

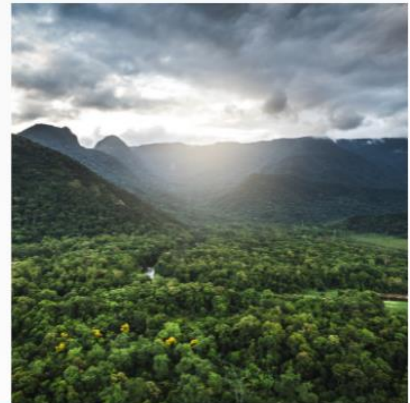


PAC-PR

Plano Estadual de Ação Climática
2024-2050

Análise climática e determinação da vulnerabilidade dos municípios paranaenses em face das mudanças climáticas.

Resumo executivo



Carlos Massa Ratinho Júnior

Governador do Estado do Paraná

Valdemar Bernardo Jorge

Secretário de Estado do Desenvolvimento Sustentável (Sedest)

Louise da Costa e Silva Garnica

Diretora Geral (Sedest)

Eduardo Alvim Leite

Diretor-Presidente do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar)

Everton Luiz da Costa Souza

Diretor-Presidente do Instituto Água e Terra (IAT)

Gustavo Fischer Sbrissia

Diretor de Políticas Ambientais (Sedest)

Matheus Bueno Patrício

Coordenador de Gestão Ambiental e Ação Climática (Sedest)

Reinaldo Bomfim da Silveira

Coordenador do Programa Paranaclima (Simepar)

Equipe Técnica:

Reinaldo Bomfim da Silveira

Meteorologista, Ph.D.

Adhemar Romero

Engenheiro Civil, M. Eng.

Edição e Revisão:

Anna Flávia Moraes Nogueira

Engenheira Agrônoma, Esp. Eng. e Gestão Ambiental

© 2023. Governo do Paraná.

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e que não seja para venda ou qualquer fim comercial.

Para maiores informações e contato:

Endereço: Rua Desembargador Motta, 3384 - Mercês - 80430-200 - Curitiba - PR, Telefone: (41) 3304-7766

E-mail: dipam@sedest.pr.gov.br



**INSTITUTO
ÁGUA E TERRA**



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. PREMISSAS, CRITÉRIOS E COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE A METODOLOGIA UTILIZADA	2
3. MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE, RISCO E RESILIÊNCIA DE ÁREAS NO PARANÁ	4
3.1. ANÁLISE CLIMÁTICA	4
3.1.1. Climatologia	4
3.1.2. Risco Climático	5
3.1.3. Projeções Climáticas IPCC e CMIP6	7
3.2. INDICADORES SOCIOECONÔMICOS	18
3.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DAS REGIÕES E MUNICÍPIOS PARANAENSES.....	26
3.4. OCORRÊNCIAS DE DESASTRES NO PARANÁ NO PERÍODO ENTRE 1980 E 2021.....	29
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
5. REFERÊNCIAS	35



LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Climatologia da chuva acumulada em 24 horas para o estado do Paraná, referente ao período de 1961 a 1990. Fonte: Simepar.....4
- Figura 2** - Climatologia da temperatura média anual para o estado do Paraná, referente ao período de 1961 a 1990. Fonte: Simepar.4
- Figura 3** - Climatologia da umidade relativa do ar média anual para o estado do Paraná, referente ao período de 1961 a 1990. Fonte: Simepar.....5
- Figura 4** - Potência das secas para os municípios do Paraná (esquerda) e risco de seca climática associado (direita). Fonte: Simepar.....6
- Figura 5** - Potência das chuvas para os municípios do Paraná (esquerda) e risco de excesso hídrico associado (direita). Fonte: Simepar.....7
- Figura 6** - Risco de calor, calculado para temperaturas mínimas (esquerda) e máximas (direita), com a climatologia do período de 1991 a 2020. Fonte: Simepar.7
- Figura 7** - Anomalias de temperatura para os cenários SSP 1-2.6 e SSP 5-8.5 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para o período de 2015 a 2100. Fonte: Simepar..... 10
- Figura 8** - Anomalias de temperatura para o cenário SSP 1-2.6 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2021 a 2030, 2031 a 2040, 2041 a 2050 e 2051 a 2060. Fonte: Simepar..... 11
- Figura 9** - Anomalias de temperatura para o cenário SSP 1-2.6 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2061 a 2070, 2071 a 2080, 2081 a 2090 e 2091 a 2100. Fonte: Simepar..... 12
- Figura 10** - Anomalias de temperatura para o cenário SSP 5-8.5 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2021 a 2030, 2031 a 2040, 2041 a 2050 e 2051 a 2060. Fonte: Simepar..... 13
- Figura 11** - Anomalias de temperatura para o cenário SSP 5-8.5 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2061 a 2070, 2071 a 2080, 2081 a 2090 e 2091 a 2100. Fonte: Simepar..... 14
- Figura 12** - Anomalias de precipitação para os cenários SSP 1-2.6 e SSP 5-8.5 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para o período de 2015 a 2100. Fonte: Simepar. 15
- Figura 13** - Anomalias de padronizada de precipitação para o cenário SSP 1-2.6 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3,



para as décadas 2021 a 2030, 2031 a 2040, 2041 a 2050 e 2051 a 2060. Fonte: Simepar.	15
Figura 14 - Anomalias de padronizada de precipitação para o cenário SSP 1-2.6 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2061 a 2070, 2071 a 2080, 2081 a 2090 e 2091 a 2100. Fonte: Simepar.	16
Figura 15 - Anomalias de padronizada de precipitação para o cenário SSP 5-8.5 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2021 a 2030, 2031 a 2040, 2041 a 2050 e 2051 a 2060. Fonte: Simepar.	17
Figura 16 - Anomalias de padronizada de precipitação para o cenário SSP 5-8.5 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2061 a 2070, 2071 a 2080, 2081 a 2090 e 2091 a 2100. Fonte: Simepar.	18
Figura 17 - Sensibilidade à seca climática conforme uso e ocupação do solo. Fonte: IBGE (2010) e Simepar.	20
Figura 18 - Sensibilidade ao excesso hídrico conforme uso e ocupação do solo. Fonte: IBGE (2010) e Simepar.	21
Figura 19 - Sensibilidade à seca climatológica conforme a oferta e demanda de água nos municípios. Fonte: ANA (2021) e Simepar.....	24
Figura 20 - Sensibilidade ao excesso hídrico, conforme a oferta e demanda de água nos municípios. Fonte: ANA (2021) e Simepar.	25
Figura 21 - Vulnerabilidade dos municípios do Paraná quanto ao risco de seca climatológica para os períodos climatológicos futuros 2031 a 2060 e 2061 a 2090. Os mapas correspondem aos cenários SSP 1-2.6 (esquerda) e SSP 5-8.5 (direita), projetados pelos modelos ESM do CMIP6, MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3. Fonte: Simepar.	28
Figura 22 - Vulnerabilidade dos municípios do Paraná quanto a excesso hídrico para os períodos climatológicos futuros 2031 a 2060 e 2061 a 2090. Os mapas correspondem aos cenários SSP 1-2.6 (esquerda) e SSP 5-8.5 (direita), projetados pelos modelos ESM do CMIP6, MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3. Fonte: Simepar.....	29
Figura 23 - Distribuição espacial das ocorrências de desastres naturais associadas a estiagem. Fonte: CEDEC-PR.	31



Figura 24 - Distribuição espacial das ocorrências de desastres naturais associadas a excesso hídrico. Fonte: CEDEC-PR.....32



LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores teóricos do SPI.	6
Quadro 2 - Desastres naturais nas regiões do Paraná para o período de 1980 a 2021. Fonte: CEDEC-PR.....	30



LISTA DE SIGLAS

- ANA** – Agência nacional de águas e saneamento básico
- Cedec** - Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Paraná
- CMIP** - Projeto de Intercomparação de Modelos Climáticos Acoplados (do inglês *Coupled Model Intercomparison Project*)
- Cobrade** - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
- DATASUS** - Departamento de informática do Sistema Único de Saúde do Brasil.
- ESM** - Modelos do Sistema Terrestre (do inglês, *Earth System Models*)
- FR** – Forçante Radiativa
- GEE** – Gases de Efeito Estufa
- IAT** – Instituto Água e Terra
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IDH** - Índice de Desenvolvimento Humano
- IDHm** - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
- IPPC** - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (do inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change*)
- ISH-U** - Índice Urbano de Segurança Hídrica
- MMA** – Ministério do Meio Ambiente
- OMM** - Organização Meteorológica Mundial
- RCP** - Trajetória Representativa de Concentrações (do inglês, *Representative Concentration Pathway*)
- Sedest** – Secretaria do Desenvolvimento Sustentável
- Simepar** – Sistema de Monitoramento e Tecnologia do Paraná
- SPI** - Índice Padronizado de Precipitação
- SSP** - Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (do inglês, *Shared Socio-Economic Pathways*)
- WRCP** - Programa Mundial de Pesquisa Climática (do inglês, *World Climate Research Program*)



1. INTRODUÇÃO

O Programa Paranaense de Mudanças Climáticas, voltado para o desenvolvimento de projetos e ações de prevenção, mitigação e adaptação aos efeitos das mudanças climáticas, é um Contrato de Gestão firmando entre a Sedest, IAT e o Simepar. As atividades aprovadas para execução no plano de trabalho foram realizadas conjuntamente por profissionais contratados pelo Simepar e integrantes da SEDEST e IAT.

O programa é subdividido em cinco módulos, sendo que cada módulo é composto por subprogramas. Este documento apresenta um resumo executivo das principais atividades realizadas nos Subprogramas 12 (Desenvolvimento de estudos regionais de vulnerabilidade, impactos potenciais e resiliências), pertencente ao Módulo IV: mapeamento de vulnerabilidade, risco e resiliência.

Um dos resultados apresentados nesse subprograma foi um índice para representação da magnitude potencial dos impactos causados por cenários de mudanças climáticas preconizados pelo IPCC.

A determinação desse índice passa por uma correlação entre indicadores sociais, de oferta e demanda de recursos hídricos, uso e ocupação do solo e com a exposição às mudanças climáticas, obtida com a análise dos resultados dos modelos acoplados de circulação CMIP6. A utilização dos indicadores tornou possível o mapeamento de regiões com maiores e menores resiliências e sensibilidades às variações do clima.

Correlacionando essas informações com o histórico de desastres mantidos pela defesa civil do estado, torna-se possível identificar regiões que demandam um maior planejamento e decisões assertivas com o objetivo de promover uma melhor adaptação às mudanças climáticas, através de ações de adaptação e aumento da resiliência local, promovendo também melhora na qualidade de vida da população local.

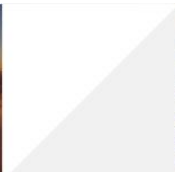


2. PREMISSAS, CRITÉRIOS E COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE A METODOLOGIA UTILIZADA

A análise de impactos implica em avaliar o efeito potencial das alterações no clima em um determinado sistema, como por exemplo a distribuição de energia para a sociedade. O estudo da vulnerabilidade diz respeito a susceptibilidade e a capacidade dos sistemas natural e humano para lidarem com os efeitos adversos das mudanças climáticas. Vulnerabilidade é função da característica, magnitude e proporção das alterações no clima e a variação na qual o sistema é exposto, sua sensibilidade e sua capacidade adaptativa. Há métodos preconizados pelo IPCC (Magrin et. al., 2014) para avaliação de risco de impacto e vulnerabilidade às mudanças climáticas, sendo o primeiro passo a identificação do risco para um dado sistema. A vulnerabilidade pode ser avaliada a partir da metodologia *Top-Down*, na qual as projeções dos modelos globais de circulação geral (GCM) são refinadas para escalas regionais e locais e os resultados são usados para determinar os efeitos em sistemas de interesse. Alternativamente, a análise pode ser do tipo *Bottom Up*, onde limites em que o sistema pode falhar são estabelecidos e avalia-se a possibilidade daqueles limites serem excedidos. Este último processo assemelha-se ao processo de análise de falhas de engenharia, já o método *Top-Down* restringe a análise a alguns cenários a partir das projeções climáticas. Nesta proposta, pretendemos analisar ambas as abordagens de avaliação de riscos para a Sociedade, Ambiente e setores produtivos, a fim de determinar as melhores condições de adaptação às mudanças climáticas.

Dadas as incertezas associadas às projeções climáticas, a análise de risco também inclui a estimativa da possibilidade de os eventos acontecerem. Esta estimativa é problemática, em especial para ocorrência de extremos, uma vez que as probabilidades estimadas com base nos eventos passados podem não ser representativas da possibilidade futura. No caso de projeções futuras regionais e locais, pode haver incerteza tanto em magnitude como em direção (para mais ou para menos) da mudança. Mesmo quando existe grande confiança em uma dada informação da análise estatística, o IPCC fornece apenas análise subjetiva para a possibilidade de direção da alteração futura. Por exemplo, existe alta confiança que o nível médio do mar irá aumentar, mas a magnitude e a taxa desta mudança são incertas.

Contudo, neste trabalho serão avaliados os riscos para os sistemas natural e humano, conforme a susceptibilidade aos impactos relativos, projetados por alterações



no clima. Esta análise será realizada face à relativa probabilidade de um dado nível de impacto ocorrer em uma determinada região do estado do Paraná sob avaliação, para períodos diferentes. As análises serão realizadas com base nas hipóteses determinadas pelo IPCC, a fim de desenvolver mapas regionais de impacto relativo contra a possibilidade relativa do risco e quando possível a nível de município.

A fim de atingir os objetivos da pesquisa, propõe-se inicialmente um levantamento científico de eventos extremos e severos de tempo e clima, na região Sul do Brasil e no estado do Paraná, para as seguintes variáveis: temperatura, precipitação, ventos, descargas atmosféricas e secas (estiagens prolongadas, seca hidrológica e umidade do solo). Este levantamento inclui a busca na literatura científica, relatórios técnicos de institutos de pesquisas e governamentais, por evidências, simulações de eventos e avaliações de impactos, nos diversos setores

A metodologia do estudo proposto abrange a revisão de índices utilizados para caracterizar eventos extremos. Em paralelo, serão analisadas séries de dados e as projeções simuladas pelos modelos climáticos GCM, associadas aos eventos extremos, incluindo definições, frequências, tendências e distribuição espaço-temporal.

Exemplos de impactos incluem: sistemas afetados por ilha de calor urbano e consequente aumento de vetores transmissores de doenças; demanda por água potável; cheias de rios, devido aumento de precipitações; aumento da temperatura por alteração na cobertura vegetal e uso do solo, em particular exploração de áreas de proteção e reservas; inundações de cidades, devido aumento de precipitações e inundações costeiras, devido ao aumento do nível médio do mar e ressacas.



3. MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE, RISCO E RESILIÊNCIA DE ÁREAS NO PARANÁ

3.1. ANÁLISE CLIMÁTICA

3.1.1. Climatologia

As referências climatológicas são essenciais para determinação das anomalias das variáveis climáticas, calculadas como a diferença entre o valor em um dado momento e a média de longo prazo, usualmente 30 anos. A Organização Meteorológica Mundial - OMM, estabeleceu os períodos de 1931 a 1960, 1961 a 1990 e 1991 a 2020 como períodos de referência climática, os quais são utilizados para avaliar alterações climáticas. Os mapas da Figura 1, Figura 2 e Figura 3, descrevem respectivamente a climatologia e desvio padrão da precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, para o período de 1961 a 1990.

