UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

DANILO TABARELLI MELO BARBOSA

Desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade da agricultura às secas nos municípios do Vale do Ribeira

São Carlos
2024

DANILO TABARELLI MELO BARBOSA

Desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade da agricultura às secas nos municípios do Vale do Ribeira

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Dr. Marcos Roberto Benso

São Carlos

2024

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

TB238d

Tabarelli Melo Barbosa, Danilo
Desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade da agricultura às secas nos municípios do Vale do Ribeira / Danilo Tabarelli Melo Barbosa; orientador Marcos Roberto Benso. São Carlos, 2024.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2024.

1. Mudanças climáticas. 2. Seca. 3. Vulnerabilidade. 4. Agricultura. 5. Exposição. 6. Sensibilidade. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Danilo Tabarelli Melo Barbosa**

Data da Defesa: 12/11/2024

Comissão Julgadora:	Resultado:
Dr. Marcos Roberto Benso (Orientador(a))	Aprovado
Dra. Anaí Floriano Vasconcelos	Aprovado
M.Sc. Gabriel Marinho e Silva	Aprovado

Prof. Dr. Marcelo Zaiat
Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

Dedico este trabalho à Bisa, que se enchia de orgulho todas as vezes que eu a recordava do curso que escolhi

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente ao Marcos Roberto Benso, que não só exerceu com maestria (e muitíssima paciência) seu papel esperado como orientador em diversos projetos nesses mais de três anos de mentoria, mas também sempre se mostrou disponível, preocupado e interessado em qualquer que fosse a questão que eu levantasse, seja ela sobre minha vida pessoal, profissional ou acadêmica. Postura de algo que vai muito além de uma relação simples de orientador e orientado. Com o encerramento desse ciclo, sei que ganhei um precioso amigo.

Também, quero expressar minha gratidão às amizades que trilharam esse caminho comigo e de alguma forma me ajudaram a ser a pessoa que sou. As que são até hoje, as que vieram e já foram, de dentro ou fora da universidade. Em especial, cito o grupo Sushizada do Acerola, antigo Euphoria, que é composto pelas pessoas que eu mais admiro e mais me conectei da Engenharia Ambiental.

Aos meus amigos Yudi e Zoo, os que conheci mais a tardar – fato que não influencia em nada na importância deles para a minha vida – mas muitas vezes foram os que mais me ajudaram a superar situações que eu imaginava serem insuperáveis. A vida é mais leve com vocês.

À Crea, Nelson e Paty, que são a certeza que tenho assim quando acordo de que o meu dia não será só. A companhia de vocês é um dos bens mais valiosos que carrego comigo, seja ela rosto a rosto ou a três mil quilômetros de distância.

Lucas e Milena certamente merecem muita gratidão da minha parte. Mi, rir é muito fácil com você; muito obrigado por me manter mais feliz mesmo nos momentos menos propensos a felicidade. Lucas, meu parceiro para tudo, meu melhor amigo, minha razão de não ter desistido muitas vezes e quem acredita mais em mim do que eu mesmo; muito obrigado por sempre estar comigo. Amo vocês.

À toda a minha família, que sempre ofereceu o suporte necessário para a minha caminhada.

Aos meus irmãos, pilares de afeto, carinho e amor em minha vida. Amo muito cada um!

Finalmente, à minha mãe. Quem me ensinou o significado de amar. Minha inspiração. Meu maior apoio e minha maior fã. Te amo muito mais que a mim. Sempre.

“Ouça um bom conselho, que eu lhe dou de graça:
inútil dormir que a dor não passa”

- Chico Buarque

RESUMO

BARBOSA, D. T. M. **Desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade da agricultura às secas nos municípios do Vale do Ribeira**. 2024. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

A vulnerabilidade dos produtores rurais às secas é uma questão central nas discussões sobre sustentabilidade agrícola e resiliência climática. As secas afetam a agricultura de maneira intensa, reduzindo a produção devido à falta de água, degradando o solo e aumentando os custos operacionais com irrigação e insumos; e intensificação das mudanças climáticas têm tornado as secas mais frequentes, o que ameaça a subsistência de milhões de pequenos agricultores globalmente. Este trabalho analisa a vulnerabilidade à seca da agricultura do Vale do Ribeira - região de grande diversidade ambiental e cultural, com grande parte de sua economia centrada na agropecuária, situada entre o sul de São Paulo e o leste do Paraná - desenvolvendo um índice de vulnerabilidade e comparando indicadores de vulnerabilidade em seus 29 municípios. Foram identificados nove indicadores ambientais e socioeconômicos para refletir os três componentes da vulnerabilidade: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. Os resultados do estudo mostram que as regiões mais expostas às mudanças e variabilidade climáticas nem sempre coincidem com aquelas que apresentam alta sensibilidade ou baixa capacidade adaptativa. Além disso, a vulnerabilidade às mudanças climáticas está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento social e econômico. Evidenciaram-se regiões prioritárias para investimento, destacando áreas com maior exposição à seca e menor capacidade de adaptação, como Iguape, Apiaí e Registro. A metodologia proposta é replicável e pode ser aplicada em outras regiões, contribuindo para que os formuladores de políticas desenvolvam políticas específicas para cada região e abordem as mudanças climáticas no nível local.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Seca. Vulnerabilidade. Agricultura. Exposição. Sensibilidade.

ABSTRACT

BARBOSA, D. T. M. **Development of Agricultural Drought Vulnerability Indicators in the Municipalities of Vale do Ribeira**. 2024. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

The vulnerability of rural producers to droughts is a central issue in discussions on agricultural sustainability and climate resilience. Droughts severely impact agriculture, reducing production due to water scarcity, degrading soil, and increasing operational costs for irrigation and inputs. The intensification of climate change has made droughts more frequent, threatening the livelihoods of millions of small farmers globally. This study analyzes the drought vulnerability of agriculture in Vale do Ribeira—a region with significant environmental and cultural diversity and a largely agriculture-based economy, located between southern São Paulo and eastern Paraná—by developing a vulnerability index and comparing vulnerability indicators across its 29 municipalities. Nine environmental and socio-economic indicators were identified to reflect the three components of vulnerability: exposure, sensitivity, and adaptive capacity. The study's results show that the regions most exposed to climate change and variability do not always coincide with those with high sensitivity or low adaptive capacity. Furthermore, vulnerability to climate change is intrinsically linked to social and economic development. Priority investment regions were identified, with areas such as Iguapé, Apiaí, and Registro showing higher drought exposure and lower adaptive capacity. The proposed methodology is replicable and can be applied to other regions, supporting policymakers in developing region-specific policies and addressing climate change at the local level.

Keywords: Climate change. Drought. Vulnerability. Agriculture. Exposure. Sensitivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa do Vale do Ribeira.....42

Figura 2 – Mapa dos municípios do Vale do Ribeira divididos por Estado.....43

Figura 3 – Fluxograma resumindo a metodologia empregada para o Indicador de Vulnerabilidade à Seca (IVS).....44

Figura 4 – Vale do Ribeira com o do Método dos pesos iguais (PI).....56

Figura 5 – Vale do Ribeira com o do Método dos pesos proporcionais (PP).....56

Figura 6 – Vale do Ribeira com o do Método dos pesos aleatórios (PA).....57

Figura 7 – (a) valores de IVS por município e (b) ranking dos valores de IVS ordenados do mais vulnerável para o mais vulnerável.....59

Figura 8 – Comparação do IVS gerado por diferentes métodos e dividas em classes muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto para (a): PI; (b): PP; e (c): PA.....61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores selecionados para a elaboração do indicador de vulnerabilidade à seca categorizados por seus determinantes: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa.....46

Tabela 2 – IVS por município com os métodos dos pesos iguais, pesos proporcionais e pesos aleatórios.....52

Tabela 3 – Tabela com a caracterização dos dados por meio de estatística descritiva.....53

Tabela 4 – Valores gerados pela análise de indicadores em nível municipal.....55

Tabela 5 – Ranking hierárquico dos três métodos do IVS.....58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
PAEPB/IICA	Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado da Paraíba
VI	Indicador de Vulnerabilidade
VCI	Índice de Condição da Vegetação
ONGs	Organizações Não Governamentais
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IVS	Indicador de Vulnerabilidade à Seca
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
SPI	Índice de Precipitação Padronizado
PI	Método dos Pesos Iguais
PP	Método dos Pesos Proporcionais
PA	Método dos Pesos Aleatórios
FVI	Indicador de vulnerabilidade à inundação - Salazar-Briones et al., 2020

LISTA DE SÍMBOLOS

Z_i	Índice normalizado
X_i	Valor da variável para um município genérico
$X_{mín}$	Valor mínimo de cada município
$X_{máx}$	Valor máximo de cada município
IVS_{PI}	Índice de Vulnerabilidade à Seca para o método dos pesos iguais
IVS_{PP}	Índice de Vulnerabilidade à Seca para o método dos pesos proporcionais
IVS_{PA}	Índice de Vulnerabilidade à Seca para o método dos pesos aleatórios
w_i	Peso
E	Exposição
S	Sensibilidade
CA	Capacidade Adaptativa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....29
1.1 Hipótese..... 31
2 OBJETIVOS..... 33
2.1 Objetivo geral.....29
2.2 Objetivos específicos.....30
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 35
3.1 Secas, suas definições e seu gerenciamento..... 35
3.2 Conceito de risco.....38
3.3 Indicadores de vulnerabilidade para secas voltadas à agricultura familiar..... 39
4 METODOLOGIA.....42
4.1 Área de estudo.....42
4.2 Quadro teórico..... 44
4.2.1 Definição dos determinantes do Índice de Vulnerabilidade a Secas (IVS).....45
4.2.2 Seleção das variáveis e normalização..... 46
4.2.3 Análise de sensibilidade do modelo de vulnerabilidade IVS..... 48
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....52
5.1 Análise descritiva dos indicadores.....52
6 CONCLUSÕES.....63
6.1 Conclusões..... 63
6.2 Recomendações para trabalhos futuros.....64
REFERÊNCIAS.....66
ANEXO..... 70

1 INTRODUÇÃO

Produtores rurais e sua vulnerabilidade às secas é uma das principais questões nas pautas e agendas sobre sustentabilidade agrícola e resiliência climática. A agricultura sofre efeitos devastadores decorrentes de secas, como a redução da produção devido à falta de água, a degradação do solo - que compromete sua fertilidade - e o aumento dos custos operacionais para irrigação e insumos (CROSSMAN, 2018). Com as mudanças climáticas, sua frequência tem aumentado tornando o fenômeno da seca uma ameaça crescente à subsistência de milhões de pequenos agricultores ao redor do mundo. Devido esta realidade, o esforço contínuo para o dimensionamento da vulnerabilidade desses produtores para que os principais fatores de risco e possíveis estratégias para controlá-los é indispensável.

As secas, eventos estes que costumavam ser vistos como esporádicos, estão cada vez mais recorrentes, afetando extensas áreas agrícolas com alterações de pluviometria e aumentos na variabilidade climática em muitas regiões; e isso se deve ao aquecimento global e sua consequente elevação na temperatura no planeta (MASSON-DELMOTTE et al., 2019). Isso coloca os pequenos produtores rurais em uma posição de vulnerabilidade particular, já que sua capacidade adaptativa se limita devido a fatores como a escassez de recursos financeiros, baixa diversificação de cultivos e infraestrutura hídrica limitada. A condição de baixa capacidade adaptativa resulta em mudanças severas nos padrões de vida desses, diminuição do emprego rural e acaba degradando sua segurança alimentar (OGUNDEJI et al., 2022).

Índices de vulnerabilidade são desenvolvidos a fim de compreender e caracterizar os fatores físicos, sociais, ambientais e econômicos que contribuem para o aumento da suscetibilidade ao perigo da seca e, desta forma, auxiliar na mitigação dos seus impactos. Eles se mostram importantes pois são ferramentas que avaliam os riscos enfrentados pelos agricultores, o que ajuda na identificação das áreas que necessitam das mais variadas intervenções e podem guiar pesquisadores e formuladores de políticas na seleção de medidas de adaptação adequadas e na implementação de estratégias para reduzir a vulnerabilidade dos agricultores às mudanças climáticas e aos eventos de seca (OGUNDEJI et al., 2022). Esses instrumentos geralmente incorporam determinantes como exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, e se baseiam em variáveis que vão desde aspectos socioeconômicos – como nível de renda, acesso a crédito, educação e capacitação técnica – até fatores ambientais, como a disponibilidade de recursos hídricos, qualidade do solo e práticas de uso da terra.

