



NOTA TÉCNICA

DIAGNÓSTICO DOS RISCOS CLIMÁTICOS EM CAPIVARI-SP

POTENCIAIS ESTRATÉGIAS PARA O DIRECIONAMENTO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO
EM PEQUENOS E MÉDIOS MUNICÍPIOS

FOTO: MARIA DA PENHA VASCONCELLOS



AUTORES: ELAINE SANTOS; FELIPE DIAS; IVAN MAGLIO; MARIA DA PENHA VASCONCELLOS; PEDRO CAMARINHA; ROGÉRIO ANTÓNIO DE CASTRO COELHO

COORDENAÇÃO DO PROJETO: MARIA DA PENHA VASCONCELLOS







DIREÇÃO IEA-USP

GUILHERME ARY PLONSKI; ROSELI DE DEUS LOPES

COORDENAÇÃO DO PROJETO

MARIA DA PENHA VASCONCELLOS

AUTORES

ELAINE SANTOS; FELIPE DIAS; IVAN MAGLIO; MARIA DA PENHA VASCONCELLOS; PEDRO
CAMARINHA; ROGÉRIO ANTÓNIO DE CASTRO COELHO

PROJETO GRÁFICO

ROGÉRIO ANTÓNIO DE CASTRO COELHO

EM ARTICULAÇÃO COM:





Introdução.....	5
Informações ambientais para Capivari.....	7
Vegetação Remanescente e Rede Hídrica no Município.....	9
Segurança Hídrica.....	10
O Comportamento Climático em Capivari – São Paulo.....	15
Risco Climático relacionado às inundações, enxurradas e alagamentos.....	19
Modelagem para detecção de inundações bruscas e enxurradas em Capivari, São Paulo.....	22
Risco Climático relacionado às Secas.....	25
Soluções Baseadas na Natureza e Infraestrutura Verde e Azul.....	27
Propostas e Recomendações.....	29
Análise de vulnerabilidade e risco climático no nível intramunicipal, como forma de direcionar as medidas de adaptação considerando as especificidades locais.....	29
Referências	32
Sites Consultados.....	33
Ficha Técnica do Documento.....	35



FOTO: MARIA DA PENHA VASCONCELLOS



Introdução

Há evidências científicas suficientes indicando que a mudança do clima tende a amplificar os riscos climáticos existentes em boa parte do planeta, especialmente em países como o Brasil, onde grande parte dos impactos podem ser explicados tanto pelas vulnerabilidades locais, baixa capacidade adaptativa, alto nível de exposição da população, infraestruturas e ecossistemas, além da já constatação da intensificação de eventos climáticos extremos.

Esse cenário está presente em boa parte dos municípios brasileiros e tem se manifestado de forma mais ou menos evidente conforme os gatilhos meteorológicos e climáticos vão se concretizando com o passar do tempo. Essas cidades muitas vezes enfrentam desafios únicos em relação ao desenvolvimento e à adaptação às mudanças ambientais e climáticas. Embora a urbanização desordenada e a degradação ambiental sejam problemas comuns em todas as cidades do país, as pequenas e médias enfrentam desafios adicionais, como a falta de recursos financeiros e de infraestrutura adequada para lidar com as mudanças climáticas. Por muitas vezes os fatores não climáticos locais, como o desmatamento, a degradação do solo, aumento intensivo do uso da água, a expansão urbana desordenada, a vulnerabilidade social e outros múltiplos fatores vão avançando de forma latente e silenciosa, estabelecendo condições potenciais para a ocorrência de desastres climático, gerar riscos e impactos diversos que, de fato, só se materializam quando tais eventos climáticos/meteorológicos extremos acontecem.

O problema é que estes eventos tem acontecido mais frequentemente e de forma mais severa, como observamos nas últimas décadas, especialmente, nos últimos anos em diversas áreas do Brasil, culminando em desastres de grandes proporções, como: o extremo de chuva em janeiro de 2020 em grande parte de Minas Gerais e Espírito Santo, que causou múltiplas enxurradas, inundações e deslizamentos de terra; as grandes inundações no Sul da Bahia no final de 2021 e também 2022; as chuvas extremas que causaram deslizamentos e enxurradas na Região Metropolitana do Recife em 2022 causando mais de 120 mortes; os recordes de chuva quebrados durante o verão de 2022 no leste da região Sudeste (São Paulo e Rio de Janeiro), um deles levando ao desastre de Petrópolis em fevereiro do mesmo ano que causou mais de 230 mortes; além do recente desastre no litoral paulista, com os dois maiores registros de chuva em 24 horas da história do Brasil, que impactou severamente São Sebastião e causou mais de 60 óbitos, entre outros relacionados à escassez de chuva, como a crise hídrica na Região Metropolitana de São



Paulo em 2014 e a seca extrema que boa parte do Rio Grande do Sul está enfrentando nos últimos 3 anos.

Desta forma, esta nota técnica traz alguns elementos elucidativos sobre o município de Capivari-SP, como forma preliminar de expandir a percepção a respeito dos riscos climáticos em seu território. Espera-se que estudos e discussões mais aprofundados se estabeleçam num futuro próximo e para que soluções eficientes possam ser identificadas e implementadas.

O foco será dado aos diagnósticos e prognósticos dos eventos extremos de chuva e de seca para o Estado de São Paulo, aplicando zoom para Capivari. Além disso, serão consideradas outras características não climáticas que são fundamentais para a compreensão dos riscos em seu território, tais como as questões de vulnerabilidade socioambiental do município diante dessas perspectivas.



Informações ambientais para Capivari

Iniciaremos esta nota técnica pelos aspectos ambientais, a partir dos estudos apresentados para o Estado de São Paulo no âmbito do ZEE- Zoneamento Ecológico Econômico, que nos fornecem uma base de avaliação. De forma geral, as características ambientais do município, a partir dessa plataforma, apontam para uma baixa existência de áreas ambientalmente protegidas, como Unidades de Conservação e um índice de cobertura vegetal nativa “mediano a baixo”, fatores que influem sobremaneira na resiliência do município aos riscos e impactos dos eventos extremos previstos, especialmente devido à supressão dos serviços ecossistêmicos associados, destacando a melhoria do processo de infiltração e melhor tempestividade do escoamento de base até os cursos d’água; diminuição do processo erosivo laminar e menor carreamento de material particulado, o que diminuiria o assoreamento dos rios; entre outros.

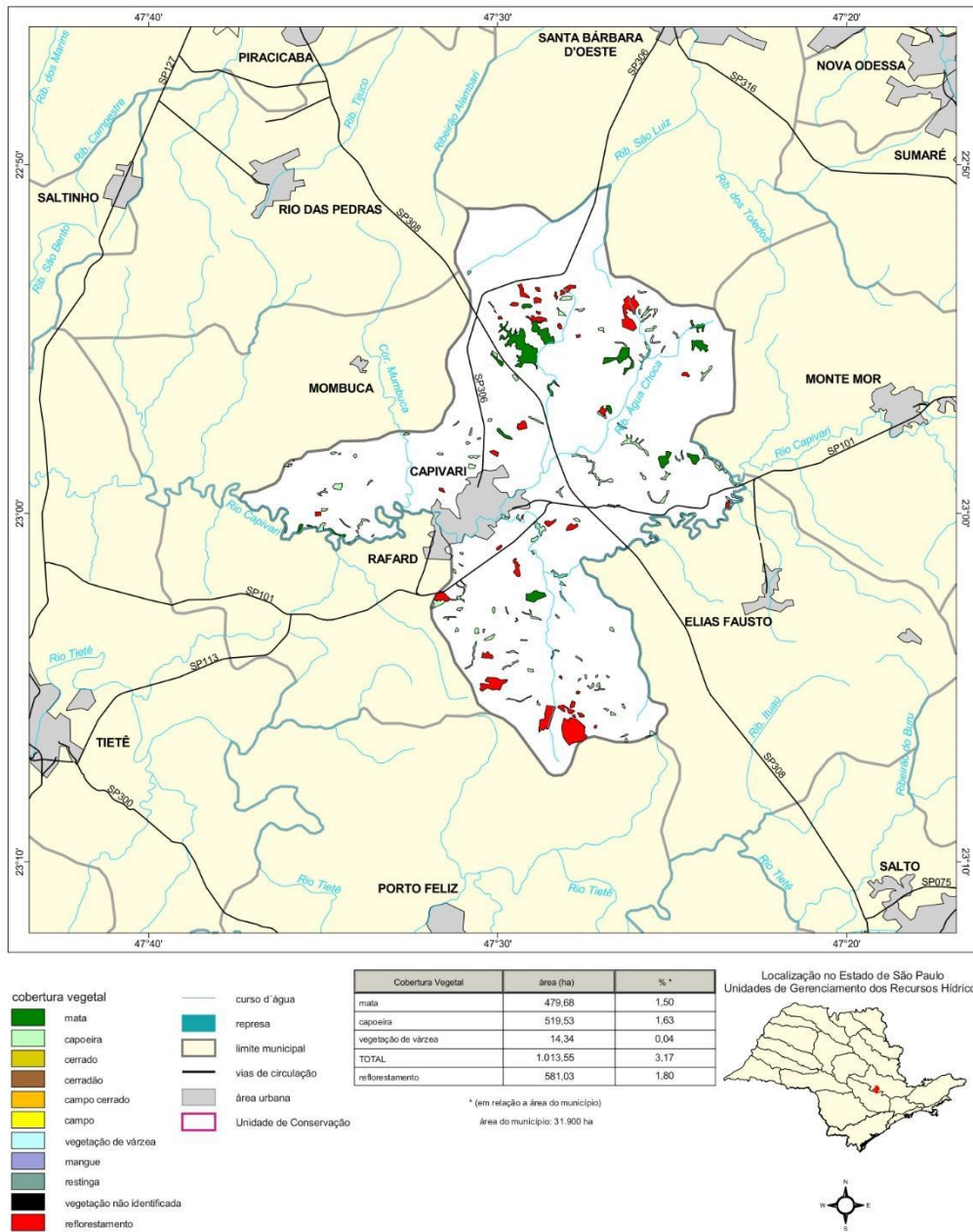
Os baixos valores atribuídos aos indicadores ambientais estão principalmente relacionados às características municipais que representam a baixa proteção da biodiversidade, insegurança hídrica e falta de capacidade de enfrentamento às mudanças climáticas.

