

Universidade de São Paulo

**Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Departamento de Engenharia de Biossistema**

Trabalho de Conclusão de Curso

**Impactos das mudanças climáticas nas enchentes da bacia hidrográfica do
Alto Tietê: uma abordagem georreferenciada**

Lucia Santos Lobato Acarahyba

**Piracicaba
2025**

Lucia Santos Lobato Acarahyba

**Impactos das mudanças climáticas nas enchentes da bacia hidrográfica do
Alto Tietê: uma abordagem georreferenciada**

Orientador(a):

Prof^ª Dr^a ANA CLÁUDIA DOS SANTOS LUCIANO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte
dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em
Gestão Ambiental

**Piracicaba
2025**

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus pela força, discernimento e por me ajudar a superar todos os obstáculos e dificuldades enfrentados ao longo desta jornada. Aos meus pais, Luciene Santos e Niciomar Lobato Acarahyba, expresso minha profunda gratidão por nunca terem medido esforços para me proporcionar um ensino de qualidade durante todo o meu percurso escolar, além de sempre me apoiarem e incentivarem nesta trajetória, reforçando a importância dos estudos para o meu desenvolvimento pessoal. Estendo meus agradecimentos aos meus familiares e ao Davidson Ferreira Cordeiro, pelo apoio incondicional e por acreditarem em mim em todos os momentos. Agradeço também aos professores que contribuíram para a minha formação e, em especial, à minha orientadora Ana Cláudia, pela dedicação, paciência e orientação essencial para a construção deste trabalho. Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, meu agradecimento pelo incentivo e pela influência positiva em minha formação acadêmica. Por fim, agradeço à Universidade de São Paulo, instituição fundamental no meu processo de formação profissional.

A natureza não é um lugar para visitar. É o nosso lar. - Gary Snyder

RESUMO

Impactos das mudanças climáticas nas enchentes da bacia hidrográfica do Alto Tietê: uma abordagem georreferenciada

As mudanças climáticas, são alterações de longo prazo nos padrões de temperatura e precipitação, têm se consolidado como um dos principais desafios ambientais contemporâneos. Este estudo teve como objetivo analisar de que forma as mudanças do clima intensificam a ocorrência de enchentes na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Para isso, foi feita, integração de dados climáticos, hidrológicos e espaciais por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG). A metodologia empregada teve como base o processamento dos dados de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar para os anos 2002 a 2022, e análise do uso e cobertura da terra com intervalos de avaliação a cada cinco anos. Além disso, foram feitas análises de vulnerabilidade à inundação por meio de dados quantitativos e geoespaciais. Os resultados evidenciaram aumento da frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação, sobretudo em áreas urbanizadas marcadas por elevada impermeabilização e redução da cobertura vegetal, o que intensifica a suscetibilidade a enchentes. Dessa forma, foi possível concluir que a intensificação das enchentes decorreu da interação entre processos climáticos e transformações antrópicas no território, destacando-se a necessidade de políticas integradas de adaptação climática.

Palavras-chave: Eventos hidrológicos, Inundações Região Metropolitana de São Paulo, Análise espacial

ABSTRACT

Impacts of climate change on flooding in the Alto Tietê River Watershed: a georeferenced analysis.

Climate change, characterized as long-term alterations in temperature and precipitation patterns, has emerged as one of the major contemporary environmental challenges. This study aimed to analyze how climate variability intensifies the occurrence of floods in the Alto Tietê Watershed. To achieve this, climatic, hydrological, and spatial data were integrated using a Geographic Information System (GIS). The methodology employed was based on the processing of precipitation, temperature, and relative humidity data for the years 2002 to 2022, as well as the analysis of land use and land cover at five-year intervals. In addition, flood vulnerability analyses were conducted using quantitative and geospatial data. The results revealed an increase in the frequency and intensity of extreme precipitation events, particularly in urbanized areas characterized by high levels of soil impermeabilization and reduced vegetation cover, which intensify susceptibility to flooding. Thus, it was possible to conclude that the intensification of flood events results from the interaction between climatic processes and anthropogenic transformations in the territory, highlighting the need for integrated climate adaptation policies.

Keywords: Hydrological events, Floods, São Paulo Metropolitan Region, Spatial analysis

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 JUSTIFICATIVA	10
3 OBJETIVOS	10
3.1 Objetivo geral	10
3.2 Objetivos específicos	11
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
4.1 Mudanças Climáticas e os impactos na precipitação	11
4.2 Geotecnologias no monitoramento de enchentes	12
5 METODOLOGIA	13
5.1 Área de estudo	13
5.2 Dados	14
5.3 Procedimento metodológico	15
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
6.1 Análise quantitativa - Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação	16
6.2 Análise Geoespacial - mudanças de uso e cobertura da terra e suscetibilidade a inundação	19
6.3 Análise Geoespacial – temperatura e precipitação	25
7. CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas vêm sendo reconhecidas como um dos principais desafios ambientais e sociais do século XXI. Segundo a Organização das Nações Unidas as mudanças climáticas são alterações a longo prazo nos padrões de clima. Essas alterações podem ocorrer por causas naturais, como variações nos ciclos solares, ou serem intensificadas por atividades humanas, especialmente pela emissão de gases de efeito estufa. (NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL, 2023).

Nos últimos anos, evidenciou-se que os efeitos das mudanças climáticas têm se intensificado, resultando em alterações no regime de chuvas, aumento da frequência de eventos climáticos extremos e maior incidência de desastres naturais. Dentre esses eventos, as enchentes urbanas têm se tornado cada vez mais comuns, especialmente em regiões densamente povoadas e com infraestrutura inadequada. Além disso, a mudança climática tornou-se um tópico de grande visibilidade pública e ocupa um espaço considerável nas agendas ambientais, políticas e sociais em todo o mundo. No contexto dos recursos hídricos, a mudança climática está alterando significativamente o ciclo hidrológico, adicionando uma incerteza significativa à disponibilidade hídrica em diversas regiões do planeta.

A disponibilidade hídrica no Brasil é significativamente influenciada pelas condições climáticas. O ciclo anual das chuvas e das vazões no país varia entre as diferentes bacias hidrográficas, devido às variações interanuais do clima, associada aos fenômenos de El Niño, La Niña, ou à variabilidade na temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical e Sul que podem gerar anomalias climáticas (Marengo & Silva Dias, 2006; Marengo et al., 2008).

O fenômeno do El Niño e La Niña é composto por anomalias de temperatura nas águas do Oceano Pacífico Equatorial, que afetam os padrões climáticos globais. O El Niño é caracterizado pelo aquecimento das águas, provocando secas no Norte e Nordeste do Brasil e chuvas intensas no Sul. Enquanto, o La Niña, é marcado pelo resfriamento, que causa o efeito oposto nessas regiões, ou seja chuvas no Norte e Nordeste e estiagens no Sul (GRIMM et al, 1998). Estudos recentes indicam que as mudanças climáticas estão tornando esses eventos mais frequentes e intensos. Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o aquecimento global aumentou a probabilidade de chuvas extremas no Sul do Brasil durante o El Niño. Além disso, há evidências de que o aumento das temperaturas globais influencia a

duração e a transição entre os fenômenos, tornando o clima mais imprevisível e os eventos hidrológicos extremos mais recorrentes (PIVETTA, 2024).

Ademais, o Brasil já enfrenta os impactos da mudança climática em seus recursos hídricos. Pesquisas apontam maior frequência da ocorrência desses impactos negativos em diferentes setores hídricos no Brasil. Segundo a Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA), em 2022 mais de 1,5 milhão de pessoas foram afetadas por cheias (alagamentos, enxurradas e inundações) no Brasil. Todavia, cerca de 7 milhões de pessoas foram afetadas por secas e estiagens (fenômenos mais passageiros), onde aproximadamente metade encontram-se situadas no Nordeste, região que contabilizou 45% dos registros desse tipo de fenômeno no País.

De acordo com o Censo Demográfico de 2022, realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) do total de 203,1 milhões de pessoas que vivem no país, 177,5 milhões (87,4%) residem em áreas urbanas, enquanto 25,6 milhões (12,6%) situam-se em áreas rurais. Em comparação ao Censo Demográfico de 2010, quando o grau de urbanização era de 84,4%, houve aumento de 16,6 milhões de pessoas morando em áreas urbanas e queda de 4,3 milhões vivendo em áreas rurais. Deste modo, o acelerado crescimento urbano tem criado espaços fragmentados e desordenados com ampla segregação espacial, agravando a desigualdade social e uso indiscriminado dos recursos naturais como água e solo. Como consequência, um dos maiores problemas enfrentados pelas cidades brasileiras é a ocorrência de inundações ou enchentes, que provocam grandes prejuízos financeiros e também resultam perdas humanas, esses impactos se apresentam em forma imediata, como nos casos de afogamento, ou indireta, por meio do aumento de doenças infectocontagiosas decorrentes do contato com águas contaminadas.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) trata-se da área mais densamente ocupada do país, onde cerca de 21,6% da população brasileira reside no estado. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), a capital paulista e seus municípios vizinhos vêm enfrentando, de forma recorrente, episódios de enchentes e inundações severas, resultante dos efeitos de eventos extremos. Em 2023, O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) registrou no Brasil um número recorde de desastres hidrológicos e geohidrológicos, totalizando em 1.161 eventos, dos quais 716 foram associados a fenômenos hidrológicos, onde as regiões Sudeste do país foram as mais afetadas.