Assim, os índices de vulnerabilidade se mostram muito importantes para a gestão de crises climáticas, já que fornecem uma visão detalhada da situação desses produtores e

permitem que identifiquemos áreas e populações prioritárias para a implementação de ações de adaptação e mitigação. Porém, mesmo com sua importância, enfrentam limitações significativas que precisam ser superadas para que sejam mais eficazes e amplamente aplicáveis (CROSSMAN, 2018).

Mesmo com todos os avanços nas últimas décadas, existem muitas lacunas importantes na construção dos índices de vulnerabilidade às secas, ainda mais quando se fala em sua aplicabilidade e precisão dos métodos. Grande parte dos estudos depende do levantamento qualitativo, que se baseia na aplicação de questionários a especialistas e moradores das áreas afetadas. (OGUNDEJI et al., 2022) defende que esse método fornece visões subjetivas e com possíveis inconsistências, sem contar com a vasta demanda de tempo e recursos quando aplicado em larga escala. Outra dificuldade é o desenvolvimento de metodologias que geram indicadores personalizados para específicas regiões e, simultaneamente, são completas o suficiente para que sejam aplicadas em outras áreas, com características físicas e sociais diferentes. Aguilar et al. (2022) dizem que ainda há uma falta de compreensão holística sobre como fatores distintos interagem para afetar a vulnerabilidade e a resiliência dos pequenos agricultores em contextos de escassez de água, onde as relações entre as capacidades complementares destes e sua resiliência à escassez não são exploradas. Ainda, o autor reforça que é preciso uma abordagem com mais integração, que considera não apenas os ativos de subsistência, mas também as interações entre eles: cita-se, como exemplo, a relação entre área cultivada e mão de obra, que influencia na sua capacidade de adaptação.

Neste sentido, o estudo presente visa amparar nas análises de indicadores de vulnerabilidades de regiões de interesse para agricultura ao extremo climático das secas por meio da proposta de uma metodologia baseada em dados acessíveis e replicáveis. Tendo em vista as lacunas metodológicas e técnicas, observa-se a necessidade de propor análises detalhadas dos indicadores de vulnerabilidade produtores rurais no contexto municipal, com um enfoque específico na gestão e no planejamento de riscos associados a secas, facilitando a criação de indicadores regionais robustos e customizáveis, mas que também possam ser aplicados de maneira mais ampla em outras regiões do país ou do mundo. Com isso, espera-se que este tipo de estudo forneça subsídios para que políticas públicas mais eficazes e que apoiam a adaptação desses pequenos agricultores diante da nossa realidade de secas cada vez mais frequentes e intensas sejam desenvolvidas.

1.1 Hipótese

A vulnerabilidade dos agricultores da região do vale do Ribeira pode ser medida com um indicador que agrega diferentes determinantes como por exemplo exposição, ameaça e capacidade adaptativa. A metodologia proposta se enquadra num processo de tomada de decisão cientificamente baseada (Science-based decision making).

Perguntas de pesquisa:

- Como determinar quais municípios são mais vulneráveis?
- Quais municípios precisam de maior apoio?
- Quais fatores são importantes para definir a vulnerabilidade que servem para a construção de áreas prioritárias?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

O objetivo deste trabalho é propor e aplicar uma metodologia de análise de vulnerabilidade de produtores rurais a secas visando identificar regiões prioritárias para o planejamento de políticas públicas que promovam adaptação e resiliência da agricultura.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar indicadores condicionantes da vulnerabilidade de produtores rurais do Vale do Ribeira às secas, incluindo variáveis como exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa;
- Avaliar o uso de diferentes métodos de agregação de indicadores para cálculo de índice de vulnerabilidade a secas que seja replicável em outras regiões, auxiliando assim na formulação de políticas públicas de gestão adaptativa para risco de secas em áreas de produção agrícola.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Secas, suas definições e seu gerenciamento

Considerada um dos fenômenos climáticos mais devastadores para a agricultura, a seca afeta grandes regiões do planeta, principalmente aquelas com climas semiáridos e que dependem de chuvas sazonais. Sua complexidade se origina na sua gradualidade e em sua dificuldade em ser prevista (em duração e ocorrência). É um fenômeno muito complicado de se definir e existem discussões entre toda a comunidade científica sobre seu conceito (WILHITE et al., 1985). Segundo o Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado da Paraíba: PAEPB/IICA (2011), é um fenômeno natural que consiste no déficit da precipitação das chuvas ou ocorrência abaixo do valor mínimo que a vegetação requer para sobrevivência, que se difere de outros eventos naturais por ter um início lento - não definido - de duração longa e afetar áreas extensas. McKee et al. (1993) dizem que é a condição de insuficiência de umidade causada por um déficit de precipitação ao longo de um período específico. Tal definição se baseia na padronização da precipitação, que pode ser calculada pela divisão da diferença entre as precipitações observada e média em um período pré estabelecido, pelo desvio padrão. Assim, pode-se avaliar variações em diferentes fontes de água utilizáveis, como solo, água subterrânea, fluxo de rios e armazenamento em reservatórios.

Com todo seu enredamento, a seca pode ser classificada em diferentes níveis: meteorológica, agronômica, hidrológica e socioeconômica; e a análise destes oferece uma base sólida para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e resposta (WILHITE et al., 1985).

A seca meteorológica se define como a redução considerável dos períodos de precipitação de uma determinada região ao longo de um determinado período (MCKEE et al., 1993). É um tipo de seca que desencadeia os outros níveis, sendo o mais básico dos tipos de seca. é medida por dados de precipitação coletados, principalmente, de estações meteorológicas e a frequentemente utiliza-se a análise estatística para determinar essas anormalidades nas condições de precipitação (WILHITE et al., 1985). Suas causas podem incluir fatores naturais (El Niño e La Niña, por exemplo), que afetam quantidade e distribuição de precipitação em muitas regiões; mas mudanças climáticas também influenciam a frequência e intensidade (WILHITE et al., 1985).

A seca agronômica está diretamente relacionada ao impacto que tem no setor agrícola, e ocorre quando a baixa taxa de precipitação compromete o crescimento das plantações

(MCKEE et al., 1993). Em regiões em que a agricultura é majoritariamente de sequeiro, esse tipo de seca leva a severas perdas de produtividade, o que afeta tanto pequenos quanto grandes produtores - essa seca não se limita apenas à ausência de água, mas também ao momento de sua ocorrência, já que a interrupção de ciclos de cultivo pode ser desastrosa e pode ser avaliada por indicadores como umidade do solo, evapotranspiração e a condição das culturas (WILHITE et al., 1985). A ausência de chuvas durante períodos essenciais de crescimento das culturas, redução da umidade do solo, uso excessivo da água, compactação do solo e falta de cobertura vegetal são fatores que podem levar à seca agrícola; e seus impactos incluem redução da produção agrícola, aumento dos preços dos alimentos, desemprego e migração forçada (WILHITE et al., 1985).

Quando hidrológica, a seca é resultado da insuficiência dos níveis disponíveis das águas dos rios, lagos, reservatórios e aquíferos para o atendimento das demandas requeridas para usos humanos, ecológicos e agrícolas (MCKEE et al., 1993). A ausência de chuvas por períodos prolongados, altas temperaturas e baixa umidade (que levam à uma elevada taxa de evapotranspiração) e uso excessivo de água (principalmente para extração de água para irrigação, abastecimento urbano e industrial) são fatores que podem amplificar a magnitude da seca hidrológica (WILHITE et al., 1985). Normalmente é avaliada por indicadores como: vazões dos rios, níveis de reservatórios (WILHITE et al., 1985). Afeta no abastecimento de água para o consumo humano, irrigação agrícola e processos industriais; tem impactos ecológicos, afetando gravemente os ecossistemas aquáticos, levando à perda de peixes e outras espécies aquáticas; e também pode estimular conflitos por recursos hídricos, levando à competição por água entre desde agricultores, até as comunidades urbanas (WILHITE et al., 1985).

Já em nível socioeconômico, a definição de seca olha para todas as consequências econômicas e sociais, o que vai além dos fatores naturais; é quando a escassez hídrica impacta diretamente nos cenários das comunidades, os mercados e as infraestruturas (MCKEE et al., 1993). Em regiões onde a agricultura é o que componente fundamental da economia, como o Vale do Ribeira, a seca em nível socioeconômico consegue gerar crises de segurança alimentar, perdas significativas de renda e migrações forçadas - e a falta de capacidade de regeneração, que geralmente assombra essas áreas, torna a recuperação mais lenta, o que expande as desigualdades sociais (WILHITE et al., 1985). Suas causas podem incluir a falta de chuva e variabilidade climática, falta de planejamento e de políticas eficazes para a gestão da água (o que leva ao desperdício e insustentável exploração desses recursos), altos crescimento populacional e taxa de urbanização (WILHITE et al., 1985). Suas consequências são diversas

e muito significativas: reduz a produtividade agrícola, que leva a sua perda e, consequentemente, reduz a segurança alimentar dos agricultores e outros dependentes da produção; com a diminuição da oferta dos produtos agrícolas, tem-se o aumento dos preços destes, o que afeta, principalmente, grupos mais vulneráveis; conflitos sociais, devido à competição pelos escassos recursos; e impactos diretos na saúde pública, com a falta de saneamento e água potável (WILHITE et al., 1985). Pode ser mensurada pelos mais diversos indicadores socioeconômicos e de disponibilidade hídrica, como segurança alimentar, desemprego, pobreza e saneamento (MCKEE et al., 1993).

A resposta à seca impõe a necessidade de estratégias mitigadoras, adaptativas e preventivas, que envolvem conjuntos de ações voltadas para o gerenciamento de seus impactos. A mitigação é muito importante para o desenvolvimento sustentável: atua na diminuição da taxa e magnitude das secas, o que diminui os estresses climáticos do desenvolvimento sustentável (DENTON et al., 2014). É importante ressaltar que, conforme definição utilizada pelo IPCC, o termo mitigação também pode ser entendido como diminuição dos níveis de emissão de gases do efeito estufa no contexto mais amplo das mudanças climáticas (LACKNER et al., 2012). A adaptação inclui uma variedade de respostas: vai da renovação de infraestruturas até o amparo de indivíduos e comunidades para um melhor preparo para, posteriormente, se recuperarem das secas (GILMORE et al., 2024).

Para serem eficazes, estratégias de adaptação têm de incluir, por exemplo, sistemas de alerta, uso de seguro e conscientização para risco, assim como implementações de políticas públicas participativas, integrando as comunidades locais na elaboração de respostas sustentáveis (CROSSMAN, 2018). Isso é crucial, uma vez que instrumentos de gestão de risco fortalecem a capacidade de resiliência dessas comunidades. Também, a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação ainda diz que os sistemas eficazes de resposta à seca são aqueles que baseiam-se em previsões de longo prazo, que garantem uma implementação em tempo hábil das intervenções, dando os recursos que as comunidades necessitam para o preparo.

Ainda temos várias lacunas entre os significativos avanços tanto nas tecnologias de monitoramento à secas quanto na elaboração de políticas públicas para a mitigação de seus efeitos - especialmente em regiões onde há baixa infraestrutura (BOUKARY et al., 2023). Boukary et al. (2023), reforçam que o poder executivo e as comunidades científica e locais precisam conversar entre si para aprimorar o gerenciamento da seca, ainda mais no cenário global de mudanças climáticas: com o aumento das temperaturas globais - que já passa os 1,5°C se comparados ao período pré-industrial - causado pelo aquecimento global, os eventos

extremos de seca estão cada dia mais frequentes e severos (MASSON-DELMOTTE et al., 2019). E essa consequência afeta tanto a agricultura, quanto a segurança alimentar e os ecossistemas (MASSON-DELMOTTE et al., 2019).