O Zoneamento Ecológico-Econômico – ZEE do Estado de São Paulo (SIMA 2022 – Plataforma ZEE) apresenta uma síntese de indicadores que se constituem em cartas sínteses ou diretrizes estratégicas: Resiliência às mudanças climáticas, Segurança hídrica, Salvaguarda da biodiversidade, Economia competitiva e sustentável e Redução de desigualdade regionais), as quais deverão ser também utilizadas na análise de outros ODS (1, 2, 10, 11 e 15).

A média classificação em relação à Salvaguarda da Biodiversidade na maior parte do território municipal de Capivari segundo SIMA 2022, reflete as poucas unidades de conservação presentes no território, e o baixo índice de conservação da vegetação nativa, entre outros aspectos. A **Figura 1** apresentada a seguir demonstra o quadro atual da vegetação no município a partir do levantamento de vegetação do IF, 2020.



Figura 1: Mapa de Vegetação no Município de Capivari



Fonte: Instituto Florestal, 2020

Conforme o mapa acima, o município de Capivari apresenta apenas um total de 3,17% de áreas com cobertura vegetal considerando Mata, Capoeira e Vegetação de Várzea, ou seja 1013,55 ha.



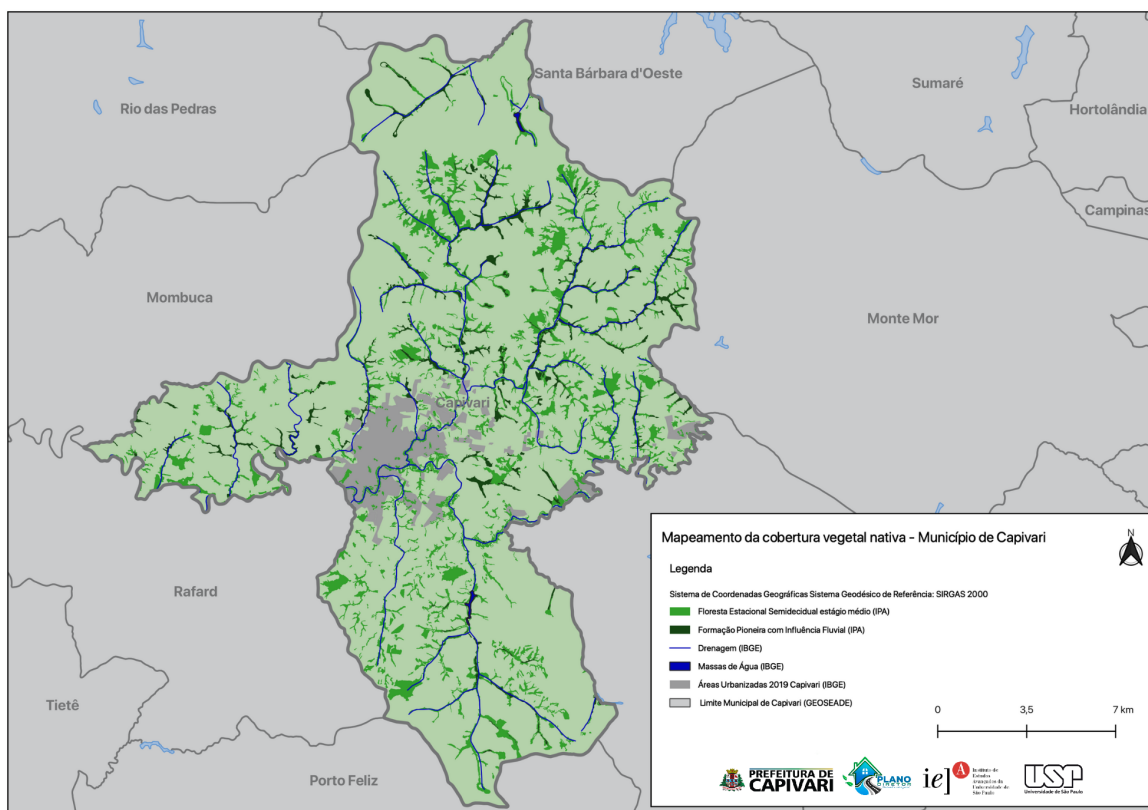
Apresenta também 1,80% de áreas com reflorestamento em um total de 581,03 ha. A área total do município é de 31.900 ha. Segundo esse inventário do Instituto Florestal de 2020, Capivari situava-se entre os municípios com apenas 15 a 20% de sua cobertura vegetal nativa.

Vegetação Remanescente e Rede Hídrica no Município

Os mapas a seguir evidenciam que a cobertura vegetal que remanesce no território de Capivari é muito associada à sua rica rede hídrica, prestando serviços ambientais para o meio rural e o meio urbano. O rio que dá nome ao município tem potencial para ser um parque linear paradigmático, atravessando a área urbana e rural e atuando como infraestrutura verde e azul junto à rede hídrica.

Esse potencial parque linear que atravessa a área urbana e a área rural, também pode ser um elemento para a recuperação da biodiversidade no município, com importantes reflexos na ampliação da resiliência urbana.

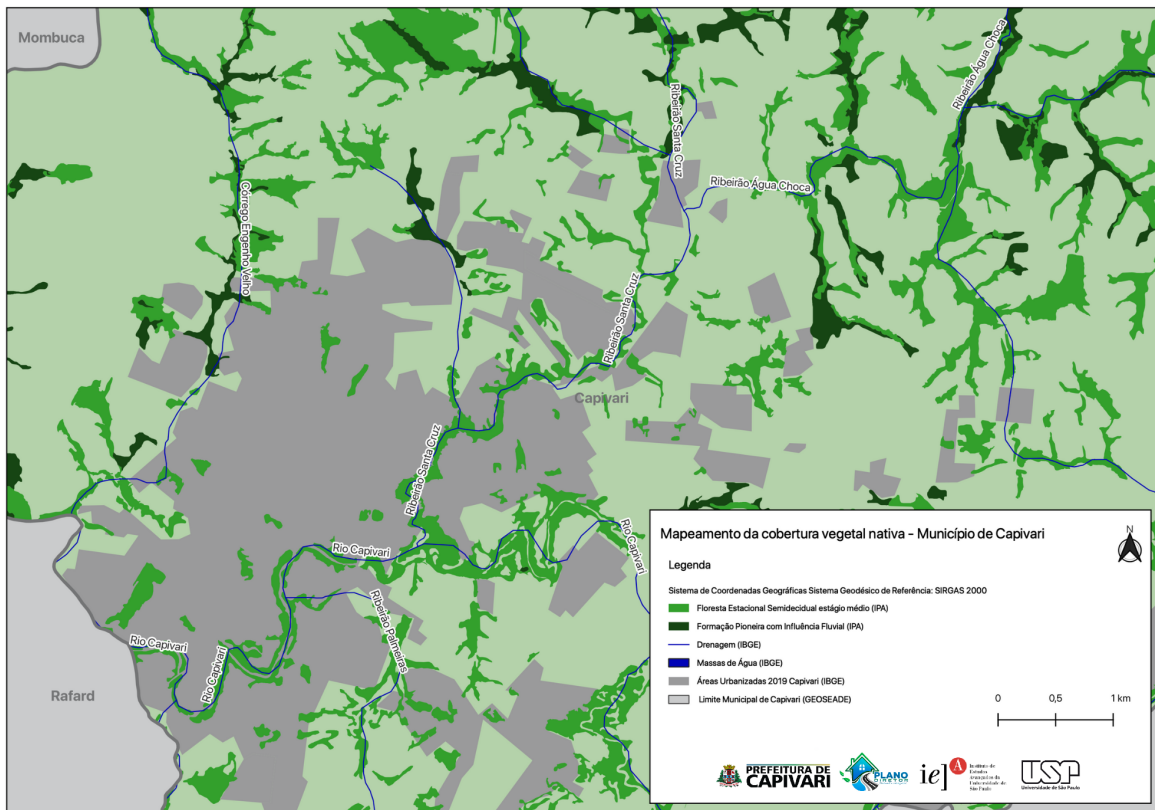
Figura 2: Mapa de cobertura vegetal e mancha urbana



Fonte: Elaboração dos autores a partir de dados do IBGE, GEOSEADE, IPA e Prefeitura de Capivari



Figura 3: Mapa Cobertura Vegetal Nativa e Mancha Urbana (Centro Urbano)



Fonte: Elaboração dos autores a partir de dados do IBGE, GEOSEADE, IPA e Prefeitura de Capivari

Outra observação é a inexistência de Unidades de Conservação Municipal destinadas a preservar representações da paisagem e bancos genéticos dos ecossistemas presentes no município. Neste sentido, o Rio Capivari e sua mata ciliar estabelecem as bases para um corredor ecológico que atravessa a área urbana e que apresenta também um grande potencial para uma Unidade de Conservação e/ou um Parque Urbano com funções climáticas, ampliação da resiliência urbana e enriquecimento da qualidade ambiental da área urbana de Capivari. É importante destacar que no interior da mancha urbana, verifica-se a presença de poucas áreas verdes remanescentes, reforçando a necessidade de preservação e recuperação desses espaços naturais.