Desta maneira, evidencia-se que a intensificação dos eventos climáticos extremos, como as chuvas intensas, está diretamente relacionada às mudanças climáticas em curso, sendo potencializada por fatores estruturais e sociais, que incidem no conjunto urbano e sobretudo nas áreas ocupadas pela população de baixa renda. Diante desse cenário, a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, que abrange a Região Metropolitana de São Paulo, tem sido fortemente impactada por enchentes e inundações recorrentes. Esses eventos evidenciam como as mudanças climáticas, associadas à urbanização desordenada, intensificam a vulnerabilidade socioambiental da região.

2 JUSTIFICATIVA

A intensificação dos eventos hidrológicos extremos, como enchentes em zonas urbanas, evidencia um fenômeno recorrente no contexto das mudanças climáticas. A expansão urbana desordenada, associada à impermeabilização do solo e infraestrutura deficiente agrava significativamente a frequência e a intensidade das inundações, afetando principalmente comunidades socialmente vulneráveis. Dessa forma, torna-se essencial aprofundar a compreensão sobre os impactos em territórios densamente ocupados, como a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Nesse contexto, a utilização de geotecnologias, possibilita uma análise espacial detalhada que contribui para identificar áreas de risco e aprimorar a gestão dos recursos hídricos frente aos desafios impostos pelas alterações climáticas. Portanto, o presente estudo busca aprofundar o conhecimento acerca das relações entre as mudanças climáticas e a intensificação de enchentes na área de estudo.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo analisar os impactos das mudanças climáticas na intensificação das enchentes na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, por meio de uma abordagem de sistema de informação geográfica (SIG) que integre dados climáticos, hidrológicos e espaciais. Tendo em vista, que a área de estudo abrange uma das regiões mais urbanizadas e populosas do Brasil, a qual vem enfrentando recorrentes problemas relacionados às enchentes, tornando-se fundamental analisar e compreender sua relação com as mudanças climáticas.

3.2 Objetivos específicos

- Analisar a variação dos padrões hidrometeorológicos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê no período de 2002 a 2022.
- Mapear as áreas suscetíveis a enchentes, considerando características como uso e ocupação do solo, elevação e fluxo acumulado.
- Correlacionar, com base em mapas de ilha de calor e precipitação, se essas variáveis estão contribuindo para a intensificação dos eventos extremos de enchentes na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Mudanças Climáticas e os impactos na precipitação

O aquecimento global tem provocado alterações significativas no ciclo hidrológico brasileiro, gerando impactos diretos na variabilidade de chuvas, na ocorrência de eventos extremos e na disponibilidade de água nas principais bacias hidrográficas do país. As mudanças climáticas exercem influência mensurável sobre o ciclo hidrológico no Brasil, refletindo no aumento da variabilidade pluviométrica, na maior frequência de eventos extremos e em alterações projetadas nas vazões de diversas bacias hidrográficas. Além disso, algumas regiões podem enfrentar redução de disponibilidade hídrica e intensificação de secas, enquanto outras tendem a registrar episódios mais recorrentes de chuvas intensas e enchentes (MARENGO, 2008).

Conforme Ferreira e Oliveira (2025), analisar a tendência de eventos de precipitação intensa no Sudeste do Brasil é fundamental, pois as mudanças climáticas vêm alterando de forma significativa os padrões pluviométricos da região. Além disso, o Sudeste apresenta elevada variabilidade e imprevisibilidade atmosférica, o que gera incertezas nas projeções climáticas e reforça a necessidade de estudos contínuos e em múltiplas escalas. O estudo sobre a tendência dos eventos de precipitação intensa no Sudeste realizado por Holender e Santos (2023), adotou uma metodologia com base em dados diários de precipitação provenientes da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), abrangendo o período de 1978 a 2017 e contemplando 454 estações distribuídas em Minas Gerais, Rio de Janeiro e no centro-leste do estado de São Paulo, assim evidenciando a relevância do levantamento quantitativo para avaliar mudanças climáticas. Em síntese, os resultados apontaram que as

tendências de precipitação intensa no Sudeste brasileiro apresentam caráter heterogêneo, sem seguir um padrão espacial uniforme, revelando simultaneamente áreas com intensificação e com redução de eventos extremos ao longo das quatro décadas avaliadas. Além disso, observou-se que a variabilidade climática permanece elevada e que o verão continua sendo a estação mais propícia à ocorrência de chuvas intensas. Diante desse cenário, os autores destacam a relevância do aprimoramento do planejamento urbano, da prevenção de desastres e das estratégias de adaptação climática, reforçando a necessidade de ampliar investigações regionais que considerem a complexidade espacial das precipitações extremas no Sudeste do Brasil (HOLENDER B. e SANTOS, E. 2023).

4.2 Geotecnologias no monitoramento de enchentes

A metodologia com base em geotecnologia para avaliar enchente em contexto de mudanças climáticas, consiste na coleta de dados pluviométricos de diferentes estações e na aplicação de análise geoespacial para identificar padrões espaciais e temporais de precipitação, utilizando mapas e comparação entre áreas. A análise geoespacial permite visualizar a distribuição das chuvas e reconhecer regiões mais suscetíveis a variações climáticas. Portanto, essa abordagem é essencial para compreender tendências climáticas e subsidiar ações de gestão ambiental e planejamento territorial (PIAZZA, G. A. et al., 2016)

O avanço da urbanização e a intensificação da ocupação do solo em áreas de drenagem têm provocado alterações significativas no escoamento superficial, ampliando a ocorrência de inundações urbanas. Esse cenário evidencia a necessidade de empregar dados espaciais detalhados, tais como informações de elevação, uso e ocupação do solo e rede de drenagem, a fim de subsidiar uma modelagem hidrológica mais precisa. No estudo Aplicação de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para modelagem de eventos críticos de vazão em uma microbacia urbana, realizado por Felizador (2016), foram adquiridos dados relativos à morfometria do terreno, cobertura e uso do solo, além da infraestrutura de drenagem, os quais foram integrados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). A partir dessa base integrada, procedeu-se à modelagem de cenários de precipitação e escoamento para estimar vazões críticas, utilizando um único software capaz de abranger desde o pré-processamento de imagens de satélite até a geração de modelos tridimensionais de inundações. De modo geral, os resultados evidenciaram que, mesmo em uma microbacia de dimensões reduzidas, há variação expressiva nas taxas de infiltração e nos parâmetros de escoamento, demonstrando a importância de utilizar dados locais e específicos na modelagem

hidrológica. A integração dos dados permitiu simular diferentes cenários de vazão e inundação urbana com base na configuração atual do uso do solo e nos elementos da rede de drenagem, revelando que a urbanização desordenada exerce influência direta sobre os regimes de escoamento superficial. Dessa forma, o emprego de SIG mostrou-se eficaz para a modelagem integrada de informações espaciais e hidrológicas, bem como para a elaboração de cenários de inundação em ambientes urbanos (FELIZARDO, 2016).

5 METODOLOGIA

5.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BAT) encontra-se localizada na região sudeste do estado de São Paulo, e corresponde a uma área drenada pelo rio Tietê, desde sua nascente localizada no município de Salesópolis, até a Barragem de Rasgão, em Pirapora do Bom Jesus (Figura 1).

Segundo o Comitê de Bacias Hidrográficas do Alto Tietê, a bacia possui área de drenagem de 5.775,12km², que abrange a Região Metropolitana de São Paulo e outros 40 municípios. Cerca de 70% da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê está situada na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), principal polo econômico do país, responsável por cerca de 15% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Em 2016 a região abrigava uma população estimada em aproximadamente 20,6 milhões de habitantes. Dessa forma, devido a intensa urbanização e a concentração de atividades industriais em seu entorno, a gestão dos recursos hídricos da região tornou-se particularmente complexa.