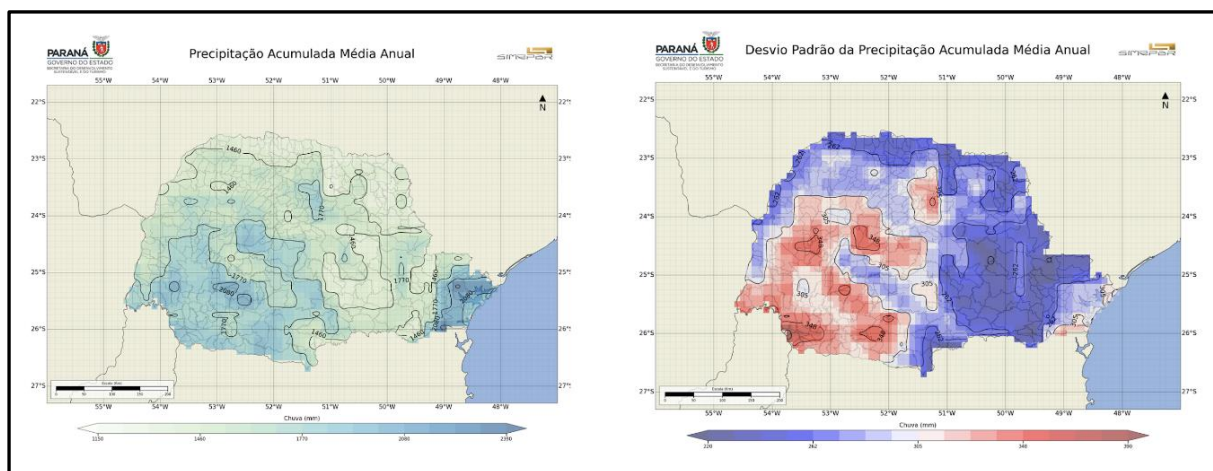


Figura 1 - Climatologia da chuva acumulada em 24 horas para o estado do Paraná, referente ao período de 1961 a 1990. Fonte: Simepar.

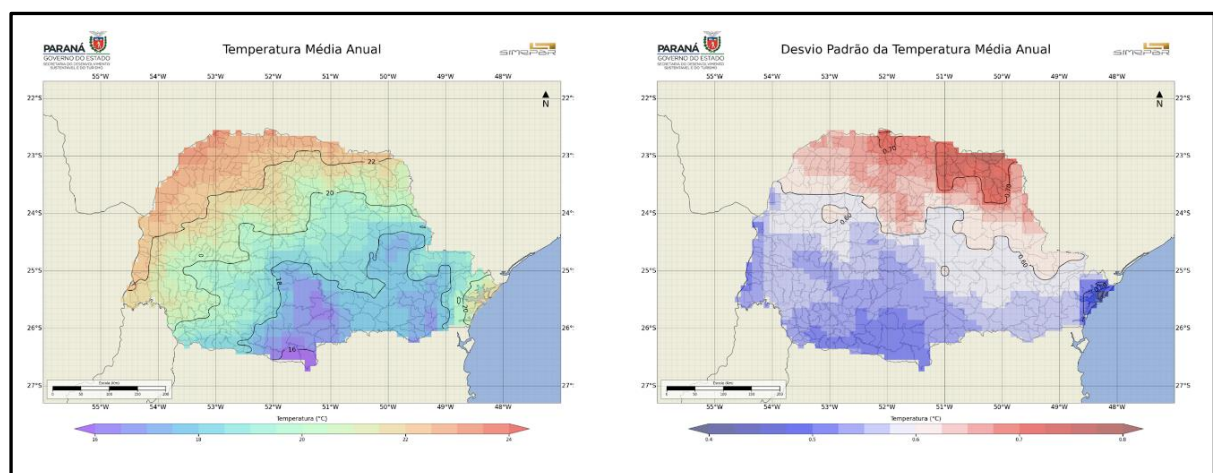


Figura 2 - Climatologia da temperatura média anual para o estado do Paraná, referente ao período de 1961 a 1990. Fonte: Simepar.



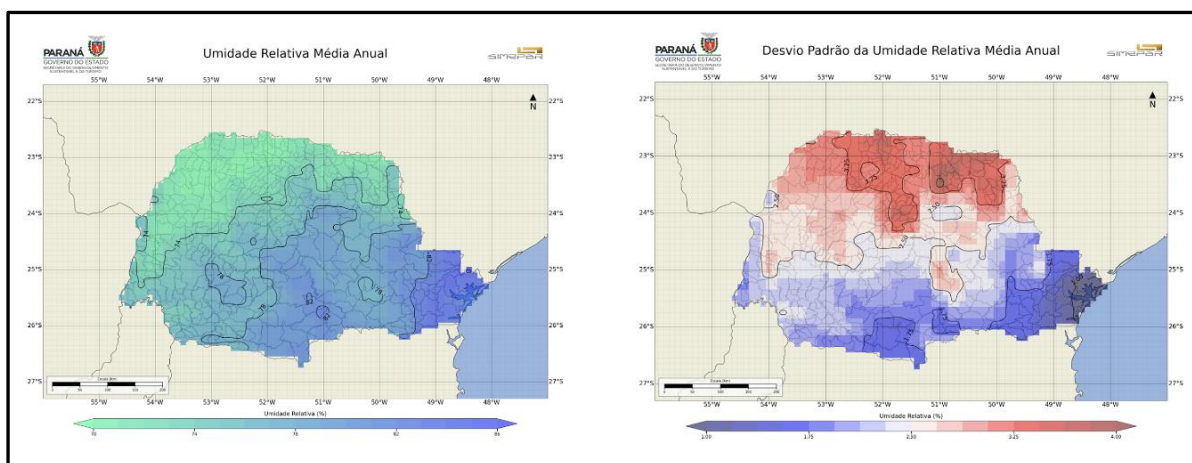


Figura 3 - Climatologia da umidade relativa do ar média anual para o estado do Paraná, referente ao período de 1961 a 1990. Fonte: Simepar.

3.1.2. Risco climático

No contexto do plano de mudanças climáticas, as referências climáticas foram úteis para a determinação do risco climático dos municípios com relação a escassez e excesso hídrico, para a qual adaptamos a abordagem descrita em MMA (2017), sendo o risco expresso como:

$$RiscoClimatico = \frac{[CV + PotSH + (1 - MLT_{CHUVA})]}{3} \quad (1)$$

Onde:

MLT_{CHUVA} é a média climatológica da chuva;

CV é o coeficiente de variação da chuva, definido por: DP / MLT_{CHUVA} ;

DP é o desvio padrão e

$PotSH$ é a potência de seca ou excesso hídrico.

O SPI é um índice utilizado para caracterizar seca meteorológica e hidrológica de uma dada região. Neste contexto, os dados históricos de precipitação (séries superiores a 30 anos) foram ajustados à distribuição de probabilidade Gamma e esta foi transformada em um índice utilizado para quantificar o déficit de precipitação em várias escalas de tempo, geralmente em intervalos mensais. Deste modo, o período do tempo para o qual o SPI é calculado é comparado ao histórico da precipitação, indicando o grau de severidade com relação aos demais períodos do histórico. Nos intervalos pequenos, de 1 mês a 6 meses, o SPI é relacionado à umidade do solo, enquanto para intervalos superiores a 12 meses, pode ser associado a armazenamento de água nas camadas



internas do solo ou reservatórios. Como exemplo, o SPI de 6 meses, a ser calculado em um dado mês, utiliza os valores deste mês e os valores dos cinco meses anteriores para calcular o índice do mês. Valores teóricos de SPI, definidos para caracterizar a condição de umidade/seca são apresentados no Quadro 1. O objetivo no contexto do diagnóstico dos riscos, devido às mudanças climáticas foi avaliar a disponibilidade hídrica nas regiões administrativas e municípios do Paraná.

Quadro 1 - Valores teóricos do Índice Padronizado de Precipitação (SPI).

Condição umidade/hídrica	SPI
Extremamente úmido	≥ 2
Severamente úmido	1,5 a 1,99
Moderadamente úmido	1,0 a 1,49
Próximo ao normal climatológico	-0,99 a 0,99
Moderadamente seco	-1,49 a -1,00
Severamente seco	-1,99 a -1,50
Extremamente seco	$\leq -2,00$

O termo *PotSH* foi determinado a partir do índice padronizado de precipitação, (SPI), desenvolvido por McKee et. al. (1993). É calculado com base nos limites de severidade de situações de seca ou excesso hídrico, aplicados aos períodos identificados nas séries de SPI. Os resultados do cômputo da potência de seca e excesso hídrico, bem como o risco estimado para os municípios do Paraná são demonstrados na Figura 4 e Figura 5.

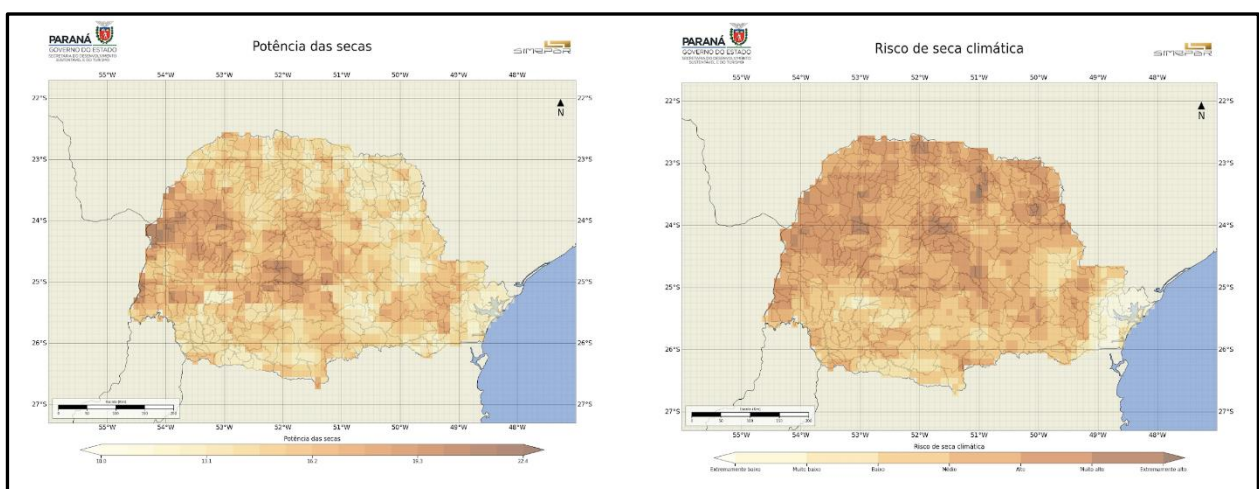
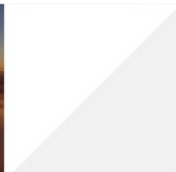


Figura 4 - Potência das secas para os municípios do Paraná (esquerda) e risco de seca climática associado (direita). Fonte: Simepar.



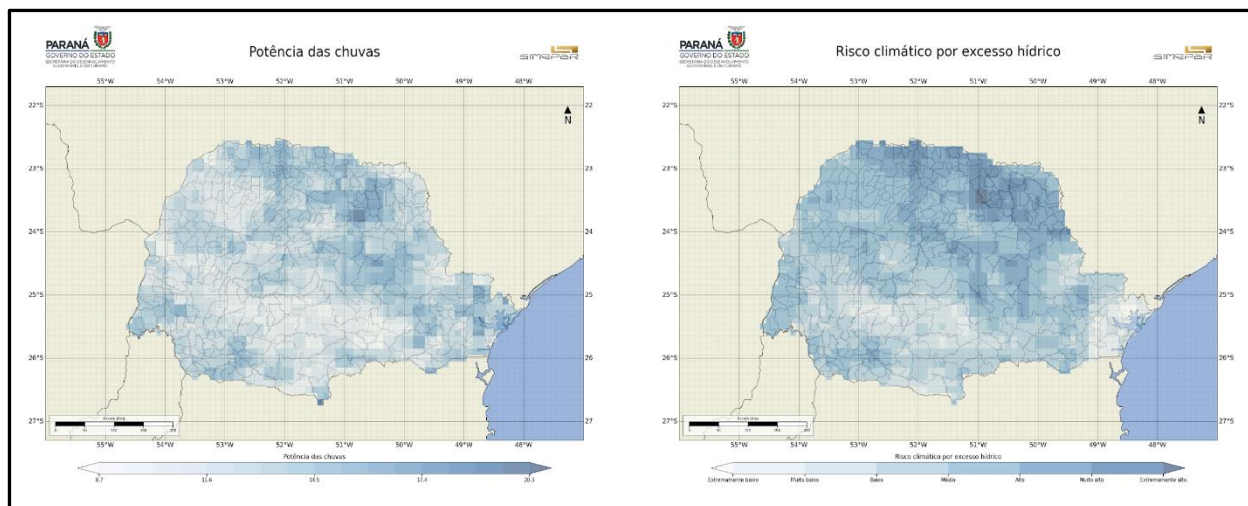


Figura 5 - Potência das chuvas para os municípios do Paraná (esquerda) e risco de excesso hídrico associado (direita). Fonte: Simepar.

O risco também foi calculado para o excesso de calor e frio, considerando o limiar das temperaturas mínimas e máximas no estado e a frequência de ocorrência de eventos que excederam o limiar. A Figura 6 ilustra o resultado obtido para a climatologia do período de 1991 a 2020.

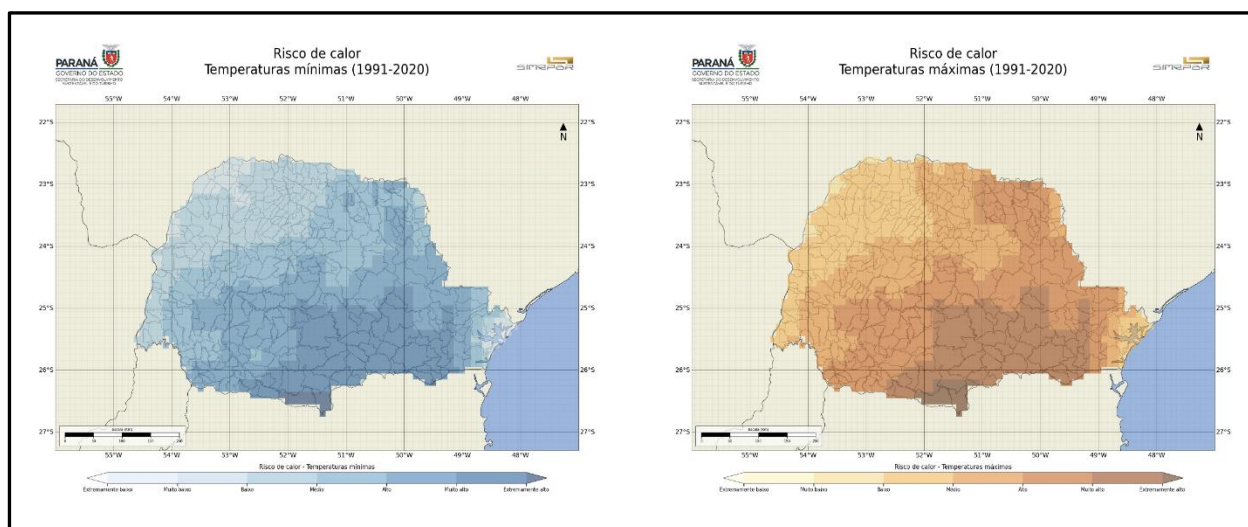


Figura 6 - Risco de calor, calculado para temperaturas mínimas (esquerda) e máximas (direita), com a climatologia do período de 1991 a 2020. Fonte: Simepar.