3.2 Conceito de risco

Conceituar risco é de suma importância para a análise e combate às mudanças climáticas e seus impactos, principalmente no que diz respeito à seca. O Glossário da Terminologia Básica em Redução de Risco de Desastres, publicado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) em 2009, diz que o risco é a função de uma interação entre ameaça, vulnerabilidade, exposição e a capacidade adaptativa (UNESCO, 2009). Entender e dominar essas variáveis é imprescindível para a avaliação adequada do quanto e como as comunidades podem ser afetadas, assim como planejar estratégias para mitigação.

Eventos físicos com potencial de causar danos é o que define a ameaça, e a seca é de significativa ameaça, dado seus impactos no planeta e na sociedade (WILHITE et al., 1985). Vulnerabilidade é o quão suscetível uma comunidade é a sofrer os impactos da ameaça (WILHITE et al., 1985), e é determinada principalmente por fatores socioeconômicos como renda, infraestrutura e acesso a informações (ADGER, 2006). Ainda, Eakin et al. (2006) reforçam que localização geográfica, tipo de solo e acesso a recursos hídricos também são importantes na análise da vulnerabilidade de uma região. Exposição é o grau em que as comunidades e sistemas estão suscetíveis a essas ameaças; o quanto estão expostos. Dependentes diretos da precipitação, se em regiões áridas ou semiáridas, são naturalmente mais expostos aos efeitos das secas (MARENGO et al., 2016). Wilhite (1985) define capacidade adaptativa como a habilidade dessas comunidades de ajuste e resposta à ameaça, o que está diretamente relacionado ao desenvolvimento de tecnologias, redes de apoio, políticas públicas e infraestrutura para mitigação. Porém, Smit et al. (2006) afirmam que essa capacidade não tem uma distribuição igualitária entre as populações: os autores reforçam a dependência de populações em áreas marginalizadas, principalmente, em políticas públicas fornecedoras de suporte financeiro, técnico e educacional (com acesso a informações climáticas de curto e longo prazo).

Para traçar estratégias de resposta à seca, a análise precisa do risco é imprescindível, detalhando e compreendendo ao máximo a ameaça, vulnerabilidade e a exposição. Com essa demanda, criou-se uma ferramenta que tem capacidade de detectar o evento com antecedência,

o que permite uma resposta mais rápida e, assim, mais eficaz: o indicador de vulnerabilidade à seca, essencial para o fornecimento de uma base científica para o planejamento de políticas de mitigação (WILHITE et al., 2000). É um instrumento que pode auxiliar tanto gestores de recursos hídricos quanto as comunidades agrícolas a tomar decisões mais eficazes para a elaboração de estratégias preventivas e mitigadoras, contornando, assim, impactos econômicos, sociais e ambientais.

3.3 Indicadores de vulnerabilidade para secas voltadas à agricultura familiar

Vulnerabilidade à secas e seu entendimento total para contextos agrícolas vem sendo centro de inúmeras pesquisas, uma vez que esse fenômeno tem importância e impacto diretos sobre as comunidades rurais - em especial, pequenos agricultores. E metodologias de desenvolvimento dos indicadores de vulnerabilidade são imprescindíveis para a identificação dessas áreas e, consequentemente, grupos mais suscetíveis às consequências da seca. Esses indicadores também auxiliam o entendimento e a quantificação de como diferentes regiões estão preparadas para enfrentar adversidades das mudanças climáticas, o que abre margem para a formulação de políticas públicas com estratégias mais eficazes e direcionadas (GBETIBOUO et al., 2010).

Está claro que os mais vulneráveis às secas são os agricultores familiares, dada a sua dependência direta dos recursos naturais e certa limitação ao acesso de tecnologias de resiliência (CINNER et al., 2018). Brito et al, (2023) defendem que os impactos sobre a produtividade agrícola da seca em regiões de agricultura familiar devem ser mensurados tanto com índices socioambientais, quanto com índices socioeconômicos. Assim, é formada uma estrutura que abrange holisticamente os fatores necessários para que a vulnerabilidade destes seja compreendida, resultando numa mitigação mais eficiente dos impactos da seca, promovendo resiliência nas práticas agrícolas.

Para avaliar a vulnerabilidade à seca da região de Al Qadarif, cidade no Sudão, Mohmmed et al. (2018) desenvolveram o Índice de Vulnerabilidade (VI). O indicador que utiliza variáveis como mudanças na temperatura, variações na precipitação, densidade populacional rural, frequência de secas, VCI (Índice de Condição da Vegetação) de longo prazo, propriedade de gado, diversidade de culturas, taxa de alfabetização, uso de pesticidas, entre outros. Esse índice foi aplicado em uma escala municipal, mas enfrenta algumas limitações. Dentre elas, destacam-se a disponibilidade e qualidade dos dados, que podem afetar a precisão das conclusões; limitações metodológicas relacionadas à escolha dos indicadores e metodologia

de cálculo; e limitações na generalização dos resultados, que podem não se aplicar a outras regiões devido às especificidades locais.

O indicador proposto por Keshavarz et al. (2017), na região rural do Irã foca na vulnerabilidade de meios de subsistência à seca, considerando capitais humano, natural, social, físico e financeiro, além de satisfação com o meio de vida, estratégias de adaptação, severidade e duração da seca. Esse índice é aplicado em escala provincial e também apresenta desafios. A ponderação desigual entre os indicadores pode introduzir viés nos resultados, enquanto a simplificação dos fatores de vulnerabilidade pode não capturar totalmente a complexidade desses fatores. Além disso, a abordagem composta para avaliar os ativos de capital pode não representar completamente a contribuição desses ativos para a vulnerabilidade.

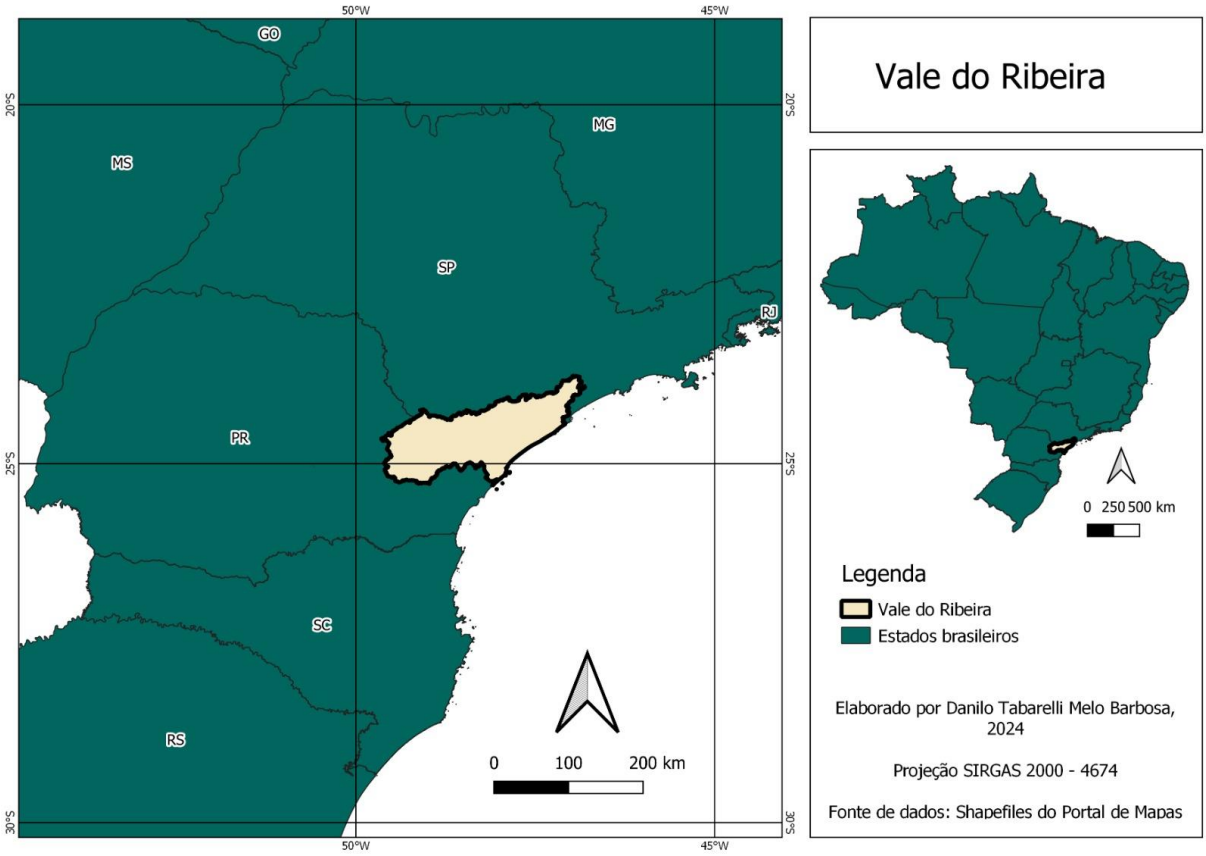
Assim, podemos encontrar indicadores de vulnerabilidade à seca com as mais diversas aplicações: avaliação de risco, mapeando a vulnerabilidade das comunidades rurais ao redor do mundo, permitindo que os formuladores de políticas identifiquem áreas prioritárias para intervenções; planejamento de políticas públicas, onde as informações sobre a capacidade adaptativa de pequenos agricultores podem orientar a alocação de recursos e o desenvolvimento de programas de assistência técnica; monitoramento e avaliação, com a comparação dos níveis de vulnerabilidade antes e depois da implementação de um programa de gestão hídrica podendo fornecer estratégias sobre a eficácia dessas iniciativas; desenvolvimento de tecnologias adaptativas, entendendo quais práticas de cultivo são mais eficazes em regiões vulneráveis, podendo levar à disseminação de inovações que ajudam a mitigar os efeitos da seca; e promoção de parcerias e colaboração, já que a utilização de indicadores de vulnerabilidade pode facilitar a criação de parcerias entre comunidades, ONGs e governos, promovendo a troca de informações e experiências, o que pode resultar em abordagens mais integradas e eficazes para enfrentar os desafios da seca.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