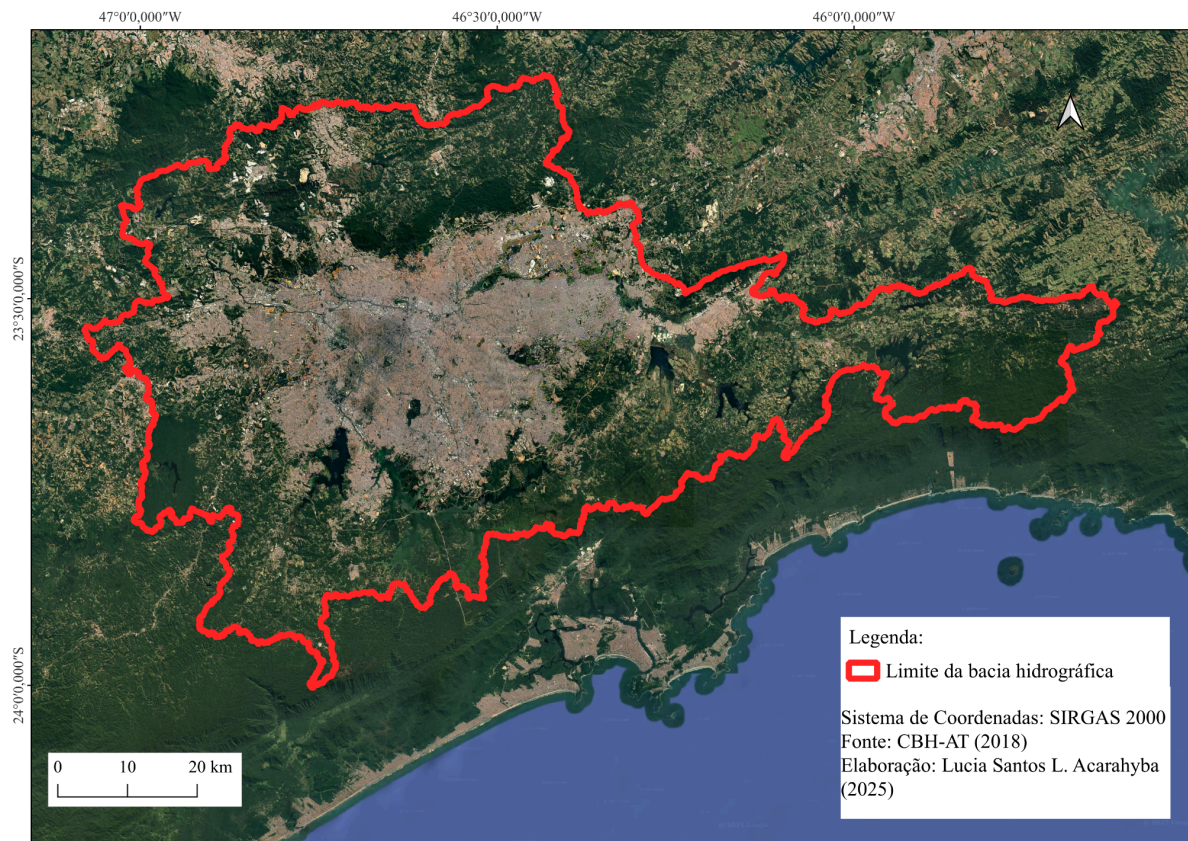


Figura 1: Mapa de delimitação da área de estudo

5.2 Dados

Para alcançar o objetivo do presente trabalho e compreender os impactos das mudanças climáticas na ocorrência de enchentes na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, foram utilizados dados de diferentes fontes governamentais, dentre elas Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Além disso, a metodologia adotada considerou dados em um período de 20 anos sendo de 2002 a 2022, com intervalos de avaliação a cada cinco anos.

A delimitação da bacia foi obtida a partir dos dados disponibilizados pelo Comitê de Bacias Hidrográficas do Alto Tietê (2018), que fornecem o recorte oficial da área de estudo, garantindo coerência com os limites adotados em políticas públicas e instrumentos de gestão hídrica.

A obtenção de dados quantitativos de temperatura, umidade relativa e precipitação foram provenientes das estações meteorológicas São Paulo - Mirante de Santana (83781), Guarulhos - Aeroporto (83778), São Paulo - Aeroporto (83780) e Marte - Aeroporto (83779) que

disponibilizam dados diários desses parâmetros, e todas as informações foram fornecidas pelo INMET.

No que refere-se aos dados de uso e ocupação do solo dos anos de 2022, 2017, 2012, 2007 e 2002 da área de estudo, os mesmos foram adquiridos a partir das coleções do MapBiomas, o qual disponibiliza mapeamentos anuais da cobertura e uso do território brasileiro por meio imagens do satélite Landsat, com resolução de 30 metros (MAPBIOMAS, 2025).

Para obtenção do mapa de suscetibilidade a inundação utilizou o Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pelo INPE no Catálogo de Dados Geográficos (Topodata), sendo utilizadas as cartas 23S 48 e 23S 465, que corresponde a área de estudo.

5.3 Procedimento metodológico

A fim de analisar de forma aprofundada a área de estudo, a metodologia estruturou-se em duas vertentes, sendo uma análise quantitativa que possui um papel fundamental na compreensão dos padrões climáticos e hidrológicos da região, permitindo identificar variações temporais.

A etapa inicial do estudo, consistiu na obtenção de dados quantitativos provenientes das estações meteorológicas Mirante de Santana, Guarulhos, Aeroporto e Marte, fornecidas pelo INMET. A partir do levantamento e tratamento dos dados meteorológicos, adquiriu-se as médias anuais de temperatura e umidade relativa do ar, além da precipitação acumulada. Essa etapa teve como objetivo estabelecer o padrão hidrometeorológico da região, servindo de base para as análises integradas dos dados.

Em seguida, a metodologia propôs o mapeamento das áreas suscetíveis a inundação dentro da bacia hidrográfica do Alto Tietê, por meio do modelo HAND (Height Above the Nearest Drainage), desenvolvido pelo INPE em parceria com o CEMADEN. O modelo HAND tem como princípio classificar as áreas suscetíveis à inundação e indicar a altura de uma determinada localização geográfica, ao invés do nível do mar. Deste modo, o algoritmo HAND define como referência a altura relativa da rede de drenagem mais próxima (NOBRE et al., 2011). O processamento foi feito a partir do MDE disponibilizado pelo Topodata, sendo utilizado as cartas 23S 48 e 23S 465, que abrange a área de estudo. Dessa forma, a partir do raster HAND gerado pelo software, foi possível com o auxílio do QGIS (Sistema de Informações Geográficas Quantum em Português), reclassificar e determinar os níveis de

suscetibilidade à inundação da região, utilizando as classes definidas pelo modelo HAND, que categoriza áreas em: Muito Alta (0–1 m), Alta (1–5 m), Média (5–10 m), Baixa (10–25 m) e Muito Baixa (25–100 m), considerando que valores menores indicam maior propensão à inundação.

Como etapa final, foi desenvolvido os mapas de temperatura e precipitação a partir das estações meteorológicas São Paulo - Mirante de Santana, Guarulhos - Aeroporto, São Paulo - Aeroporto e Marte – Aeroporto que possuem dados históricos de 2002 a 2022, e da estação Barueri (A755) que possui registros a partir de 2012. Os dados obtidos pelo INMET, foram utilizados para calcular a média de temperatura e o acumulado de precipitação para cada estação para os respectivos anos de 2022, 2017, 2012, 2007 e 2002. Por meio desses valores, realizou-se uma interpolação Inverse Distance Weighting (IDW) com auxílio QGIS. Os Interpoladores do tipo IDW, baseiam-se em um método que atribui pesos inversamente proporcionais à distância dos pontos conhecidos. Assim os pontos interpolados são mais influenciados pelos pontos mais próximos e menos afetados pelos pontos mais distantes (BORGES 2016). Essa representação teve como propósito analisar se os episódios de precipitação elevadas podem estar associados a temperaturas mais altas, verificando assim a influência da intensificação dos eventos extremos de enchentes.

De modo geral, a metodologia adotada buscou integrar diferentes dimensões analíticas combinando dados hidrometeorológicos e geoespaciais, com o propósito de analisar a relação entre mudanças climáticas e eventos extremos de enchentes no local de estudo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise quantitativa - Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação

A temperatura é um dos principais indicadores das mudanças climáticas, pois reflete o balanço energético da Terra e permite identificar tendências de aquecimento global (INPE, 2024). Além disso, a alteração das temperaturas médias influencia o ciclo hidrológico, alterando padrões de precipitação.

A análise das variáveis climáticas obtidas nas estações meteorológicas do INMET, evidenciaram oscilações significativas entre os anos de 2002 e 2022, refletindo a variabilidade do regime climático na Região Metropolitana de São Paulo (Figura 2).

De acordo com os registros do INMET (2023), em São Paulo a temperatura média é de 20,40 °C. Contudo, constata-se que esse valor diverge em alguns anos, porém a temperatura média da região tende a se manter estável entre 21 e 22°C (Figura 2).