3.1.3. Projeções Climáticas IPCC e CMIP6

A climatologia da chuva para o período de referência (1961 a 1990) e o SPI foram utilizados para determinar o risco de seca e excesso hídrico para os municípios. No entanto, segundo descrito em MMA (2017), a caracterização da vulnerabilidade às ameaças em um determinado período no futuro, devido às mudanças climáticas, depende da alteração dos padrões climáticos no período futuro, considerada como



componente exposição da vulnerabilidade. Para o cálculo destas anomalias utilizamos as projeções de chuva e temperatura dos modelos climáticos, conforme descritos a seguir.

O IPCC coordena os relatórios com as conclusões e progressos dos modelos climáticos globais disponíveis na análise dos cenários futuros do clima. Desde 1995 os centros que desenvolvem modelos climáticos participam dos projetos de intercomparação promovidos pelo Programa Mundial de Pesquisa Climática - WRCP, os quais têm por premissa a padronização das forçantes climáticas das simulações, tais como concentração de aerossóis e gases do efeito estufa. Esta intercomparação encontra-se na sexta fase, que iniciou em 2014, conhecida como Projeto de Intercomparação de Modelos Climáticos Acoplados (termo traduzido do inglês *Coupled Model Intercomparison Project*), CMIP6 (Eyring et. al. 2016).

Além da padronização das forçantes climáticas, um dos objetivos dos CMIPs é calcular o clima futuro, a partir de diferentes combinações de parâmetros (cenários) que estejam relacionados com a maneira pela qual a humanidade interfere na evolução das variáveis climáticas, com base nos aspectos econômicos, sociais, tecnológicos e políticos, dado que as projeções futuras dos níveis dos gases do efeito estufa (GEE) podem ser alteradas devido esses fatores.

Os cenários propostos pelo WRCP refletem o balanço global de energia radiativa que é a razão entre a energia absorvida pela atmosfera da Terra e a energia que retorna para o espaço, usualmente expressa em W/m^2 . Nesse sentido, os cenários representam diferentes níveis de forçante radiativa (FR), sendo que os valores mais altos estão associados a aumento dos gases do efeito estufa, ou mais calor sendo aprisionado na atmosfera. O relatório do IPCC (IPCC, 2018) informa que antes de 1750, marco da revolução industrial, os níveis da forçante radiativa eram estáveis (a razão próxima a zero) e por isso o valor desta data é usado como referência para os cenários de forçante radiativa. Em resumo, no CMIP anterior (CMIP5), além da referência, quatro *trajetórias representativas de concentração* (RCP) foram examinadas como possíveis emissões dos GEE no futuro:

- **RCP 0.0:** FR de referência, período pré-industrial;
- **RCP 2.6:** FR incluída em 2011, com o objetivo de manter o aumento global da temperatura média do ar em 2°C até 2100, considerado ideal, no entanto improvável de ocorrer;



- **RCP 4.5:** é um cenário que estabiliza a FR em 4.5 W/m² no ano de 2100 sem nunca exceder esse valor;
- **RCP 6.0:** é uma trajetória que descreve tendências de longo prazo das emissões globais de GEE, espécies de curta duração e alterações no uso da cobertura de vegetação, as quais levam a estabilização da FR em 6.0 W/m² no ano 2100, sem exceder este valor nos anos anteriores;
- **RCP 8.5:** corresponde ao cenário com a mais alta emissão dos GEE (8.5 W/m²). Este cenário combina hipóteses como alta população e relativamente baixo crescimento econômico, com baixas taxas de desenvolvimento tecnológico e eficiência no processo de geração de energia limpa, o que pode levar a alta demanda de energia a base de carbono e aumento das emissões dos GEE. Este pode ser um cenário provável na ausência de política de mudança climática.

A atual revisão do CMIP, o CMIP6, inclui novos cenários como base em diferentes hipóteses socioeconômicas, alterando a nomenclatura para *Trajelórias Socioeconômicas compartilhadas*, como uma maneira de expressar os desafios da sociedade para mitigar as causas da mudança do clima ou adaptar aos impactos desta. As siglas dos cenários passaram para SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0 e SSP5-8.5, como FR similares àquelas dos cenários do CMIP5. No entanto, três novos cenários foram incluídos: SSP3-7.0, SSP4-3.4 e SSP1-1.9.

Em resumo os cenários SSP implicam na seguinte análise com relação à mitigação e adaptação:

- **SSP1:** pequenos desafios tanto para mitigação quanto para adaptação;
- **SSP2:** desafios moderados para ambos os aspectos;
- **SSP3:** desafios altos tanto para mitigação quanto para adaptação;
- **SSP4:** maior desafio para adaptação do que para mitigação (desigualdade);
- **SSP5:** maior desafio para mitigação, situação em que energia por combustível fóssil domina.

Com relação aos cenários, avaliamos principalmente os cenários SSP1-2.6, ideal, mas improvável, e o de SSP5-8.5, cenário que pode ocorrer na ausência de políticas socioeconômicas de mitigação e adaptação.

As análises climáticas foram concentradas nos resultados dos cenários determinados por dois modelos acoplados do sistema terrestre (ESM), o modelo MIROC-



6 e MPI-M, os quais descrevem com grande detalhamento os processos físicos do sistema terrestre, incluindo a representação de nuvens e aerossóis. Um terceiro modelo foi utilizado, também bastante avançado, mas com alta sensibilidade para o equilíbrio climático, o HADGEM3.

As saídas dos modelos foram coletadas do site CMIP6 (WCRP) na resolução espacial original, conforme informada nos respectivos quadros com as características dos modelos globais (250km para o MIROC6 e MPI e 100 km para o HADGEM3). Dada a resolução grosseira dos modelos, uma interpolação bilinear (Press et al., 1992) foi aplicada aos resultados, escalonada até a grade de 25 km, a fim de avaliar os resultados em nível regional sem a degradação do resultado original dos modelos.

Dados de reanálise ERA5 do modelo ECMWF (Hersbach et. al. 2020) foram utilizados para fins de determinação das séries climáticas de temperatura e precipitação, referente a normal climatológica do período de 1961 a 1990 e para calcular as anomalias referentes a estes parâmetros para os cenários dos modelos ESM com relação ao período de referência adotado.

As anomalias de temperatura para os cenários SSP 1-2.6 e SSP 5-8.5 para as RA do Paraná são descritas na Figura 7, Figura 8, Figura 9 e Figura 10. As anomalias de temperatura para os cenários SSP 1-2.6 e SSP 5-8.5, calculadas para as médias dos modelos MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3 e para as regiões administrativas do Paraná são descritas nos gráficos da Figura 11 e da Figura 12, Figura 13, Figura 14 e Figura 15.

Cenários de anomalia de temperatura para as RA do Paraná

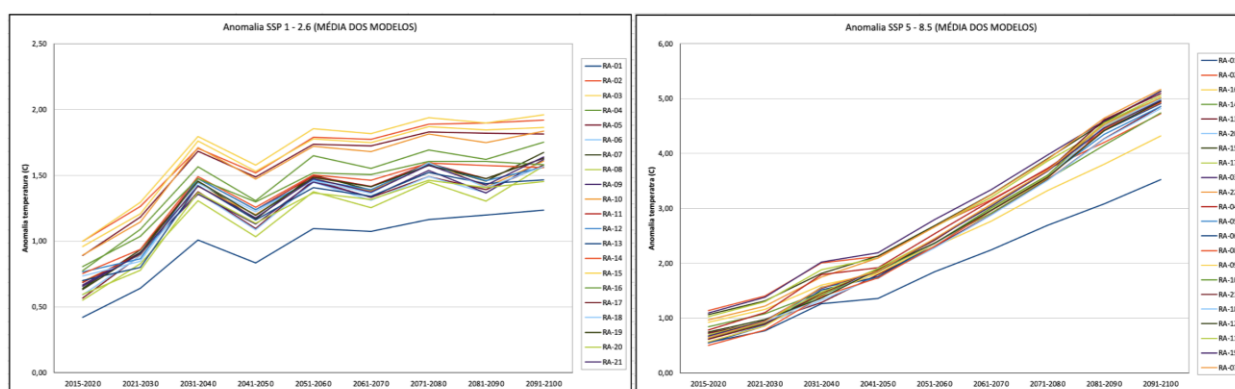


Figura 7 - Anomalias de temperatura para os cenários SSP 1-2.6 e SSP 5-8.5 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para o período de 2015 a 2100.

Fonte: Simepar.



Anomalia de Temperatura SSP 1 - 2.6

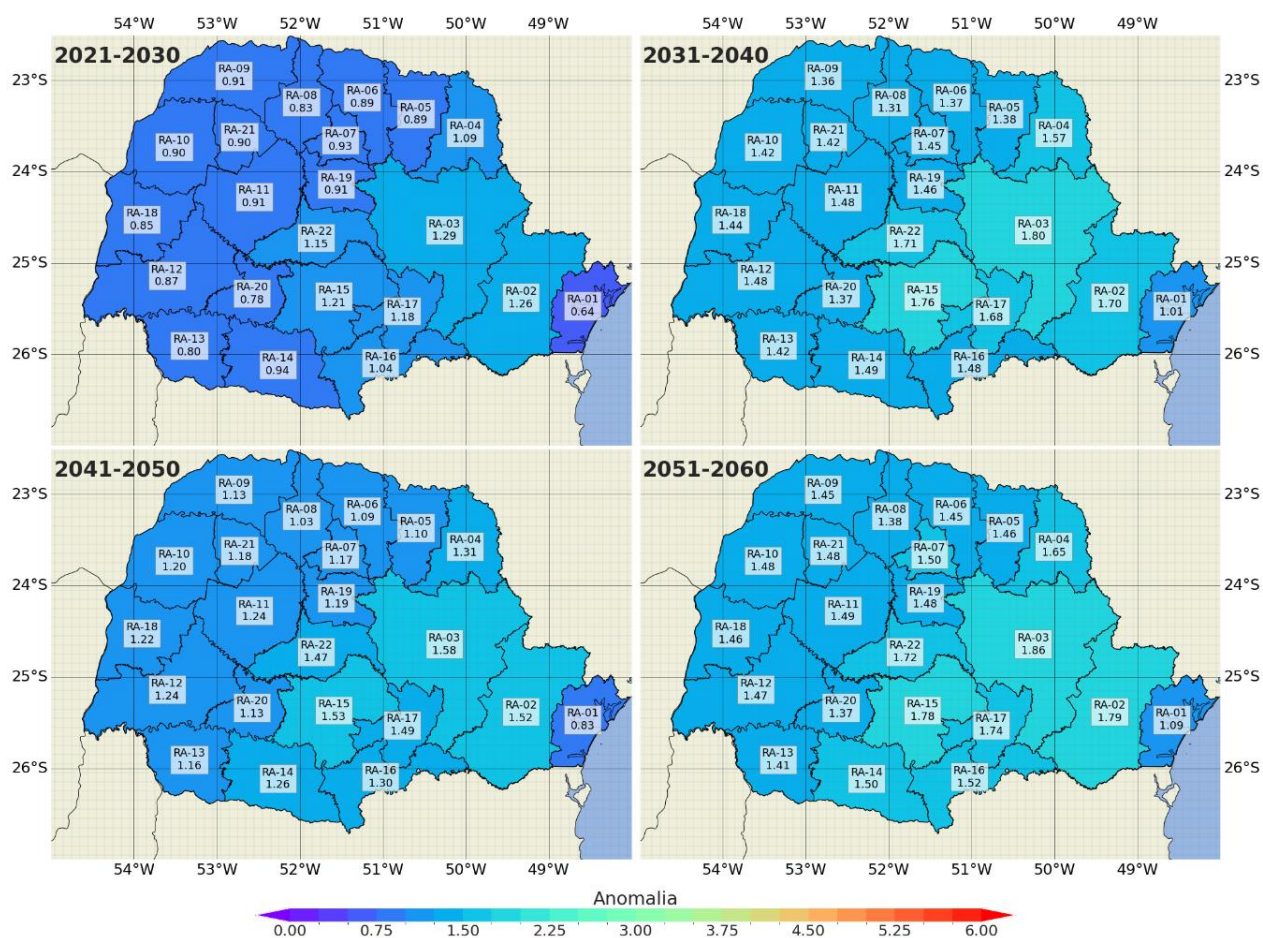


Figura 8 - Anomalias de temperatura para o cenário SSP 1-2.6 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2021 a 2030, 2031 a 2040, 2041 a 2050 e 2051 a 2060. Fonte: Simepar.



Anomalia de Temperatura SSP 1 - 2.6

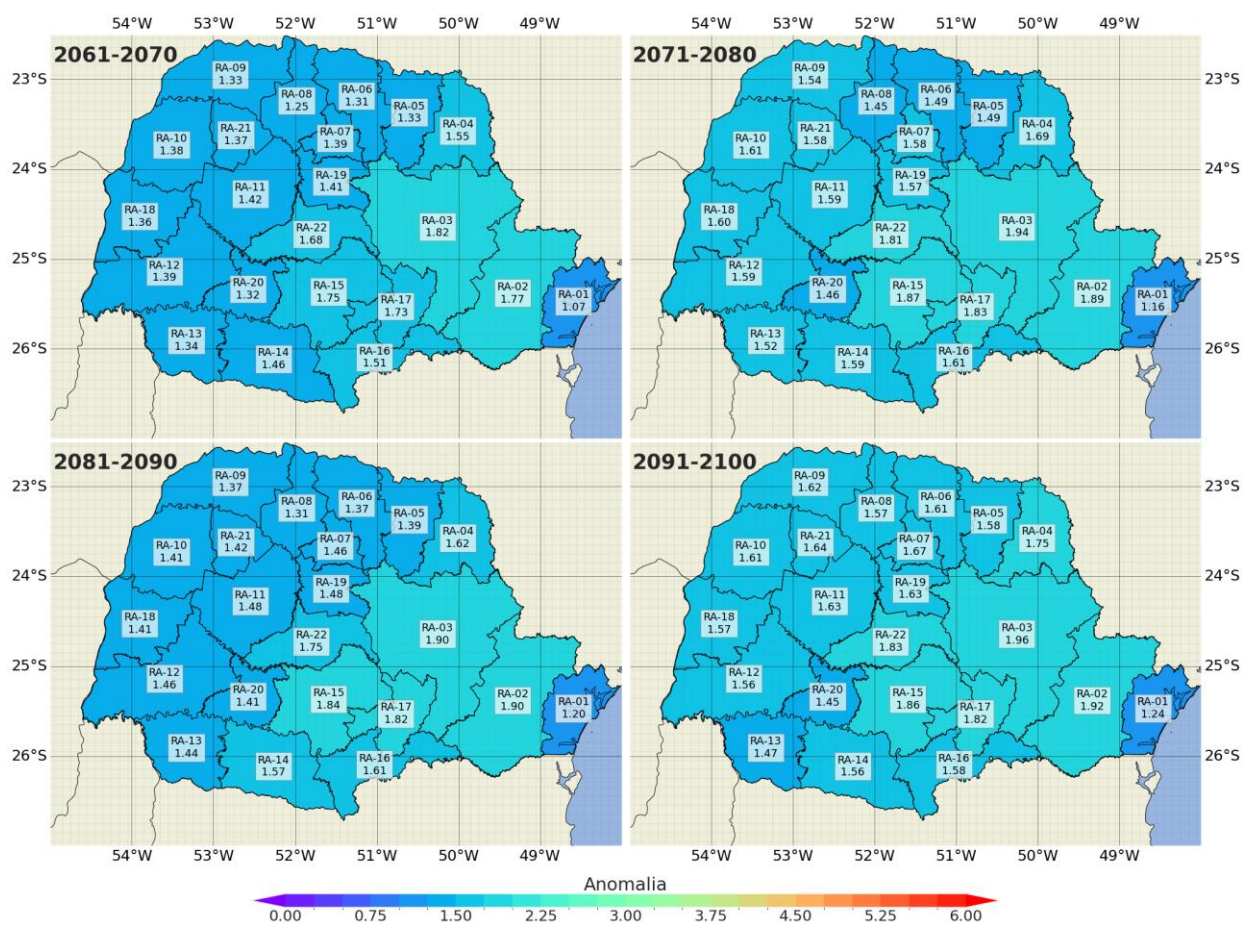


Figura 9 - Anomalias de temperatura para o cenário SSP 1-2.6 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2061 a 2070, 2071 a 2080, 2081 a 2090 e 2091 a 2100. Fonte: Simepar.