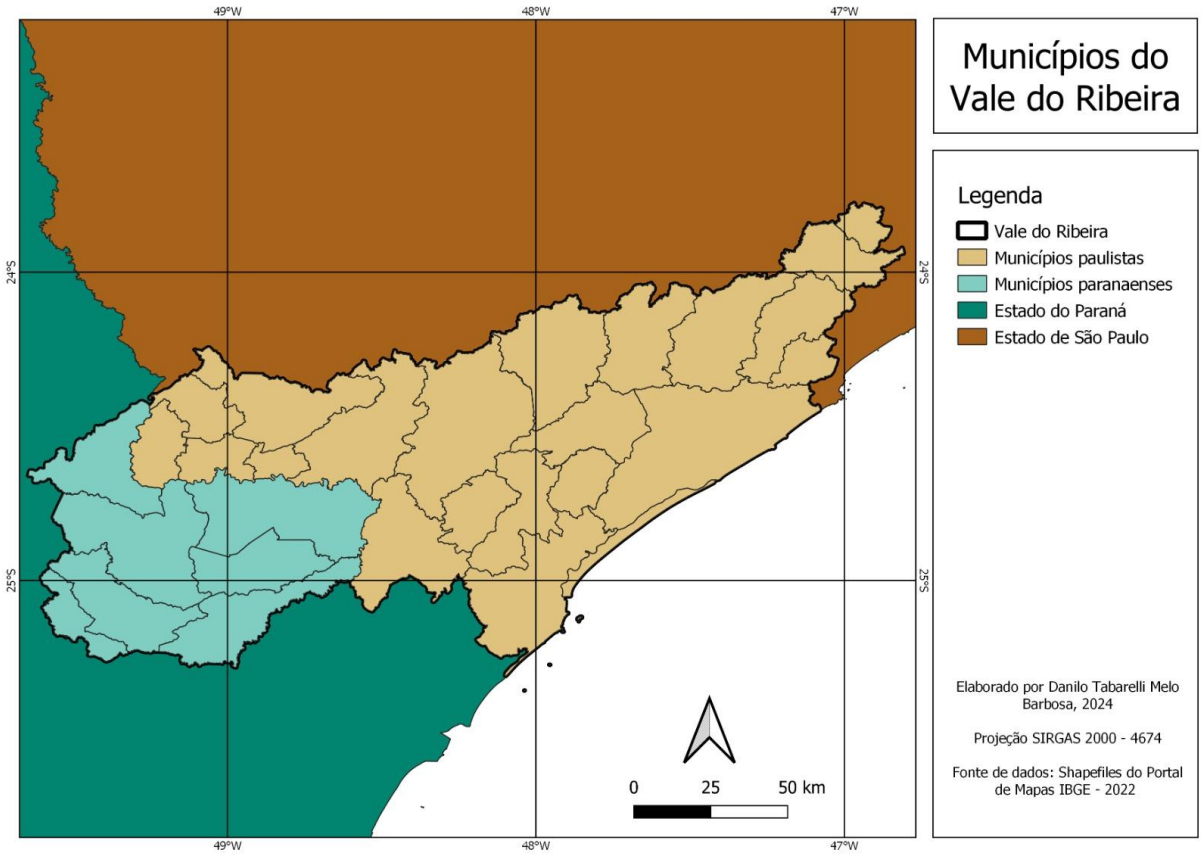
O Vale do Ribeira é uma região que está presente tanto ao sul do estado de São Paulo, quanto ao leste do estado do Paraná, no Brasil. Abrange território da bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape Complexo Estuarino Lagunar de Iguape, Cananéia e Paranaguá, como ilustrado na Figura 1. Abriga 443.2 mil pessoas entre 29 municípios, sendo 22 paulistas: Apiaí, Barra do Chapéu, Barra do Turvo, Cajati, Cananéia, Eldorado, Iguape, Ilha Comprida, Iporanga, Itaóca, Itapirapuã Paulista, Itariri, Jacupiranga, Juquiá, Juquitiba, Miracatu, Pariquera-Açu, Pedro de Toledo, Registro, Ribeira, São Lourenço da Serra, Sete Barras (IBGE, 2010); e 7 paranaenses: Adrianópolis, Bocaiúva do Sul, Cerro Azul, Doutor Ulysses, Itaperuçu, Rio Branco do Sul e Tunas do Paraná; e possui uma área de 2.830.666 hectares, onde 1.119.133 hectares estão no Paraná e 1.711.533 hectares, em São Paulo, sendo 39,5% de sua área paranaense e 60,5% paulista (ISA, 2008). A Figura 2 mostra essa relação.

Figura 1 – Mapa do Vale do Ribeira.



Fonte: O Autor (2024).

Figura 2 – Mapa dos municípios do Vale do Ribeira divididos por Estado.



Fonte: O Autor (2024).

Sua região integra a Reserva da Biosfera, e é considerado patrimônio da humanidade pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e Cultura (UNESCO), abrigando o maior remanescente de Mata Atlântica - portando mais de 20% de toda mata preservada no país (GOMES, 2019). 25.9% de toda sua população pertence a área rural, e Fundação SAEDE (2013) aponta que sua economia tem 14,18% de participação do setor agropecuário, o que salienta a relevância social do espaço rural do território (GOMES, 2019). Mesmo com sua localização privilegiada, cercada por duas grandes metrópoles, tem-se fracos índices socioeconômicos e de qualidade de vida: é a região mais pobre entre os dois estados, devido ao abandono histórico sofrido pelos Estados e governos federais (GOMES, 2019). Ribeira, Itaóca e Barra do Chapéu marcam Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) respectivos de 0,678, 0,650 e 0,646, abaixo de regiões brasileiras consideradas pobres (PNUD, 2011).

De Abreu (2005) classifica o perfil da população rural do Vale do Ribeira como de maioria agricultores familiares, presentes em todo o território, com maior concentração nos

municípios de Iporanga e Eldorado. O autor, ainda, diz que no território habitam comunidades indígenas, comunidades quilombolas - 26 ao todo, maior número de comunidades remanescentes de quilombos do Estado de São Paulo -, comunidades caiçaras e imigrantes. Tal diversidade cultural é dificilmente encontrada em regiões tão próximas de regiões muito urbanizadas.

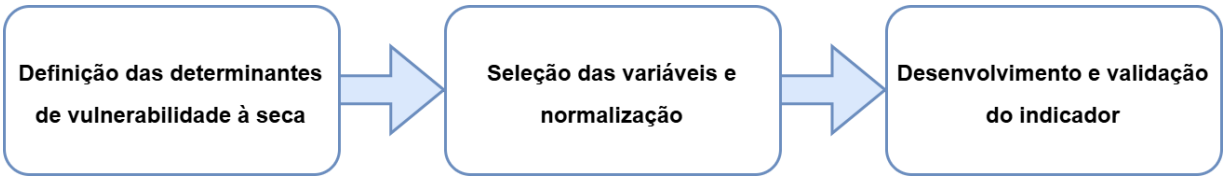
4.2 Quadro teórico

A construção da metodologia consiste em um quadro teórico com três etapas, visando um resultado mais preciso e uma melhor interpretação dos resultados. A primeira etapa é a de definição de quais serão os determinantes da vulnerabilidade às secas, incluindo aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Na segunda parte, ocorre a seleção das variáveis que definem cada um dos componentes, sendo ela baseada em dois critérios: a variável deve representar um aspecto quantitativo ou qualitativo da vulnerabilidade à seca, e deve ser de banco de dados públicos e de fácil acesso - esse segundo critério garante que que os resultados finais podem ser validados, reproduzidos e aprimorados sempre que necessário por qualquer que se interesse. Ainda na segunda etapa, essas variáveis devem ser normalizadas em relação a uma linha de base comum, para que os valores sejam interpretados e comparados especificamente dentro da região escolhida (nesse caso, a região do Vale do Ribeira).

A terceira e última etapa é a de desenvolvimento, de fato, do Indicador de Vulnerabilidade à Seca (IVS), que é validado por meio de uma série de etapas: ponderação, agregação e análise da sensibilidade da inclusão ou exclusão de variáveis. A Figura 3 ilustra as três etapas do framework metodológico.

Figura 3 – Fluxograma resumindo a metodologia empregada para o Indicador de Vulnerabilidade à Seca (IVS).



Fonte: O Autor (2024).

4.2.1 Definição dos determinantes do Índice de Vulnerabilidade a Secas (IVS).

Conforme a metodologia de Gbetibouo et al. (2010), foram considerados três determinantes principais da vulnerabilidade de agricultores à seca, sendo elas exposição, ameaça e capacidade adaptativa.

Essa metodologia é baseada na definição de vulnerabilidade do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que diz que "o grau em que um sistema é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos adversos das mudanças climáticas, incluindo variabilidade climática e extremos". A vulnerabilidade é uma função do caráter, magnitude e taxa de variação climática a que um sistema está exposto, sua sensibilidade e sua capacidade adaptativa" (IPCC, 2007). Ou seja, a vulnerabilidade é representada tanto pela exposição de uma sociedade aos extremos climáticos, quanto por sua sensibilidade e capacidade adaptativa a esses fatores de estresse (Füssel e Klein, 2006).

Para a avaliação da vulnerabilidade, vemos dois tipos de abordagens que geralmente são utilizados na literatura: avaliações de variáveis de vulnerabilidade e a abordagem por indicadores (GBETIBOUO et al., 2010). A primeira se trata de uma abordagem econométrica, que quantifica a perda de bem-estar em relação a algumas variáveis selecionadas em relação a alguns fatores de estresse específicos, o que pode, sim, fornecer resultados satisfatórios para a vulnerabilidade de um local específico, mas não são suficientes para captar plenamente as três dimensões da vulnerabilidade (LUERS et al., 2003).

Já a abordagem por indicadores, necessita de um conjunto específico de indicadores e mede a vulnerabilidade por meio do cálculo de índices, médias ou médias ponderadas para estes e o benefício é que essa abordagem permite uma aplicação na escala que for (GBETIBOUO et al., 2010). Tem como limitações a subjetividade na seleção das variáveis, mas O'Brien (2002) diz que os índices compostos capturam a multidimensionalidade da vulnerabilidade. Assim, o método por indicadores foi o adotado neste trabalho e a vulnerabilidade foi calculada com a Equação 1.

$$V = E + S - CA \tag{1}$$

Sendo V a vulnerabilidade, E a exposição, S a sensibilidade e CA a capacidade adaptativa.

4.2.2 Seleção das variáveis e normalização.

Para reduzir a subjetividade na seleção das variáveis utilizadas, dentro dos três determinantes escolhidos, duas etapas foram seguidas. Primeiramente, foi feita uma revisão de literatura focada na avaliação de vulnerabilidade à seca, onde foram elencados diversos indicadores sociais e biofísicos de vulnerabilidade comumente usados. Depois, a lista foi submetida a uma avaliação baseada nos critérios: relevância ("o indicador é bem fundamentado teoricamente?"), adequação ("o indicador mede o que deve medir?"), facilidade ("o indicador é fácil de ser compreendido por formadores de políticas?") e disponibilidade de dados ("o indicador tem seus dados publicamente disponíveis e acessíveis no nível de análise?"). Assim, foram selecionados os indicadores descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Indicadores selecionados para a elaboração do indicador de vulnerabilidade à seca categorizados por seus determinantes: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa.

Determinantes	Indicador	Escala	Fonte
Exposição	Índice de Precipitação Padronizado (SPI)	Agregado por município	Xavier et al., 2022.
	Demanda hídrica	Agregado por município	Metadados ANA
	Retirada total	Agregado por município	Metadados ANA
Sensibilidade	Tamanho das propriedades Irrigação Valor da produção agrícola Área colhida	Por município	Metadados ANA
Capacidade adaptativa	Escolaridade na zona rural População de 18 a 64 anos vivendo na zona rural	Município	Censo IBGE

Fonte: O Autor (2024).

Exposição é definida pelo IPCC (2007) como “a natureza e o grau em que um sistema é exposto a variações climáticas significativas”. As mudanças climáticas expõem os agricultores familiares a condições novas e desconhecidas advindas de mudanças de longo prazo nas condições climáticas médias, como temperatura média anual, precipitação e elevação do nível do mar (Watts e Goodman, 1997). Assim, os três indicadores para a determinante exposição foram escolhidos.

O Índice de Precipitação Padronizado (SPI) é um indicador mundialmente utilizado para o monitoramento da variabilidade da precipitação, criado para avaliar anomalias de precipitação em diferentes escalas de tempo (XAVIER et al., 2022). Ele considera tanto os efeitos de seca a curto prazo (1 a 3 meses) quanto os efeitos a longo prazo (mais de 24 meses) e indica se um período foi mais seco ou mais úmido em relação à média histórica. Nesta metodologia, foi utilizada uma série de longo prazo, de 40 anos, e teve como ferramenta de cálculo o pacote SPEI (SPEI, 2022) da linguagem Python. Onde foi utilizado como indicador a frequência de eventos extremos de seca em cada município no período amostral.

A demanda hídrica e a retirada total de água são essenciais para a construção do IVS, uma vez que indicam a pressão sobre os recursos hídricos e a capacidade de sustentar atividades econômicas e sociais em períodos de escassez. Além de, conforme a literatura, existir evidência que a pressão causada pela urbanização - que traz uma maior competição pela água (colocar uma citação dando suporte a esta afirmação).

A determinante de sensibilidade traduz a capacidade que um sistema tem de responder a influências climáticas, moldando-se por condições socioeconômicas e ambientais (DOWNING, 2008). Com essa definição, os indicadores foram selecionados.

A taxa de irrigação, quando alta, aumenta a resiliência dos agricultores à variabilidade climática (O’BRIEN et al., 2004). Logo, regiões agrícolas com mais irrigação, têm menos sensibilidade quando comparadas com as com baixo acesso à irrigação (GBETIBOUO et al., 2010). O tamanho médio das propriedades do território é importante para o IVS pois tem direta influência na capacidade dos agricultores de gerenciar recursos hídricos e se adaptar a períodos de escassez: propriedades menores possuem um acesso mais limitado à tecnologia, insumos e capital, o que atrasa sua capacidade de implementação de práticas agrícolas eficientes e dependem mais intensamente de condições climáticas favoráveis, tornando-os mais suscetíveis aos efeitos adversos da seca. As médias de áreas colhidas fornecem informações sobre a escala de produção agrícola e a dependência das culturas em relação à disponibilidade de água. O valor da produção agrícola oferece, como indicador, uma visão geral da situação financeira rural de cada província. Foi utilizada uma série histórica de 2000 até 2022, corrigindo pela inflação, e

aplicando a medida de variabilidade (ou dispersão relativa) para o conjunto de dados - assim, pode-se entender a extensão da variação em relação à média, permitindo comparações entre diferentes conjuntos de dados, mesmo que eles tenham escalas diferentes.