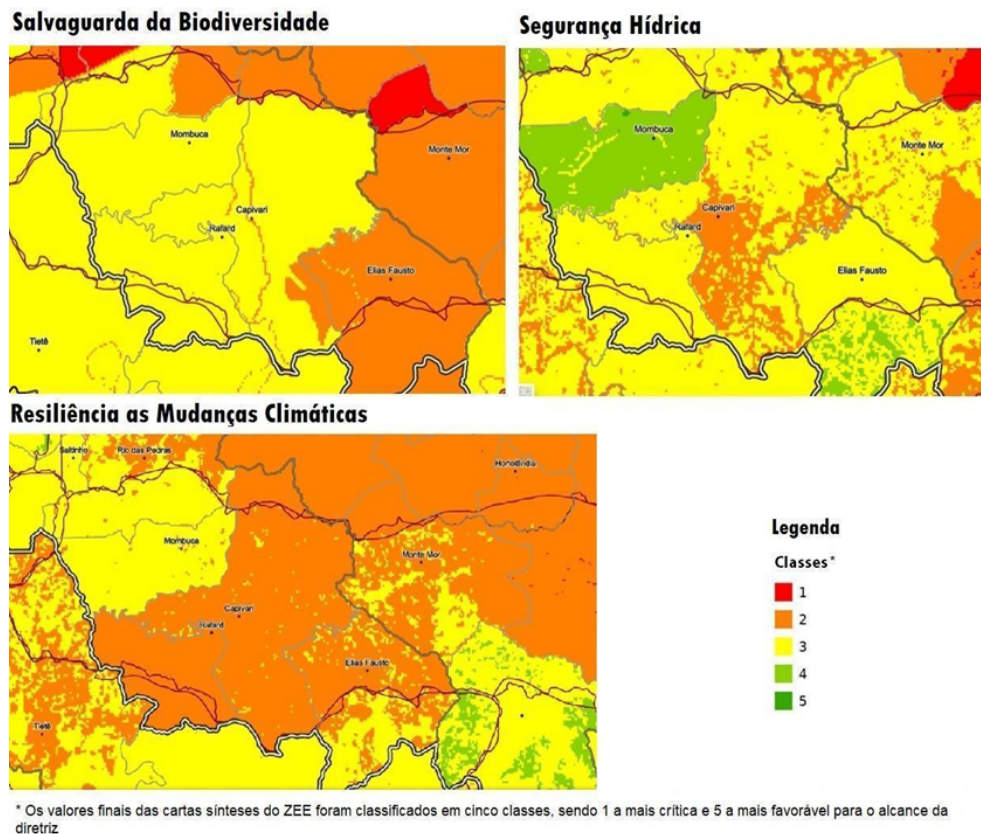
Segurança Hídrica

Da mesma forma, a **Segurança Hídrica** foi considerada média e baixa em vários pontos do município, o que pode estar associado às condições de disponibilidade hídrica e a qualidade das águas regionais na Bacia do PCJ e em especial na Sub-bacia do Capivari (**Figura 4**).



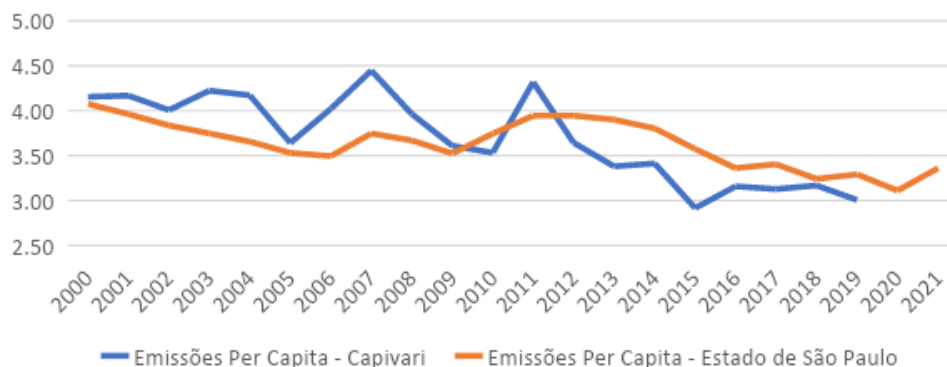
A **Resiliência** às mudanças climáticas mantém o mesmo padrão de baixo índice (Classe 2). É possível que esta situação esteja condicionada às condições socioeconômicas e à exposição ao risco da população do município, em especial a populações urbanas localizadas nas partes baixas e várzeas do rio Capivari e seus afluentes. O crescente risco de impacto das inundações observadas nos últimos anos no município é também um efeito importante relacionado à vulnerabilidade socioambiental e climática.

Figura 4: Cartas-Sínteses do ZEE



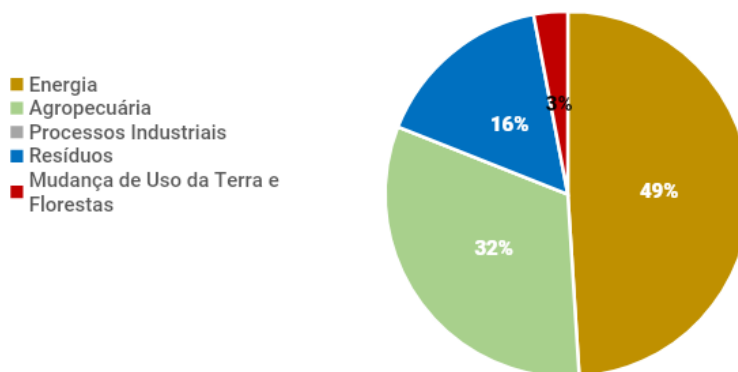
Fonte: SIMA, 2021 (adaptado)

Sobre os indicadores utilizados para mensurar o ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima, cujo objetivo é "tomar medidas urgentes para combater os riscos da mudança do clima e seus impactos (reconhecendo que a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima [UNFCCC] é o fórum internacional intergovernamental primário para negociar a resposta global à mudança do clima)", destaca-se que as emissões de CO₂ per capita foram de 3,01 toneladas em 2019, segundo o Observatório do Clima. Observa-se que essas emissões vêm reduzindo no município nas últimas décadas, como mostra o **Gráfico 1**, e que, a partir de meados de 2012, se tornaram menores do que as do estado.

Gráfico 1: Emissões de CO² per capita

Fonte: IDSC, 2022

Capivari tem potencial para continuar reduzindo suas emissões de CO₂, já que seu padrão de emissão está em declínio. Em relação ao perfil dessas emissões, observa-se que o setor de energia é responsável por quase 50% das emissões, seguido pela agropecuária, reforçando o papel do município como produtor de cana-de-açúcar (32%). Além disso, ainda há emissões significativas relacionadas a resíduos e processos industriais, representando 16% e 3%, respectivamente.

Gráfico 2: Perfil de emissões de CO₂

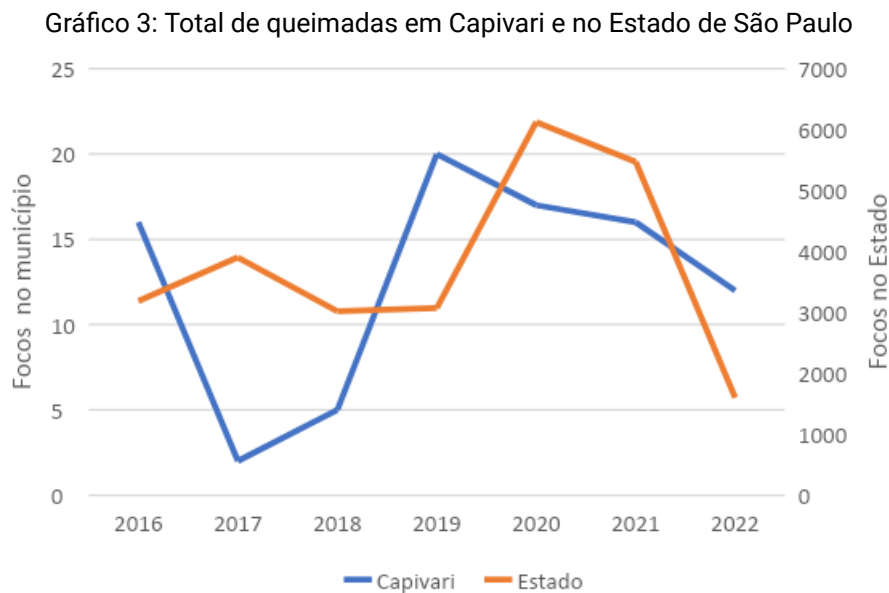
Fonte: OC, 2018

Em 2019, o setor de transporte foi responsável por quase 60% das emissões relacionadas ao setor de energia, tornando-se crucial para uma estratégia de redução de emissões, a diminuição da circulação de automóveis e melhorias no transporte público e coletivo. Além disso, a ampliação da cobertura vegetal municipal pode contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), o que pode ser buscado como um compromisso



conjunto com a indústria canavieira por meio de políticas de governança ambiental, social e corporativa (ESG).

Outro indicador relevante para o entendimento do perfil de emissões de CO₂ é a concentração de focos de calor por mil, que foi de 0,01 em 2017. Esse indicador apontou para uma redução entre 2016 e 2017, provavelmente devido à proibição de queimadas na agroindústria canavieira, uma das principais atividades econômicas do município, também conhecido pela alimentação da Usina de Açúcar e Álcool da RAÍZEN presente no município de Rafard. No entanto, o número de focos de calor aumentou em 2019 e permaneceu em um nível elevado nos anos seguintes, indicando que o padrão de queimadas se estabilizou em uma quantidade maior do que a observado em 2017 e 2018 (Gráfico 3).



Fonte: INPE, 2023

Outra medida importante para avaliar a capacidade de adaptação do município às mudanças climáticas são os indicadores que medem a gestão de riscos e prevenção de desastres naturais. A proporção de estratégias adotadas pelo município em relação ao total de estratégias recomendadas pode indicar o grau de conformidade com o arcabouço legal e a capacidade de resposta a eventos extremos.

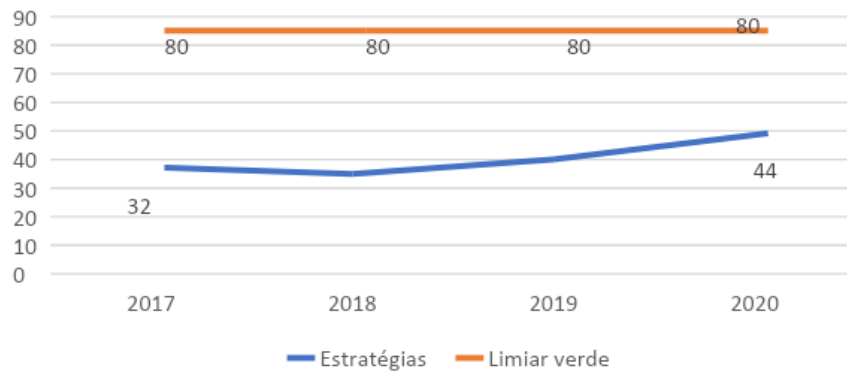
Em relação a esse indicador, o município de Capivari obteve um valor de 44,00 em 2020, segundo dados do IBGE. O Limiar Verde¹, isto é, o valor para considerar que o objetivo foi

¹ O limiar verde é um padrão utilizado para avaliar o progresso dos municípios em determinado indicador, indicando o valor necessário para que uma meta ODS seja atingida. Em alguns casos, o



atingido é 80 (conforme **Gráfico 4**). Portanto, há ainda um grande espaço para melhorias nas estratégias adotadas pela Defesa Civil Municipal.