Anomalia de Temperatura SSP 5 - 8.5

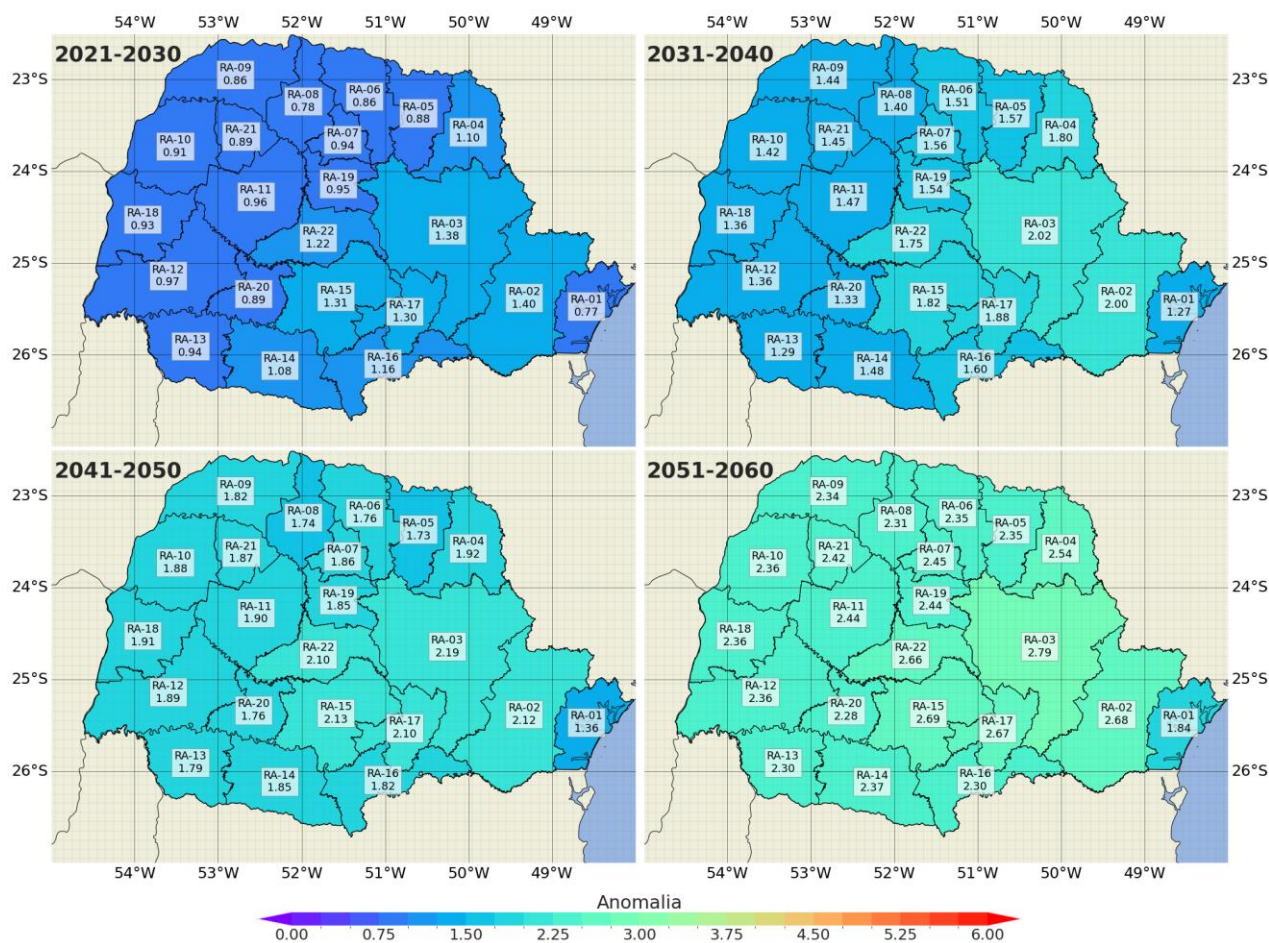


Figura 10 - Anomalias de temperatura para o cenário SSP 5-8.5 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2021 a 2030, 2031 a 2040, 2041 a 2050 e 2051 a 2060. Fonte: Simepar.



Anomalia de Temperatura SSP 5 - 8.5

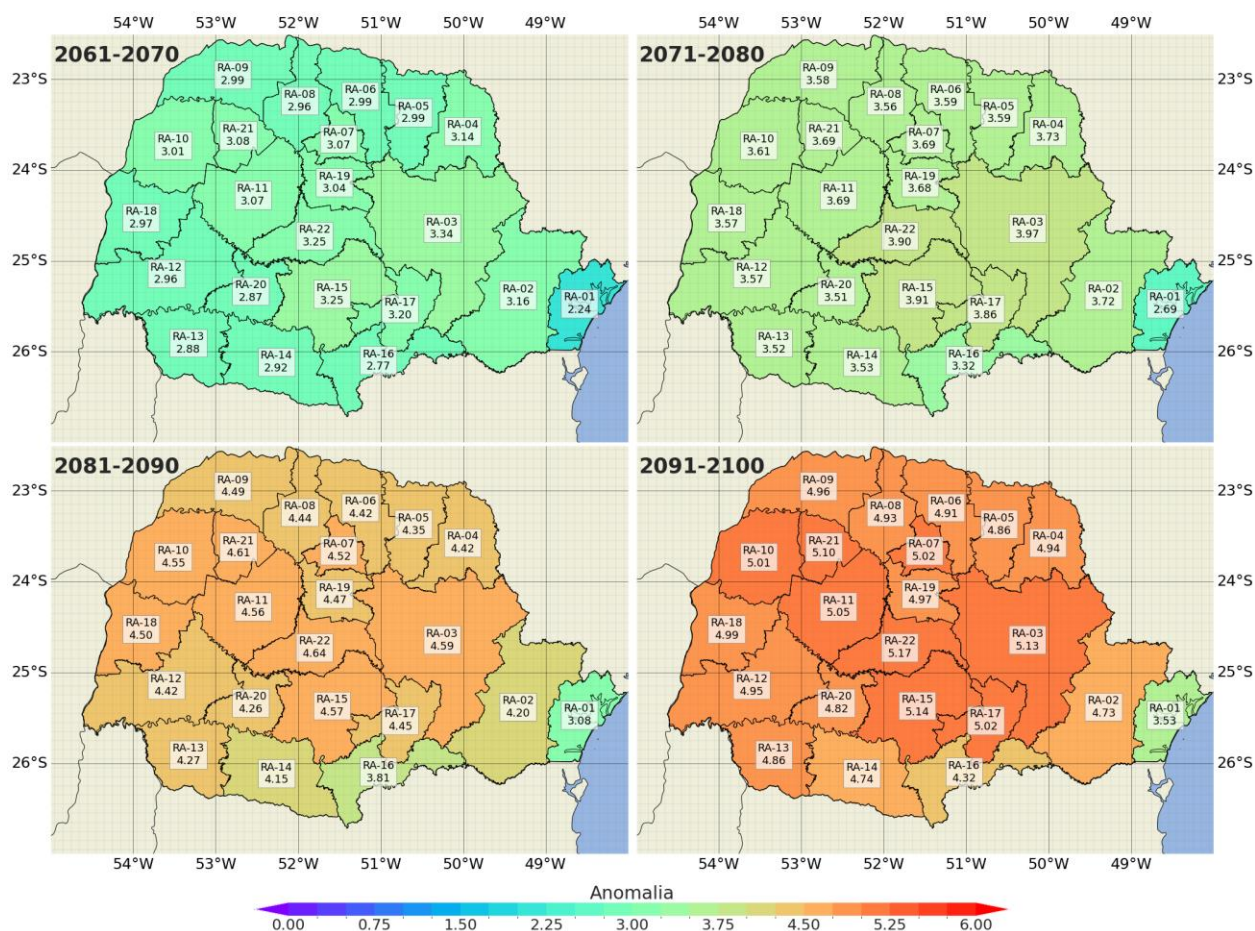
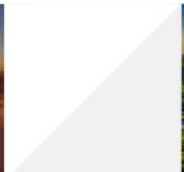


Figura 11 - Anomalias de temperatura para o cenário SSP 5-8.5 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2061 a 2070, 2071 a 2080, 2081 a 2090 e 2091 a 2100. Fonte: Simepar.

As anomalias de precipitação para os cenários SSP 1-2.6 e SSP 5-8.5, calculadas para as médias dos modelos MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3 e para as regiões administrativas do Paraná são descritas nos gráficos da Figura 16 e os mapas da Figura 17, Figura 18, Figura 19 e Figura 20. Estes resultados foram utilizados para calcular o componente de exposição que, juntamente com outros componentes, sensibilidade e capacidade adaptativa, formam o cômputo final da vulnerabilidade.



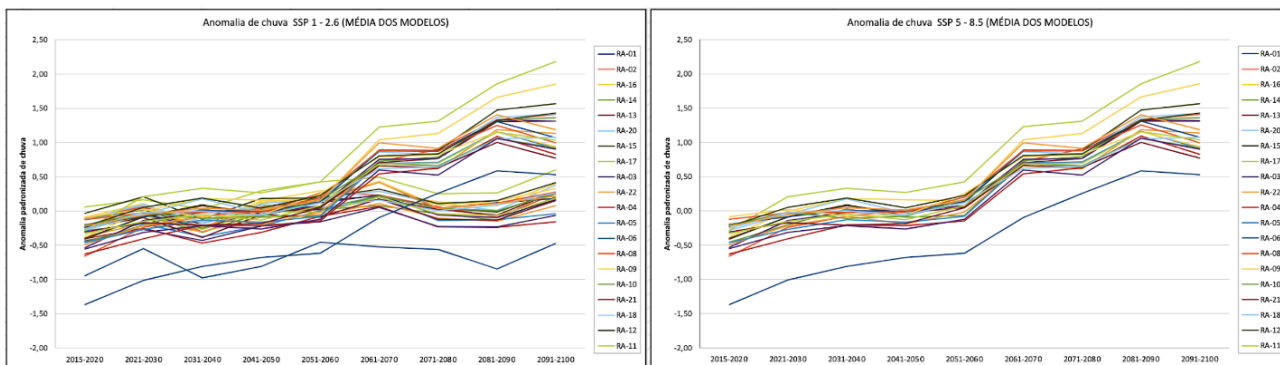


Figura 12 - Anomalias de precipitação para os cenários SSP 1-2.6 e SSP 5-8.5 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para o período de 2015 a 2100. Fonte: Simepar.

Anomalia Padronizada da Precipitação (Média dos modelos) SSP 1 - 2.6

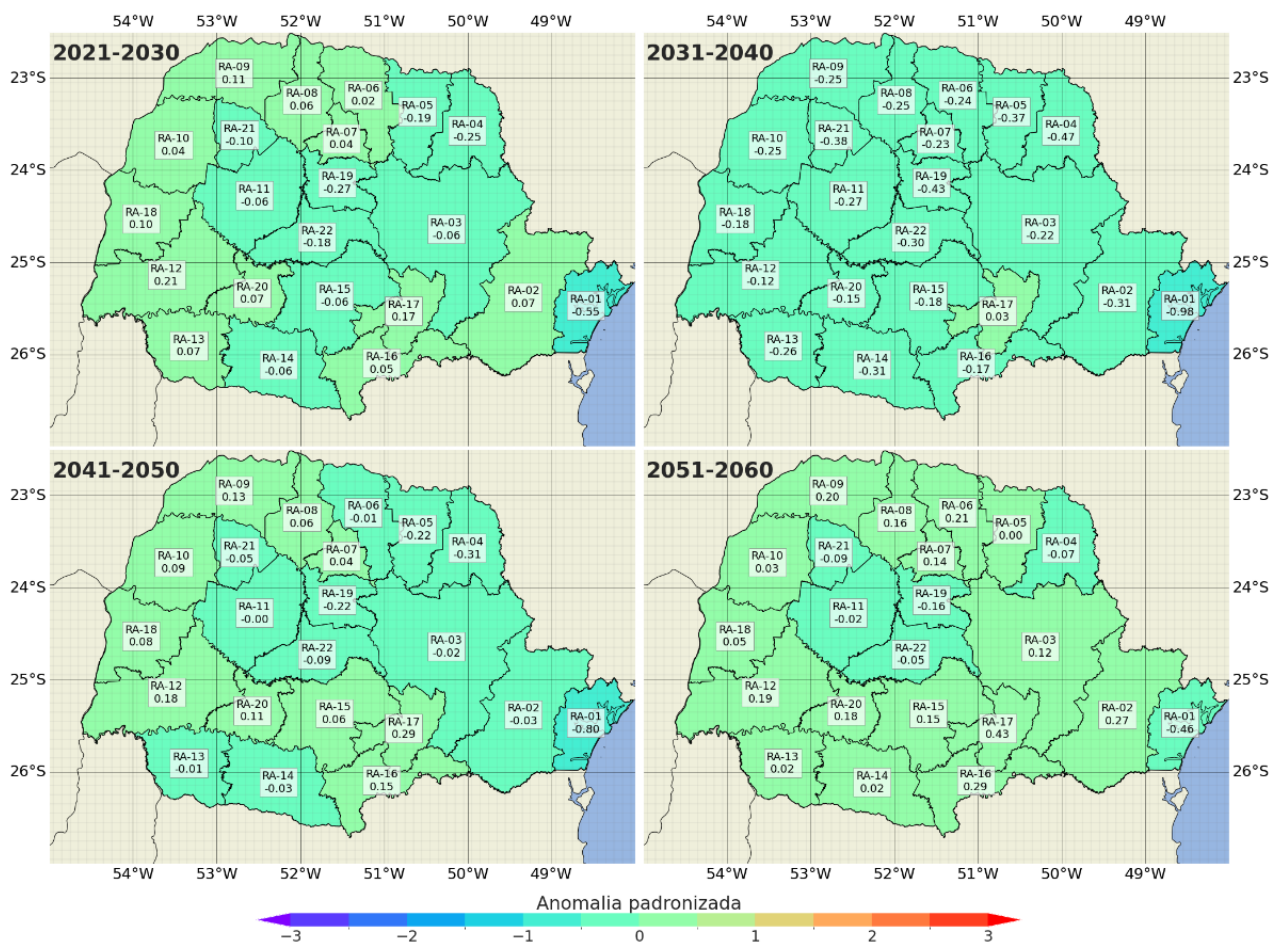


Figura 13 - Anomalias de padronizada de precipitação para o cenário SSP 1-2.6 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2021 a 2030, 2031 a 2040, 2041 a 2050 e 2051 a 2060. Fonte: Simepar.



