MUITO ALTA	MODERADA	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
CHAVAL	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	ALTA
CHORÓ	ALTA	ALTA	EXTREMA	MODERADA	ALTA
CHOROZINHO	ALTA	ALTA	MUITO ALTA	ALTA	ALTA
COREAÚ	BAIXA	EXTREMA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA

CRATEÚS	MODERADA	ALTA	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA
CRATO	ALTA	ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
CROATÁ	ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
CRUZ	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
DEPUTADO IRAPUAN PINHEIRO	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	BAIXA
ERERÊ	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
EUSÉBIO	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
FARIAS BRITO	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
FORQUILHA	MODERADA	MODERADA	ALTA	MODERADA	MODERADA
FORTALEZA	EXTREMA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA	EXTREMA
FORTIM	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA
FRECHEIRINHA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA	ALTA	ALTA
GENERAL SAMPAIO	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	MODERADA
GRAÇA	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA
GRANJA	MODERADA	EXTREMA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
GRANJEIRO	ALTA	ALTA	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA
GROAÍRAS	MODERADA	ALTA	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA
GUAIÚBA	ALTA	BAIXA	MUITO ALTA	MODERADA	BAIXA
GUARACIABA DO NORTE	BAIXA	MUITO ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
GUARAMIRANGA	ALTA	BAIXA	MUITO ALTA	MODERADA	MODERADA
HIDROLÂNDIA	MODERADA	EXTREMA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
HORIZONTE	ALTA	ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA
IBARETAMA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
IBIAPINA	MODERADA	BAIXA	ALTA	BAIXA	BAIXA
IBICUITINGA	MODERADA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
ICAPUÍ	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
ICÓ	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA	ALTA

IGUATU	ALTA	BAIXA	MUITO ALTA	MODERADA	MODERADA
INDEPENDÊNCIA	MODERADA	MUITO ALTA	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA
IPAPORANGA	MODERADA	MUITO ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
IPAUMIRIM	ALTA	BAIXA	BAIXA	MODERADA	MODERADA
IPU	ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	ALTA
IPUEIRAS	BAIXA	MUITO ALTA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA
IRACEMA	BAIXA	ALTA	EXTREMA	BAIXA	BAIXA
IRAUÇUBA	MODERADA	ALTA	MODERADA	MODERADA	MODERADA
ITAIÇABA	MUITO ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
ITAITINGA	MUITO ALTA	BAIXA	MUITO ALTA	ALTA	ALTA
ITAPAGÉ	MODERADA	ALTA	MODERADA	MODERADA	MODERADA
ITAPIPOCA	ALTA	BAIXA	ALTA	BAIXA	BAIXA
ITAPIÚNA	ALTA	BAIXA	MUITO ALTA	MODERADA	MODERADA
ITAREMA	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA
ITATIRA	MODERADA	EXTREMA	BAIXA	MUITO ALTA	EXTREMA
JAGUARETAMA	ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	MODERADA	ALTA
JAGUARIBARA	MODERADA	MODERADA	EXTREMA	BAIXA	BAIXA
JAGUARIBE	BAIXA	ALTA	EXTREMA	MODERADA	MODERADA
JAGUARUANA	MUITO ALTA	ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
JARDIM	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA	ALTA
JATI	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
JIJOCA DE JERICOACOARA	MODERADA	BAIXA	ALTA	BAIXA	BAIXA
JUAZEIRO DO NORTE	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	EXTREMA
JUCÁS	BAIXA	BAIXA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
LAVRAS DA MANGABEIRA	ALTA	MODERADA	ALTA	ALTA	ALTA
LIMOEIRO DO NORTE	MUITO ALTA	ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	EXTREMA
MADALENA	MODERADA	ALTA	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA

MARACANAÚ	EXTREMA	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
MARANGUAPE	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
MARCO	ALTA	MUITO ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
MARTINÓPOLE	MODERADA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
MASSAPÊ	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
MAURITI	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA
MERUOCA	MODERADA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
MILAGRES	ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
MILHÃ	MODERADA	ALTA	EXTREMA	MODERADA	MODERADA
MIRAÍMA	ALTA	MODERADA	MODERADA	ALTA	ALTA
MISSÃO VELHA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	EXTREMA
MOMBAÇA	MODERADA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
MONSENHOR TABOSA	MODERADA	MUITO ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
MORADA NOVA	MUITO ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
MORAÚJO	BAIXA	EXTREMA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
MORRINHOS	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
MUCAMBO	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA
MULUNGU	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
NOVA OLINDA	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA
NOVA RUSSAS	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA
NOVO ORIENTE	MODERADA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
OCARA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA	ALTA	MUITO ALTA
ORÓS	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
PACAJUS	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
PACATUBA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
PACOTI	ALTA	ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA
PACUJÁ	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA
PALHANO	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA

PALMÁCIA	ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
PARACURU	MODERADA	BAIXA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
PARAIPABA	BAIXA	MODERADA	MODERADA	MODERADA	BAIXA
PARAMBU	MODERADA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
PARAMOTI	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	ALTA
PEDRA BRANCA	MODERADA	BAIXA	ALTA	BAIXA	BAIXA
PENAFORTE	MODERADA	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA
PENTECOSTE	MODERADA	BAIXA	MODERADA	MODERADA	BAIXA
PEREIRO	BAIXA	BAIXA	MUITO ALTA	BAIXA	BAIXA
PINDORETAMA	ALTA	MODERADA	EXTREMA	MODERADA	ALTA
PIQUET CARNEIRO	MODERADA	EXTREMA	BAIXA	MUITO ALTA	EXTREMA
PIRES FERREIRA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	MODERADA
PORANGA	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA
PORTEIRAS	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
POTENGI	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	MODERADA
POTIRETAMA	BAIXA	BAIXA	EXTREMA	BAIXA	BAIXA
QUITERIANÓPOLIS	BAIXA	MUITO ALTA	BAIXA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
QUIXADÁ	ALTA	ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA
QUIXELÔ	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
QUIXERAMOBIM	MODERADA	MUITO ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
QUIXERÉ	MUITO ALTA	MODERADA	BAIXA	MUITO ALTA	MUITO ALTA
REDENÇÃO	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
RERIUTABA	ALTA	EXTREMA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
RUSSAS	MUITO ALTA	ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	EXTREMA
SABOEIRO	ALTA	EXTREMA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
SALITRE	MODERADA	MUITO ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
SANTANA DO ACARAÚ	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	MUITO ALTA
SANTANA DO CARIRI	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA

SANTA QUITÉRIA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
SÃO BENEDITO	BAIXA	BAIXA	ALTA	BAIXA	BAIXA
SÃO GONÇALO DO AMARANTE	ALTA	BAIXA	MUITO ALTA	MODERADA	MODERADA
SÃO JOÃO DO JAGUARIBE	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	ALTA
SÃO LUÍS DO CURU	BAIXA	MUITO ALTA	MODERADA	ALTA	MUITO ALTA
SENADOR POMPEU	MODERADA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
SENADOR SÁ	BAIXA	EXTREMA	BAIXA	MUITO ALTA	EXTREMA
SOBRAL	ALTA	EXTREMA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
OLONÓPOLE	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA	BAIXA	BAIXA
TABULEIRO DO NORTE	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MODERADA	EXTREMA	EXTREMA
TAMBORIL	BAIXA	MUITO ALTA	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA
TARRAFAS	BAIXA	ALTA	ALTA	MODERADA	MODERADA
TAUÁ	ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA	EXTREMA
TEJUÇUOCA	BAIXA	MODERADA	MODERADA	MODERADA	BAIXA
TIANGUÁ	ALTA	MODERADA	MUITO ALTA	MODERADA	ALTA
TRAIRI	ALTA	ALTA	BAIXA	ALTA	MUITO ALTA
TURURU	MODERADA	BAIXA	MODERADA	BAIXA	BAIXA
UBAJARA	BAIXA	MODERADA	ALTA	BAIXA	BAIXA
UMARI	ALTA	MUITO ALTA	BAIXA	MUITO ALTA	EXTREMA
UMIRIM	MODERADA	ALTA	MODERADA	MODERADA	MODERADA
URUBURETAMA	ALTA	ALTA	MODERADA	ALTA	ALTA
URUOCA	ALTA	MUITO ALTA	BAIXA	MUITO ALTA	EXTREMA
VARJOTA	ALTA	MODERADA	ALTA	MODERADA	MODERADA
VÁRZEA ALEGRE	ALTA	BAIXA	ALTA	MODERADA	BAIXA
VIÇOSA DO CEARÁ	MODERADA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA

Fonte: elaboração da autora.