Gráfico 4: Proporção de estratégias para gestão de riscos e prevenção a desastres



Fonte: IDSC, 2022 (adaptado)

O indicador está em evolução no município, e espelha a estratégia de Gestão de Risco utilizada pela Defesa Civil, ainda a ser objeto de aprofundamento em levantamentos subsequentes.

O desflorestamento é um problema ambiental que afeta muitas regiões do mundo, incluindo municípios brasileiros. Um indicador utilizado para medir o desafio de preservar áreas com vegetação nativa é o percentual de desflorestamento do território municipal. Esse indicador é descrito como *percentual de áreas convertidas, hectares de cobertura florestal + hectares de áreas naturais não florestais destinados para a agropecuária ou que se transformaram em áreas não vegetadas*, sobre a área total do município em hectares. O valor obtido pelo município de Capivari foi de 0,03% e o valor base a ser atingido segundo a plataforma IDSC - Brasil, que avalia indicadores de sustentabilidade municipal no país, o valor base a ser atingido é de 0,05% (**Gráfico 5**).

limiar verde representa a média dos cinco melhores municípios em determinado indicador. Essa informação pode ser encontrada no site do Índice de Desenvolvimento Sustentável dos Municípios (IDSC), que tem como objetivo avaliar o desempenho dos municípios brasileiros em relação aos ODS. Disponível em: <https://idsc.cidadessustentaveis.org.br/>



Gráfico 5: Percentual do município desflorestado



Fonte: IDSC, 2022 (adaptado)

Os resultados indicam que a perda de florestas naturais vem crescendo no município anualmente entre 2017 e 2020, devido à conversão de áreas para agropecuária ou mudança de uso do solo para urbanização. Isso ressalta a importância de fortalecer a proteção da já exígua vegetação remanescente no município, que de acordo com o Instituto Florestal (2020), apresenta apenas 3,17% de áreas com cobertura vegetal.

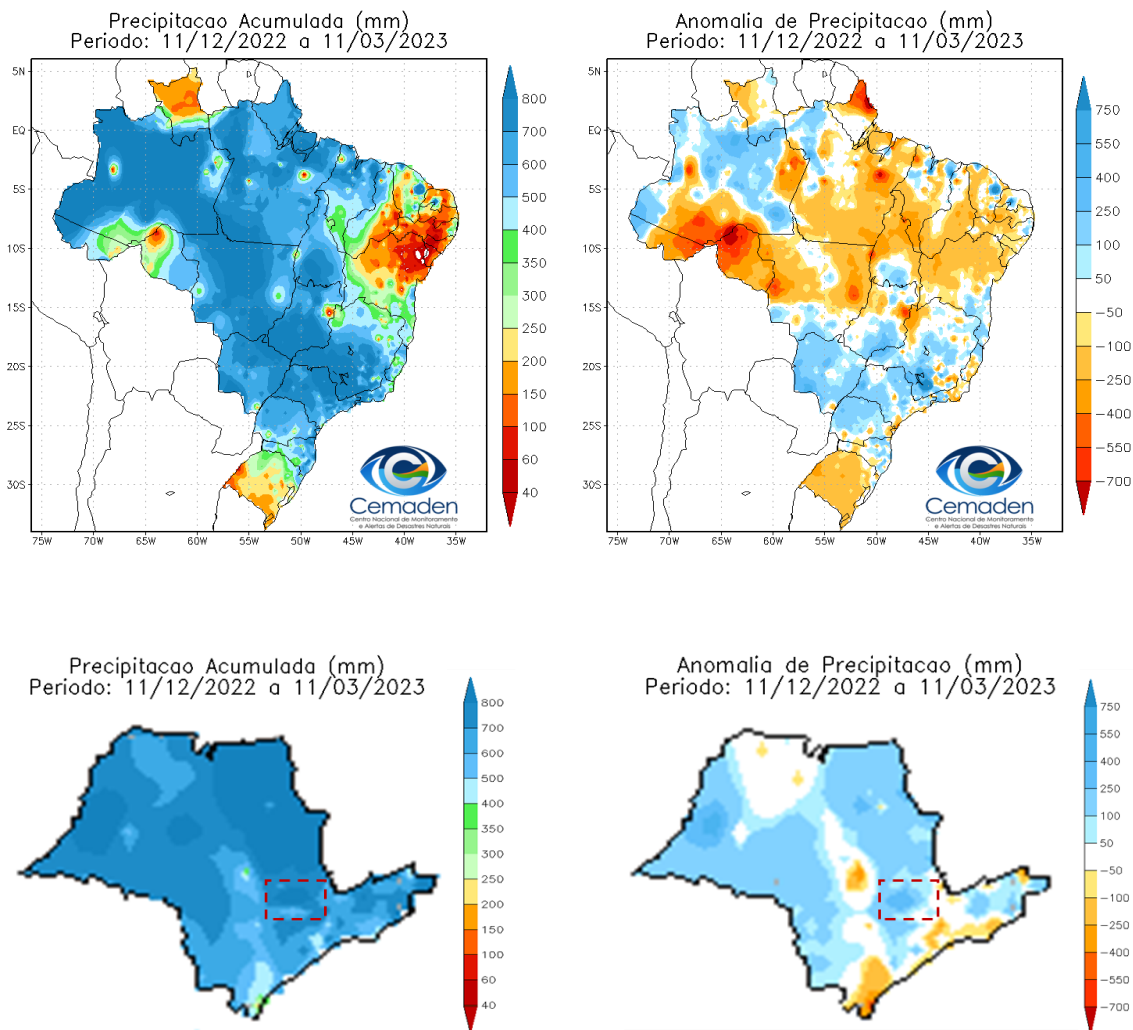
O Comportamento Climático em Capivari – São Paulo

Neste item, apresentamos informações preliminares consideradas relevantes para entender o comportamento climático observado em Capivari-SP nos períodos recentes. Isso evidencia a importância de realizar análises climáticas mais aprofundadas, especialmente considerando os efeitos das mudanças climáticas e os potenciais impactos para o município.

Os dois mapas a seguir referem-se ao último período chuvoso, compreendido entre 11 de dezembro de 2022 e 11 de março 2023, e abrangem todo o Brasil, utilizando as estações pluviométricas do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). Em seguida, há um recorte desses mapas para o Estado de São Paulo, destacando a região onde se encontra Capivari.



Figura 5: Precipitação Acumulada e Anomalia de Precipitação



Fonte: CEMADEN, 2023

Com base nas informações apresentadas nos mapas acima, constata-se que o volume de chuva registrado nos últimos meses ficou acima de 800 mm, conforme evidenciado pelos tons de azul mais escuro nos mapas da esquerda, que contemplam os maiores valores observados em todo o Brasil nesse período. Além disso, os mapas da direita mostram que a última estação chuvosa na região de Capivari foi bem acima da média, apresentando anomalias positivas entre 150mm e 300 mm durante o período analisado, representando um acréscimo de cerca de 30% a 50% em relação à média histórica.

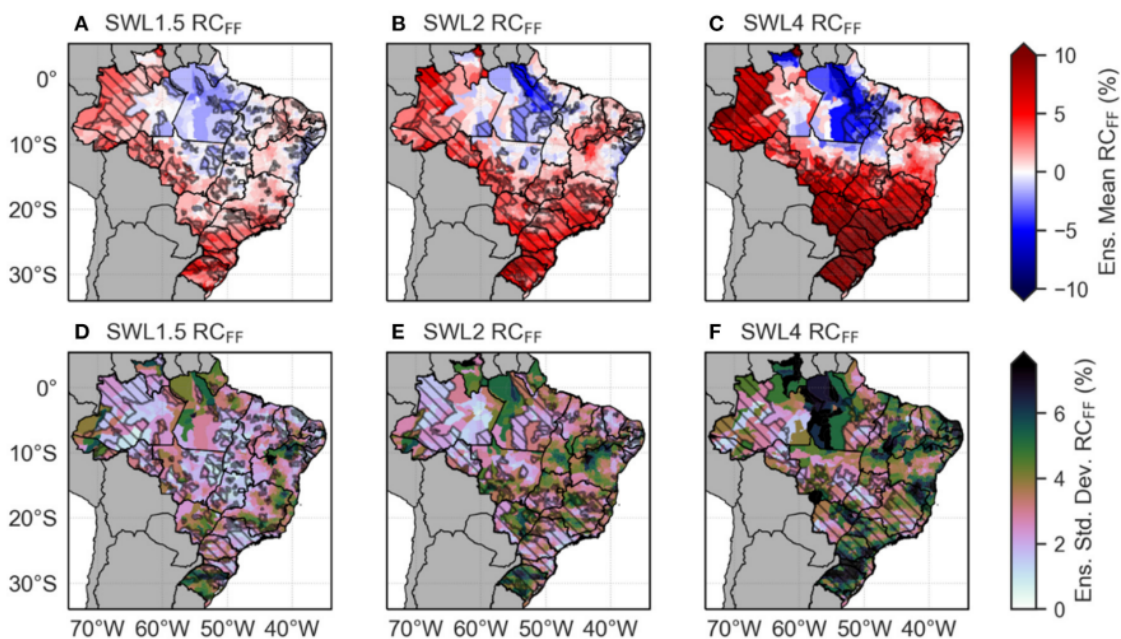
Destaca-se ainda que, durante esse mesmo período, mais especificamente no final de dezembro de 2022, Capivari foi impactada por uma das maiores enchentes das últimas décadas, causada por uma chuva superior a 120 mm em 24 horas. Esse evento também



resultou em outros processos hidrológicos de grande severidade, como grandes alagamentos, que provocaram prejuízos significativos ao município.