Por fim, o IPCC define capacidade adaptativa como "o potencial ou a habilidade de um sistema, região ou comunidade para se adaptar aos efeitos ou impactos das mudanças climáticas". Ela caracteriza, portanto, a capacidade de resposta do sistema e sua habilidade de aproveitar oportunidades e resistir ou se recuperar dos efeitos negativos de um ambiente em mudança" (IPCC, 2007). Tem como principal determinante os indivíduos, famílias ou comunidades (MOSER e SATTERTHWAITE, 2008). Ou seja, é o determinante mais socioeconômico dentre os três.

Brooks et al. (2005) dizem que taxas maiores de escolaridade em regiões rurais aumentam a capacidade adaptativa ao ampliar as habilidades das pessoas e o acesso à informação, melhorando assim sua capacidade de enfrentar adversidades. E a idade dessa população tem influência direta na capacidade de trabalho, principalmente na faixa entre 18 e 64 anos.

Então, com todos os indicadores definidos, uma abordagem analítica foi utilizada para explorar o equilíbrio estatístico dos componentes no indicador composto. Um esquema de normalização foi aplicado para cada componente antes dos dados serem agregados, já que a maioria dos valores possuem diferentes unidades de medidas. A normalização foi feita a partir da Equação 2 levando em conta os valores máximos e mínimos de cada uma das variáveis, variando os resultados entre 0 e 1.

$$Z_i = \frac{X_i - X_{mín}}{X_{máx} - X_{mín}} \tag{2}$$

Onde X_i representa o valor da variável para um município genérico i e $X_{mín}$ e $X_{máx}$ são, respectivamente, os valores mínimo e máximo em todos os municípios.

4.2.3 Análise de sensibilidade do modelo de vulnerabilidade IVS.

Arrow (2012) diz que não há uma convenção perfeita de ponderação e agregação de dados. Então, fez-se necessário testar a estabilidade e robustez do esquema de ponderação escolhido. Semelhante à metodologia de Naumann et al. (2014), a influência da ponderação do IVS foi testada utilizando três tipos de ponderação diferentes: o método dos pesos iguais (PI),

um esquema de ponderação de acordo com o número de variáveis em cada componente (o método dos pesos proporcionais, PP) e o método dos pesos aleatórios (Monte Carlo com 1000 simulações, PA). Este é um método puramente estatístico de agregação de indicadores e é útil para explorar o impacto das escolhas metodológicas durante o desenvolvimento dos componentes (NAUMANN et al., 2014). Os métodos PI e PP foram calculados com as equações 3 e 4.

$$IVS_{PI} = E + S - CA \tag{3}$$

$$IVS_{PP} = \frac{3}{9}E + \frac{4}{9}S - \frac{2}{9}CA \tag{4}$$

Onde IVS_{PI} é o Índice de Vulnerabilidade à Seca para o método dos pesos iguais e IVS_{PP} é o Índice de Vulnerabilidade à Seca para o método dos pesos proporcionais. Os pesos saíram da ponderação entre ter no total 9 variáveis e três delas são da exposição, 4 da sensibilidade e 2 da capacidade adaptativa.

O método de PA foi calculado a partir das equações 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11.

$$IVS_{PA} = w_1E + w_2S - w_3CA \tag{5}$$

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

Onde w é o peso que é aleatoriamente definido

onde

$$E = c_1SPI + c_2Demanda\ Hídrica + c_3Retirada\ Total\ de\ Água \tag{6}$$

com

$$c_1 + c_2 + c_3 = 1 \tag{7}$$

$$S = c_4 Tamanho\ das\ Propriedades + c_5 Irrigação + c_6 Área\ Colhida + c_7 Valor\ da\ Produção \quad (8)$$

com

$$c_4 + c_5 + c_6 + c_7 = 1 \quad (9)$$

e

$$CA = c_8 Escolaridade + c_9 \text{População de 18 a 64 anos vivendo na zona rural} \quad (6)$$

com

$$c_8 + c_9 = 1 \quad (9)$$

Sendo E a exposição, S a sensibilidade e CA a capacidade adaptativa.

Os resultados do IVS foram analisados com base na média das simulações realizadas pelo método de Monte Carlo. Este método permitiu a realização de 1000 simulações, proporcionando uma estimativa robusta da vulnerabilidade em diferentes cenários. A média das simulações foi utilizada para calcular o índice final, garantindo que as variações aleatórias nas ponderações não afetassem significativamente os resultados.

Além disso, as escalas das figuras do indicador foram geradas com base em categorias que refletem a gravidade da vulnerabilidade. As classificações foram definidas como: "muito baixo", "baixo", "médio", "alto" e "muito alto". Essas categorias foram estabelecidas com base em intervalos de valores do IVS, permitindo uma interpretação clara e intuitiva dos resultados. A definição dos limites para cada categoria foi realizada considerando a distribuição dos dados obtidos nas simulações, assegurando que as escalas fossem representativas das condições de vulnerabilidade observadas nas diferentes regiões analisadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise descritiva dos indicadores

Os resultados obtidos com os três métodos podem ser analisados na Tabela 2.

Tabela 2 – IVS por município com os métodos dos pesos iguais, pesos proporcionais e pesos aleatórios.

Município	PI	PP	PA
Adrianópolis	-0,15907	0,018447	-0,04897
Apiaí	0,849539	0,330843	0,287949
Barra do Chapéu	-0,20073	0,019838	-0,06267
Barra do Turvo	-0,39835	-0,06471	-0,12938
Bocaiúva do Sul	-0,04754	0,048476	-0,01159
Cajati	0,471521	0,222818	0,159753
Cananéia	0,495659	0,225891	0,166337
Cerro Azul	0,014208	0,150926	0,008571
Doutor Ulysses	-0,38802	-0,02475	-0,12421
Eldorado	0,328753	0,182648	0,11298
Iguape	1,010279	0,355826	0,342102
Iporanga	0,110017	0,089345	0,039565
Itaóca	-0,21172	-0,00017	-0,06825
Itaperuçu	-0,07475	0,044339	-0,02386
Itapirapuã Paulista	-0,28718	-0,04252	-0,09197
Itariri	0,053119	0,067291	0,020567
Jacupiranga	0,324849	0,15057	0,111993
Juquiá	0,170274	0,100656	0,059822
Juquitiba	-0,15298	-0,03741	-0,04961
Miracatu	-0,17897	0,010839	-0,0587
Pariquera-Açu	0,599186	0,261253	0,201952
Pedro de Toledo	-0,02751	0,025562	-0,00661
Registro	0,626099	0,239857	0,210375
Ribeira	-0,1412	0,0152	-0,04383
Rio Branco do Sul	0,162586	0,111696	0,056699
Sete Barras	0,122709	0,099971	0,043713
Tunas do Paraná	-0,28434	-0,03865	-0,08988

Fonte: O Autor (2024).

Os indicadores de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa estão resumidos na Tabela 3. Dentre os quais se destaca o indicador de área colhida, que possui grande

variabilidade. Da mesma forma, destaca-se o indicador demanda hídrica, que possui pouca variação.

Tabela 3 – Tabela com a caracterização dos dados por meio de estatística descritiva.

Indicador	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Índice de Precipitação Padronizado (SPI)	32,60714	33	2,698961	26	36
Irrigação (ha)	146,4138	61	171,1869	0	525
Demanda hídrica (m^3/seg)	0,005131	0,0019	0,00925	0	0,0441
Área colhida (ha)	3887,559	3333,348	4229,416	34	21433,26
Valor da produção agrícola (mil reais)	0,671105	0,717366	0,228596	0	1,191756
Áreas das propriedades (ha)	31,8731	16	89,03299	2,32	494
População entre 18 e 64 anos em zona rural (%)	0,388923	0,416525	0,209041	0	0,828553
Escolarização (%)	0,631701	0,607458	0,092571	0,475221	0,831575

Fonte: O Autor (2024).

Os valores gerados pela análise de indicadores em nível municipal se encontram na Tabela 4. Que em termos de exposição se destacam os municípios Tunas do Paraná, Bocaiúva do Sul e Jacupiranga, que possuem as maiores frequências (36 cada) de SPI menor do que -1.5 e maiores demandas de uso dos recursos hídricos. Isso indica que os municípios estão mais suscetíveis a ter perdas econômicas em decorrência de secas. Os estudos de Gbetibouo et al. (2010) e Nauman et al. (2014), que realizaram coleta de dados, apresentaram resultados que corroboram que estes fatores são importantes para a determinação da exposição. No entanto, conforme Nauman et al. (2014), é importante observar que outros dados também podem ser relevantes para mensurar a exposição, como o valor da retirada total de água, que é altíssimo no município de Iguapé, o que pesa muito no resultado final do IVS.

Gbetibouo et al. (2010), concluem que a sensibilidade é um fator crítico que contribui para a vulnerabilidade de regiões, pois a população rural é mais afetada por desastres climáticos

e mudanças nas condições ambientais. Assim, como o autor, observa-se que regiões com baixa taxa de irrigação são mais sensíveis a mudanças nas precipitações e temperaturas.

Quando vemos os resultados em relação à capacidade adaptativa, tem-se que melhores níveis de educação são de grande peso quando o assunto é diminuição da vulnerabilidade. Em contraste, as regiões mais vulneráveis têm uma capacidade adaptativa mais baixa, o que limita sua habilidade de se ajustar e responder às mudanças climáticas. A capacidade adaptativa é influenciada pela disponibilidade de ativos, como capital financeiro, educação e infraestrutura, que são essenciais para que as comunidades possam se adaptar e mitigar os impactos das mudanças climáticas (GBETIBOUO et al., 2010).

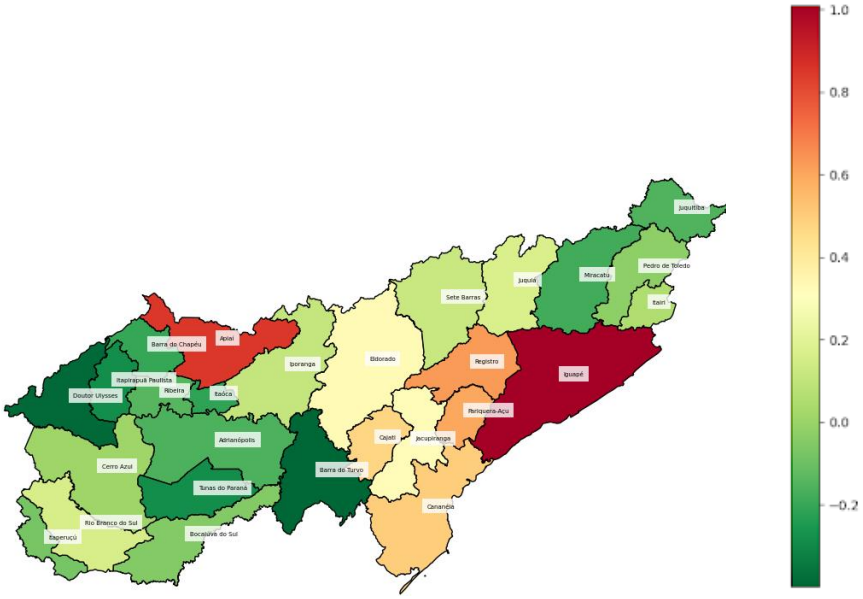
Tabela 4 – Valores gerados pela análise de indicadores em nível municipal.

