



## AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DE TERRENOS A ENCHENTES E INUNDAÇÕES URBANAS NA MÉDIA BACIA DO RIO CAPIVARI (SÃO PAULO, BRASIL)

Rodrigo Agostinho Silva de Campos <sup>1</sup>  
Cenira Maria Lupinacci <sup>2</sup>

### RESUMO

As enchentes e inundações urbanas são fenômenos recorrentes, ocorrendo quando a vazão dos cursos d'água supera sua capacidade de escoamento, afetando áreas e infraestruturas urbanas. Tais eventos resultam de processos naturais e modificações antrópicas, intensificados pela ocupação, impermeabilização do solo e alterações na rede hidrográfica. A urbanização acelera o escoamento superficial, aumentando a frequência e intensidade das inundações, sobretudo em áreas com drenagem insuficiente. Particularmente, os municípios do médio curso do Rio Capivari (São Paulo, Brasil) são recorrentemente afetados por inundações, fenômeno agravado pela ocupação histórica das planícies e terraços fluviais de um sistema hídrico caracterizado, nesta porção, por baixas declividade e seções curtas de drenagem. Para avaliar a suscetibilidade, este estudo propõe um modelo de análise multicritério em SIG, com ponderação de variáveis definida pelo Processo Analítico Hierárquico (AHP), em escala 1:10.000, aplicado à bacia do Córrego Água Choca, em Monte Mor (SP). As variáveis foram altitude, declividade, áreas de planície fluvial e proximidade dos cursos d'água, adaptadas do Manual de Delimitação de Planícies Inundáveis do Rio Capivari (Falcetta, 2023). Os resultados indicam que a metodologia permitiu determinar com precisão os graus de suscetibilidade. O modelo apontou que as áreas de altíssimo grau correspondem às planícies e regiões rebaixadas próximas ao Rio Capivari. As áreas de alto grau englobam predominantemente os terraços fluviais que, mesmo elevados, sofrem influência direta das cheias. As áreas de médio grau estão associadas a trechos com menor declividade próximos aos afluentes, onde a drenagem é limitada. A validação em campo, realizada em 03/02/2025 e 14/02/2025 após precipitações intensas, confirmou esses padrões, demonstrando a expansão das áreas afetadas em eventos de maior acumulado de chuva.

### INTRODUÇÃO

Enchentes e inundações urbanas representam um dos mais significativos desafios socioambientais contemporâneos, impactando cidades globalmente, sobretudo em episódios relacionados a eventos extremos associados às mudanças climáticas (Giorgi et al., 2011). Esses fenômenos, caracterizados pelo extravasamento de cursos d'água e pela

---

<sup>1</sup>Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP, Campus de Rio Claro), [rodrigo.agostinho@unesp.br](mailto:rodrigo.agostinho@unesp.br);

<sup>2</sup> Professora Titular do Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP, Campus de Rio Claro), [cenira.lupinacci@unesp.br](mailto:cenira.lupinacci@unesp.br);



incapacidade dos sistemas de drenagem de escoar o volume de precipitação, são intrinsecamente ligados tanto a processos hidrológicos naturais quanto a intensas modificações antrópicas (Tucci, 2003, 2007; Stevoux; Latrubesse, 2017).

A rápida urbanização, em particular, tem alterado drasticamente a dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas, resultando em maior impermeabilização do solo, supressão das planícies fluviais e retificação de canais. Tais intervenções aceleram o escoamento superficial e reduzem a capacidade de infiltração, culminando no aumento da frequência e intensidade de eventos de inundação, especialmente em áreas com infraestrutura de drenagem deficiente e morfologias urbanas adensadas (Veiga et. al., 2024).