Este tipo de comportamento climático, com anos muito acima da média histórica, é um dos sinais gerais observados pelos estudos mais recentes que abordam os impactos das mudanças climáticas. A seguir, são apresentados mapas do estudo de MARENGO *et. al* (2021), que desenvolveram um índice específico para avaliar o risco climático associado a inundações, enxurradas e alagamentos.

Figura 6: Impactos das Mudanças Climáticas



Fonte: Marengo *et. al* (2021)

Nota: (A-C) representa a distribuição geográfica da Mudança Relativa média do índice de risco climático para inundações enxurradas e alagamento (RC_{FF}) utilizando multimodelos e (D-F) o desvio padrão associado; em relação ao período histórico (1981-2010) sob vários cenários: (A, D) GWL1.5; (B, E) 2.0; e (C, F) 4.0. O padrão de hachura representa áreas onde o conjunto apresenta valores de concordância acima ou abaixo de +66% ou -66%, respectivamente (boa confiabilidade).

Este estudo utilizou vários modelos climáticos de alta resolução para inferir as regiões do Brasil onde eventos climáticos extremos, como inundações, enxurradas e alagamentos, tendem a se tornar mais frequentes e severos devido à intensificação das chuvas. As regiões onde esse sinal é mais evidente estão sinalizadas em vermelho nos mapas A, B e C, sendo que as regiões hachuradas são aquelas onde os resultados obtidos têm maior confiabilidade.



Embora o estudo não tenha se concentrado em encontrar sinais climáticos em nível local, foram extraídos valores do índice de Risco Climático de Inundações, Enxurradas e Alagamentos (RCFF) apresentados anteriormente para o município de Capivari-SP, apenas para ilustrar algumas evidências que podem ser obtidas por meio de métodos científicos bem aplicados. Esse índice de RCFF representa o aumento ou a diminuição esperados do risco climático associado a inundações, enxurradas e alagamentos, separados para cada cenário de aquecimento utilizado (1,5 °C, 2,0 °C e 4,0 °C), conforme a seguir:

Tabela 1: Índice RC_{ff}

RL SWL 1.5	RL SWL 2.0	RL SWL 4.0
2,63%	3,65%	12,19%

Embora a mudança relativa do índice de risco climático associado a inundações, enxurradas e alagamentos pareça pequena (variando entre 2% e 12%), é importante esclarecer que esse é o aumento médio esperado ao longo das próximas décadas (geralmente em torno de 30 anos). Como se trata de um índice relacionado a eventos extremos, é esperado que, por muitos anos, os eventos mais severos ocorram normalmente em torno da média, mas, em alguns poucos anos, são esperados eventos de magnitude muito elevada que acabam puxando a média para cima.

Por exemplo, foi diagnosticado que historicamente em Capivari, um evento que ultrapassa 75mm em 24h ocorre a cada 2 anos; um evento que ultrapassa 100 mm em 24h ocorre a cada 10 anos; e um evento que ultrapassa 130 mm em 24h ocorre a cada 50 anos, aproximadamente, considerando a base de referência entre 1981-2010.

Utilizando os índices acima apresentados e traduzindo-os de forma geral, é possível estimar indiretamente que, em uma situação em que a temperatura global fique em torno de 1.5°C (cenário SWL 1.5), é esperado que eventos que ultrapassem 75 mm em 24h passem a acontecer anualmente (ao invés de a cada 2 anos) e eventos que ultrapassem 130 mm em 24h passem a acontecer a cada 25-30 anos (ao invés de a cada 50). Note como o tempo de recorrência vai se tornando mais curto, especialmente para os eventos que são mais extremos. Para uma situação em que o Acordo de Paris não seja respeitado e a temperatura média global aumente 4.0°C (cenário SWL 4.0), os resultados são ainda mais expressivos, aumentando a frequência dos eventos mais extremos mais de 5 vezes que o normal.

Nota: É importante mencionar que há 100% de concordância entre os modelos utilizados no estudo de Marengo et al. (2021) ao indicar que os eventos de enxurradas, inundações e



alagamentos irão aumentar tanto em frequência quanto em magnitude. Os modelos concordam com essa tendência de aumento e possuem diferenças apenas quanto ao quanto será incrementado no futuro.

Risco Climático relacionado às inundações, enxurradas e alagamentos

A ilustração a seguir apresenta a extensão das áreas ocupadas por habitações que estão sujeitas a riscos de inundação no município. Essa imagem traz uma reflexão importante sobre a ocupação dessas áreas, que são constantemente atingidas por inundações. Embora os dados sejam referentes a um único evento ocorrido em 30/01/2022, eles mostram claramente os impactos que esse evento teve no município e evidenciam a existência de muitas áreas de risco, independentemente de terem sido previamente mapeadas ou não.

Figura 7: Pontos de alagamento em 30/01/2022



Fonte: Prefeitura de Capivari, 2022



A imagem a seguir mostra os pontos de inundação observados em Capivari em 28/12/2022, cerca de 11 meses após o evento anteriormente mencionado. Nessa data, a Defesa Civil Municipal registrou precipitação pluviométrica de 103 milímetros em 24h, o que culminou em uma das maiores inundações já enfrentadas pelo município. Essa imagem é representativa para evidenciar os riscos climáticos atuais enfrentados por Capivari.

Figura 8: Pontos de alagamento em 28/12/2022



Fonte: Rede social oficial da Prefeitura de Capivari, 2022



Figura 9: Inundações em 2023



Fonte: Prefeitura Municipal de Capivari, 2022

Conforme sugerido pelos estudos apresentados anteriormente, há evidências de uma tendência de aumento da frequência dos eventos com grandes precipitações, o que sugere que os cenários de riscos poderão ser amplificados nos próximos anos. Isso significa que as mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global, aliadas a outras características locais, como a não-preservação da cobertura vegetal, intensificam as ameaças atuais de erosão, solapamento de margens, inundações, enxurradas e alagamentos.

Embora não tenham sido apresentadas informações sobre projeções de clima futuro com relação a secas e estiagens, as mesmas características relacionadas à gestão do uso do solo, especialmente no que diz respeito à cobertura vegetal e aos recursos hídricos, podem até mesmo levar a situações de estresse hídrico. Ou seja, o baixo índice de cobertura vegetal tende a amplificar os efeitos de secas meteorológicas e/ou hidrológicas, além de favorecer os efeitos de ilhas de calor, uma vez que a supressão da cobertura vegetal está fortemente relacionada à supressão de grande parte da função ecossistêmica de "plantar água", que contribui para recarregar os aquíferos e regular o microclima, entre outros benefícios para a saúde hídrica da bacia.



Modelagem para detecção de inundações bruscas e enxurradas em Capivari, São Paulo

Como forma de entender melhor os efeitos de chuvas extremas sobre o território municipal de Capivari, foram realizadas etapas preliminares de modelagem para estimar ocorrências de inundações bruscas e enxurradas. Essas etapas incluíram a aplicação de um sistema de previsão de eventos extremos, que comparou a precipitação acumulada em um período de interesse (de 1 a 24 horas) com os valores de baixa probabilidade de ocorrência e os valores máximos encontrados a montante de cada ponto da rede de drenagem.

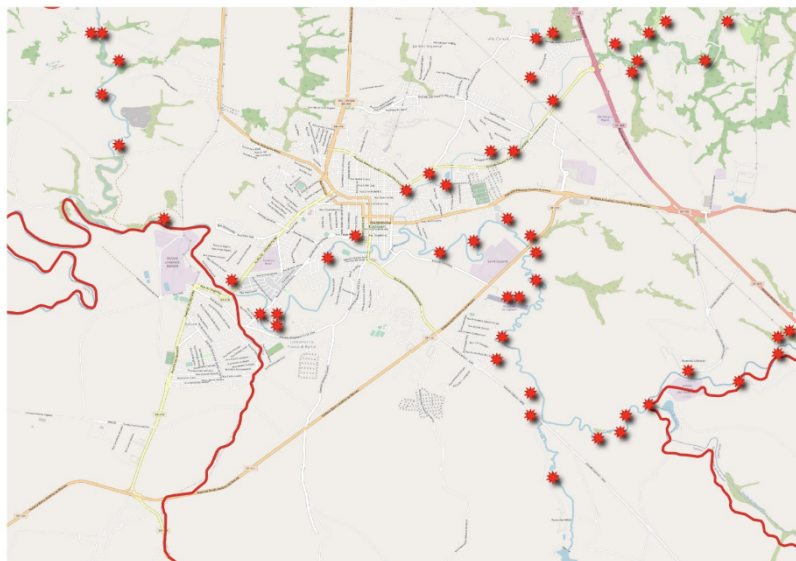
Esse método é adequado para áreas de drenagem com dimensões entre 1.000 e 2.000 km², onde eventos de grande impacto ocorrem em um período menor que 24 horas, inferior ao tempo de concentração da bacia. A partir disso, foram gerados dados sobre a área da bacia de drenagem, incluindo a rede de drenagem, o gradiente de inclinação da bacia e a área de drenagem a montante.

A ferramenta foi aplicada à Bacia do Rio Capivari como um todo, utilizando como base uma série histórica entre 1981 e 2010 sobre a rede de drenagem do município (retirada do CHIRPS). Esse período histórico serviu para calibrar os níveis máximos históricos que cada nó da rede de drenagem recebeu ao longo do tempo, sendo este o parâmetro utilizado para identificar eventos extremos.