Município	Índice de Precipitação Padronizado (SPI)	Irrigação (ha)	Retirada total (m³/seg)	Demanda hídrica (m³/seg)	Área colhida (ha)	Valor da produção agrícola	Áreas das propriedades (ha)	População entre 18 e 64 anos em zona rural (%)	Escolarização (%)
Apiaí	35	478	0,0312	0,0245	6295,8260	0,80544811	14	0,266397821	0,5911869
Barra Do Chapéu	35	31	0,0005	0,0004	862,65217	1,19175581	17	0,706902414	0,7322726
Barra Do Turvo	31	15	0	0	574,34782	0,564229929	21	0,573424025	0,7307143
Cajati	34	443	0,0097	0,0069	5253,0434	0,68516041	14	0,250783310	0,6051072
Cananéia	34	0	0	0	463,91304	0,72879331	494	0,139457982	0,5427536
Eldorado	30	369	0,0242	0,0145	4496,3043	0,81721618	11	0,479236307	0,61263
Iguape	30	476	0,0486	0,0441	2710,0869	0,71736555	15	0,137128743	0,5607428
Ilha Comprida	35	0	0	0	-	-	2,32	0	0,4963991
Iporanga	34	60	0,0021	0,0013	611,21739	0,96929204	23	0,416525063	0,6012876
Itaóca	30	15	0,0002	0,0002	282,82608	0,91657268	23	0,446851530	0,6814159
Itapirapuã Paulista	33	0	0	0	1085,6956	0,46540040	20	0,497576345	0,7156422
Itariri	33	45	0,0031	0,0019	3701,0434	0,70398915	14	0,355190291	0,6302643
Jacupiranga	36	152	0,0076	0,0062	3237,4782	0,78441147	12	0,423860427	0,5672455
Juquiá	35	61	0,002	0,0015	3429,2173	0,74343429	21	0,355846446	0,5980866
Juquitiba	28	7	0,0002	0,0002	34	-	6	0,218839088	0,5420755
Miracatu	26	57	0,0021	0,0019	3878,5217	0,69191624	16	0,468764964	0,5801169
Pariquera-Açu	35	525	0,0085	0,0051	2693,739	0,77316918	11	0,304928178	0,5176096
Pedro De Toledo	32	28	0,0013	0,0008	2453,8260	0,40068163	14	0,309356930	0,6074576
Registro	32	270	0,0126	0,0092	5717,7826	0,62291304	21	0,104709124	0,4752211
Ribeira	33	14	0,0003	0,0003	303,04347	0,88443947	19	0,612244898	0,6258847
São Lourenço da Serra	0	0	0	0	73	-	5	0,08852687	0,5347395
Sete Barras	32	106	0,0064	0,0059	5208,1304	0,75832711	20	0,43286847	0,6047463
Adrianópolis	34	88	0,0031	0,002	5433,5652	0,57781601	19	0,65721877	0,6878678
Bocaiúva Do Sul	36	181	0,0019	0,0014	5717,2173	0,3967479	17	0,52278501	0,710741
Cerro Azul	31	373	0,0143	0,011	21433,260	0,74969804	15	0,71388162	0,8261441
Itaperuçu	27	92	0,0034	0,002	4112,9130	0,75116623	12	0,16239009	0,689489
Rio Branco Do Sul	32	232	0,006	0,0045	7786,3478	0,38419447	11	0,26454183	0,6442267
Tunas Do Paraná	36	6	0	0	1994,7391	0,46879424	17	0,53995901	0,7756757
Doutor Ulysses	34	122	0,0049	0,003	9007,478261	0,5669121675	20	0,8285529088	0,8315754

Fonte: O Autor (2024).

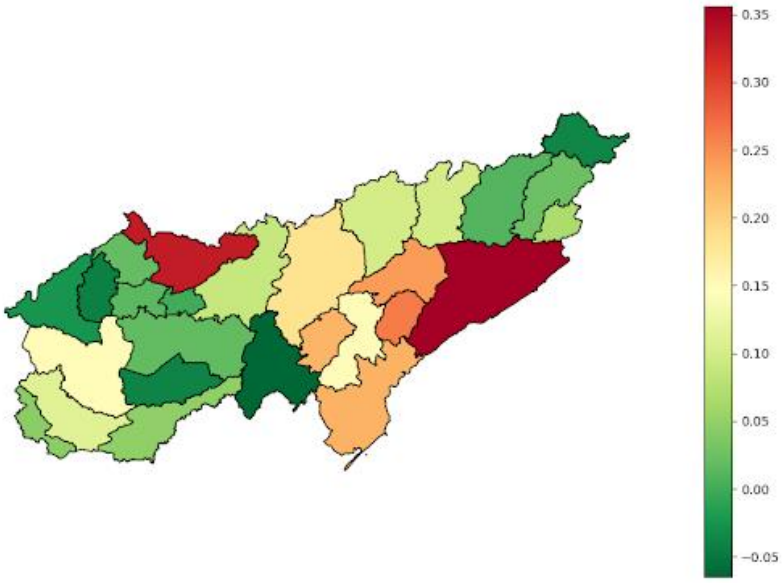
Os resultados do indicador de vulnerabilidade (IVS) pelos métodos de pesos iguais (PI), pesos proporcionais (PP) e pelos aleatórios (PA) estão representados espacialmente nas figuras 4, 5 e 6. É importante ressaltar que a escala do indicador muda conforme o método utilizado. No método PA, os valores variam de -0,14 a 0,34, no método PP, de -0,06 a 0,36 e, no método PI, de -0,4 a 1,01.

Figura 4 – Vale do Ribeira com o do Método dos pesos iguais (PI).



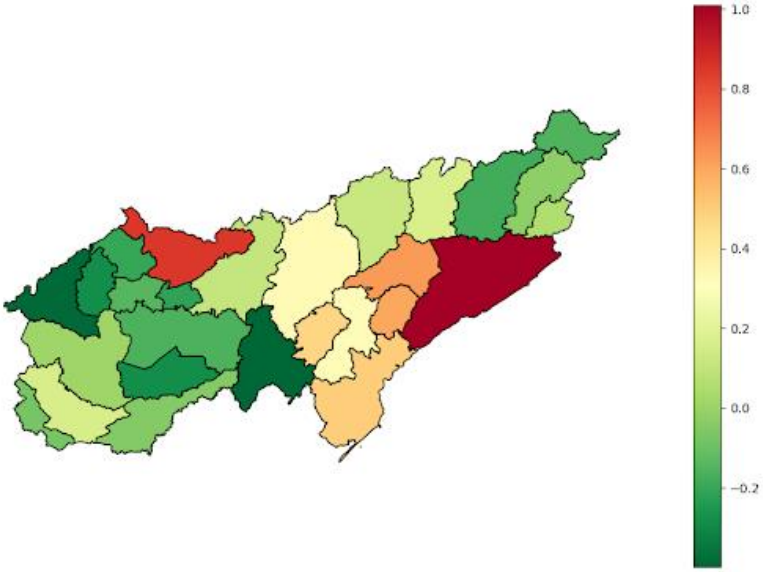
Fonte: O Autor (2024).

Figura 5 – Vale do Ribeira com o do Método dos pesos proporcionais (PP).



Fonte: O Autor (2024).

Figura 6 – Vale do Ribeira com o do Método dos pesos aleatórios (PA).



Fonte: O Autor (2024).

Fica claro que os municípios mais vulneráveis - para os três métodos - foram Apiaí e Aguapé, onde Registro e Pariquera-Açu não ficam muito atrás. Já os menos vulneráveis, Barra do Turvo, Doutor Ulysses e Itapirapuã Paulista, com um enfoque no método de pesos proporcionais para Barra do Turvo, com valores muito mais baixos que o segundo município menos vulnerável (-0,06471 e -0,02475, respectivamente). A Tabela 5 deixa a visualização por pesos mais clara.

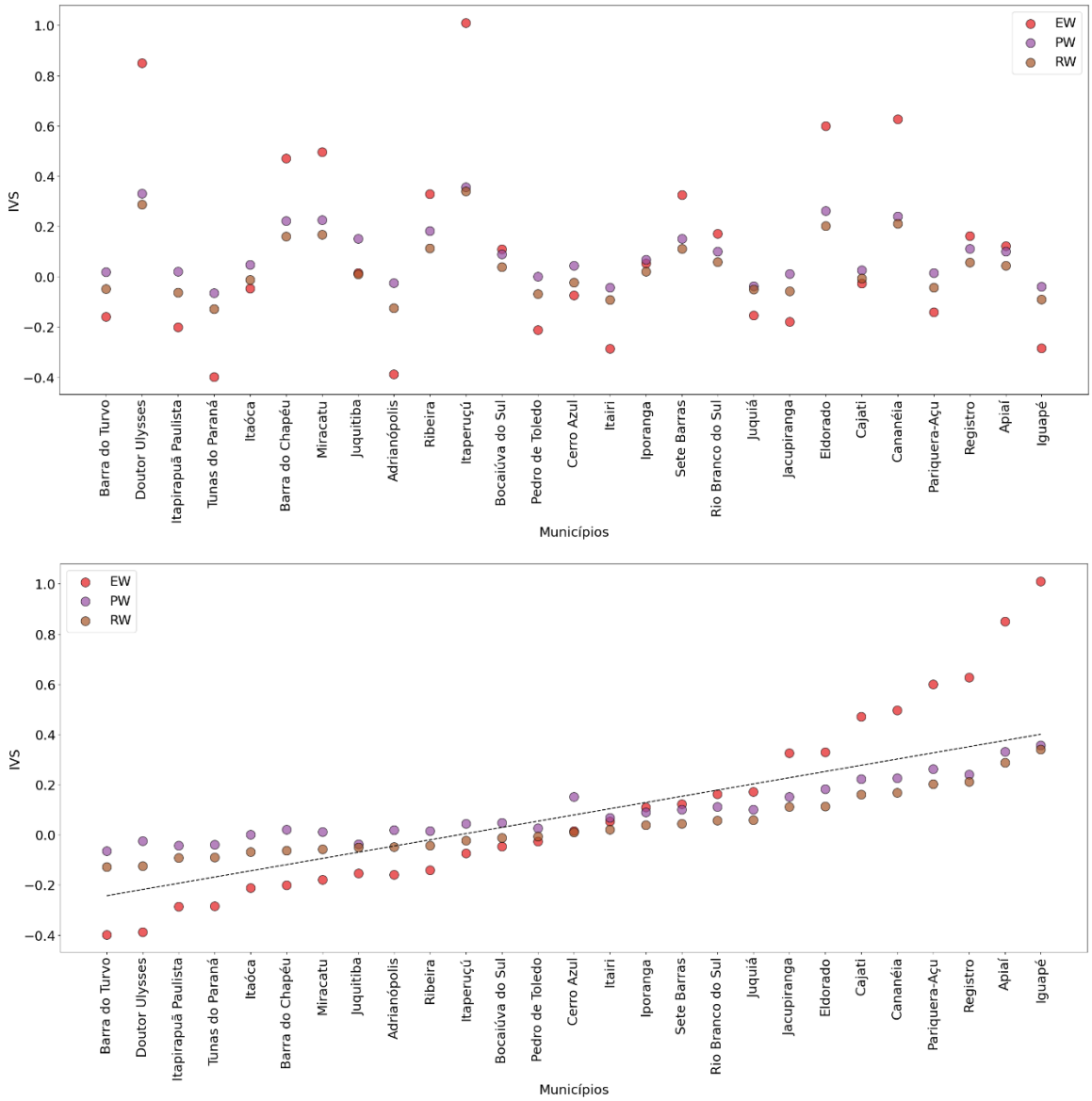
Tabela 5 – Ranking hierárquico dos três métodos do IVS.

Município	PI	PP	PA
Barra do Turvo	-0,39835	-0,06471	-0,13555
Doutor Ulysses	-0,38802	-0,02475	-0,13354
Itapirapuã Paulista	-0,28718	-0,04252	-0,09843
Tunas do Paraná	-0,28434	-0,03865	-0,09810
Itaóca	-0,21172	-0,00017	-0,07284
Barra do Chapéu	-0,20073	0,01984	-0,07038
Miracatu	-0,17897	0,01084	-0,06125
Adrianópolis	-0,15907	0,01845	-0,05616
Juquitiba	-0,15298	-0,03741	-0,05189
Ribeira	-0,14120	0,01520	-0,04966
Itaperuçu	-0,07475	0,04434	-0,02654
Bocaiúva do Sul	-0,04754	0,04848	-0,01897
Pedro de Toledo	-0,02751	0,02556	-0,01099
Cerro Azul	0,01421	0,15093	0,00052
Itairi	0,05312	0,06729	0,01550
Iporanga	0,11002	0,08934	0,03440
Sete Barras	0,12271	0,09997	0,03857
Rio Branco do Sul	0,16259	0,11170	0,05204
Juquiá	0,17027	0,10066	0,05455
Jacupiranga	0,32485	0,15057	0,10578
Eldorado	0,32875	0,18265	0,10674
Cajati	0,47152	0,22282	0,15485
Cananéia	0,49566	0,22589	0,16370
Pariquera-Açu	0,59919	0,26125	0,19765
Registro	0,62610	0,23986	0,20738
Apiaí	0,84954	0,33084	0,28006
Iguape	1,01028	0,35583	0,33381

Fonte: O Autor (2024).

Conforme a Figura 7, observa-se que os métodos dos pesos proporcionais e aleatórios foram muito semelhantes e o outro método se diferenciou consideravelmente, principalmente na sua escala. O fato dos métodos do PP e PA serem parecidos também foi observado por Salazar-Briones et al. (2020), que desenvolveram e avaliaram um indicador de vulnerabilidade à inundação (FVI) para avaliar a vulnerabilidade à inundação como uma ferramenta de planejamento na cidade de Mexicali, no México, local de áreas urbanas áridas de um país em desenvolvimento.

Figura 7 – (a) valores de IVS por município e (b) ranking dos valores de IVS ordenados do mais vulnerável para o mais vulnerável.

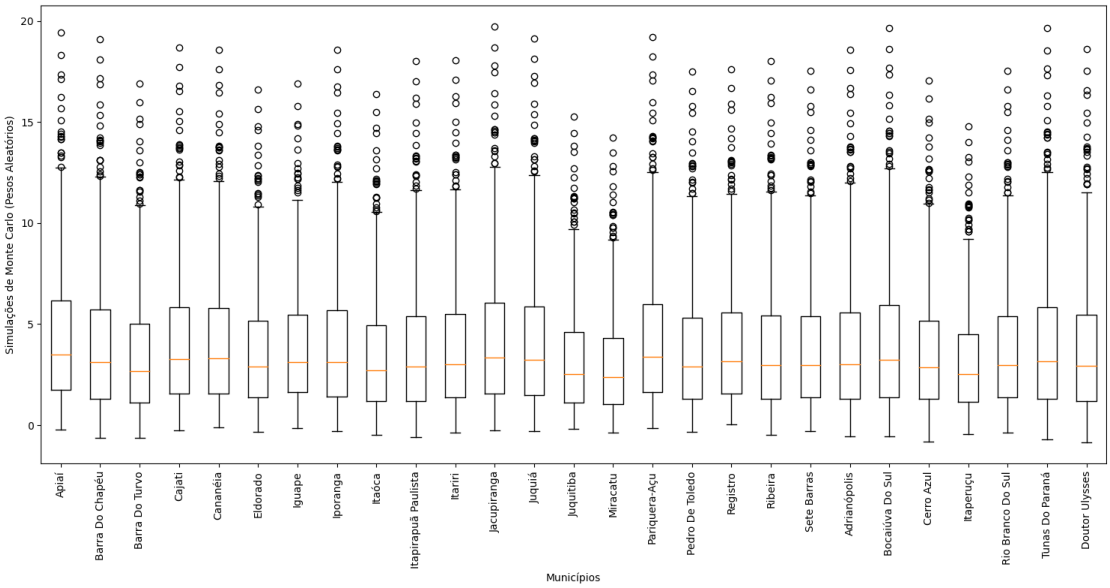


Fonte: O Autor (2024).

Com base na Figura 8, analisa-se os efeitos dos pesos aleatórios. Sendo possível visualizar a variação do IVS entre os municípios, destacam-se os mais vulneráveis, os outliers (municípios que apresentam índices de vulnerabilidade significativamente diferentes da média, como Barra do Turvo, sendo o máximo e Iguapé, sendo o mínimo). Gbetibouo et al. (2010) também utilizou o mesmo método, e como o boxplot nos dá as tendências regionais, mostrando como as províncias se agrupam em termos de vulnerabilidade, o autor constatou que as províncias de Limpopo, Kwazulu-Natal e Eastern Cape apresentaram índices altos, isso o que pode indicar uma tendência de vulnerabilidade associada a características socioeconômicas e

ambientais comuns nessas regiões. Assim como Doutor Ulysses, Itapirapuã Paulista e Tunas do Paraná, para o Vale do Ribeira.

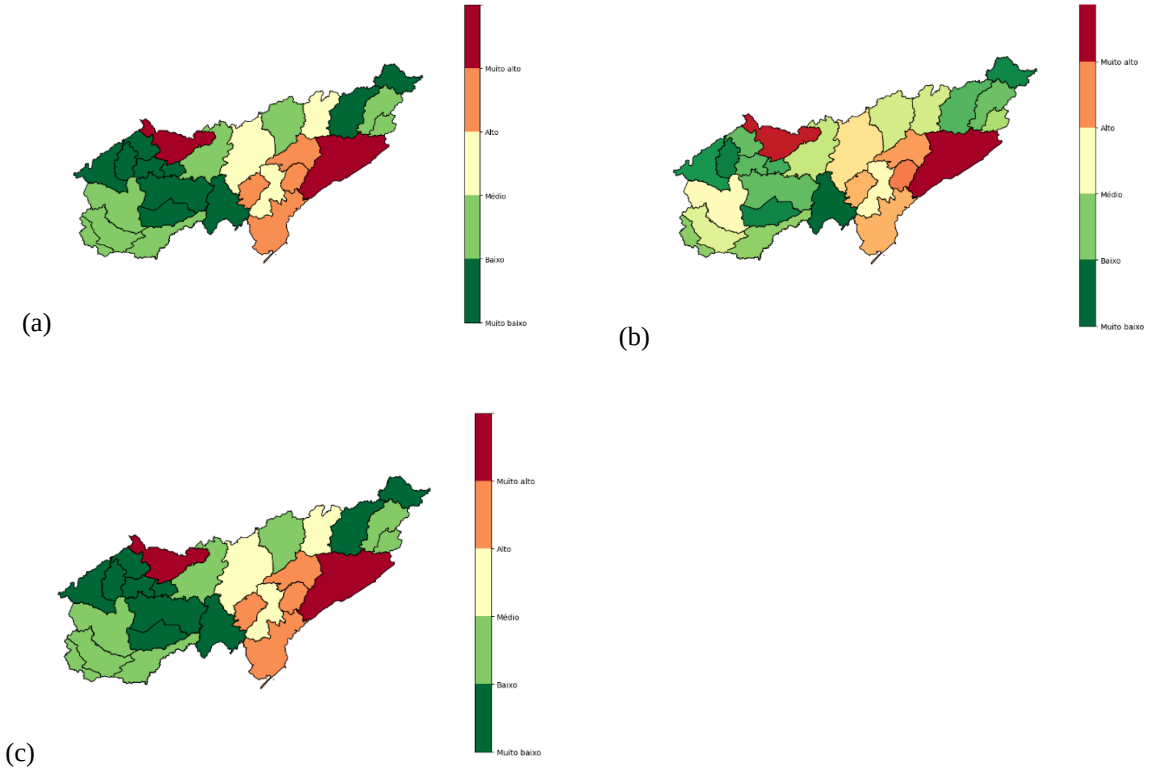
Figura 8 – Gráfico boxplot do método dos pesos aleatórios, com as 1000 simulações de Monte Carlo para cada município.



Fonte: O Autor (2024).

A comparação do IVS gerado por diferentes métodos e dividas em classes muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto se encontra na Figura 9. Municípios com valores altos em qualquer indicador são prioritários para intervenções e podem ter diferentes vulnerabilidades, mesmo que compartilhem características similares. Fica clara a alta vulnerabilidade e demanda estratégias específicas que Apiaí exige; assim como os desafios de adaptação que Iguapé sofre.

Figura 9 – Comparação do IVS gerado por diferentes métodos e dividas em classes muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto para (a): PI; (b): PP; e (c): PA.



Fonte: O Autor (2024).

É importante notar a diferença entre os resultados gerados de IVS com outras fontes de vulnerabilidade à seca nacionais. Nos anexos 1 e 2, temos os índices de sensibilidade e exposição à secas do Vale do Ribeira pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2024) num recorte nacional. Um indicador generalizado aplicado em todo o Brasil poderia mascara as necessidades particulares do Vale do Ribeira, não levando em conta suas singularidades sociais e ambientais, o que resultou em uma área de estudo com a totalidade de seus municípios classificada como de vulnerabilidades baixa e muito baixa, em ambas determinantes.

6 CONCLUSÕES

6.1 Conclusões

Este trabalho apresentou uma metodologia quantitativa com base nos métodos dos pesos iguais, dos pesos proporcionais e dos pesos aleatórios para a construção de um indicador composto de vulnerabilidade dos agricultores à secas. Um estudo de caso foi aplicado nos municípios que compõem o Vale do Ribeira.

Com a construção do Índice de Vulnerabilidade à Seca IVS a metodologia de análise de vulnerabilidade de produtores rurais à secas visando identificar regiões prioritárias para o planejamento de políticas públicas que promovam adaptação e resiliência da agricultura foi proposta e simulada.

O primeiro objetivo específico, de analisar os indicadores condicionantes da vulnerabilidade, foi alcançado com a definição dos determinantes exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa que definem o contexto dos produtores rurais do Vale do Ribeira. O segundo objetivo específico também foi cumprido, tendo em vista a metodologia com os métodos de pesos iguais, proporcionais e aleatórios, que demonstraram a utilidade de cada abordagem e ofereceram um indicador replicável que pode beneficiar o planejamento de políticas adaptativas.

A hipótese inicial do trabalho, de que o IVS seria capaz de fornecer uma visão clara das vulnerabilidades específicas do Vale do Ribeira, foi confirmada. A aplicação do índice evidenciou regiões mais sensíveis e com menor capacidade de adaptação, tornando-se, assim, uma ferramenta essencial para a formulação de políticas públicas locais

Os resultados indicam que as áreas prioritárias de investimento no Vale do Ribeira incluem as regiões com maior exposição à seca, baixa capacidade de adaptação e alta sensibilidade, especialmente onde a dependência de chuva é maior: Iguapé, Apiaí e até Registro. A comparação entre o recorte local e nacional ressalta a importância de uma análise regional detalhada para capturar as especificidades locais, algo fundamental, já que um indicador generalizado aplicado em todo o Brasil poderia mascarar as necessidades particulares do Vale do Ribeira.

6.2 Recomendações para trabalhos futuros

O presente estudo testou diferentes indicadores que são considerados determinantes da vulnerabilidade da agricultura à secas. No entanto, recomenda-se para trabalhos futuros o teste de outros indicadores poderiam ser utilizados para aprimorar a qualidade do IVS o tornando ainda mais adequado para capturar particularidades locais.

Tendo em vista as limitações da metodologia abordada, trabalhos futuros também devem abordar coleta de dados primários nos estabelecimentos agropecuários, bem como em outras regiões do Brasil, permitindo mais robustas comparações entre contextos diversos, o que contribuirá para políticas de adaptação mais personalizadas e eficazes em diversas regiões afetadas pelas secas.

REFERÊNCIAS

ADGER, W. Neil. **Vulnerability**. Global environmental change, v. 16, n. 3, p. 268-281, 2006.

AGUILAR, Francisco X. et al. **Smallholder farmer resilience to water scarcity. Environment, Development and Sustainability**, v. 24, n. 2, p. 2543-2576, 2022.

ARROW, Kenneth J. **Social choice and individual values**. Yale university press, 2012.

ASSOCIAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA – SCIENTEC. **Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca no estado da Paraíba: PAEPB/IICA**. João Pessoa: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Administração do Meio Ambiente, 2011.

BOUKARY, Aboubakr Gambo et al. **Proactive policy options for drought resilience in the Sahel region**. Journal of Arid Environments, v. 218, p. 105054, 2023.