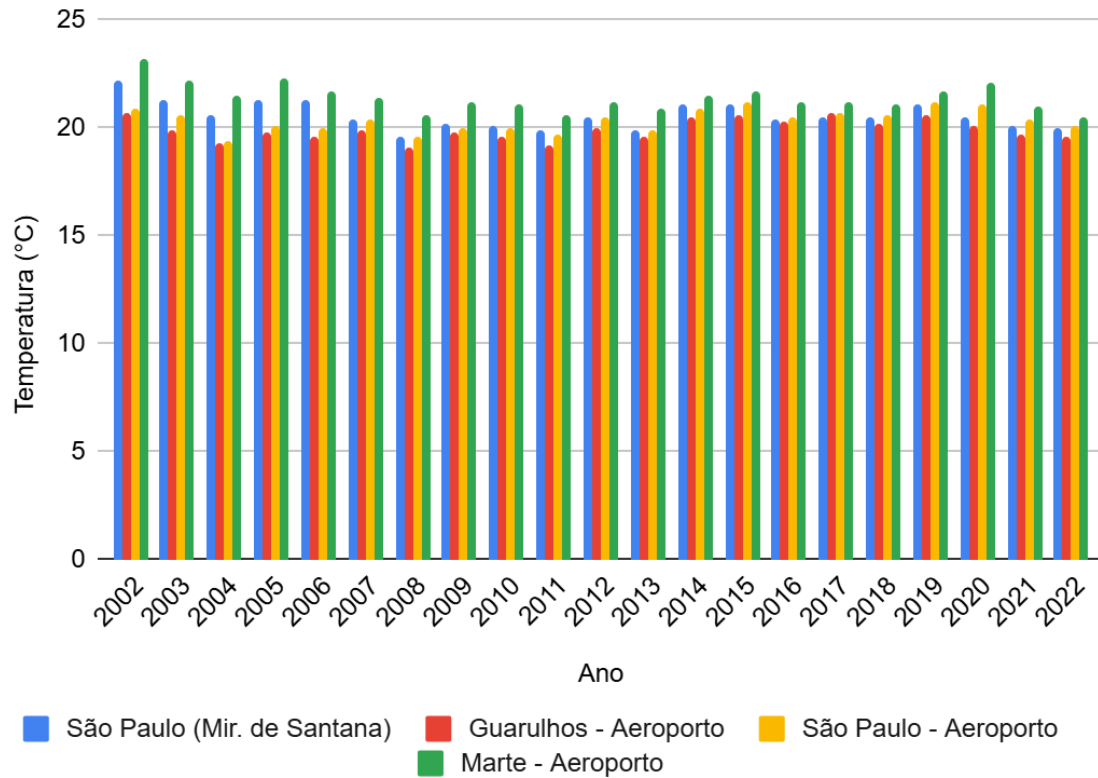


Figura 2: Temperatura média anual 2002 a 2022 na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

Segundo a ANA (2020), a média anual de precipitação no Brasil é de 1.760 mm, entretanto, esse valor varia conforme as regiões que se situa. A Figura 3, evidencia que São Paulo (Mirante de Santana) tende a registrar precipitação anual ligeiramente superior, isso pode decorrer da influência da urbanização e da topografia local na dinâmica de chuvas.

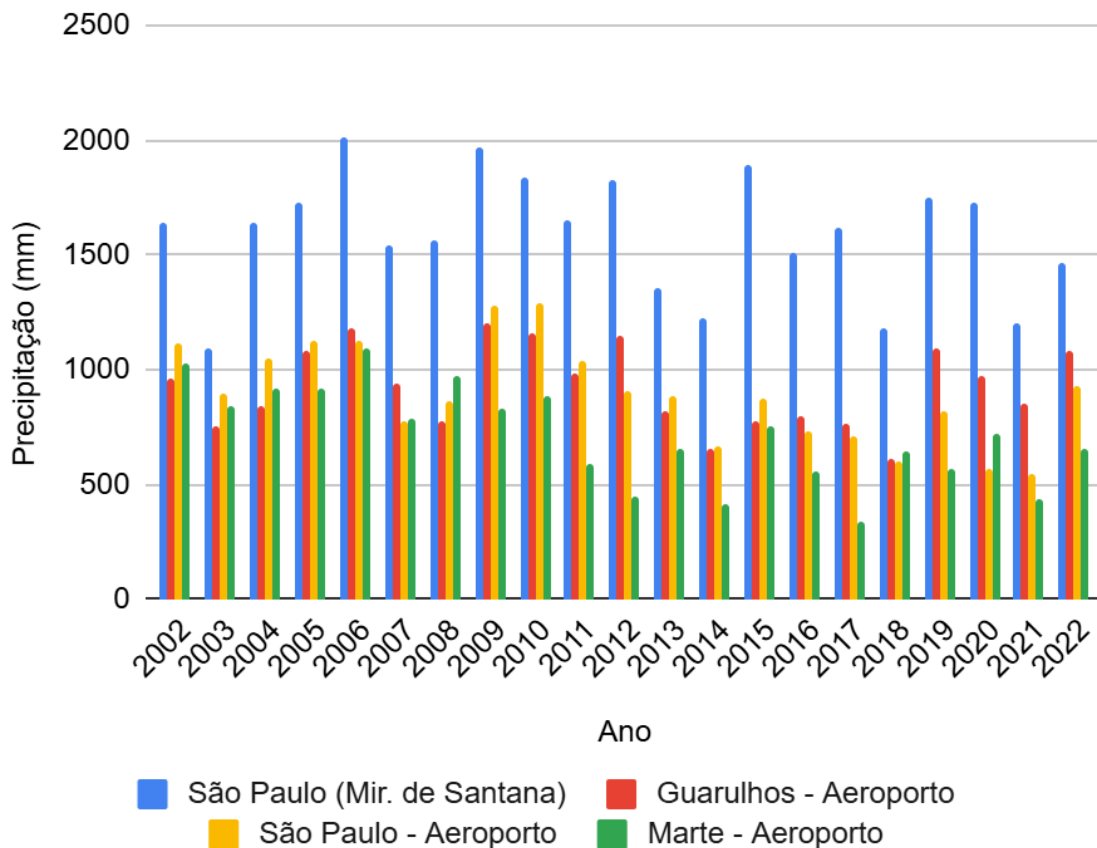


Figura 3: Precipitação acumulada anual 2002 a 2022 na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

De modo geral, observa-se que a precipitação anual na área de estudo ultrapassa a média nacional, destacando-se os eventos de maiores volumes registrados pela estação meteorológica do Mirante de Santana (Figura 3). Onde os valores mais expressivos ocorreram em 2006 (2009,3 mm) e em 2009 (1964,4 mm).

A umidade relativa do ar é um importante parâmetro meteorológico para avaliar a estabilidade atmosférica e a formação de nuvens, sendo fundamental para a previsão e compreensão dos regimes de chuva.

Identificou-se que os anos de temperaturas acima da média coincidem com menores índices de umidade relativa e, em diversos casos, com redução dos volumes pluviométricos, como verificado em 2014, 2016 e 2019 (Figura 4). Entretanto, anos com maior umidade relativa estiveram associados a aumentos expressivos na precipitação anual, como em 2006, 2009 e 2015, caracterizando a atuação de sistemas convectivos intensos e uma atmosfera mais instável.

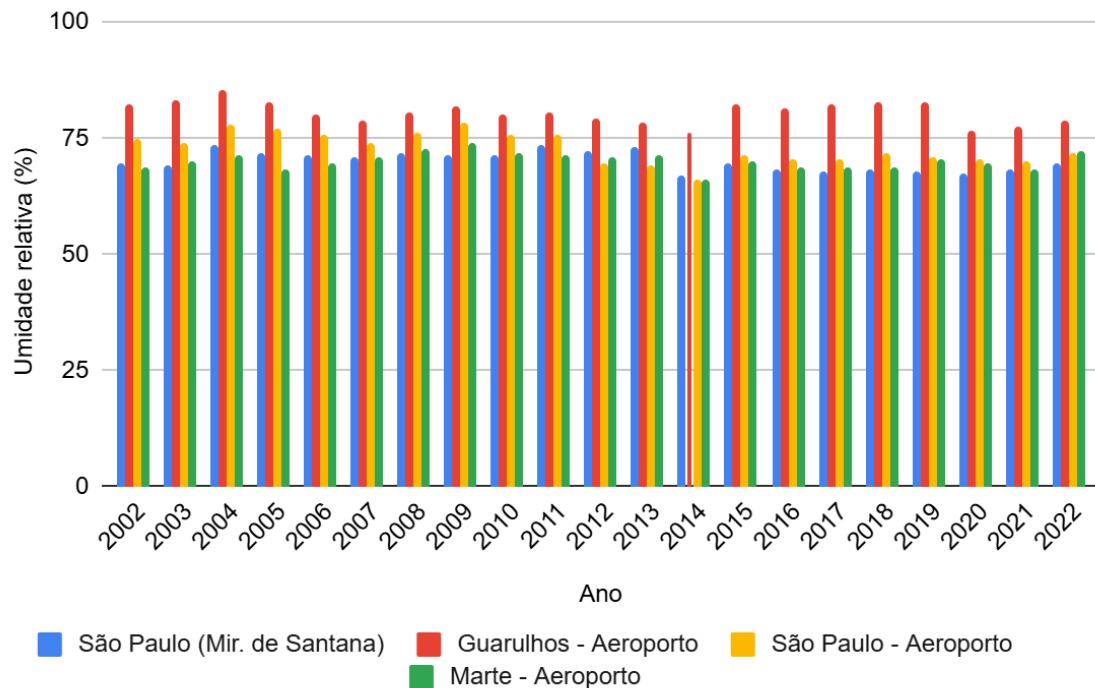


Figura 4: Umidade relativa do ar média anual 2002 a 2022 na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

Sendo assim, os resultados indicam que a interação entre aquecimento atmosférico e disponibilidade hídrica exerce papel importante na formação de eventos extremos. O aumento da temperatura média, associado à redução da umidade relativa em determinados períodos, intensifica o processo de evapotranspiração e a instabilidade, condições que podem resultar em chuvas concentradas e de alta intensidade.