Com base nesses valores históricos, foram utilizados dados de precipitação diária dos últimos 10 anos (entre 2013 e 2023, das estações do Cemaden) para abastecer a ferramenta e avaliar se ela detectava eventos significativos que impactaram Capivari nesse período. Como resultado, a ferramenta indicou dois eventos potencialmente causadores de impactos significativos. Foram eles:



Figura 10: Pontos da rede de drenagem onde o volume acumulado ultrapassou os valores máximos históricos no evento de 28 de dezembro de 2022

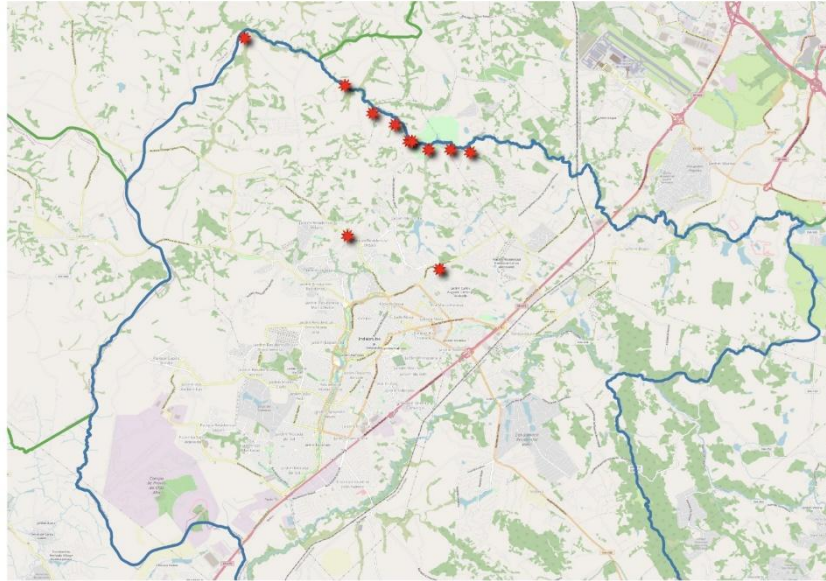


Fonte: CEMADEN (2023)

- Dia 30 de janeiro de 2022: ocorreu um evento de alta magnitude, no qual 11 pontos da rede de drenagem ultrapassaram os valores máximos históricos em Indaiatuba, indicando também possibilidade de impactos em Capivari. Conforme avaliado, este evento também causou impactos em Capivari, sendo considerado na época a segunda maior enchente enfrentada pela cidade.



Figura 11: Pontos da rede de drenagem onde o volume acumulado ultrapassou os valores máximos históricos no evento de 30 de janeiro de 2022



Fonte: CEMADEN (2023)

Embora a série histórica seja relativamente curta, abrangendo apenas 10 anos, a aplicação do método indica que ferramentas como essa podem ser fundamentais tanto para monitoramento, alerta e resposta quanto para planejamento de longo prazo. Os testes realizados detectaram com precisão os dois maiores eventos que impactaram o município nos últimos anos.

É importante destacar que o sistema foi inicialmente desenvolvido para ser utilizado em ações de monitoramento e envio de alertas em tempo real, especialmente para detecção de eventos hidrometeorológicos extremos, que podem levar a inundações repentinas e enxurradas, apresentando taxas de detecção em torno de 90%. No entanto, o sistema também permite ajustes metodológicos para ser aplicado com base em dados de projeções climáticas futuras, a fim de antecipar padrões e tendências decorrentes das mudanças climáticas no nível local. Recomenda-se, portanto, executar esta ferramenta com base em dados climáticos para horizontes futuros (até 2050, 2080 e 2100, por exemplo), para detectar tendências de aumento ou diminuição da frequência e magnitude de eventos hidrológicos, além de identificar áreas de especial atenção dentro da rede de drenagem municipal. Esse tipo de resultado pode servir como uma base de dados útil para o planejamento de diversas ações locais.



Risco Climático relacionado às Secas

Este item apresenta um resultado baseado no escopo das Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças Climática (ADAPTABRASIL, MCTI), que organizou e sistematizou variáveis representativas que culminam diferentes índices de “Riscos de Impacto” para diferentes setores, no contexto das Mudanças Climáticas. Esta iniciativa utiliza múltiplos dados para representar as vulnerabilidades dos municípios brasileiros sobre diferentes perspectivas, combinando com dados de modelos climáticos, tanto para um período de referência quanto para horizontes futuros.

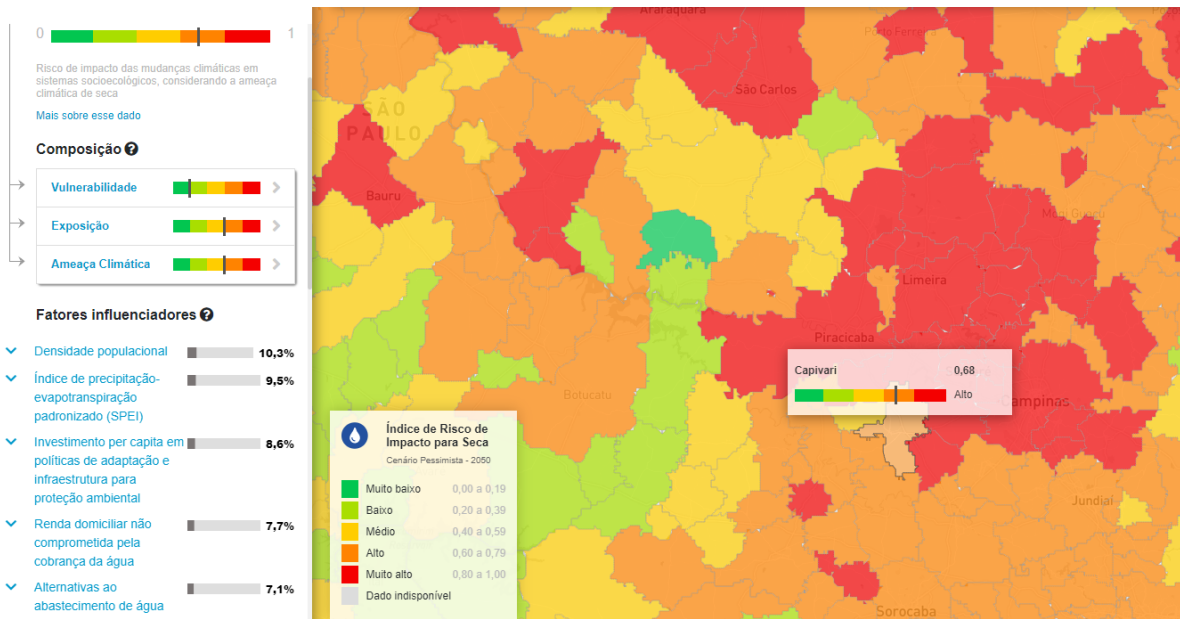
Importante mencionar que o método aplicado sempre utiliza da normalização de todos os dados utilizados (entre 0 e 1), considerando os valores mínimos e máximos encontrados em todo o território nacional. Essa abordagem facilita a categorização das variáveis e índices criados, uma vez que há uma padronização das métricas relacionadas às dimensões da vulnerabilidade. Embora isto seja bastante interessante para o direcionamento de medidas escalonadas no âmbito federal, eventualmente, pode ser insuficiente para diagnosticar a condição de um município específico. Afinal, o Brasil contempla um território muito vasto e de características heterogêneas, o que torna abordagens como esta mais eficientes em detectar casos mais extremos dentro de todo o “universo Brasil”, mas inviabiliza análises mais aprofundadas para os casos que menos críticos, especialmente aqueles que se encontram em torno da média.

Até o momento, a iniciativa AdaptaBrasil desenvolveu produtos para 5 campos de avaliação, sendo que, neste item, trazemos informações específicas sobre os impactos em recursos hídricos causados por eventos de secas.

O risco de impacto para recursos hídricos considera os efeitos sobre a vida, os meios de subsistência, a saúde, os ecossistemas, a economia, a sociedade, a cultura, os serviços e a infraestrutura de um modo geral, dada às alterações climáticas; através de um proxy bastante amplo, no qual as variáveis escolhidas foram definidas por processos participativos, mas que não representam, necessariamente, relação de causalidade com os impactos analisados. Nessa temática, o índice final que mede os impactos para os Recursos hídricos é o “Índice de Risco de Impacto Climático – Seca”, uma somatória dos Índices de Vulnerabilidade, Exposição e Ameaça Climática. A seguir apresenta-se o resultado para a região de Capivari, trazendo também as informações mais relevantes que compõem o índice.



Figura 12: Índice de Risco de Impacto em Recursos Hídricos causado pelas Secas, extraído da plataforma AdaptaBrasil (MCTI), projeção para 2030 segundo o cenário "otimista".



Fonte: AdaptaBrasil (MCTI)

Com base nos resultados do AdaptaBrasil, percebe-se que Capivari encontra-se numa situação de risco "ALTO" (classe de cor laranja, com o valor de 0.68). Na plataforma em seu canto superior à esquerda, é possível identificar os principais fatores que levam a essa condição de "Risco Alto", destacando-se a densidade populacional que exerce pressão sobre os recursos hídricos; o índice de precipitação-*evapotranspiração* (SPEI), que indica que a região estará sujeita a condições de calor e estiagens persistentes, o que favorece a maior *evapotranspiração* da vegetação; o baixo investimento per capita em políticas de adaptação e infraestrutura para proteção ambiental; a renda domiciliar comprometida pela cobrança da água, o que é ainda mais prejudicial para populações socioeconomicamente vulneráveis em situações de secas que levam a uma cobrança mais onerosa do uso da água; e a falta de alternativas para o abastecimento de água público

Embora esses resultados sejam projetados para o período de 2030, é importante mencionar que apenas o fator relacionado ao índice de precipitação-*evapotranspiração* (SPEI) é modificado no futuro. Ou seja, há indicativos de que o clima futuro da região favorecerá situações de maior calor e estiagens. Por outro lado, as demais variáveis são exatamente iguais às encontradas no presente, o que representa fragilidades do município desde os dias atuais e, dadas as mudanças climáticas previstas, essas fragilidades podem causar impactos mais significativos nos recursos hídricos da região.



Por fim, é possível identificar que praticamente toda a Bacia do Rio Capivari encontra-se na classe de risco “Muito Alto” (classe de cor vermelha, valores superiores a 0.80). Isso reforça ainda mais os sinais detectados, especialmente para o município de Capivari, e destaca a necessidade de estudos mais detalhados e estratégias definidas que vão além dos limites municipais. É importante considerar que grande parte dos impactos locais nos recursos hídricos têm influência direta das ações que ocorrem no âmbito regional, especialmente em relação ao uso e cobertura do solo.