Anomalia Padronizada da Precipitação (Média dos modelos) SSP 1 - 2.6

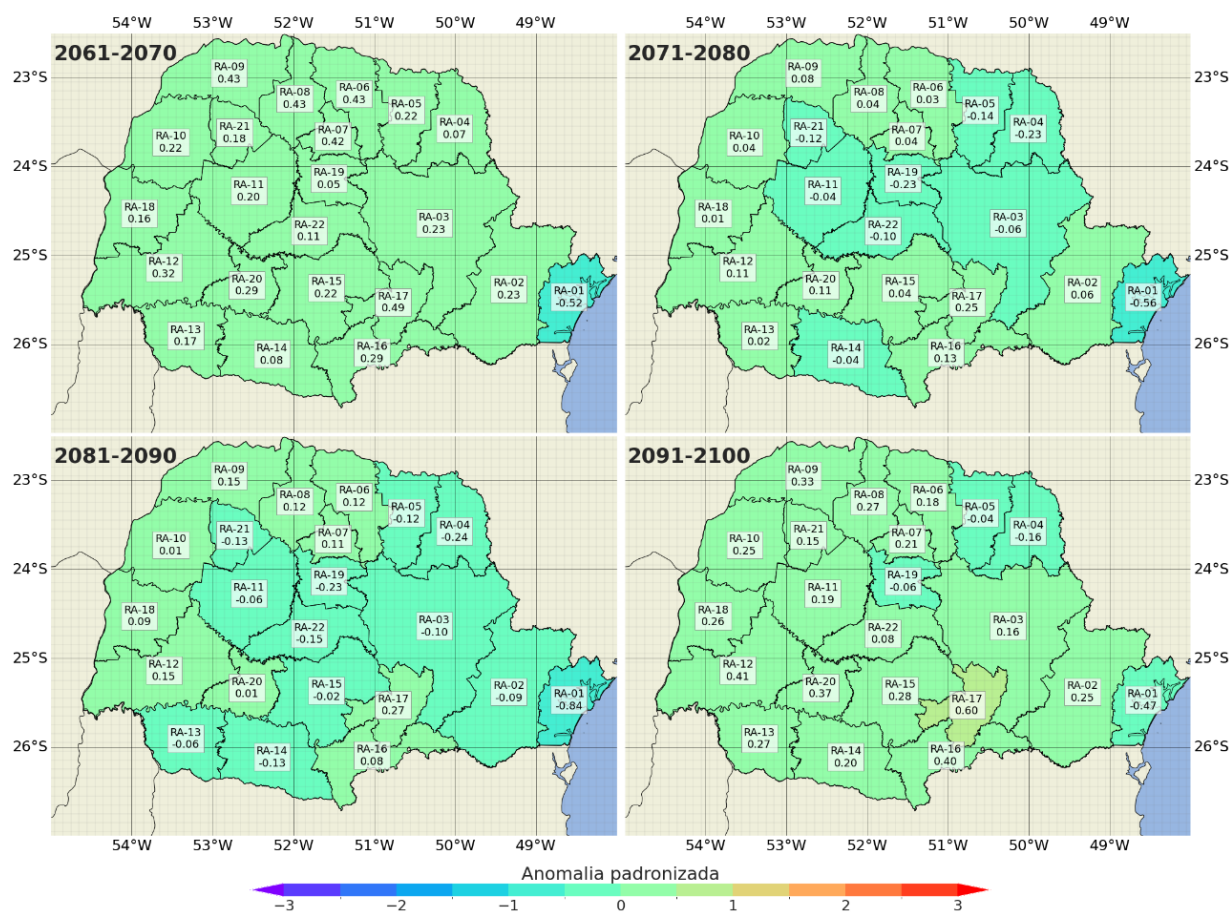


Figura 14 - Anomalias de padronizada de precipitação para o cenário SSP 1-2.6 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2061 a 2070, 2071 a 2080, 2081 a 2090 e 2091 a 2100. Fonte: Simepar.



Anomalia Padronizada da Precipitação (Média dos modelos) SSP 5 - 8.5

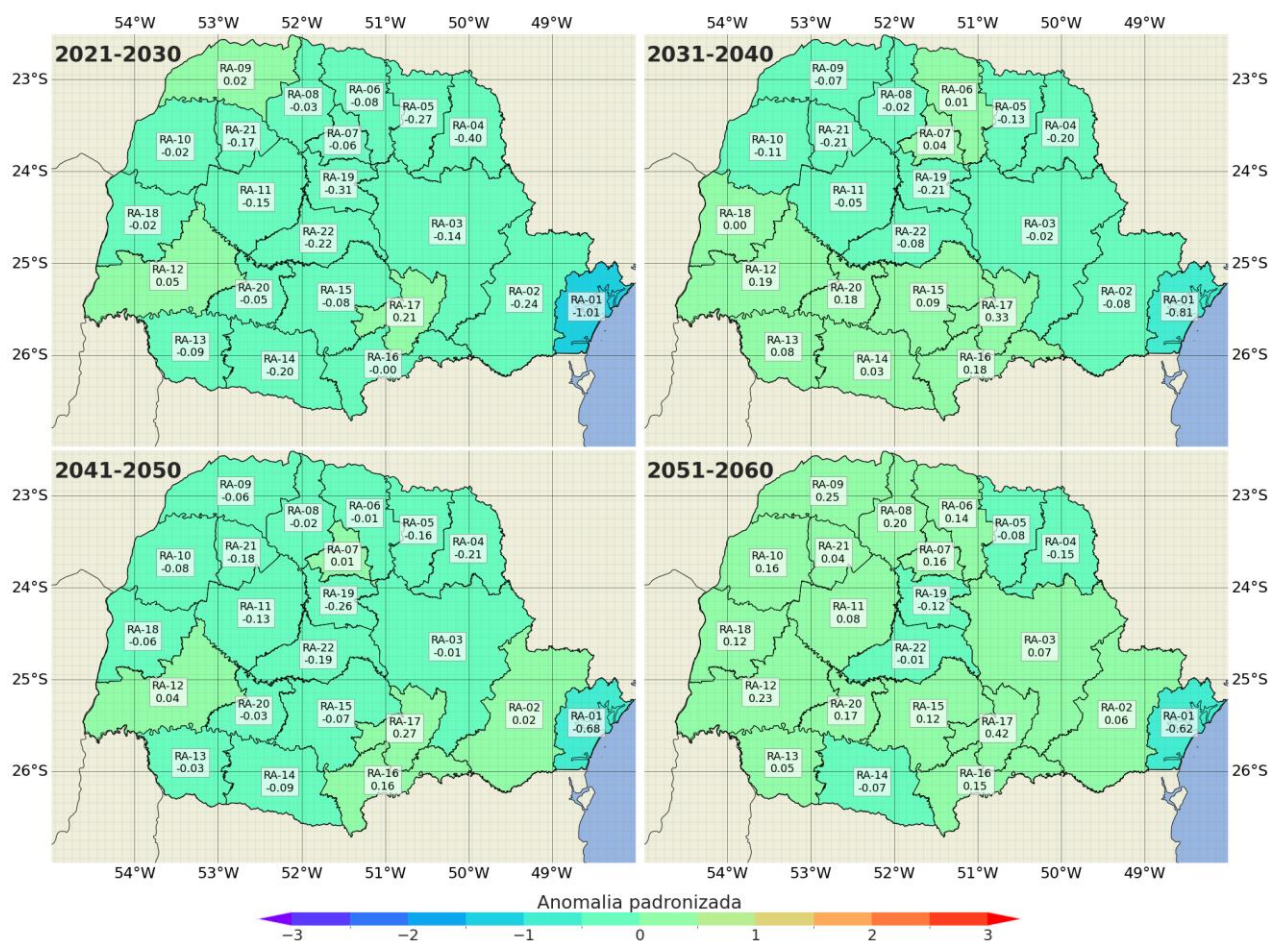


Figura 15 - Anomalias de padronizada de precipitação para o cenário SSP 5-8.5 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2021 a 2030, 2031 a 2040, 2041 a 2050 e 2051 a 2060. Fonte: Simepar.



Anomalia Padronizada da Precipitação (Média dos modelos) SSP 5 - 8.5

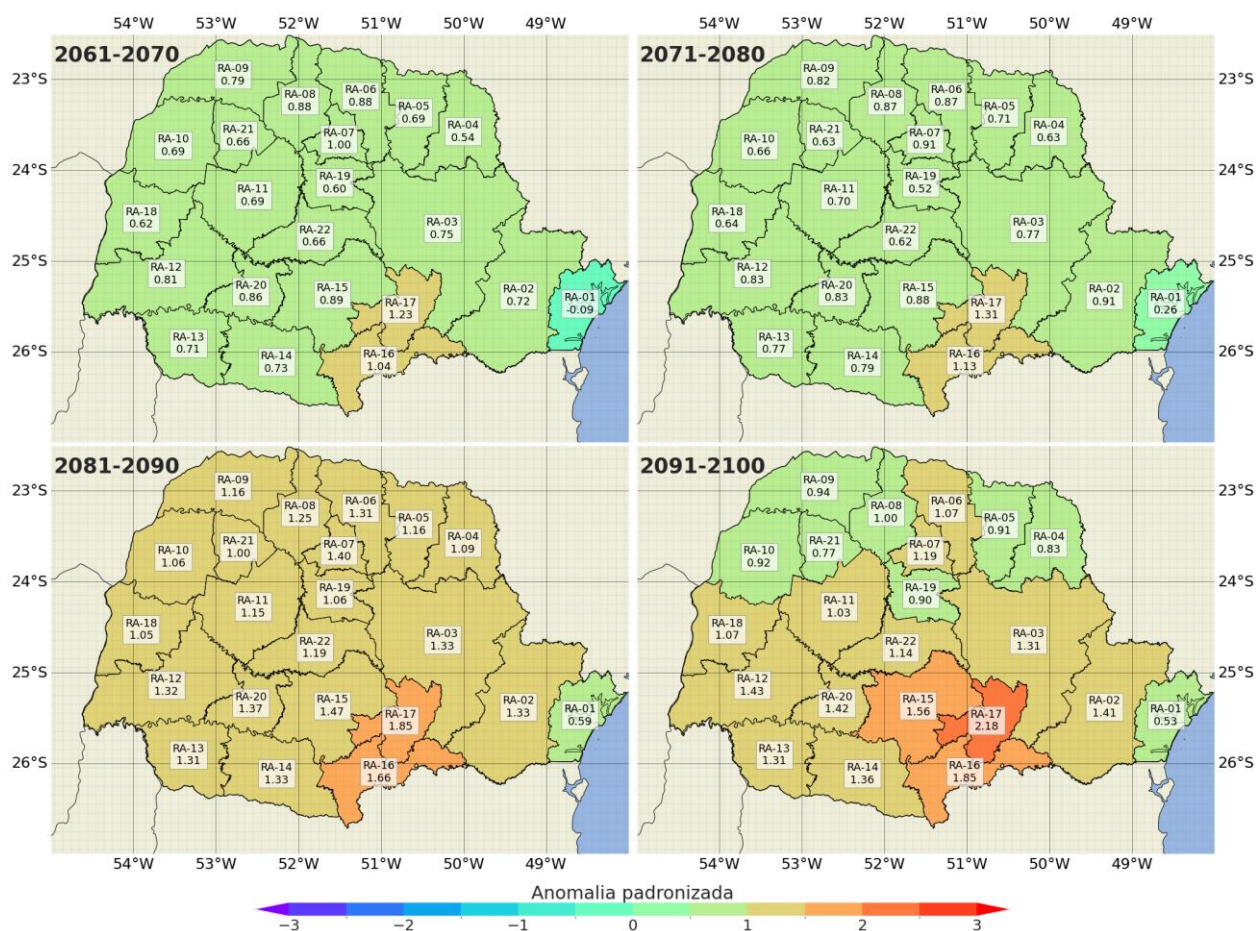


Figura 16 - Anomalias de padronizada de precipitação para o cenário SSP 5-8.5 para as RA do Paraná, correspondentes às médias do ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para as décadas 2061 a 2070, 2071 a 2080, 2081 a 2090 e 2091 a 2100. Fonte: Simepar.

Os resultados nos gráficos e mapas da variabilidade da precipitação nas décadas avaliadas, de 2015 a 2100, indicam uma tendência de aumento de precipitação na região sudeste e ligeiro decréscimo nas demais regiões, exceto no litoral onde o padrão é de diminuição das chuvas até 2060 seguido por aumento até 2100.

3.2. INDICADORES SOCIOECONÔMICOS

Os indicadores socioeconômicos referentes aos municípios do Paraná foram avaliados com a finalidade de determinar os subíndices de sensibilidade e capacidade adaptativa dos municípios em face aos riscos de desastres naturais, como os eventos associados a seca severa ou excesso hídrico. Foram utilizados para esta finalidade, os seguintes indicadores informados pelo IBGE (2010), DATASUS (2020) e ANA (2021):



- I. Uso e ocupação do solo;
- II. Oferta e demanda de água;
- III. Taxa de mortalidade infantil;
- IV. Taxa de indigência;
- V. Densidade demográfica;
- VI. Índice GINI;
- VII. Taxa de analfabetismo e
- VIII. IDHm.

O uso e a ocupação do solo estão relacionados às principais atividades econômicas de uma região. A identificação e classificação de quão sensível cada uso é em relação aos cenários de variação dos padrões normais de chuva, exerce uma influência direta sobre a resiliência econômica e a sustentabilidade dessa região. A sensibilidade relacionada ao uso do solo foi avaliada para cenários climatológicos de seca e de excesso hídrico, levando a duas classificações espacialmente diferentes. Isso ocorre porque um tipo de uso do solo pode apresentar uma resiliência diferente a cenários de seca do que para cenários com excesso hídrico. A base de dados utilizada para o levantamento do uso do solo para o estado do Paraná foi disponibilizada pelo IBGE (2010). Através do cruzamento espacial entre essas informações e a delimitação política dos municípios ponderou-se um índice de sensibilidade único para cada município.