No contexto brasileiro, a vulnerabilidade a esses eventos é acentuada pela ocupação histórica de planícies de inundação e terraços fluviais, muitas vezes sem o devido planejamento territorial. Os municípios inseridos na média bacia do Rio Capivari, no Estado de São Paulo, exemplificam essa realidade. Caracterizada por um sistema hídrico de baixa declividade e seções curtas de escoamento em seus afluentes, a região é recorrentemente afetada por inundações, evidenciando a necessidade imperativa de ferramentas que auxiliem na gestão e no planejamento urbano frente a essa problemática.

Este estudo se insere no contexto da emergência da delimitação precisa de áreas suscetíveis a enchentes e inundações, a fim subsidiar políticas de zoneamento e para o desenvolvimento de estratégias de mitigação, buscando aprimorar a compreensão e a representação espacial da suscetibilidade a inundações em ambientes urbanos. O principal objetivo deste trabalho foi, portanto, propor uma sistemática de integração cartográfica que resultasse em um modelo de suscetibilidade compatível com a escala de detalhe (1:10.000), essencial para o planejamento local.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

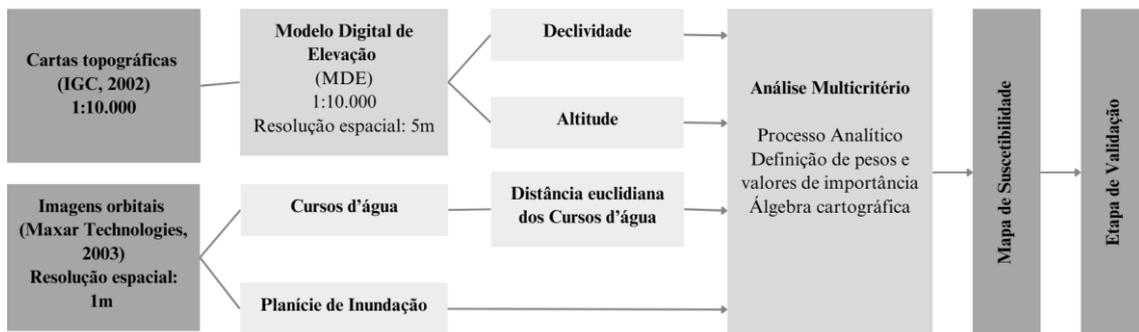
Para alcançar o objetivo proposto, este estudo desenvolveu um modelo de análise multicritério em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), aplicado à bacia do Córrego da Água Choca, no município de Monte Mor (SP). A ponderação das variáveis foi definida pelo Processo Analítico Hierárquico (AHP) (Saaty, 1987; Conceição; Simões, 2019).



A metodologia adotada neste trabalho baseou-se na adaptação dos procedimentos propostos pelo Manual de Delimitação de Planícies Inundáveis do Rio Capivari, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Falcetta, 2023). Esse manual integra a interpretação visual de fotografias aéreas, sensores remotos e dados morfométricos, como altimetria e declividade, combinados com modelagem hidrológica baseada em MDE SRTM (30m).

Foram consideradas, para a modelagem de suscetibilidade, as variáveis de altitude, declividade, planícies fluviais e proximidade dos cursos d'água, integradas em ambiente SIG por meio de análise multicritério com aplicação do método AHP. As etapas metodológicas adotadas, da aquisição dos dados à validação em campo, estão representadas no fluxograma da Figura 1.