BRITO, Anderson Geová Maia de; ALMEIDA, Lutiane Queiroz de. **Vulnerabilidade Socioambiental à Seca no Seridó Potiguar, Brasil: Construindo Indicadores**. Sociedade & Natureza, v. 35, p. e67826, 2023.

BROOKS, Nick; ADGER, W. Neil; KELLY, P. Mick. **The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation**. Global environmental change, v. 15, n. 2, p. 151-163, 2005.

CINNER, Joshua E. et al. **Building adaptive capacity to climate change in tropical coastal communities**. Nature Climate Change, v. 8, n. 2, p. 117-123, 2018.

CROSSMAN, Neville D. **Drought resilience, adaptation and management policy (DRAMP) framework.** Bonn: UNCCD, v. 20, p. 2019-04, 2018.

DE ABREU, Lucimar Santiago. **A construção da relação social com o meio ambiente entre agricultores familiares na Mata Atlântica**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005., 2005.

DENTON, Fatima et al. **Climate-resilient pathways: adaptation, mitigation, and sustainable development**. Climate change, p. 1101-1131, 2014.

DOWNING, Thomas E. **Choosing Methods in Assessments of Vulnerable Food Systems**. 2008.

EAKIN, Hallie; LUERS, Amy Lynd. **Assessing the vulnerability of social-environmental systems. Annu**. Rev. Environ. Resour., v. 31, n. 1, p. 365-394, 2006.

FUNDAÇÃO SEADE. **Perfil Municipal 2013**. Disponível em: http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/. Acesso em: 28/10/2024.

FÜSSEL, Hans-Martin; KLEIN, Richard JT. **Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking**. Climatic change, v. 75, n. 3, p. 301-329, 2006.

GBETIBOUO, Glwadys A.; RINGLER, Claudia; HASSAN, Rashid. **Vulnerability of the South African farming sector to climate change and variability: An indicator approach**. In: Natural resources forum. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2010. p. 175-187.

GILMORE, Elizabeth et al. **Charting the future of adaptation-Five key takeaways from Adaptation Futures 2023**. 2024.

GOODMAN, David; WATTS, Michael (Ed.). **Globalising food: agrarian questions and global restructuring**. Psychology Press, 1997.

GOMES, Tiago Tomaz; DE ABREU, Lucimar Santiago. **Percepções de agricultores familiares e técnicos da região do Vale do Ribeira (SP) sobre o mercado institucional**. 2019.

IBGE. **Censo Demográfico 2010: característica das populações e dos domicílios**. Censo demográfico, Rio de Janeiro, p.1-270, 2010.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: **Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), Cambridge University Press: Cambridge, UK, 976pp.

ISA. Instituto Socioambiental. **Agenda socioambiental de comunidades quilombolas do Vale do Ribeira**. Editores Kátia M. Pacheco dos Santos, Nilton Tatto, 2008

KESHAVARZ, Marzieh; MALEKSAEIDI, Hamideh; KARAMI, Ezatollah. **Livelihood vulnerability to drought: A case of rural Iran**. International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 21, p. 223-230, 2017.

LACKNER, Maximilian; CHEN, Wei-Yin; SUZUKI, Toshio. **Introduction to climate change mitigation**. Handbook of Climate Change Mitigation, DOI, v. 10, p. 978-1, 2012.

LUERS, Amy L. et al. **A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico**. Global environmental change, v. 13, n. 4, p. 255-267, 2003.

MARENGO, José A.; CUNHA, Ana P.; ALVES, Lincoln M. **A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico**. Revista Climanálise, v. 3, n. 1, p. 49-54, 2016.

MASSON-DELMOTTE, Valérie et al. **Global warming of 1.5 C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of**, v. 1, p. 93-174, 2019.

MCKEE, Thomas B. et al. **The relationship of drought frequency and duration to time scales**. In: Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. 1993. p. 179-183.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **AdaptaBrasil MCTI**. Disponível em: https://sistema.adaptabrasil.mcti.gov.br/. Acesso em: 29/10/2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH: Metadados ANA**. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home. Acesso em: 29/10/2024.

MOHMMED, Alnail et al. **Assessing drought vulnerability and adaptation among farmers in Gadaref region, Eastern Sudan**. Land use policy, v. 70, p. 402-413, 2018.

MOSER, Caroline ON; SATTERTHWAITE, David. **Towards pro-poor adaptation to climate change in the urban centres of low-and middle-income countries**. IIeD, 2008.

NAUMANN, Gustavo et al. **Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems**. Hydrology and Earth System Sciences, v. 18, n. 5, p. 1591-1604, 2014.

O'BRIEN, Karen et al. **Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India**. Global environmental change, v. 14, n. 4, p. 303-313, 2004.

OGUNDEJI, Abiodun A.; OKOLIE, Collins C. **Perception and adaptation strategies of smallholder farmers to drought risk: A scientometric analysis**. Agriculture, v. 12, n. 8, p. 1129, 2022.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2011**. Sustentabilidade e Equidade: um futuro melhor para todos. Washington: PNUD, 2011. 183p.

SALAZAR-BRIONES, Carlos et al. **An integrated urban flood vulnerability index for sustainable planning in arid zones of developing countries**. Water, v. 12, n. 2, p. 608, 2020.

SMIT, Barry; WANDEL, Johanna. **Adaptation, adaptive capacity and vulnerability**. Global environmental change, v. 16, n. 3, p. 282-292, 2006.

SPEI. **Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI)**. Disponível em: https://pypi.org/project/spei/. Acesso em: 26/10/2024.

UNITED Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Glossary of Basic Terminology on Disaster Risk Reduction**. UNDRR, 2009. Disponível em: https://www.undrr.org. Acesso em: 28/10/2024.

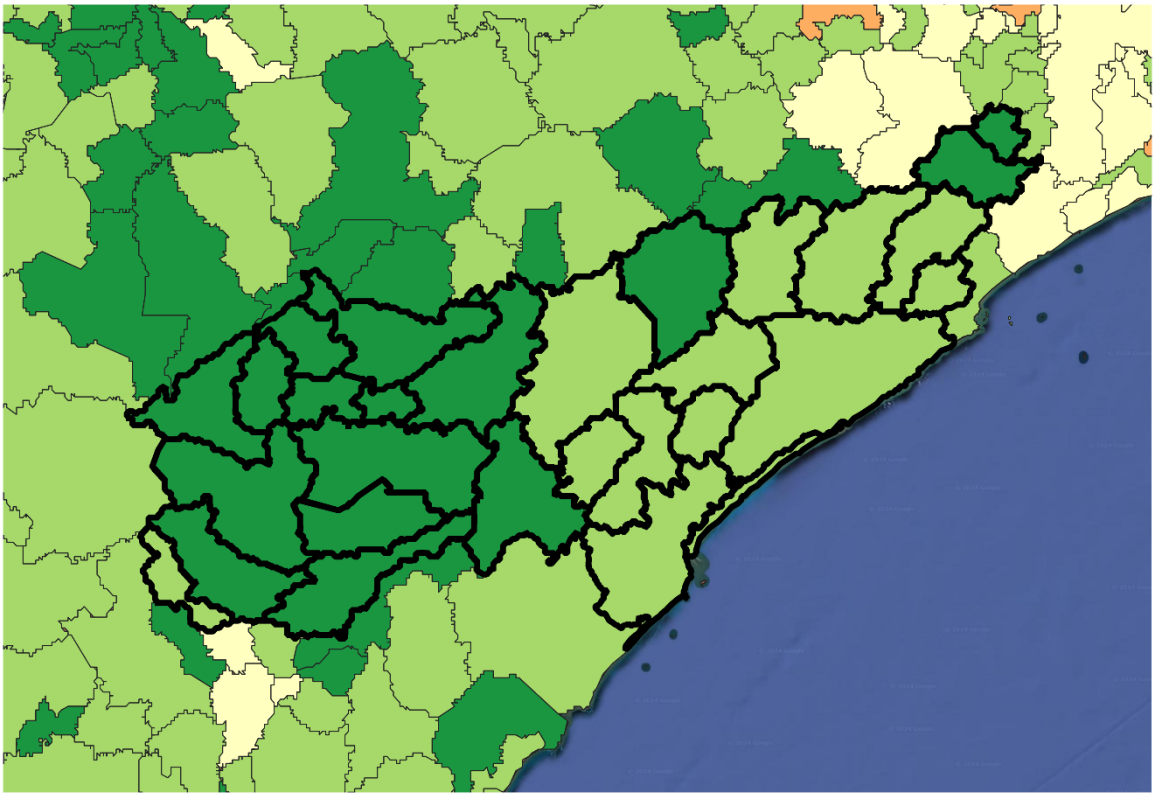
WILHITE, Donald A. et al. **Planning for drought: Moving from crisis to risk management 1**. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, v. 36, n. 4, p. 697-710, 2000.

WILHITE, Donald A.; GLANTZ, Michael H. **Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions**. Water international, v. 10, n. 3, p. 111-120, 1985.

XAVIER, Alexandre C. et al. **New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020)**. International Journal of Climatology, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, 2022.

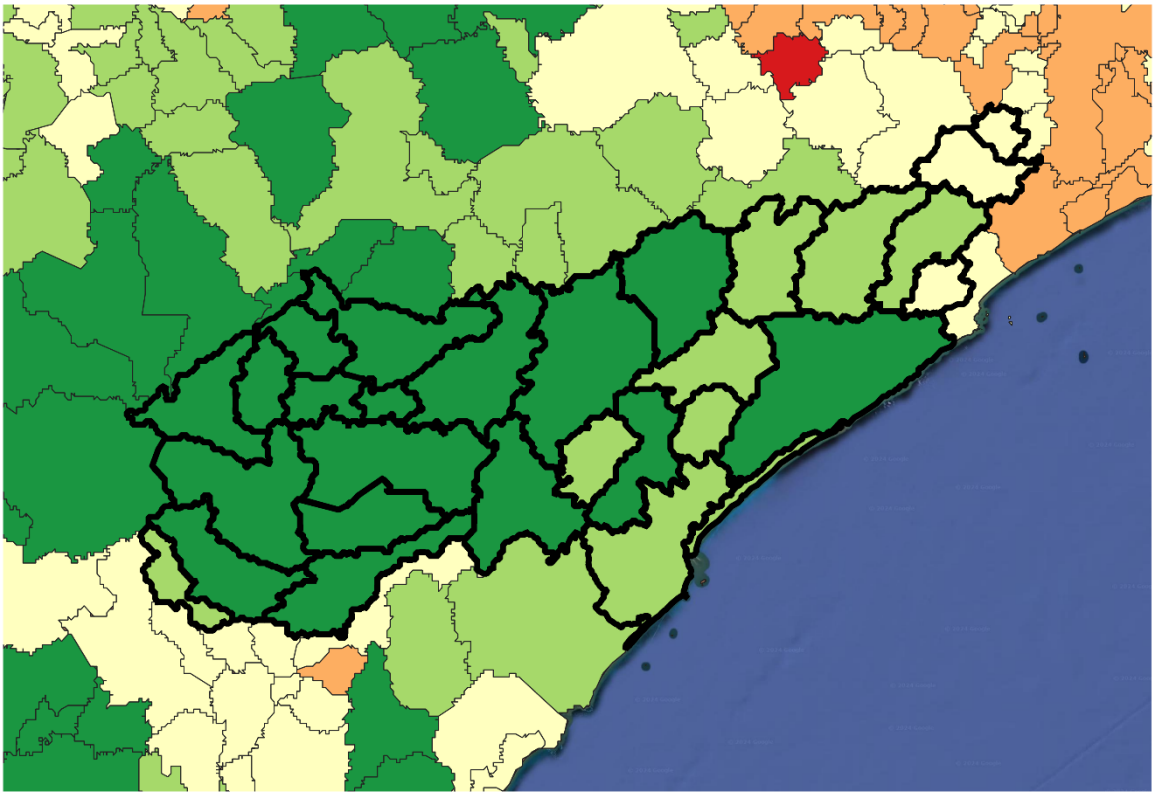
ANEXO

Figura A1 - Sensibilidade à secas gerada pelo Adapta Brasil – MCTI.



Fonte: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2024).

Figura A2 - Exposição à secas gerada pelo Adapta Brasil – MCTI.



Fonte: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2024).