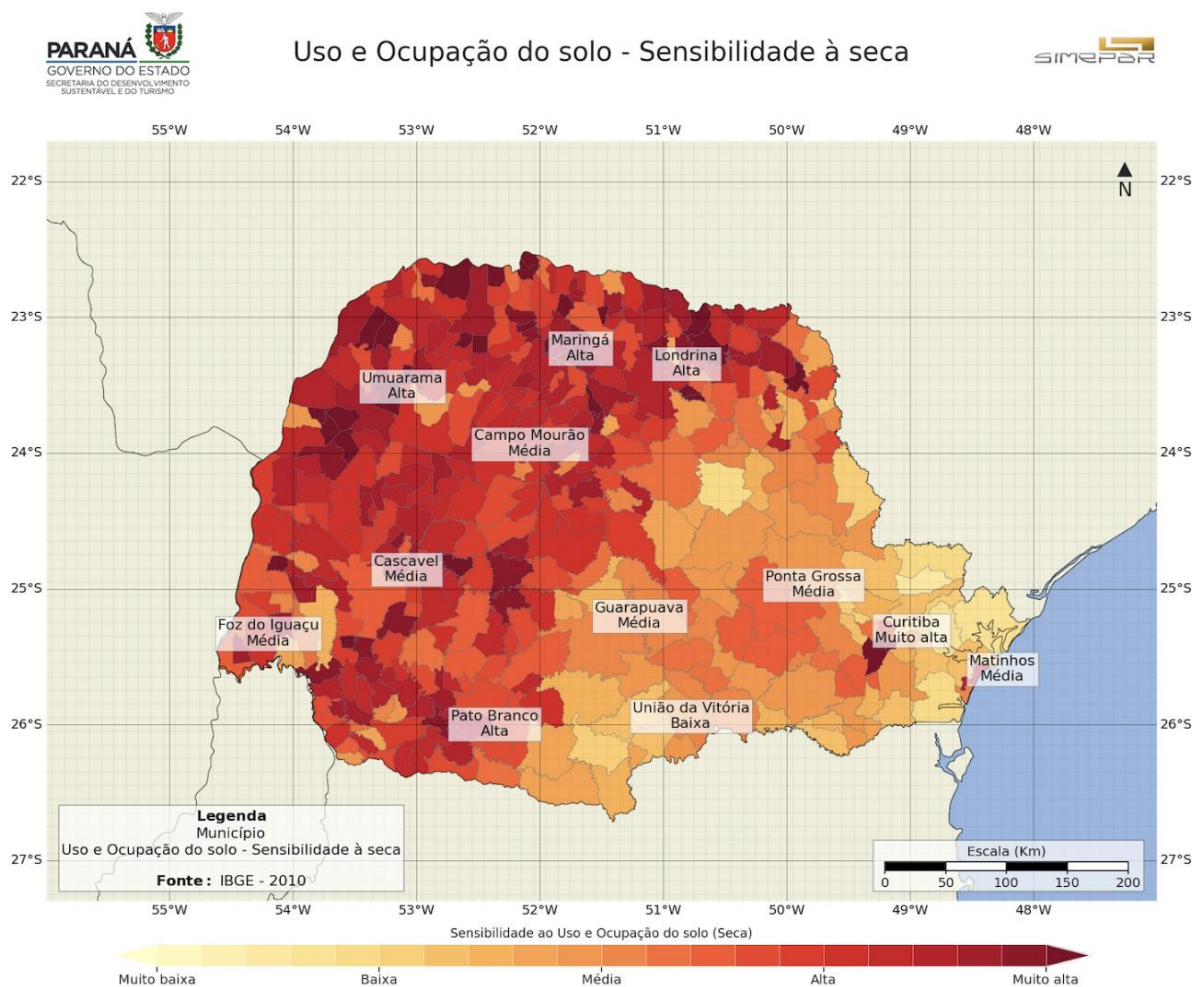


Figura 17 - Sensibilidade à seca climática conforme uso e ocupação do solo. Fonte: IBGE (2010) e Simepar.

O mapa na Figura 17, refere-se ao resultado da sensibilidade à seca climática em função do uso e ocupação do solo. Observamos maior sensibilidade para as áreas urbanizadas, lavouras, pastagens e sistemas agroflorestais.

O mapa na Figura 18, refere-se ao resultado da sensibilidade ao excesso hídrico conforme o uso e ocupação do solo. Observamos maior sensibilidade para áreas urbanizadas, lavouras e pastagens.



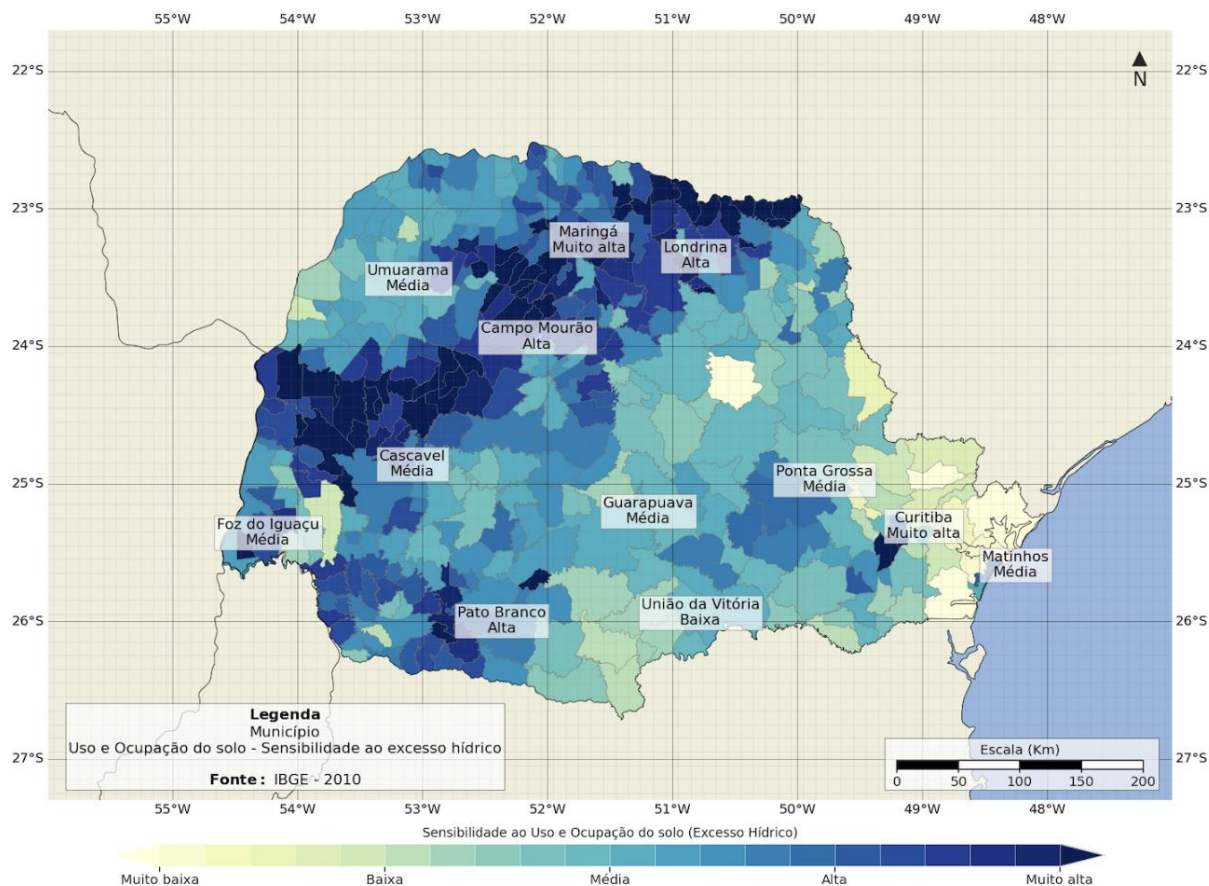


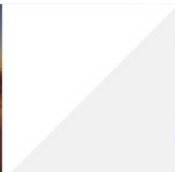
Figura 18 - Sensibilidade ao excesso hídrico conforme uso e ocupação do solo. Fonte: IBGE (2010) e Simepar.

Outra variável analisada que reflete a sensibilidade dos municípios paranaenses frente a cenários de variações climáticas é a oferta e demanda de água. Para realizar o mapeamento desse fator a níveis municipais e para cenários de seca e excesso hídrico, foi utilizado o Índice Urbano de Segurança Hídrica (ISH-U) apresentado no Atlas Águas: Segurança hídrica e abastecimento urbano, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA, 2021).

O ISH-U é composto por dois indicadores, um relacionado à eficiência de produção do sistema e outro à eficiência de distribuição do sistema.

A eficiência de produção é determinada pelos seguintes parâmetros:

- I. Resiliência do sistema;
- II. Grau de atendimento à demanda e
- III. Porte do manancial.



A resiliência do sistema expressa o potencial dos estoques naturais e artificiais de água para o atendimento das demandas a múltiplos usos. O grau de atendimento à demanda é a relação entre a parcela da demanda humana urbana atendida pelo manancial e sua disponibilidade hídrica. E o porte do manancial é um valor representativo do volume de armazenamento de reservatórios, vazão média de rios e da localização da captação (ANA, 2021).

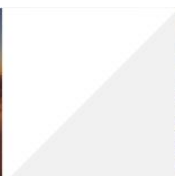
A eficiência de distribuição de água foi determinada com a combinação dos parâmetros:

- I. Faixa de cobertura do sistema de distribuição e
- II. Desempenho técnico da infraestrutura.

A faixa de cobertura do sistema de distribuição é a relação entre a população atendida pelo serviço de distribuição de água tratada e a população residente no município, possibilitando a identificação da parcela da população não atendida pelo sistema. E o desempenho técnico da infraestrutura é associado à qualidade do serviço prestado na distribuição de água, relacionado ao gerenciamento das perdas no sistema (ANA, 2021).

Através da combinação dos parâmetros relacionados à eficiência de produção e de distribuição, é formado o ISH-U qualitativamente nas classes mínima (menor segurança hídrica), baixa, média, alta e máxima (alta segurança hídrica). Naturalmente, o valor do ISH-U já representa o inverso da sensibilidade ao uso e demanda hídrica municipal para cenários de seca, de maneira que, quanto maior o ISH-U, menor é a sensibilidade municipal às variações climáticas que possam afetar o sistema de produção e distribuição de água.

De maneira análoga ao uso do solo, em condições de excedentes hídrico a sensibilidade do sistema poderá ser divergente em alguns aspectos em relação aos cenários de seca. Nessas condições entende-se que a eficiência de produção do manancial frente a demanda será aliviada, de maneira que a vazão média de rios e volumes armazenados em reservatórios aumentarão. Entretanto, tais condições hidrológicas podem provocar eventuais danos às estruturas de captação de distribuição e alterações na qualidade de água, uma vez que vazões maiores em rios e córregos possuem maiores capacidades de transporte e remobilização de sedimentos já



depositados em seus leitos. Essa análise remontaria a considerações detalhadas e mais específicas de todos os municípios contemplados por este estudo.

Dessa forma, entendendo que há um alívio no sistema produtor de água para cenários de excesso hídrico, mas que não é possível determinar os impactos negativos relacionados à qualidade de água captada e eventuais sobrecargas ou danos à infraestrutura existente, aumentou-se a eficiência de produção de água dos municípios, de maneira que a classificação final do ISH-U não superasse a classificação “Alta”.

Por fim, a sensibilidade relacionada à oferta e demanda de água, resultou no inverso do ISH-U, ou seja, quanto maior o índice de segurança hídrica, menor é a sensibilidade municipal para este tema.

O mapa da Figura 19, descreve a sensibilidade à oferta e demanda de água devido à seca climatológica. Os maiores centros urbanos apresentam o maior impacto, em oposição aos menores centros urbanos, cujo impacto é baixo. No litoral o impacto é médio, exceto em Paranaguá onde a sensibilidade é alta. Nas áreas com lavouras e sistemas agroflorestais a sensibilidade é média.



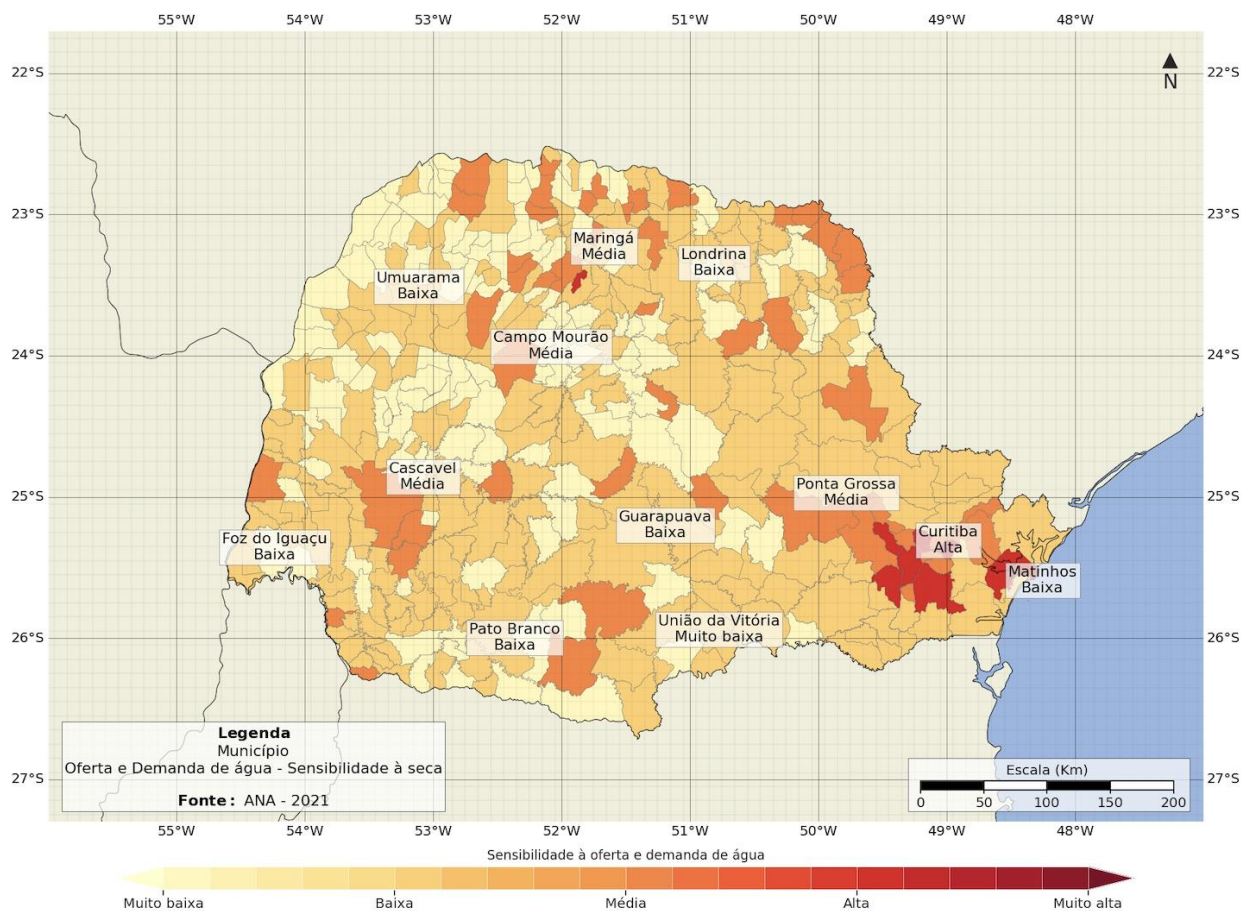


Figura 19 - Sensibilidade à seca climática conforme a oferta e demanda de água nos municípios.
Fonte: ANA (2021) e Simepar.