6.2 Análise Geoespacial - mudanças de uso e cobertura da terra e suscetibilidade a inundação

Com base nos resultados obtidos, observa-se que a Bacia do Alto Tietê é densamente urbanizada, concentrando grande parte da Região Metropolitana de São Paulo (Figura 5).

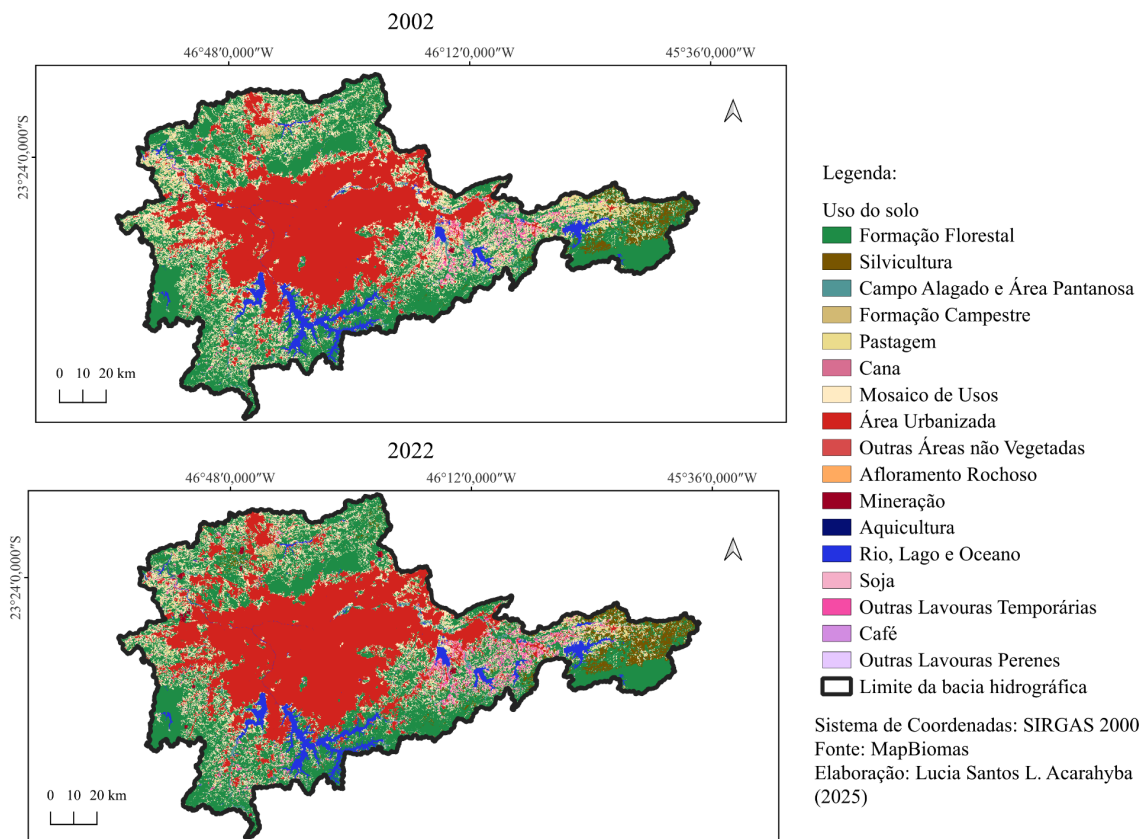


Figura 5: Mapa de uso e ocupação do solo 2002 e 2022 na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

Ao analisar a evolução do uso e ocupação do solo da Bacia hidrográfica do Alto Tietê entre 2002 e 2022 (Tabela 1), foi evidenciada mudanças significativas na cobertura terrestre do local, notando-se que a formação florestal, embora predominante, apresentou leve declínio, passando de 2.214,46 km² em 2002 para 2.143,08 km² em 2022, indicando uma perda gradual de cobertura natural. Ressalta que embora a perda de formação florestal entre 2002 e 2022 pareça pequena em termos numéricos, ela representa um impacto ambiental significativo. A redução da cobertura vegetal afeta diretamente a dinâmica da bacia, diminuindo a infiltração, aumentando o escoamento superficial e intensificando processos erosivos, o que compromete a regulação hidrológica natural. Além disso, a supressão de vegetação nativa contribui para a fragmentação de habitats e perda de biodiversidade, agravando a vulnerabilidade ambiental da Bacia do Alto Tietê (LIMA et al, 2012)

Além disso, a área urbanizada apresentou crescimento contínuo de 1.780,31 km² em 2002 para 2.009,58 km² em 2022, representando um aumento de aproximadamente 12% ao longo do tempo (Tabela 1). Destaca-se que uma bacia urbanizada pode apresentar de 5 a 20 vezes menor tempo de resposta hidrológica em comparação à bacia natural (SANTOS, et al. 2007).

Tabela 1: Variação do uso e cobertura do solo

Tipo de uso do solo	Área (KM2)					Taxa de mudança do uso do solo 2002-2022 (%)
	2002	2007	2012	2017	2022	
Formação Florestal	2.214,5	2.170,7	2.176,9	2.169,9	2.143,1	-3,2
Silvicultura	117,5	153,2	175,9	189,0	198,0	68,5
Campo Alagado e Área Pantanosa	52,4	45,0	48,6	51,7	54,7	4,5
Formação Campestre	34,3	30,7	27,4	24,2	20,4	-40,4
Pastagem	177,1	133,2	96,5	109,4	94,9	-46,4
Cana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-18,3
Mosaico de Usos	1.084,1	1.051,8	992,5	909,5	869,3	-19,8
Área Urbanizada	1.780,3	1.825,1	1.881,4	1.939,4	2.009,6	12,9
Outras Áreas não Vegetadas	21,0	19,0	19,1	19,7	17,3	-17,5
Afloramento Rochoso	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	** ₁
Mineração	5,7	6,3	7,0	7,1	13,8	140,8
Aquicultura	0,0	0,0	0,2	0,2	13,8	** ₁
Rio, Lago e Oceano	213,2	223,9	222,7	219,9	217,9	2,2
Soja	6,7	3,9	2,5	5,7	5,8	-13,4
Outras Lavouras Temporárias	67,4	111,5	123,7	128,6	129,5	92,3
Café	0,9	0,7	0,6	0,7	0,8	-14,6
Outras Lavouras Perenes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	259,3
Nota: ** Os valores correspondentes à classe de uso do solo não foram quantificados por apresentarem área inferior ao limite mínimo de detecção. Além disso, esse tipo de uso só aparece mapeado em 2022, não havendo registros nos anos anteriores, inviabilizando a comparação temporal.						

Em síntese, os dados indicam que a Bacia do Alto Tietê passou por transformações significativas na cobertura do solo, com predominância da urbanização e diminuição de áreas naturais, enquanto alguns usos agrícolas e industriais se expandiram, porém não de forma significativa. Essas alterações modificam o equilíbrio hidrológico regional, aumentando a vulnerabilidade a eventos extremos de precipitação.

Os dados demonstram que a maior parte da bacia permanece na classe de suscetibilidade muito baixa (Tabela 2), todavia observa-se que áreas com maior grau de suscetibilidade, ainda que restritas em extensão, localiza-se próxima a rios e córregos, sendo regiões onde concentram grande polos urbanizados da bacia (Figura 6). Essa proximidade aumenta a exposição da população a eventos de inundação, pois áreas densamente ocupadas junto a corpos hídricos sofrem impactos diretos.