**Figura 1** – Fluxograma de procedimentos metodológicos.



**Elaboração:** os autores (2025).

## Área de Estudo

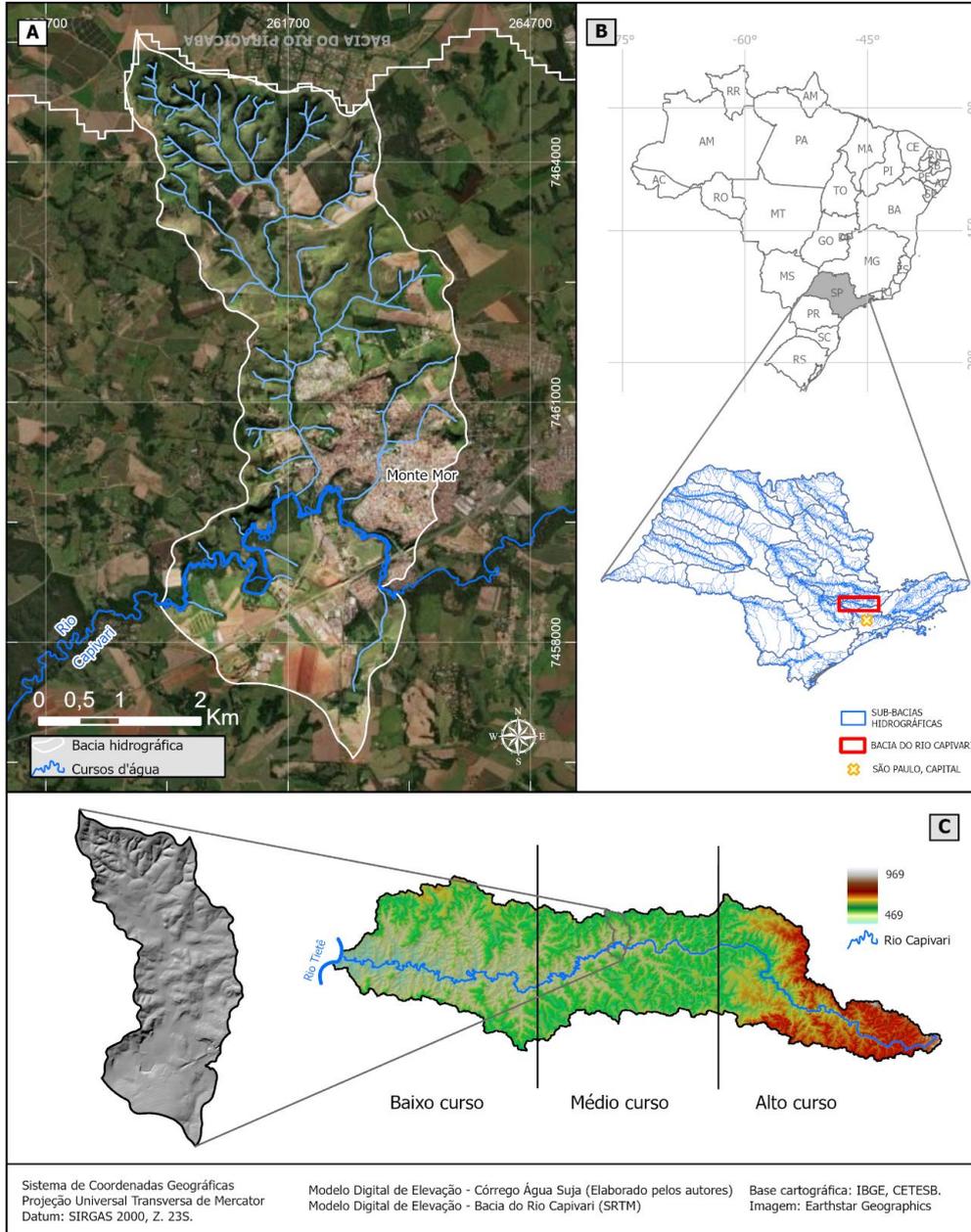
A área de estudo está localizada no interior do estado de São Paulo, Brasil, entre as coordenadas geográficas 22°55'44,20"S e 22°58'14,00"S de latitude sul e 47°19'31,67"O e 47°14'00,08"O de longitude oeste, no município de Monte Mor (SP), e compreende um conjunto de sub-bacias associadas ao Córrego da Água Choca, curso d'água afluente do Rio Capivari (Figura 02).