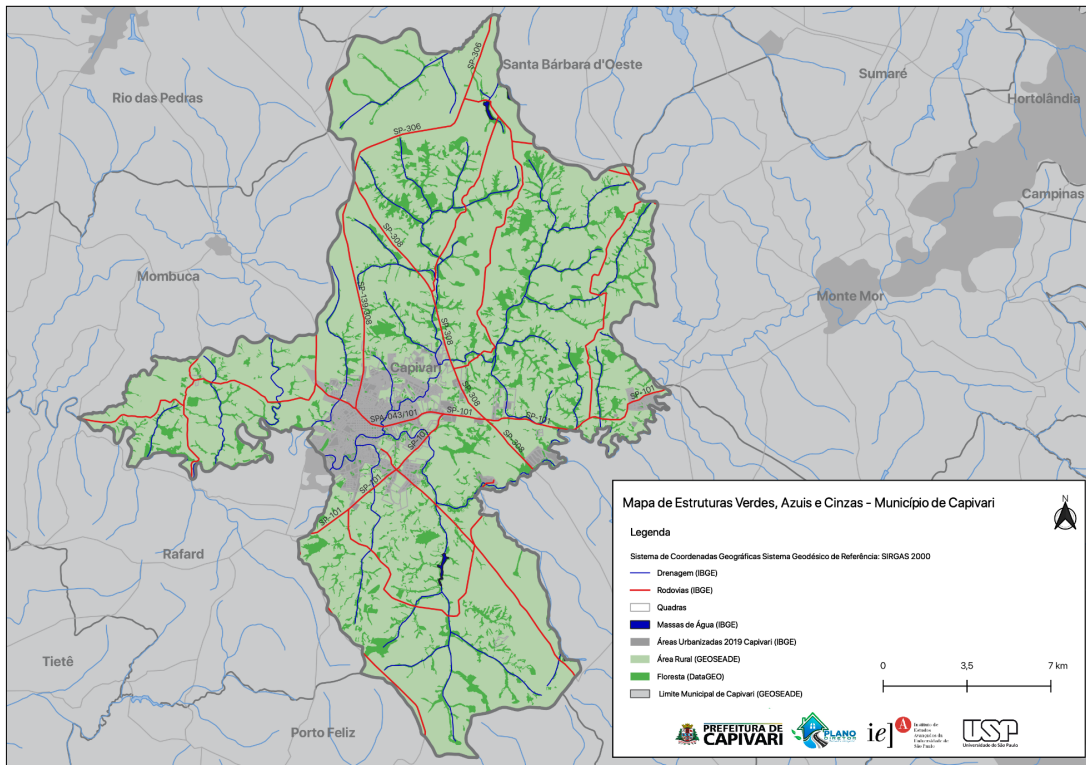
Soluções Baseadas na Natureza e Infraestrutura Verde e Azul

SANCHEZ, MAGLIO & RIBEIRO FRANCO (2021) destacam o grande potencial ambiental dos parques lineares como um mecanismo direto para preservar áreas protegidas e a biodiversidade própria do ecossistema. Além disso, a presença de áreas verdes cumpre um papel estratégico nas iniciativas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, pois o plantio de árvores e a conservação da vegetação dessas áreas contribuem para a absorção de CO₂ e fortalecem a estrutura dos leitos fluviais, reduzindo os efeitos das enchentes. Dessa forma, os parques lineares se tornam elementos estratégicos nas políticas climáticas nos espaços urbanos, buscando complementaridade com outras políticas.

Para a revisão do Plano Diretor, sugere-se a criação de uma Rede Hídrica Ambiental formada pela cobertura vegetal remanescente e a rede hídrica do município. Os mapas a seguir delineiam essa proposta.

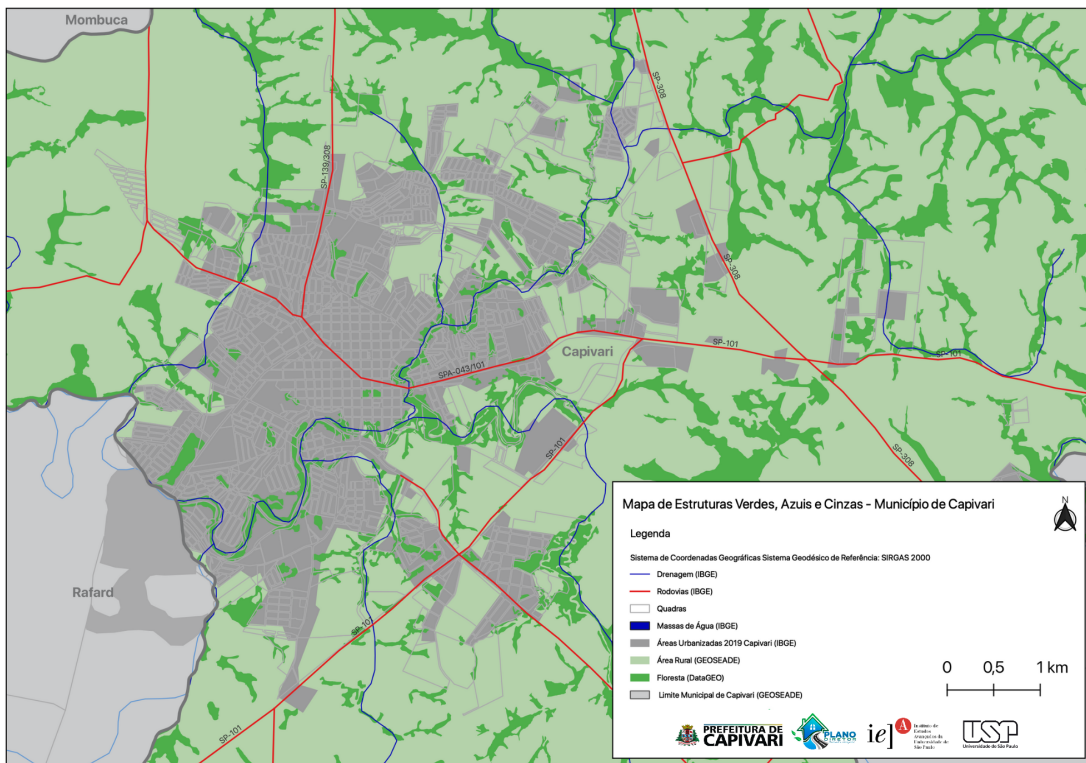


Figura 13: Mapa Infraestrutura Verde e Azul Municipal



Fonte: Elaboração dos autores a partir de dados do IBGE, GEOSEADE, DataGeo

Figura 14: Infraestrutura Verde e Azul Municipal (detalhe junto à área urbana)



Fonte: Elaboração dos autores a partir de dados do GEOSEADE, IBGE, DataGEO



Propostas e Recomendações

Análise de vulnerabilidade e risco climático no nível intramunicipal, como forma de direcionar as medidas de adaptação considerando as especificidades locais

No contexto de elaboração de políticas públicas, a vulnerabilidade se traduz como indicador que sinaliza a ausência de ações ou de bases para o pleno desenvolvimento humano de uma população e/ou a degradação do meio ambiente de uma região, sob diferentes perspectivas. A vulnerabilidade se manifesta em diversas dimensões com características diferentes e impactos distintos. De uma forma geral, podemos identificar e subdividir a vulnerabilidade em três eixos principais, ou dimensões, tais como: ambiental, social e econômica.

Na dimensão ambiental, a vulnerabilidade relaciona-se com as características do meio ambiente e a perda de elementos que equacionam a dinâmica ambiental levando a incapacidades de recuperação ou a resistir a impactos antrópicos. Na dimensão social, englobam-se as condições que propiciam a fragilidade de indivíduos ou sociedades, tornando-os expostos a riscos de desagregação social. Isso pode incluir fatores como desigualdade, exclusão social, violência, dentre outros. Já na dimensão econômica, a vulnerabilidade se relaciona com a falta de recursos, infraestrutura e oportunidades econômicas, afetando a capacidade de indivíduos ou sociedades para lidar com mudanças econômicas e garantir sua sustentabilidade financeira.

Na dimensão econômica estão agrupadas as conjunturas que limitam os indivíduos na obtenção de recursos e serviços econômicos, e conseqüentemente limitam a sua capacidade de enfrentamento diante de impactos decorrentes de situações adversas, incluindo aqueles relacionados a eventos meteorológicos e climáticos, mas não se limitando a eles. Por exemplo, sociedades economicamente vulneráveis também são mais impactadas por pandemias ou eventos naturais que não têm ligação com o clima, como terremotos e vulcões (AQUINO et al, 2017).

Em um contexto de planejamento territorial, a vulnerabilidade - no seu contexto mais amplo - é um importante elemento que pode orientar a priorização de ações do poder público, uma vez que os recursos, em grande parte dos governos, são escassos para intervenções públicas e, por essa razão, precisam ser bem direcionados. Em muitos casos, os diagnósticos nos levam a conclusões em que o clima não é o "grande vilão", de modo que os



eventos climáticos e meteorológicos apenas explicitam as vulnerabilidades existentes conforme os impactos se concretizam, especialmente em situações em que os impactos adversos acontecem em decorrência de eventos não extremos (ou seja, dentro da normalidade).

A premissa sugerida para ser utilizada em análises futuras sob o território de Capivari é que, uma vez reduzidas essas vulnerabilidades, os riscos climáticos também reduzem significativamente, não pela diminuição dos eventos meteorológicos e climáticos, mas sim porque permite que os sistemas se reorganizem para, então, enfrentar eventuais novos desafios decorrentes das mudanças do clima, especialmente no que diz respeito ao enfrentamento de eventos extremos e impactos associados.

Desta forma, objetivando a complementação dos estudos realizados para o Plano Diretor, é proposto expandir as análises realizadas focando nos estudos de vulnerabilidade socioambiental e no cálculo de riscos climáticos no âmbito intramunicipal. Isto é, esta etapa propõe o cruzamento das informações climáticas e hidrológicas com as demais dimensões que caracterizam os cenários de risco localmente, como características do meio ambiente, condições sociais e econômicas.