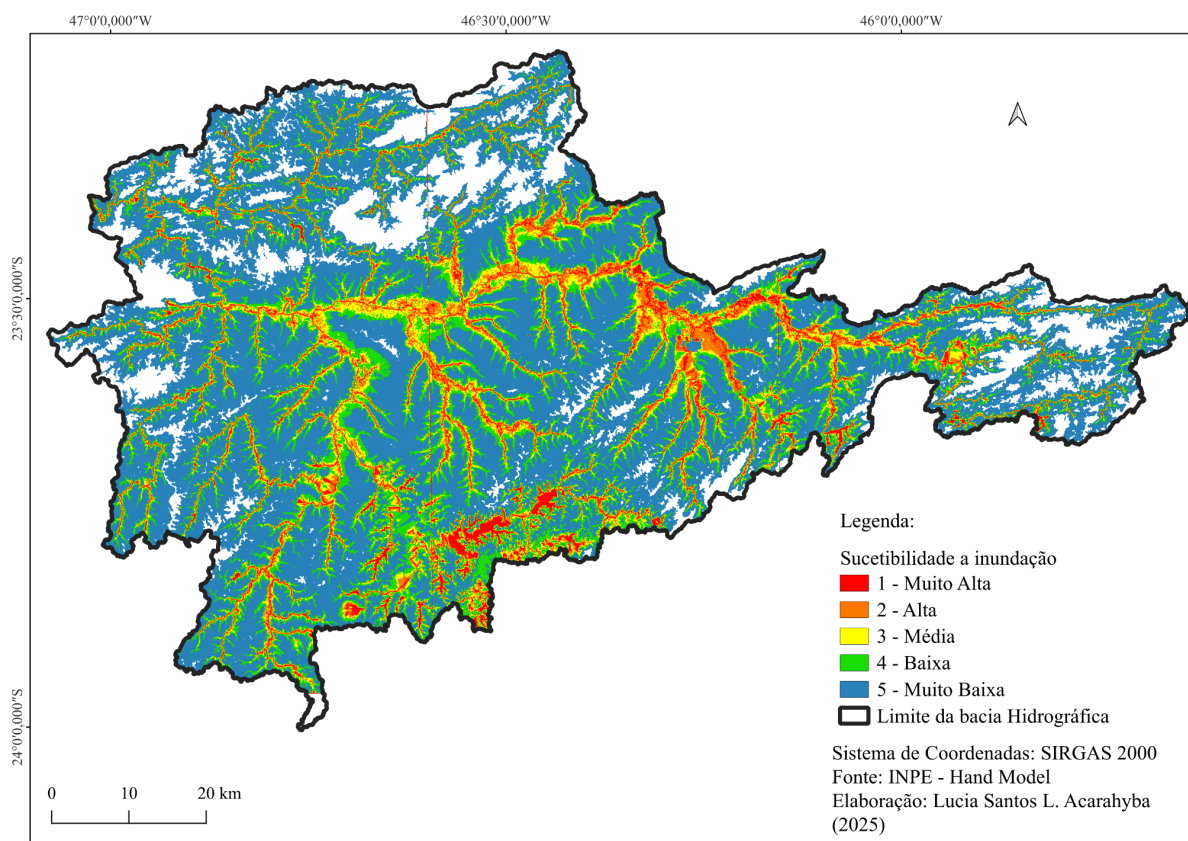


Figura 6: Mapa de áreas de suscetíveis a inundação na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

Tabela 2: Área total das classes de suscetibilidade a inundação na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

Classes de suscetibilidade	Área (KM2)
1 - Muito Alta	216,1
2 - Alta	363,6
3 - Média	372,6
4 - Baixa	954,0
5 - Muito Baixa	3105,7

As tabelas 3 a 7 representam a porcentagem de cada tipo de uso do solo que está presente em cada classe de suscetibilidade, assim observando-se quais usos do solo predominam nas áreas mais suscetíveis a inundação. Em 2002, observa-se que as classes muito alta e alta de suscetibilidade são dominadas por Campos Alagados e Áreas Pantanosas (38,85% e 43,17% respectivamente), além da forte presença de corpos hídricos, representando cerca de 24% em ambas (Tabela 3). Esses dados confirmam que as porções mais vulneráveis da bacia correspondem às regiões mais próximas à rede de drenagem, áreas que são naturalmente sujeitas à saturação e extravasamento.

Tabela 3: Distribuição percentual dos tipos de uso do solo por classe de suscetibilidade a inundação - 2002

Classes de Suscetibilidade à Inundação	Formação Florestal (%)	Silvicultura (%)	Campo Alagado e Área Pantanos a (%)	Formação Campestre (%)	Pastagem (%)	Mosaico de Usos (%)	Área Urbanizada (%)	Rio, Lago e Oceano (%)	Outros Usos (%)
1 - Muito Alta	2,07	0,19	38,85	4,09	1,33	4,35	3,14	24,15	9,27
2 - Alta	3,46	0,38	43,17	5,44	2,95	7,13	8,16	24,19	13,98
3 - Média	4,48	0,82	10,51	4,58	4,25	7,23	9,23	20,73	9,01
4 - Baixa	15,03	5,89	6,16	11,95	18,29	21,68	21,62	25,4	21,19
5 - Muito Baixa	74,96	92,72	1,32	73,94	73,19	59,6	57,85	5,54	46,56

No ano de 2007, os padrões mantêm-se consistentes com os observados em 2002 (Tabela 4). No entanto, nota-se um aumento discreto da urbanização nas classes médias e baixas de suscetibilidade, assim sinalizando o avanço da ocupação humana em direção a áreas com risco potencial. Nos dados de 2012, verifica-se continuidade das tendências anteriores, mas com indícios mais expressivos de alteração na cobertura do solo (Tabela 5).

Tabela 4: Distribuição dos tipos de uso do solo por classe de suscetibilidade a inundação - 2007

Classes de Suscetibilidade à Inundação	Formação Florestal (%)	Silvicultura (%)	Campo Alagado e Área Pantano sa (%)	Formação Campestre (%)	Pastagem (%)	Mosaico de Usos (%)	Área Urbanizada (%)	Rio, Lago e Ocean o (%)	Outros tipos de usos (%)
1 - Muito Alta	2,09	0,26	39,02	4,02	0,97	4,07	3,15	24,6	8,94
2 - Alta	3,49	0,47	43,3	5,74	2,32	6,73	8,12	24,89	13,6
3 - Média	4,54	0,98	10,1	4,63	3,58	6,85	9,17	20,66	9,9
4 - Baixa	15,37	6,31	6,28	11,87	17,37	21,21	21,48	24,74	22,74

5 - Muito Baixa	74,51	91,98	1,3	73,74	75,77	61,14	58,09	5,11	44,82
-----------------	-------	-------	-----	-------	-------	-------	-------	------	-------

Tabela 5: Distribuição dos tipos de uso do solo por classe de suscetibilidade a inundação - 2012

Classes de Suscetibilidade à Inundação	Formação Florestal (%)	Silvicultura (%)	Campo Alagado e Área Pantanosa (%)	Formação Campestre (%)	Pastagem (%)	Mosaico de Usos (%)	Área Urbanizada (%)	Rio, Lago e Oceano (%)	Outros tipos de usos (%)
1 - Muito Alta	2,18	0,24	38,07	3,66	0,97	3,7	3,18	24,9	8,91
2 - Alta	3,56	0,46	42,62	5,24	2,27	6,34	8,06	25,43	13,45
3 - Média	4,63	0,98	10,24	4,71	3,77	6,66	9,08	20,71	9,9
4 - Baixa	15,68	6,59	7,66	12,18	18,16	21,04	21,38	24,14	22,34
5 - Muito Baixa	73,95	91,73	1,42	74,21	74,82	62,25	58,3	4,82	45,4

Em 2017, as áreas de muito alta suscetibilidade apresentaram leve redução dos valores de Campos Alagados (36,65%), sugerindo maior pressão urbana e ocupação inadequada de margens de rios. As classes de alta suscetibilidade continuam apresentando forte presença de ambientes úmidos e corpos d'água, mantendo a coerência hidrológica observada nos períodos anteriores (Tabela 6). Na tabela 7, as classes de muito alta e alta suscetibilidade seguem dominadas por Campos Alagados e Rios. As classes de menor suscetibilidade mantêm predominância de Formação Florestal e Silvicultura, reforçando assim que a preservação de florestas reduz a vulnerabilidade a enchentes e outros eventos hidrológicos.