O mapa da Figura 20, descreve a sensibilidade à oferta e demanda de água devido ao excesso hídrico. O impacto nos maiores centros urbanos varia de médio a alto. Já nos menores centros urbanos a sensibilidade varia de muito baixo a baixo. No litoral o impacto é baixo, com exceção de Paranaguá, cuja sensibilidade é alta. A sensibilidade é também baixa nas lavouras e nos sistemas agroflorestais.



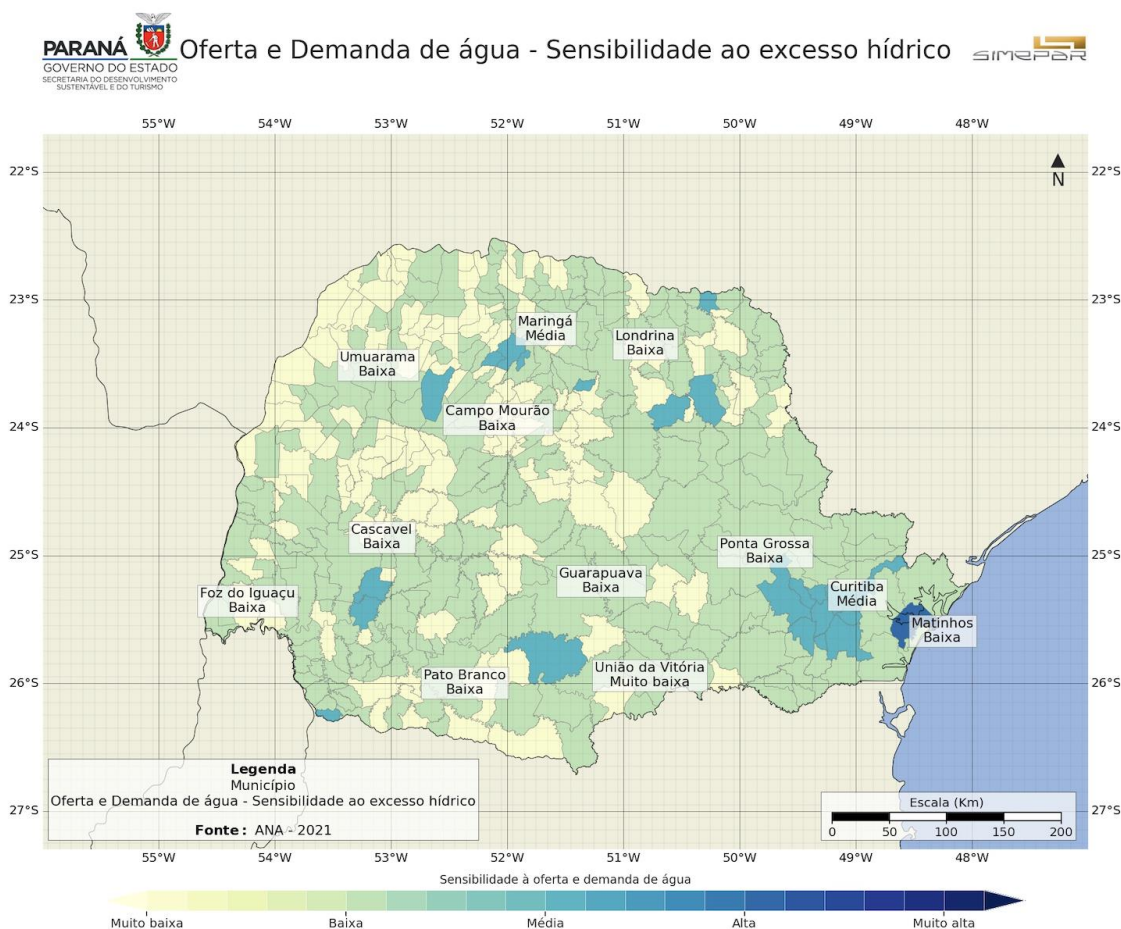
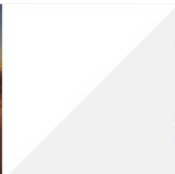


Figura 20 - Sensibilidade ao excesso hídrico, conforme a oferta e demanda de água nos municípios.
 Fonte: ANA (2021) e Simepar.

A sensibilidade relacionada à densidade demográfica está associada aos locais com maior concentração de pessoas, induzindo a uma demanda natural por mais recursos básicos, como água, mantimentos, serviços básicos, entre outros, que podem ser afetados em cenários de seca ou excedente hídrico.

A taxa de mortalidade infantil ilustra a disseminação e propagação de doenças comumente de veiculação hídrica, relacionadas à má qualidade da água, agravada em situações de anomalias climáticas. A sensibilidade municipal relacionada a esse parâmetro é diretamente proporcional à taxa de mortalidade.

A taxa de indigência representa a parcela da população que sobrevive com uma renda mensal inferior a 25% do salário mínimo. Essa parcela da população vive em extrema vulnerabilidade social, e que não provém de rendimentos mínimos necessários para aquisição de mantimentos e bens que ajudariam em condições climáticas adversas. Assim, a sensibilidade relacionada à taxa de indigência será diretamente proporcional à parcela da população vivendo sob tais condições. Os dados divulgados pelo IBGE,



referentes ao censo de 2010, foram utilizados para mapear a taxa de indigência dos municípios do Paraná à sensibilidade por falta ou excesso hídrico.

O índice de GINI (IBGE, 2003) é utilizado para medir o grau de desigualdade social existente em uma distribuição de indivíduos, segundo a renda domiciliar *per capita*. A interpretação e aplicação desse índice na capacidade adaptativa municipal está relacionada com a afirmativa de que regiões mais desiguais, possuem parcelas da população com acessos limitados à conhecimentos, tecnologias e recursos disponíveis, afetando negativamente a sinergia na resposta social adaptativa. Em regiões onde a desigualdade é menor, a população é menos segregada em relação ao acesso a tais recursos, proporcionando benefícios e facilidades de ações conjuntas de adaptação.

Outro indicador utilizado para compor a capacidade adaptativa municipal foi a taxa de analfabetismo, que está relacionada com a porcentagem da população com capacidade limitada de articulação e compreensão da situação de risco, levando a uma menor acessibilidade aos meios de comunicação e reduzindo a eficácia de ações de adaptação.

Por fim, o IDHm compôs o último índice considerado na determinação da capacidade adaptativa dos municípios. O IDHm (IBGE, 2010) segue as mesmas dimensões do IDH global, ou seja, longevidade, educação e renda. O indicador é composto por mais de 180 indicadores socioeconômicos que ampliam a compreensão dos fenômenos e dinâmicas voltadas ao desenvolvimento municipal, tais como Educação Ambiental e a problemática das mudanças climáticas.

3.3. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DAS REGIÕES E MUNICÍPIOS PARANAENSES

Os fatores exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, determinados e avaliados na seção anterior, integram o cômputo da vulnerabilidade dos municípios aos eventos severos de seca climatológica e excesso hídrico, os quais poderão ser provocados pelas mudanças no clima projetadas pelos cenários avaliados pelos modelos ESM do CMIP6. A vulnerabilidade foi calculada pela expressão:

$$VULNERABILIDADE = \frac{[exp+SENSIB]}{2} \times \left[0,5 + \frac{(1-CAP.ADAPT.)}{2} \right]$$

(2)

Onde:



exp é a componente exposição devido às mudanças climáticas, calculado como a variabilidade climática no futuro em função do período de referência de 1961 a 1990.

Os resultados da equação (2) para a determinação da vulnerabilidade dos municípios do Paraná quanto ao risco da seca climatológica, levando em consideração os fatores socioeconômicos e a capacidade adaptativa dos municípios são indicados nos mapas da Figura 21, referentes aos períodos climáticos de 2031 a 2060 e 2061 a 2090. Os mapas referem-se à média dos modelos climáticos ESM do CMIP6, MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3, para os cenários SSP 1-2.6 e SSP 5-8.5. No geral observamos que a vulnerabilidade varia de baixa a alta em ambos os cenários. No entanto, observamos que a vulnerabilidade tende a aumentar no segundo período climático, em particular para a região central, norte e nordeste do Paraná.

Os mapas da Figura 22 expressam os resultados da vulnerabilidade dos municípios quanto aos eventos severos devido a excesso hídrico, para os períodos climáticos futuros de 2031 a 2060 e de 2061 a 2090, calculada para os cenários SSP 1-2.6 e SSP 5-8.5 projetadas pelos modelos ESM MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3. Os resultados indicam que a vulnerabilidade em ambos os cenários varia de muito baixo a alto, não havendo muita variação entre os cenários SSP. O maior impacto é projetado para as regiões nordeste e noroeste do estado, em ambos os períodos climatológicos, não sendo projetadas diferenças significativas entre os dois períodos. Os impactos são menores para as regiões leste e sul, exceto para a região metropolitana de Curitiba.



Índice de Vulnerabilidade para o Paraná Seca

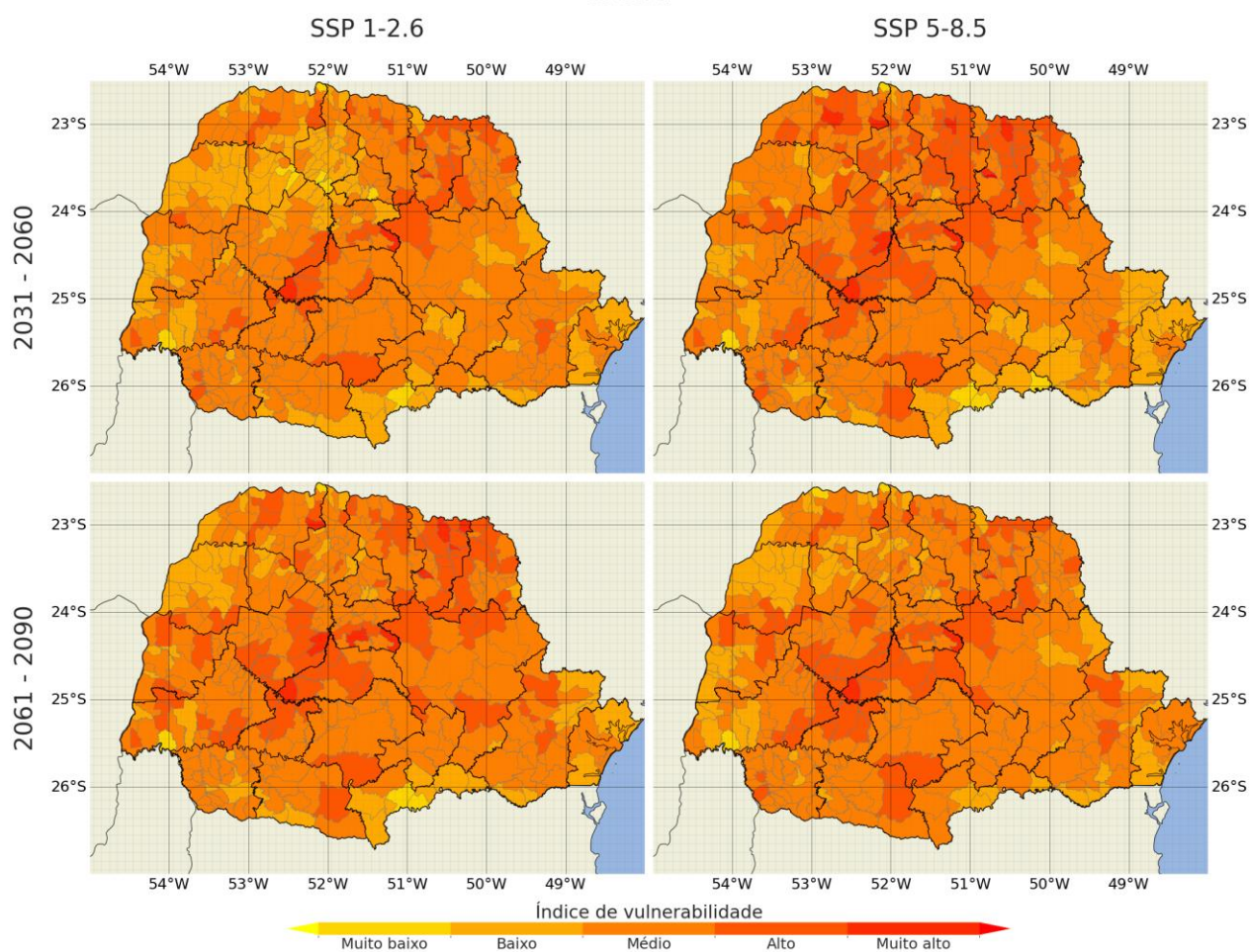


Figura 21 - Vulnerabilidade dos municípios do Paraná quanto ao risco de seca climatológica para os períodos climatológicos futuros 2031 a 2060 e 2061 a 2090. Os mapas correspondem aos cenários SSP 1-2.6 (esquerda) e SSP 5-8.5 (direita), projetados pelos modelos ESM do CMIP6, MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3. Fonte: Simepar.



Índice de Vulnerabilidade para o Paraná Excesso hídrico

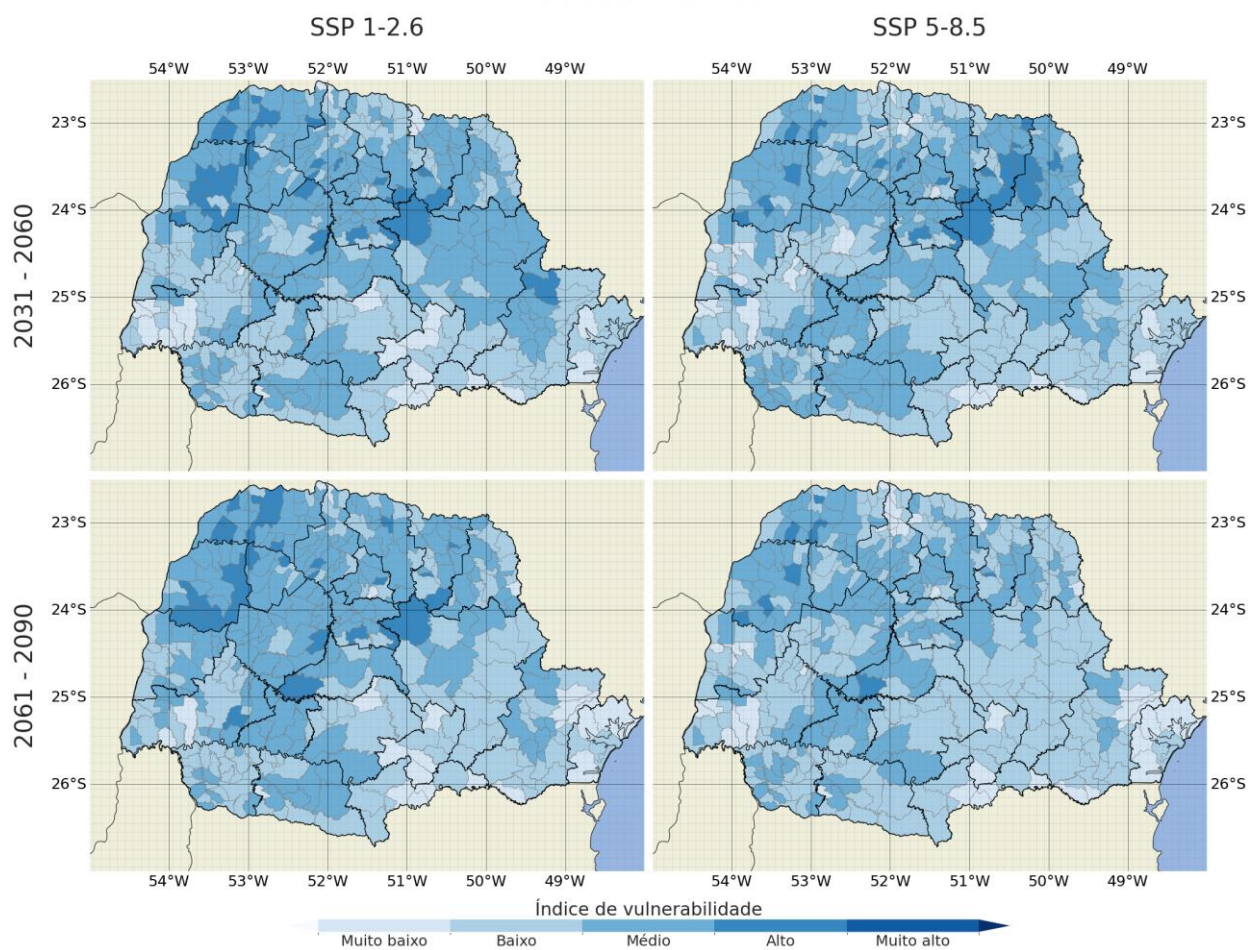


Figura 22 - Vulnerabilidade dos municípios do Paraná quanto a excesso hídrico para os períodos climatológicos futuros 2031 a 2060 e 2061 a 2090. Os mapas correspondem aos cenários SSP 1-2.6 (esquerda) e SSP 5-8.5 (direita), projetados pelos modelos ESM do CMIP6, MIROC-6, MPI-M e HADGEM-3. Fonte: Simepar.