A morfologia regional é caracterizada por colinas e topos suavizados, separados por vales jovens e com expressão das planícies fluviais. Essa configuração se associa os tipos de solos, notadamente os Latossolos Vermelhos-Amarelos, com a presença de Neossolos Quartzarênicos Órticos-Distrófico e Argissolos Vermelhos-Amarelos de textura arenosa e média (Almeida, 1969).



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE  
**GEOMORFOLOGIA**

**Figura 2** – [A] Localização do conjunto de bacias do Córrego da Água Choca; [B] Localização da Bacia do Rio Capivari (São Paulo); [C] Modelo Digital de Terreno e Hipsometria da Bacia do Rio Capivari.



**Elaboração:** os autores (2025).

O clima da região é caracterizado por invernos secos e verões com temperaturas médias acima dos 24°C, sendo enquadrado como tropical mesotérmico, ou Cwa, segundo Köppen. A pluviosidade é representada por um valor anual entre 1100 e 1300mm, que se concentra entre os meses de dezembro e janeiro, com uma média aproximada de 200mm de precipitação mensal (DAEE, 2024).



## Aquisição e preparação de dados

Foram utilizadas cartas topográficas do IGC (escala 1:10.000) e imagens orbitais da Maxar Technologies (2002–2003), processadas no Google Earth Pro®. As curvas de nível foram vetorizadas manualmente e o MDE gerado pela ferramenta *Topo to Raster* no software ArcGIS Pro (v. 3.4.3) incorporando as morfologias antropogênicas registradas na carta A a partir do MDE, foram derivadas as variáveis de altitude e declividade, esta classificada segundo a EMBRAPA (1969).

A planície de inundação foi delimitada via fotointerpretação estereoscópica de imagens Maxar com uso do software StereoPhotoMaker Pro (Miyazaki; Oliveira, 2020). A distância dos cursos d'água foi calculada pela ferramenta *Calculate Euclidean Distance*, também no software ArcGis Pro (v. 3.4.3).

## Análise Multicritério

O modelo de suscetibilidade foi estruturado com base na reclassificação das variáveis em escala de 0 a 10, conforme sua relevância para a ocorrência de inundações. Os pesos atribuídos foram definidos a partir da aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP), por meio de uma matriz de comparação pareada (Tabela 1), utilizando a ferramenta *AHP Calculator*<sup>3</sup>. Através deste processo, foi possível determinar o peso relativo para as variáveis, sendo 0,25 para Planície, 0,053 para Distância, 0,487 para Altimetria e 0,219 para Declividade.

**Tabela 01 – Matriz de comparação pareada.**

	Planície	Distância	Altimetria	Declividade
Planície	1	5	½	1
Distância	1/5	1	1/7	1/5
Altimetria	2	7	1	3
Declividade	1	5	1/3	1

**Elaboração:** os autores (2025).

As variáveis foram integradas por meio de álgebra cartográfica através da equação 1, resultando em um modelo raster de suscetibilidade, o qual foi dividido em cinco classes: baixíssimo grau de suscetibilidade, correspondente aos valores entre 0,0 e 2,0; baixo grau de suscetibilidade, entre 2,1 e 4,0; médio grau de suscetibilidade, entre 4,1 e

<sup>3</sup>Disponível em: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>.

6,0; alto grau de suscetibilidade, entre 6,1 e 8,0; e altíssimo grau de suscetibilidade, entre 8,1 e 10,0.

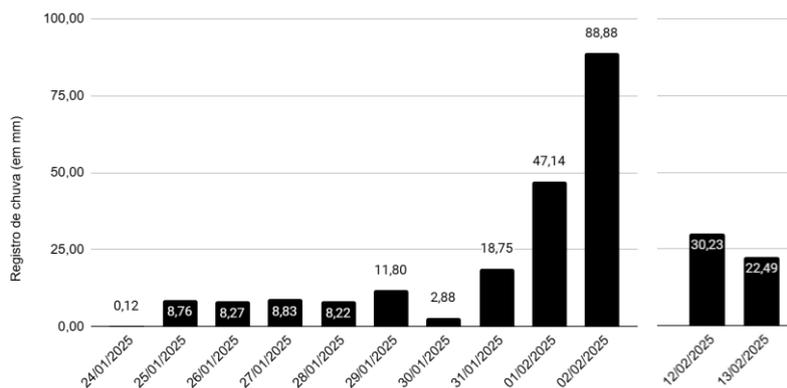
$$S = (Plan_{Reclass} \times 0,25) + (Dist_{Reclass} \times 0,053) + (Alt_{Reclass} \times 0,487) + (Decliv_{Reclass} \times 0,487) \quad (1)$$

### Validação em campo

A validação do modelo foi conduzida após eventos de precipitação ocorridos entre 01 e 02 e 12 e 13 de fevereiro de 2025, com acumulados médios de 136,02 mm e 52,73 mm, respectivamente. Os dados pluviométricos foram obtidos via Plataforma SP ÁGUAS<sup>4</sup> e cruzados com observações diretas em campo, registrando os pontos de extravasamento e acúmulo de água nas áreas mapeadas como mais suscetíveis.

Especificamente para o primeiro evento, a análise do histórico pluviométrico demonstra que a região já enfrentava sete dias consecutivos de precipitação, totalizando um acumulado médio de 203,65 mm no período de 24 de janeiro a 2 de fevereiro de 2025 (Figura 03). Essa condição de chuvas prolongadas potencialmente contribuiu com a saturação dos materiais inconsolidados, reduzindo sua capacidade de infiltração e aumentando significativamente o escoamento superficial.

**Figura 03 – Gráfico de média de precipitação nas estações pluviométricas monitoradas (24/01/2025 - 02/02/2025 e 12/02/2025 - 13/02/2025).**



**Elaboração:** os autores (2025).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

<sup>4</sup> Estações pluviométricas monitoradas: Rio Capivari Mirim, Rio Capivari SABESP, Jardim Paviotti, Santa Cruz, Rodovia Cônego C. S. Pires, Parque Imperial e IAC-Monte Mor.



A aplicação do modelo de análise multicritério resultou na elaboração da Carta de Suscetibilidade a Enchentes e Inundações (Figura 04), que classifica a área de estudo em cinco graus de suscetibilidade

As áreas de baixíssimo grau estão associadas às porções mais elevadas da bacia, incluindo topos e vertentes superiores. Nestes setores, predominam altas altitudes e declividades acentuadas, favorecendo o escoamento superficial, o que dificulta a formação de lâminas d'água. A literatura destaca que tais unidades morfoesculturais funcionam como zonas dispersoras de fluxo, com baixa permanência hídrica (Stevaux; Latrubesse, 2017).

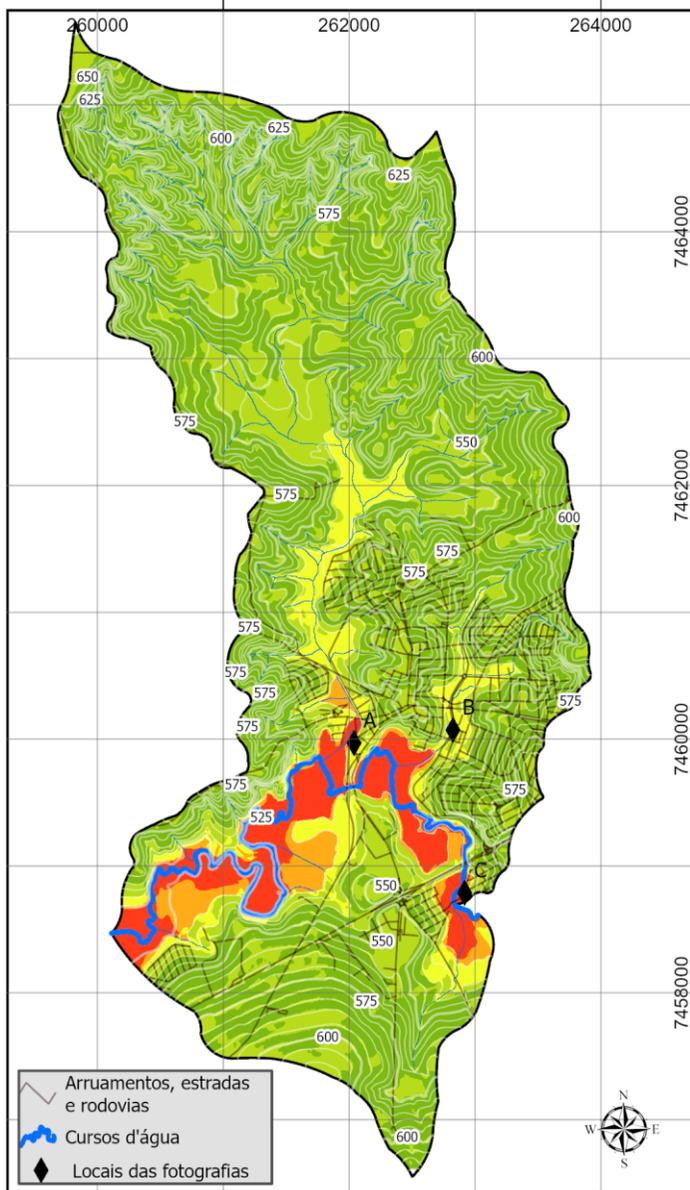
Já as áreas de baixo grau de suscetibilidade correspondem a vales alçados e encostas suaves em altitudes médias. Embora recebam fluxos descendentes, sua posição e geometria dificultam o acúmulo de água. Observou-se, durante a validação em campo, que essas zonas não apresentaram empoçamentos, mesmo após eventos significativos de precipitação.

A classe de médio grau de suscetibilidade representa uma zona de transição crítica do ponto de vista da ocupação. Esta compreende as planícies e terraços fluviais associados aos cursos d'água afluentes do Rio Capivari. A dinâmica de acumulação hídrica aqui já é considerável, especialmente durante episódios de chuva mais volumosa e contínua, como demonstrado nas aferições de campo. O dado mais relevante é que grande parte dos terrenos urbanizados consolidados se encontra nesta classe. Isso indica que o processo histórico de expansão urbana avançou sobre terrenos com uma predisposição natural moderada ao acúmulo de água, tornando a malha urbana funcionalmente suscetível a alagamentos recorrentes originados nos canais secundários (Quadro 1 – A e B).

As áreas de alto grau de suscetibilidade são adjacentes às planícies de inundação do Rio Capivari, incluindo predominantemente os terraços fluviais. Com declividade muito baixa (0-3%), estes terrenos estão diretamente conectados à dinâmica do rio principal. Observações de fotografias aéreas revela a presença de setores urbanos nesta classe, o que é preocupante, pois posiciona infraestruturas e moradias em locais diretamente atingidos por eventos de cheia do Rio Capivari.

Por fim, a classe de altíssimo grau de suscetibilidade delimita os terrenos com a maior predisposição física ao acúmulo de água, correspondendo à planície de inundação ativa do Rio Capivari. A morfologia local, com lagos marginais e meandros abandonados,

Figura 04 - Carta de suscetibilidade à enchentes e inundações na Bacia do Córrego Água Choca (Monte Mor/SP)



### LEGENDA EXPLICATIVA



#### Baixíssimo grau de suscetibilidade

Terrenos elevados, compreendendo total ou parcialmente as vertentes e topos, com predomínio de área sob dinâmica de escoamento e/ou infiltração de chuvas.



#### Baixo grau de suscetibilidade

Superfícies planificadas, compreendendo áreas de acumulação de cursos d'água contribuintes, especialmente em setores de vales alçados localizados na porção média-alta bacia.



#### Médio grau de suscetibilidade

Superfícies planificadas compreendendo áreas de acumulação de planície e terraço fluvial de cursos d'água contribuintes, com considerável dinâmica de acumulação e abrangendo grande parte de terrenos urbanizados.



#### Alto grau de suscetibilidade

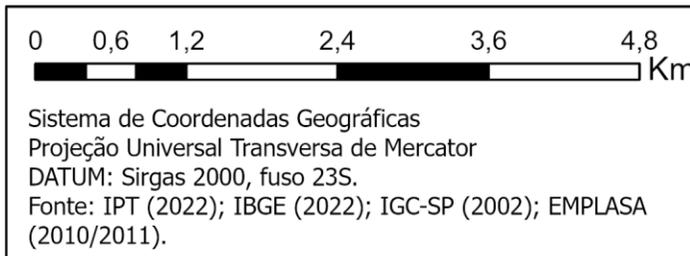
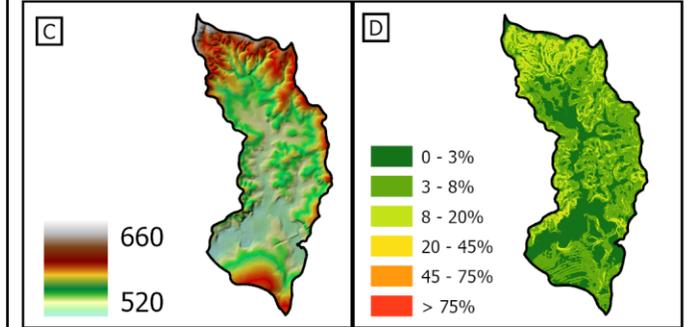
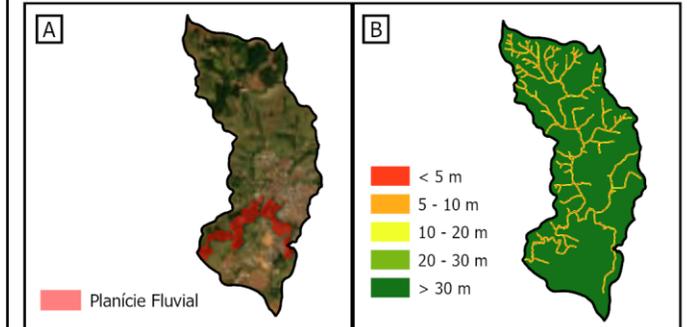
Terrenos ligeiramente elevados, adjacentes às planícies de inundação, incluindo terraços fluviais, com declividade entre 0 e 3%, apresentando alguns setores urbanizados.



#### Altíssimo grau de suscetibilidade

Compreende os terrenos mais rebaixados da área de estudo, circunvizinhas ao Rio Capivari, associando-se à sua planície de inundação. Há a presença de lagos marginais e meandros abandonados, com expressiva dinâmica de acumulação.

VARIÁVEL	CLASSE	VALOR	PESO
Planície de Inundação	Sim	10	25
	Não	0	
Distância Euclidiana de Cursos D'água	0   - 5	10	5
	5   - 10	8	
	10   - 20	6	
	20   - 30	4	
Altimetria	Maior que 30	0	
	520   - 525	10	48,7
	525   - 530	9	
	530   - 535	6	
Declividade	535   - 540	4	
	540   - 660	0	
	0-3%: Plano	10	21,9
	3-8%: Suavemente ondulado	5	
D	8-20%: Ondulado	0	
	20-45%: Forte ondulado	0	



**Título do trabalho: Avaliação da suscetibilidade de terrenos a enchentes e inundações urbanas na média bacia do Rio Capivari (São Paulo, Brasil)**  
 Autores: Rodrigo Agostinho Silva de Campos; Cenira Maria Lupinacci. Ano de elaboração: 2025.

Logos: unesp, FAPESP (Processo nº: 24/16451-6), LAGEO



evidencia sua função natural de acomodação das cheias. Embora a ocupação urbana adensada não seja a característica dominante, a proximidade com a estrutura urbana e a presença de algumas construções isoladas indicam uma forte pressão de uso sobre o espaço mais sensível da bacia hidrográfica (Quadro 1 – C)

**Quadro 1** – Fotografias capturadas na campanha de validação (dias 02 e 13/02/2025).



**Elaboração:** os autores (2025)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de suscetibilidade desenvolvido neste estudo permitiu identificar, em escala de detalhe, os setores da bacia do Córrego da Água Choca com maior propensão à ocorrência de inundações e enchentes. A integração das variáveis em ambiente SIG, com ponderação via AHP, resultou em uma classificação coerente da paisagem, validada por observações de campo após eventos de precipitação.

Os resultados evidenciaram que parte significativa da malha urbana de Monte Mor (SP) se encontra sobre áreas classificadas como de médio a alto grau de suscetibilidade, especialmente em terraços fluviais e zonas de transição próximas aos cursos d'água. Essa ocupação sobre terrenos com predisposição natural ao acúmulo de água reforça a importância de instrumentos cartográficos para subsidiar o diagnóstico da problemática no município e evidenciar os impactos associados aos eventos de cheia.

Em suma, este estudo oferece uma ferramenta cartográfica de detalhe para a gestão territorial em áreas urbanas suscetíveis a inundações, fornecendo subsídios para o planejamento e a tomada de decisão em cenários de mudanças climáticas e crescimento urbano.



**Palavras-chave:** Inundações urbanas; Suscetibilidade; Modelagem em SIG; Bacia do Rio Capivari;

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de bolsa referente ao Processo nº 2024/16451-6.

## REFERÊNCIAS

Agência de Águas do Estado de São Paulo. **Plataforma SP ÁGUAS - Monitoramento de estações meteorológicas**. Acesso em 13/01/2025.

ALMEIDA, F.F.M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**. Nº 41. p.169-263, 1964.

CONCEIÇÃO, R. A. C da; SIMÕES, P. M. L. Modelagem de suscetibilidade a inundações utilizando Processo Analítico Hierárquico (AHP) e Lógica Fuzzy. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Anais, v. 19, 2019.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA– DAEE. **Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo**. CD ROM. Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos. Convênio DAEE-USP. Versão 1, 1998.

FALCETTA, F. A. M.. **Manual de procedimentos metodológicos: delimitação de planícies de inundação e de áreas inundáveis**. São Paulo, SP: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2023.

GIORGI, F.; IM, E. S.; COPPOLA, E.; DIFFENBAUGH, N. S.; GAO, X. J.; MARIOTTI, L.; SHI, Y. Higher hydroclimatic insensitivity with global warming. **Journal of Climate**, v. 24, n. 20, p. 5309-5324, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3979.1>

Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC). **Cartas topográficas em escala de 1:10.000**. 2002.

MIYAZAKI, L. C. P.; OLIVEIRA, A. A. G. Anáglifo, fotointerpretação e imagens do Google Earth como alternativa para elaboração do mapeamento geomorfológico da Serra do Corpo Seco- Ituiutaba-MG (Brasil). **Physis Terrae, Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente**, Guimarães (Portugal), vol. 2, nº 2, 2020, p. 43-65.

SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. **Math Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

STEVOUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de textos, 2017.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. In: TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1.ed, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

VEIGA, M. E. B.; SIMÕES, M. B.; BARROS FILHO, M. N. M.; GALVÃO, C. O. A suscetibilidade às inundações em extremos climáticos: o papel da morfologia urbana revelado por análise multicriterial. ISSN 1679-0944 **Paranoá**, v. 17, e47439, 2024. <https://doi.org/10.18830/1679-09442024v17e47439>