Tabela 6: Distribuição dos tipos de uso do solo por classe de suscetibilidade a inundação - 2017

Classes de Suscetibilidade à Inundação	Formação Florestal (%)	Silvicultura (%)	Campo Alagado e Área Pantanosa (%)	Formação Campestre (%)	Pastagem (%)	Mosaico de Usos (%)	Área Urbanizada (%)	Rio, Lago e Oceano (%)	Outros tipos de usos (%)
1 - Muito Alta	2,25	0,25	36,65	2,99	1,17	3,51	3,18	25,27	8,89
2 - Alta	3,68	0,46	42,3	4,74	2,62	5,97	8,02	25,43	13,87
3 - Média	4,77	0,98	10,83	4,06	3,74	6,5	8,99	20,63	10,08
4 - Baixa	15,95	6,74	8,4	11,89	17,38	21,09	21,26	24,03	21,87
5 - Muito Baixa	73,35	91,57	1,82	76,32	75,09	62,92	58,55	4,64	45,3

Tabela 7: Distribuição dos tipos de uso do solo por classe de suscetibilidade a inundações - 2022

Classes de Suscetibilidade à Inundação	Formação Florestal (%)	Silvicultura (%)	Campo Alagado e Área Pantanosa (%)	Formação Campestre (%)	Pastagem (%)	Mosaico de Usos (%)	Área Urbanizada (%)	Rio, Lago e Oceano (%)	Outros tipos de usos (%)
1 - Muito Alta	2,33	0,29	36,74	3,61	0,89	3,72	3,19	24,48	15,91
2 - Alta	3,78	0,5	42,24	4,67	2,14	6,08	7,97	25,01	23,75
3 - Média	4,82	1,06	10,84	3,55	2,8	6,54	8,86	20,76	18,66
4 - Baixa	16,1	6,89	8,17	10,81	15,83	20,9	21,18	24,86	44,08
5 - Muito Baixa	72,96	91,27	2,01	77,37	78,34	62,76	58,8	4,89	100

A avaliação da suscetibilidade a inundações na área de estudo, em conjunto com a análise do uso e ocupação do solo, evidencia mudanças significativas ao longo do período de 2002 a 2022. Além disso, constata-se uma forte expansão urbana e avanço da ocupação sobre áreas mais vulneráveis à inundação próximas aos corpos d'água.

Ademais, o crescimento da área urbanizada e redução da cobertura vegetal ao longo dos períodos analisados, especialmente nas classes de suscetibilidade média e alta, constitui o principal fator de risco para enchentes urbanas, uma vez que a impermeabilização do solo acelera o escoamento superficial e reduz a capacidade de armazenamento hídrico da bacia.

Em resumo, os dados indicam que a Bacia do Alto Tietê passou por transformações significativas na cobertura do solo, com expansão urbana e redução de áreas naturais, aumentando a vulnerabilidade a eventos de inundação.

6.3 Análise Geoespacial – temperatura e precipitação

As Figuras 7 e 8 representam a distribuição espacial da temperatura e precipitação na bacia, demonstrando a relação entre o aumento da temperatura média e a intensificação da precipitação no local. Entre anos de 2002 a 2022 observa-se uma tendência de elevação

gradual da temperatura ao longo da bacia (Figura 7), principalmente nas regiões centrais onde se concentra o maior grau de urbanização do local (ver Figura 5).

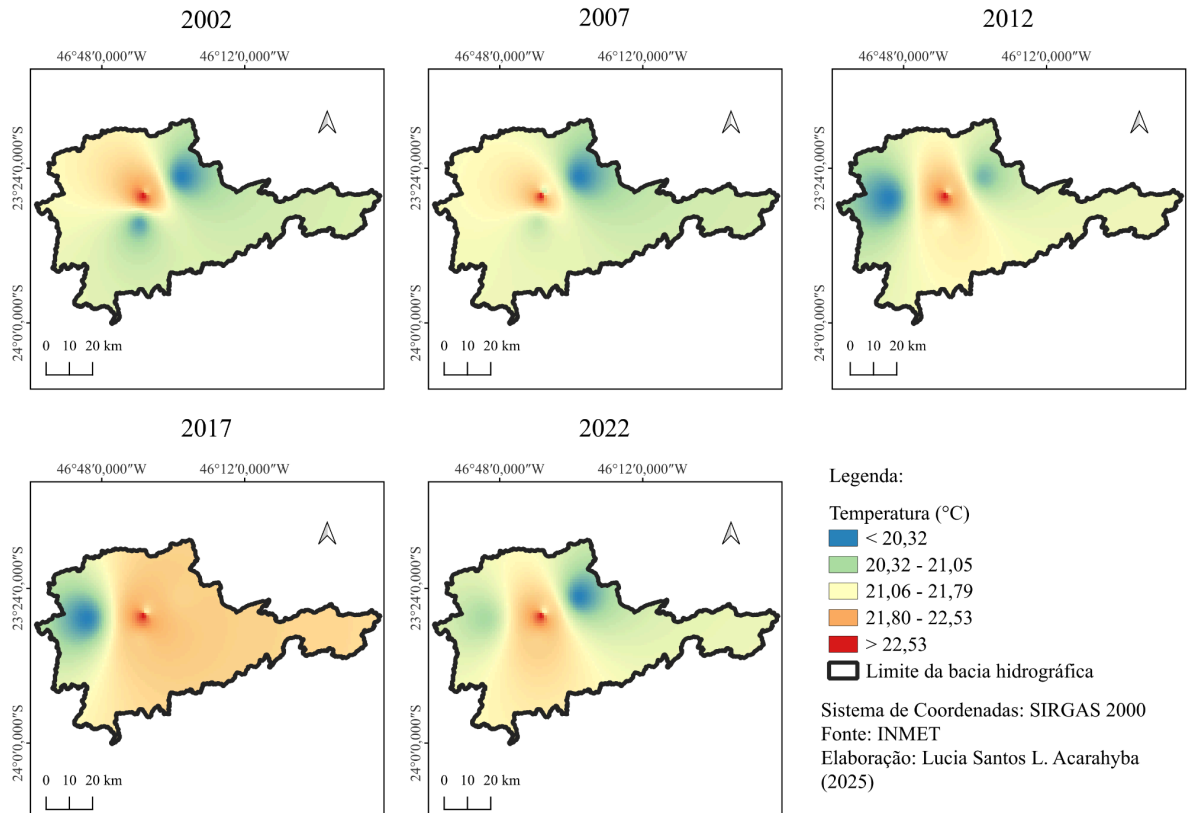


Figura 7: Mapa de temperatura de 2002 a 2022 na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

No período de 2012 a 2022, constata-se um elevado índice de precipitação em toda a área de estudo, com destaque para a região oeste e central da bacia (Figura 8). No que se refere a região oeste, essa concentração de precipitação pode estar relacionada ao fato de se tratar de uma área com elevado grau de formação florestal (ver Figura 5), condição que favorece maior umidade, evapotranspiração e, conseqüentemente, chuvas mais intensas.

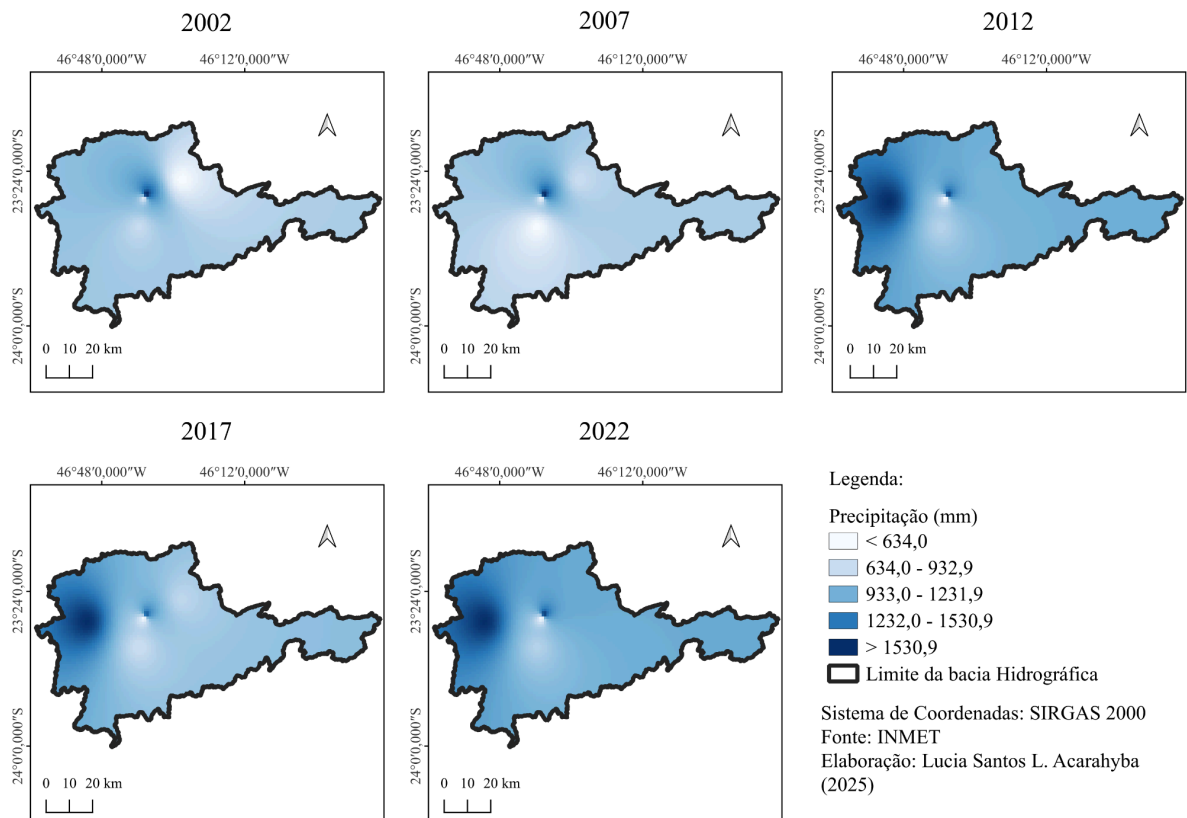


Figura 8: Mapa de precipitação na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

Em síntese, a análise espacial da temperatura e da precipitação entre 2002 a 2022 na bacia do Alto Tietê (Figura 7 e 8), indicam uma relação parcialmente direta entre o aquecimento local e a distribuição de chuvas. Onde apenas no ano de 2007 e 2002, evidenciou uma relação diretamente proporcional que a área com maior temperatura teve ocorrência de elevada precipitação.

Além disso, as regiões com maior cobertura florestal apresentaram maior grau de precipitação conforme mencionado anteriormente, em decorrência de possuírem micro climas mais úmidos, maior evapotranspiração e condições que favorecem a formação de nuvens e a ocorrência de chuva.

Entretanto, observa-se que essas mesmas regiões historicamente associadas a funções ambientais essenciais, estão passando por um processo de urbanização acelerada. A conversão de áreas florestadas em áreas urbanas pode modificar a dinâmica local de precipitação e favorecer a impermeabilização e intensificação de enchentes mesmo em áreas que antes eram amortecedoras naturais.

Portanto, o fato de que as áreas com maior precipitação coincidem com regiões ainda florestadas, mas em processo de expansão urbana, revela uma situação crítica, onde essas áreas, que atuam como zonas de recarga hídrica e regulação do microclima, estão perdendo sua função ambiental ao mesmo tempo em que recebem volumes elevados de chuva. Isso aumenta a vulnerabilidade da bacia, criando um cenário em que urbanização crescente e concentração natural de precipitação passam a coexistir, potencializando riscos hidrológicos.

7. CONCLUSÃO

A intensificação das enchentes na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê está diretamente relacionada tanto às alterações climáticas observadas nas últimas décadas quanto às transformações antrópicas decorrentes da expansão urbana. Além disso, por meio da análise quantitativa dos dados hidrometeorológicos evidenciou variações significativas nos padrões de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação entre 2002 e 2022, indicando tendência de aquecimento e ocorrência de episódios pluviométricos concentrados, características compatíveis com os efeitos regionais das mudanças climáticas. Esses processos alteram as dinâmicas atmosféricas e intensificam eventos extremos, que podem contribuir para a maior frequência e severidade das enchentes na região.

No que se refere aos resultados geoespaciais, os mesmos demonstram que a Bacia do Alto Tietê está passando por profundas mudanças no uso e cobertura do solo, com acentuado crescimento da área urbanizada e redução da cobertura natural. Essas alterações repercutem diretamente sobre o comportamento hidrológico da bacia, aumentando o escoamento superficial, reduzindo a infiltração e ampliando a velocidade de resposta aos eventos de precipitação. Sobretudo ressalta-se, que o estudo revelou que maior suscetibilidade a inundações se concentram predominantemente nas proximidades da rede de drenagem, locais que têm sido progressivamente ocupados, o que eleva a vulnerabilidade socioambiental da população residente.

Ademais, a integração entre as análises hidrometeorológicas e geoespaciais, permitiu identificar a correlação entre o aumento da temperatura média, a intensificação de precipitações em determinados períodos e a expansão urbana acelerada. Esses fatores, combinados, contribuem de maneira significativa para o agravamento dos eventos extremos de enchentes na região. Onde, constatou-se que setores mais urbanizados apresentam maior

aquecimento, e consequentemente registram padrões de precipitação que potencializam o risco de transbordamentos e alagamentos.

Portanto, conclui-se que a intensificação das enchentes na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê resulta da interação entre processos climáticos e transformações no uso e ocupação do solo, reforçando a necessidade de políticas públicas integradas que articulem adaptação às mudanças climáticas, planejamento territorial e gestão ambiental. Além de adoção de estratégias de mitigação, enfatizando a recomposição de mata ciliar constitui uma medida essencial para reduzir a vulnerabilidade da bacia diante da crescente frequência de eventos extremos. Diante desse cenário, torna-se imprescindível o desenvolvimento de estudos mais aprofundados sobre a dinâmica hidrológica regional e a implementação de ações voltadas à conservação como elementos fundamentais para fortalecer a resiliência socioambiental do território

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, L. H.; ZEILHOFER, P. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para avaliação de enchentes urbanas: estudo de caso – Cáceres, MT.** Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.12.13.08/doc/p100.pdf>. Acesso em: 20 maio 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Impacto da mudança climática nos recursos hídricos do Brasil.** Brasília: ANA, 25 jan. 2024. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/31604c98-5bbe-4dc9-845d-998815607b33/attachments/Mudancas_Climaticas_25012024.pdf. Acesso em: 7 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Mudança climática dobrou a probabilidade de ocorrência de chuvas extremas no Sul do Brasil.** Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/06/mudanca-climatica-do-brou-a-probabilidade-de-ocorrencia-de-chuvas-extremas-no-sul-do-brasil>. Acesso em: 7 maio 2025.

CARVALHO, L., JONES, C. e LIEBMANN, B. **Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone.** *Journal of Climate*, 2002 Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/15/17/1520-0442_2002_015_2377_epeiss_2.0.co_2.xml. Acesso em: 4 de novembro de 2025

ALVES, H. **Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepop/a/6LBPFtkP3J5BGsdGLmQRsBg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 7 maio 2025.

DA SILVA, I. H. C. et al. **O uso do sensoriamento remoto por radar para monitoramento de inundações em áreas costeiras tropicais.** Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/153/e1923422ca1fcd3cfc6039101dac8861_1f41eed30ce60c62779a07273076f4e.pdf. Acesso em: 20 maio 2025.

DE OLIVEIRA, Dr Jefferson Nascimento. **Aplicação de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para modelagem de eventos críticos de vazão em uma microbacia urbana.** Disponível em:

<<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/af97d2c5-ed3d-44a4-8fec-6dcf0b777212/content#page19>>. Acesso em: 4 novembro 2025.

ESTADO DE SÃO PAULO. **Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Sumário Executivo.** Sumário executivo elaborado pela Fundação Universidade de São Paulo – USP. São Paulo: [s.d.], cerca de 2023. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7111/pat_sumario_executivo.pdf. Acesso em: 9 maio 2025.

HOLENDER, B; SANTOS, E. **Análise de tendência dos eventos de precipitação intensa no Sudeste do Brasil.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 32, p. 584–606, 2023. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/16411?utm>. Acesso em: 14 de outubro de 2025

MARENGO, J. **Água e mudanças climáticas.** Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 83–96, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/fXZzdm68cnzzt6Khr8zYx3L/?lang=pt>. Acesso em: 13 de outubro de 2025

OLIVEIRA T; FERREIRA C. **Mudanças climáticas e chuvas no sudeste do Brasil: tendências e eventos extremos.** Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/262807/50110>>. Acesso em: 27 setembro 2025.

PEREIRA, R. **Análise espaço temporal de parâmetros de qualidade de água e sua relação com uso e ocupação na bacia do Alto Tietê.** 2016. 105 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2016. Acesso em: 20 maio 2025.

PIAZZA, G. A. et al. **Análise espacial e temporal dos dados de precipitação das estações de entorno da bacia do Ribeirão Concórdia, Lontras (SC), visando sua inserção no contexto de mudanças climáticas.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 4, supl. 1, p. 580–592, 2016. Acesso em: 20 maio 2025.

PIVETTA, M. **Aquecimento global e El Niño aumentaram a frequência e a intensidade da chuva que caiu no Rio Grande do Sul.** [S.l.: s.n.].Disponível em:https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2024/06/044-045_atribuicao-chuvas_341-1.pdf. Acesso em: 10 maio 2025.

POLYCARPO, J. S. M.; MENDES, I. DE S.; CORREA, M. M.; MERCANTE, E.; MOURA, A. E. S. S. DE; ROLIM NETO, F. C. **Geotecnologias para identificação de áreas sujeitas à enchentes na bacia do rio Una, Pernambuco.** Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/258381/45229>. Acesso em: 20 maio 2025.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (SMUL). **Informe Urbano, no 56: Áreas de risco geológico e o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo.** São Paulo, 2023. Disponível em: https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/wp-content/uploads/2023/02/56_IU_AREAS-DE-RISCO.pdf. Acesso em: 10 maio 2025.

SILVA J; MEDEIROS M; AZEVEDO P. **Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a disponibilidade de recursos hídricos.** Revista de Geografia (UFPE), v. 29, n. 2, 6 jun. 2012. Acesso: 13 de Junho de 2025

YOUNG, A; HOGAN, D. **Dimensões humanas das mudanças climáticas: vulnerabilidade às enchentes e inundações na Região Metropolitana de São Paulo.** Trabalho apresentado no XVII Encontro Nacional de Estudos Populacionais (ABEP), Caxambu (MG), 2010. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/yh_dimensoes.pdf. Acesso em: 10 maio 2025.