3.4. OCORRÊNCIAS DE DESASTRES NO PARANÁ NO PERÍODO ENTRE 1980 E 2021

Os dados da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Paraná - CEDEC, foram analisados para todos os desastres referentes à escassez e excesso hídrico, para o período de 1980 a 2021. Os dados foram utilizados para contabilizar as ocorrências para as mesorregiões do Paraná, conforme descrito no Quadro 2.

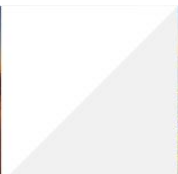


Quadro 2 - Desastres naturais nas regiões do Paraná para o período de 1980 a 2021. Fonte: CEDEC-PR.

REGIÕES	COBRADE														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Centro Ocidental Paranaense	9				3	47	2	15	18		10	41			111
Centro Oriental Paranaense	50				15	26		2	17	1	4	53	1		117
Centro-Sul Paranaense	31				10	29	1	24	24		9	123		1	247
Noroeste Paranaense	33				5	168		69	174	2	17	73	2		336
Norte Central Paranaense	60			1	13	110	1	41	78		21	116	1		525
Norte Pioneiro Paranaense	24				12	71	1	13	77		4	26	1	1	159
Oeste Paranaense	64				12	96		28	32		12	142	4	5	479
Região Metropolitana de Curitiba	227	9	1	6	198	111	7	18	109	1	4	126	5		419
Sudeste Paranaense	26		1		11	38		2	82	1	5	70		3	138
Sudoeste Paranaense	27				23	85		66	60		17	158	2	2	376
Cascavel	10					7			1			12	1		64
Curitiba	39				10	8	2	1	7			5			62
Francisco Beltrão	7				5	8		2	8			8		1	45
General Carneiro	8				3	3			4		1	4			8
Guarapuava	20				1	3			1			15			54
Litoral	53	9	1		24	26	1	1	17	1		19	1		101
Londrina	8				2	5	1	2				1			66
Maringá	9				2	3		1				5			73
Palmas	2				1	5			3						15

Onde as colunas referem-se à nomenclatura adotada no manual COBRADE da Defesa Civil. Fonte: CEDEC (2022), conforme o seguinte:

- I. Alagamentos;
- II. Ciclones - Marés de Tempestade (Ressacas);
- III. Corridas de Massa - Rocha/Detrito;
- IV. Corridas de Massa - Solo/Lama;
- V. Deslizamentos;
- VI. Enxurradas;



- VII. Erosão de margem fluvial;
- VIII. Estiagem;
- IX. Inundações;
- X. Rompimento/colapso de barragens;
- XI. Tempestade local/convectiva – chuvas intensas;
- XII. Tempestade local/convectiva – granizo;
- XIII. Tempestade local/convectiva – tempestade com raios;
- XIV. Tempestade local/convectiva – tornados e
- XV. Tempestade local/convectiva – vendaval.

Os mapas na Figura 23 referem-se à distribuição espacial das ocorrências de desastres relacionados à seca e à estimativa do risco de seca climática nos municípios, respectivamente. Observa-se a concordância entre a estimativa e as ocorrências registradas pela CEDEC-PR, sendo as regiões noroeste, sudoeste, norte e a região metropolitana de Curitiba identificadas como áreas de maior risco. O risco calibrado corrobora com a projeção da vulnerabilidade nestas regiões para ambos os cenários dos modelos, sendo o impacto mais significativo no cenário SSP 5-8.5 e para o período climático de 2061 a 2090.

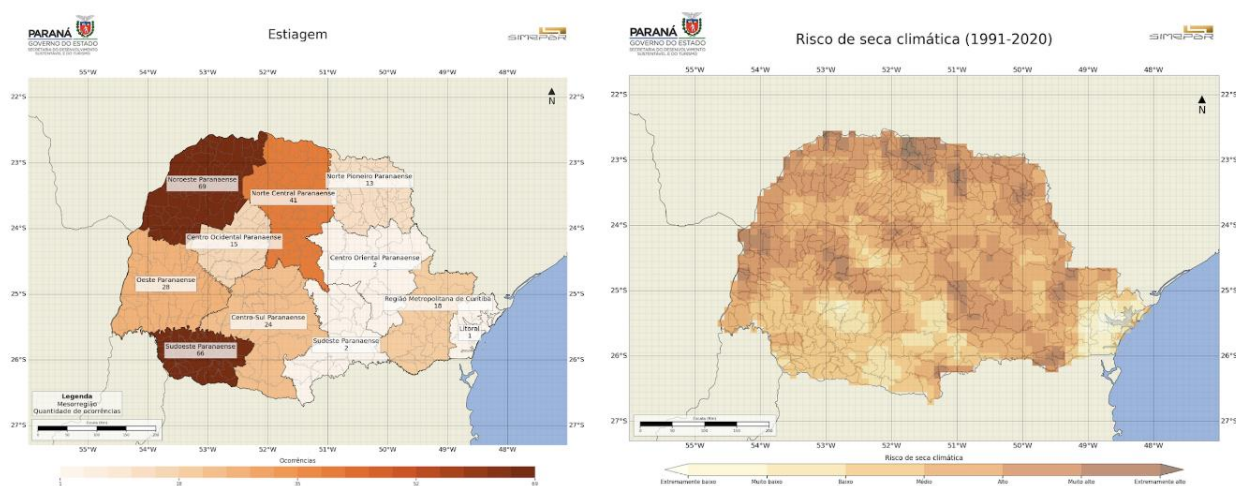


Figura 23 - Distribuição espacial das ocorrências de desastres naturais associadas a estiagem. Fonte: CEDEC-PR.

Os mapas na Figura 24 referem-se à distribuição espacial das ocorrências de desastres relacionados a excesso hídrico, tendo sido somadas as ocorrências de inundações, alagamentos, enxurradas e deslizamentos e à estimativa do risco de excesso hídrico nos municípios, respectivamente. Observa-se a concordância entre a estimativa e as ocorrências registradas pela CEDEC-PR, sendo a região metropolitana



de Curitiba, centro-norte, noroeste e sudoeste identificadas como áreas de maior risco. O risco calibrado corrobora com a projeção da vulnerabilidade nestas regiões para ambos os cenários dos modelos, sendo o impacto mais significativo no cenário SSP 1-2.6 e principalmente para o período climático de 2031 a 2060.

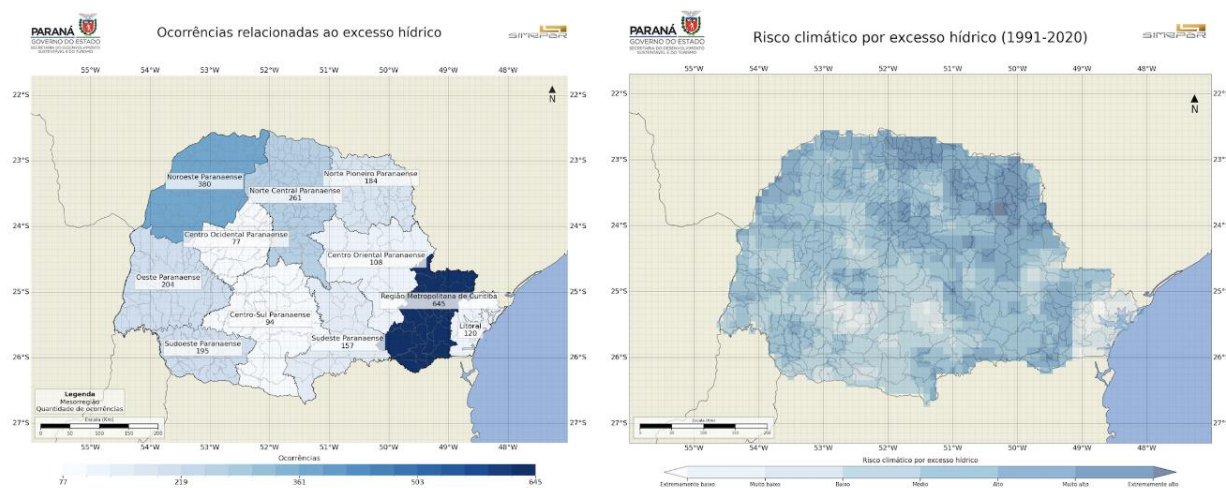


Figura 24 - Distribuição espacial das ocorrências de desastres naturais associadas a excesso hídrico. Fonte: CEDEC-PR.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse documento foi apresentado a metodologia e os resultados obtidos nas análises de cenários de mudanças climáticas, culminando na determinação do índice de vulnerabilidade dos municípios paranaenses e o desenvolvimento de estudos regionais de vulnerabilidade, impactos potenciais e resiliências, referente ao Programa Paranaense de Mudanças Climáticas.

Espera-se que com as mudanças climáticas, extremos climáticos sejam mais frequentes e intensos, de maneira que afete diretamente os sistemas humanos e naturais. A susceptibilidade à essas mudanças foram analisadas em escala local e traduzidas em um índice de vulnerabilidade, utilizando dados de projeções climáticas de três modelos (HADGEM-3, MIROC6 e MPI) além de considerar também indicadores sociais para os municípios analisados.

O enfrentamento às vulnerabilidades encontradas, tanto à seca quanto ao excedente hídrico, pode ser dissociado em duas frentes: a gestão de risco aos desastres e a adaptação aos efeitos provocados pela mudança climática.

O primeiro grupo contempla a adoção de políticas e programas que objetivem o mapeamento, monitoramento e algumas medidas de prevenção. Como exemplo, pode-se citar o desenvolvimento de um plano de ações a serem tomadas para conduzir o estado através um caminho planejado, promovendo um menor tempo de resposta à eventuais situações provocadas por extremos climáticos.

O segundo grupo abrange ações diretamente ligadas à adaptação aos efeitos da mudança do clima. Ainda que o primeiro grupo contenha ações que possam ser tomadas nesse sentido, esse segundo grupo é mais amplo, pois considera também outros aspectos além dos desastres naturais. As ações contidas nesse grupo podem indicar ações diretas em um sistema específico, como por exemplo a agricultura, parte importante na economia do estado, frente à eventos extremos de seca podem sofrer com a falta de água para irrigação de lavouras. Nesse sentido pode-se propor ações como aprimoramento do sistema de captação e distribuição de água local, financiamento de obras e projetos sustentáveis, entre outros. No caso de cenários com extremos climáticos, pode-se propor medidas para adequações de obras de micro e macrodrenagem nos centros urbanos, contenção de encostas susceptíveis à deslizamentos e realocação de famílias residindo em áreas de risco.



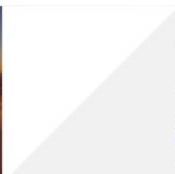
De forma geral, o índice de vulnerabilidade apresentado como produto que compõe o Plano de Mudanças Climáticas do Paraná aponta que todas as regiões do estado estarão vulneráveis à algum tipo de desastre que pode ser intensificado pelas mudanças climáticas.

Ao analisar o histórico de ocorrências de desastres naturais no estado, identifica-se que as regiões noroeste, sudoeste e norte central são as que mais passam por períodos de estiagem. Vulnerabilidades elevadas nessas regiões indicam a necessidade de um maior planejamento à adaptação das situações e impactos gerados por eventos de seca extrema. Associado a isso, as ações de adaptação devem ser coordenadas com a sociedade, levando em conta os usos do solo e demandas de recursos hídricos mais relevantes em cada situação.

Em relação aos eventos extremos climáticos relacionados ao excedente hídrico, a região metropolitana de Curitiba é a região com mais registros de desastres, seguido pelo noroeste paranaense. Os desastres relacionados ao excedente hídrico estão relacionados com enchentes, inundações, deslizamentos e tempestades com granizo. Como na região metropolitana de Curitiba a densidade demográfica é maior em comparação com os outros municípios paranaenses, os efeitos desses eventos são sentidos de maneira mais intensa e recorrente. Valores de vulnerabilidade identificados nessa região indicam um agravamento e maiores recorrências desses desastres, demandando ações como obras e medidas para contenção de cheias, realocação de pessoas vivendo em situação de vulnerabilidade seguida de revitalização dessas áreas, entre outras.

É interessante observar também que o risco atual à eventos extremos de seca e excesso hídrico acompanha, em linhas gerais, a configuração topográfica do estado, podendo destacar regiões de risco no litoral, primeiro, segundo e terceiro planalto.

Por fim, destaca-se a importância do aprimoramento deste estudo em trabalhos futuros, focados em identificar interfaces mais detalhadas com a vulnerabilidade encontrada e os sistemas econômicos de cada região e município, como turismo, energia, agropecuária e industrial, por exemplo. Além disso, uma análise dos sistemas naturais também é relevante, uma vez que alterações climáticas podem colocar em risco a fauna e flora do estado, através de queimadas e erosões acentuadas, causadas por eventos climáticos extremos.



5. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano**. Brasília, 2021.

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., and Taylor, K. E. **Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization**, *Geosci. Model Dev.*, 9, 1937–1958, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>, 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty**. 2018.

Hersbach, H. et al. (2020). **The ERA5 Global Reanalysis**. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146, 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>

Magrin, G.O., J.A. Marengo, J.-P. Boulanger, M.S. Buckeridge, E. Castellanos, G. Poveda, F.R. Scarano, and S. Vicuña, 2014. **Central and South America**. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566.

McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: **The relationship of drought frequency and duration to time scale**. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17–22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184.

Ministério da Saúde. **Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde – DATASUS**. 2020.

Ministério Do Meio Ambiente – MMA. **Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto de mudança climática**. Brasília, Brasil, 2017.

Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T. & Flannery, B. V. P. **Numerical recipes** in C. Cambridge: Cambridge University Press. 1992.





PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO