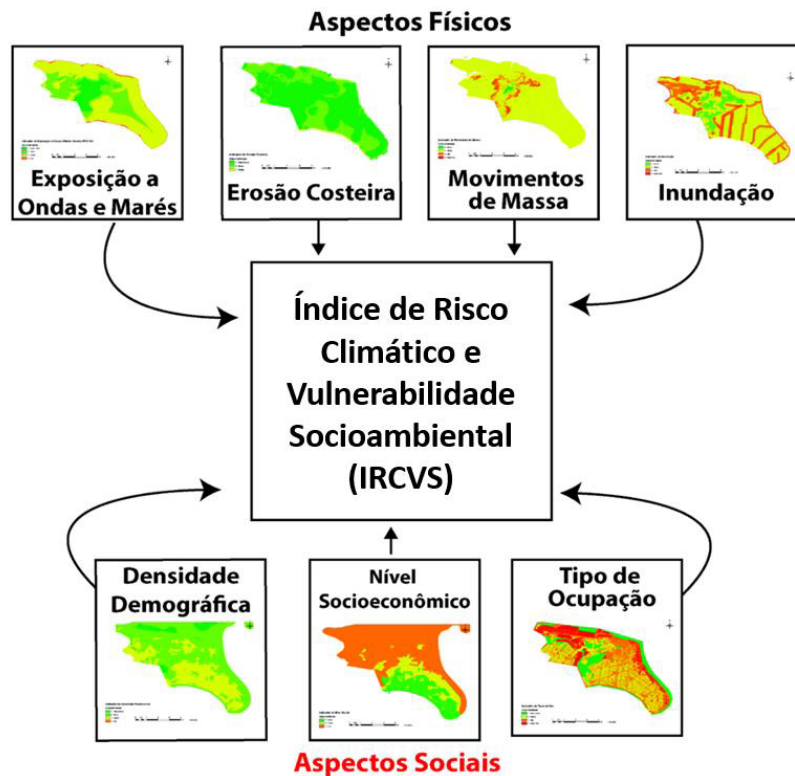
No caso de Capivari, o objetivo é mapear as vulnerabilidades locais e os níveis de exposição da população de forma espacial, mostrando como as componentes climáticas e hidrológicas interagem e onde se manifestam os cenários de maior risco.

As metodologias mais conhecidas propõem a criação de índices quantitativos que mensuram a vulnerabilidade às mudanças climáticas e a adaptação aos perigos climáticos em várias escalas temporais e espaciais. Por exemplo, a análise de vulnerabilidade socioambiental realizada para embasar o Plano de Ação Climática de Santos (PACS) em 2022 utilizou indicadores que foram baseados no Índice de Risco Climático e Vulnerabilidade Socioambiental (IRCVS) para melhor refletir a situação atual do município e as atualizações dos modelos climáticos para o Brasil.

O IRCVS incorpora tanto métricas relacionadas ao risco climático, como a probabilidade de ocorrência de eventos extremos específicos em determinado tempo, quanto outras métricas socioeconômicas, demográficas e ambientais. Por essa razão, o nome do índice faz menção à "vulnerabilidade socioambiental" (Figura 15). Essa abordagem multidimensional permite uma avaliação mais completa e precisa da vulnerabilidade das comunidades às mudanças climáticas e pode ajudar a identificar as áreas mais vulneráveis e as medidas mais adequadas para minimizar os impactos das mudanças climáticas.



Figura 15: Parâmetros do Índice de Risco Climático e Vulnerabilidade Socioambiental (IRCVS)



Fonte: SANTOS (CIDADE) & GIZ, 2022

Com esse detalhamento, será possível realizar análises mais aprofundadas sobre os principais fatores condicionantes dos riscos climáticos no nível intramunicipal de Capivari, abordando todas as suas nuances. É importante mencionar que o Índice de Risco Climático para a Vulnerabilidade Social (IRCVS) apresentado tem caráter ilustrativo, ajudando a compreender como índices personalizados para o município podem ser construídos. Por exemplo, ao contrário de Santos, Capivari não precisa de uma análise sobre os impactos das ondas e marés e da erosão costeira. No entanto, seria interessante explorar outras ameaças que ocorrem no território, como a erosão laminar.

Essas informações serão valiosas para orientar um Plano de Adaptação Climática de Capivari, identificando as melhores diretrizes, estratégias e medidas de adaptação que o município necessita. Isso permitirá a hierarquização de ações nos planejamentos, bem como a identificação de áreas críticas que precisam de ações mais urgentes.



Referências

- Anuário Estatístico por Município - Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (2022). Disponível em: <https://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/Portalcev2/intranet/BiblioVirtual/index.html> Acesso em 29 dez. 2022.
- AQUINO, Afonso Rodrigues de; PALETTA, Francisco Carlos; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de (org.). VULNERABILIDADE AMBIENTAL. São Paulo: Blucher, 2017. 112 p. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/openaccess/9788580392425/completeo.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2023.
- COMITÊS PCJ - PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. Disponível em: <https://www.comitespcj.org.br/>. Acesso em 27/01/2023.
- COMITÊS PCJ - PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. CBH-PCJ: Histórico. Disponível em: https://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=353:cbh-pcj-historico&catid=8:institucional. Acesso em 27/01/2023
- INSTITUTO FLORESTAL – IF. Inventário Florestal do Estado de São Paulo. (2020). In <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2020/08/novo-inventario-florestal-do-esp-aponta-crescimento-de-214-mil-hectares-de-vegetacao-nativa-no-territorio-paulista/#:~:text=O%20novo%20invent%C3%A1rio%20florestal%20divulgado,%2C9%25%20do%20territ%C3%B3rio%20paulista>
- JOPPERT, M. P., & GRANEMANN, S. H. (2016). Guia para Localização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável nos Municípios Brasileiros. O que os gestores municipais precisam saber. Brasília: CNM.
- MAGLIO I. C. ET AL. (2022) Plano de Ação Climática de Santos (PACS) [livro eletrônico] /São Paulo : Ed. dos Autores. PDF. Vários autores. ISBN 978-65-00-39030-8
- MARENGO, J. A., CAMARINHA, P. I., ALVES, L. M., DINIZ, F., & BETTS (2021). Extreme rainfall and hydro-geo-meteorological disaster risk in 1.5, 2.0, and 4.0 °C global warming scenarios: an analysis for Brazil. *Frontiers in Climate*, 3 (2021), Article 610433. <https://doi:10.3389/fclim.2021.610433>
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (2021) Klintowitz, C. Danielle, et al (2021) Guia elaboração e revisão de planos diretores. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-urbano/guia-para-elaboracao-e-revisao-de-planos-diretores>
- SANCHEZ XIMENES D. S, MAGLIO I. RIBEIRO FRANCO M. A. (2020) A infraestrutura verde nos espaços públicos como elemento de resiliência socioambiental pós-pandemia. *Labor & Eng.*, Campinas, SP, v.14, 1-16, e020011 – ISSN 2176-8846 1
- VASCONCELLOS ET.AL. (2022) Notas técnicas para pequenos e médios municípios brasileiros – O caso Vargem. Desenvolvido por um grupo de pesquisadores do Centro de Síntese USP-Cidades Globais, Instituto de Estudos Avançados. Disponível em



<http://www.iea.usp.br/pesquisa/projetos-institucionais/usp-cidades-globais/notas-tecnicas-vargem/view>

Sites Consultados

ADAPTABRASIL MCTI Disponível em <https://adaptabrasil.mcti.gov.br/>

AGENDA2030 - ODS Brasil . Sobre. 2020. Disponível em:
<https://odsbrasil.gov.br/home/agenda> Acesso em novembro de 2022

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
<http://www2.cemaden.gov.br/>

CONSÓRCIO PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (PCJ). O Consórcio Intermunicipal PCJ.
Disponível em: <https://agua.org.br/quem-somos/> Acesso em 27/01/2023.

CONSÓRCIO PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (PCJ). Nossa área de atuação. Disponível
em: <https://agua.org.br/nossa-area-de-atuacao/> Acesso em 27/01/2023.

INSTITUTO CIDADES SUSTENTÁVEIS. Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades –
Brasil. In <https://idsc.cidadessustentaveis.org.br/>.

PREFEITURA DE SANTOS - Plano de Ação Climática de Santos (PACS)
<https://www.santos.sp.gov.br/?q=hotsite/plano-municipal-de-acao-climatica-de-santos-pacs>

FUNDAÇÃO SEADE (SEADE). Portal GeoSeade. Disponível em:
<https://portalgeo.seade.gov.br/> Acesso em: 14 dez. 2022.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC). Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito
Estufa (SEEG) - 2018

SIMA – Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo. (2022). Rede
ZEE: Ambiente Virtual de Análise. Disponível em:
<http://redzee.datageo.ambiente.sp.gov.br/zee/#> Acesso em: 09 fev. 2022.



FOTO: MARIA DA PENHA VASCONCELLOS



Ficha Técnica do Documento

Título	Diagnóstico dos riscos climáticos em Capivari-SP Potenciais estratégias para o direcionamento de medidas de adaptação em pequenos e médios municípios
Descrição	Notas técnicas
Data de produção	Maio de 2023
Data da última atualização	Maio de 2023
Versão	Versão 1.4
Desenvolvimento e produção	Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo
Coordenação do Projeto	Maria da Penha Vasconcellos
Grupo de pesquisadores	Djonathan Gomes Ribeiro http://lattes.cnpq.br/2805904571660438 Elaine Santos http://lattes.cnpq.br/0754278989403202 Felipe Dutra Dias http://lattes.cnpq.br/6368013265528083 Ivan Maglio http://lattes.cnpq.br/2158393020193266 Maria da Penha Vasconcellos http://lattes.cnpq.br/3628660302048530 Mariana Cavalcanti Pessoa http://lattes.cnpq.br/6026271940765575 Pedro Camarinha http://lattes.cnpq.br/0554631424547411 Rogério António de Castro Coelho https://www.cienciavita.pt//pt/3D18-2D44-C79D Rosane Keppke http://lattes.cnpq.br/4444279736264811 Thelmo de Carvalho T. Branco Filho http://lattes.cnpq.br/2971242172685866
Projeto gráfico	Rogério António de Castro Coelho https://www.rogeriocoelho.com
Código do documento	2023-PROJ-002-DOC-001
Estado do documento	Finalizado
Código do Projeto	2023-PROJ-002
Nome do ficheiro digital	2023-PROJ-002-DOC-001-V4



EM ARTICULAÇÃO COM:



DESENVOLVIDO POR UM GRUPO DE PESQUISADORES²

Instituto de Estudos Avançados

São Paulo, Maio de 2023.

² O pesquisador Pedro Camarinha é vinculado ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden)