

IMPACTO DO USO E COBERTURA DO SOLO NA SUSCETIBILIDADE ÀS INUNDAÇÕES EM ÁREA URBANA: O Caso da bacia do rio Indaiá, Ubatuba-SP

Dimitrie Hristov Junior ¹
Raul Reis Amorim ²

INTRODUÇÃO

Os processos de urbanização e mudanças de uso da terra trazem consigo transformações nos sistemas e dinâmicas naturais, podendo acarretar por vezes perdas materiais e imateriais à população devido à sua exposição a áreas suscetíveis a processos da natureza, ou seja, áreas com a predisposição ou propensão ao desenvolvimento do fenômeno ou processo do meio físico (Bitar et al, 2014), podendo deflagrar a dimensão de risco à população, quando atrelada à ocorrência de vulnerabilidade (UNDP, 2004).

No Brasil, os eventos de origem hidrometeorológica são os que mais deflagram desastres naturais (Nunes, 2015), dada sua imensa disponibilidade hídrica, no presente trabalho, tomaremos como objeto de estudo o fenômeno das inundações, compreendidas aqui segundo Keller e Blodgett (2004, p. 116) como sendo “o processo natural onde o fluxo de água extravasa o canal de um rio”, sendo estas influenciadas “por combinações de feições atmosféricas, topografia, características das bacias hidrográficas e uso da terra” (Nunes, 2015, p. 22).

Para a compreensão do impacto da urbanização na dinâmica de inundações, buscaremos mapear o uso e cobertura da terra da área urbana do rio Indaiá, correspondente a parte da sede do município de Ubatuba - SP (Figura 1), tendo em vista que a mais drástica mudança no ambiente causada pela urbanização é a impermeabilização do solo, que aumenta o escoamento superficial da água e reduz sua

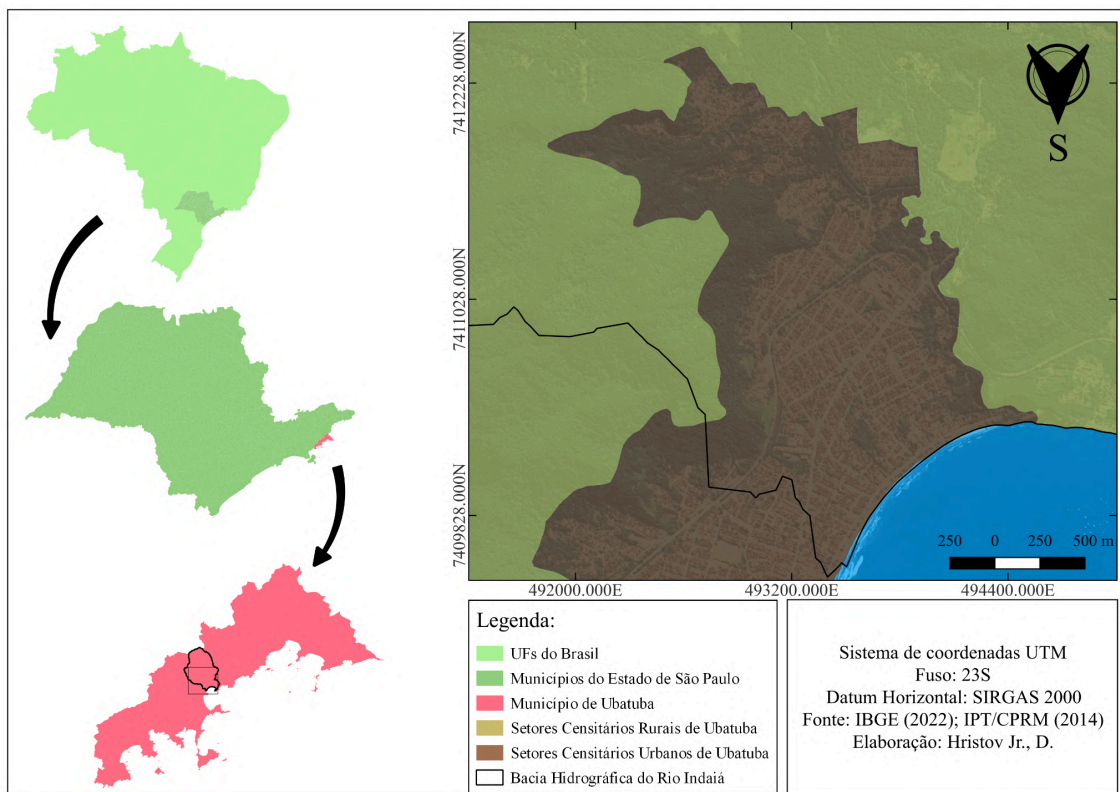
¹ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, d188401@dac.unicamp.br;

² Professor orientador: Doutor em Geografia, Instituto de Geociências - UNICAMP, raulreis@unicamp.br.

infiltração e interceptação comparadas a ambientes naturais (Keller e Blodgett, 2004, p. 131).

Buscou-se com tal levantamento, compreender a relação entre os tipos intra urbanos com a dinâmica das inundações existentes na bacia do rio Indaiá, tomando como principal referencial na diferenciação dos tipos seu nível de arborização, uma vez que a vegetação se constitui como principal agente promotor dos processos amortecedores do escoamento superficial da água na interface da encosta (Coelho Netto, 2007, p. 105). O recorte da bacia hidrográfica como unidade de análise também se mostra indispensável ao se estudar a dinâmica associada ao balanço hídrico, uma vez que, enquanto unidade físico-territorial delimitadora das águas, integra os sistemas ambientais, sociais e ecológicos relacionados à água que nela se constituem e interagem.

Figura 1 - Ubatuba-SP. Mapa de localização da área urbana na bacia hidrográfica do rio Indaiá, 2024.



Fonte: Elaboração própria com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2014).

METODOLOGIA

A metodologia do trabalho seguiu adaptações do procedimento elencado por Azevedo e Matias (2023) para mapeamento intra urbano, dividindo-se em VI passos: I)

Delimitação da área de estudo; II) Aquisição da base de dados; III) Processamento dos dados; IV) Estabelecimento de chave de interpretação; V) Elaboração de mapa de uso e cobertura da terra; e VI) Cruzamento e análise dos dados processados.

Na etapa I delimitou-se a área urbana da bacia do rio Indaiá em Ubatuba pelo seu histórico de ocorrência de inundações e possibilidade de abrangência de uma multiplicidade de coberturas e usos, conforme Azevedo e Matias (2023, p. 76), dada a concentração demográfica estando na sede do município. No passo II, fora empregado o satélite imageador CBERS-04a³, como principal fonte para o trabalho de mapeamento do uso do solo, utilizando suas câmeras Multiespectrais e Pancromática de Ampla Varredura (WPM), além desta base matricial, também foram empregados a malha setores censitários brasileira, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para compreensão das áreas inseridas em uma lógica institucional urbana, e a base das cartas de suscetibilidade disponibilizadas pelo Serviço Geológico Brasileiro⁴.

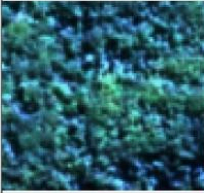

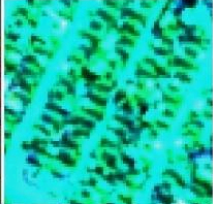


No estágio III do trabalho, foram processadas 5 imagens do CBERS 04a correspondentes ao dia 28 de junho de 2023, com ajustes de brilho e contraste e criação de um conjunto de bandas manipulável para a interpretação, compreendendo os espectros do infravermelho próximo (NIR) e do espectro visível, com resolução espacial de 2 metros após emprego de processamento de *Pansharpening*, o qual estima a reflectância das bandas sobre a banda pancromática, possibilitando a interpretação em maior resolução espacial com o custo de possíveis distorções radiométricas.

Uma chave de interpretação (Figura 2) foi gerada para o trabalho de mapeamento no passo IV, interpretando as superfícies mediante duas composições coloridas RGB, uma composta pelo espectro visível (3R/2G/1B) e uma incluindo o infravermelho próximo na chave do vermelho, deslocando por conseguinte o vermelho visível para a chave G, e o verde para a chave B (4R/3G/2B). Nesta resolução fora possível identificar 7 classes de mapeamento que diferem-se no que tange à dinâmica hídrica: Áreas verdes urbanas; Áreas edificadas pouco vegetadas; Áreas edificadas bem vegetadas; Áreas edificadas com verticalização; Pastagem; Solo e Depósitos sedimentares expostos; e Corpos hídricos.

³ O satélite imageador é acessível pelo portal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acessado em: 09, jun 2024.

⁴ Cartas mapeadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/web/guest/sao-paulo-cartas-de-suscetibilidade>. Acessado em 09, jun 2024.

Figura 2 - Chave de interpretação para mapeamento de uso e cobertura da terra.

CHAVE DE INTERPRETAÇÃO USO E COBERTURA DA TERRA URBANA			
TIPO DE COBERTURA	COMPOSIÇÃO COR VERDADEIRA (3R/2G/1B)	COMPOSIÇÃO FALSA COR (4R/3G/2B)	Descrição da cobertura
Áreas verdes urbanas			Apresenta feições rugosas e cor variando de tons de verde escuro na cor verdadeira para vermelho vinho na falsa cor
Área edificada pouco vegetada			Apresenta feições organizadas em fileiras homogêneas com células rugosas correspondentes a edificações, possui cores em tons de bege, marrom e branco na cor verdadeira e cores verdes claras na falsa cor
Área edificada bem vegetada			Apresenta feições organizadas em fileiras homogêneas com células rugosas correspondentes a edificações, possui cores em tons de bege, marrom e branco com manchas em tom verde claro e escuro na cor verdadeira e cores verdes claras na falsa cor com manchas em tons de roxo e vermelho vinho
Área edificada com verticalização			Apresenta feições organizadas em fileiras homogêneas com células rugosas correspondentes a edificações apresentando sombreamentos referentes à sua altura elevada, possui cores em tons de bege, marrom e branco na Cor verdadeira e verde claro na falsa cor; com as sombras aparecendo em preto com ambas composições
Pastagem			Apresenta feição sem textura aparente, com cores em tons de verde claro com associação de bege na Cor verdadeira e em tons de rosa, roxo e azul na falsa cor
Solos e Depósitos sedimentares expostos			Apresenta feição homogênea sem textura, com cores vibrantes em tons de bege e branco na cor verdadeira e verde azulado claro na falsa cor, associada às praias
Corpos Hídricos			Apresenta feição homogênea sem rugosidades com cores escuras em tons de verde e verde azulado próximos ao preto, tanto na cor verdadeira como na falsa cor; tende a possuir Áreas verdes urbanas em seu entorno

Fonte: Elaboração própria.

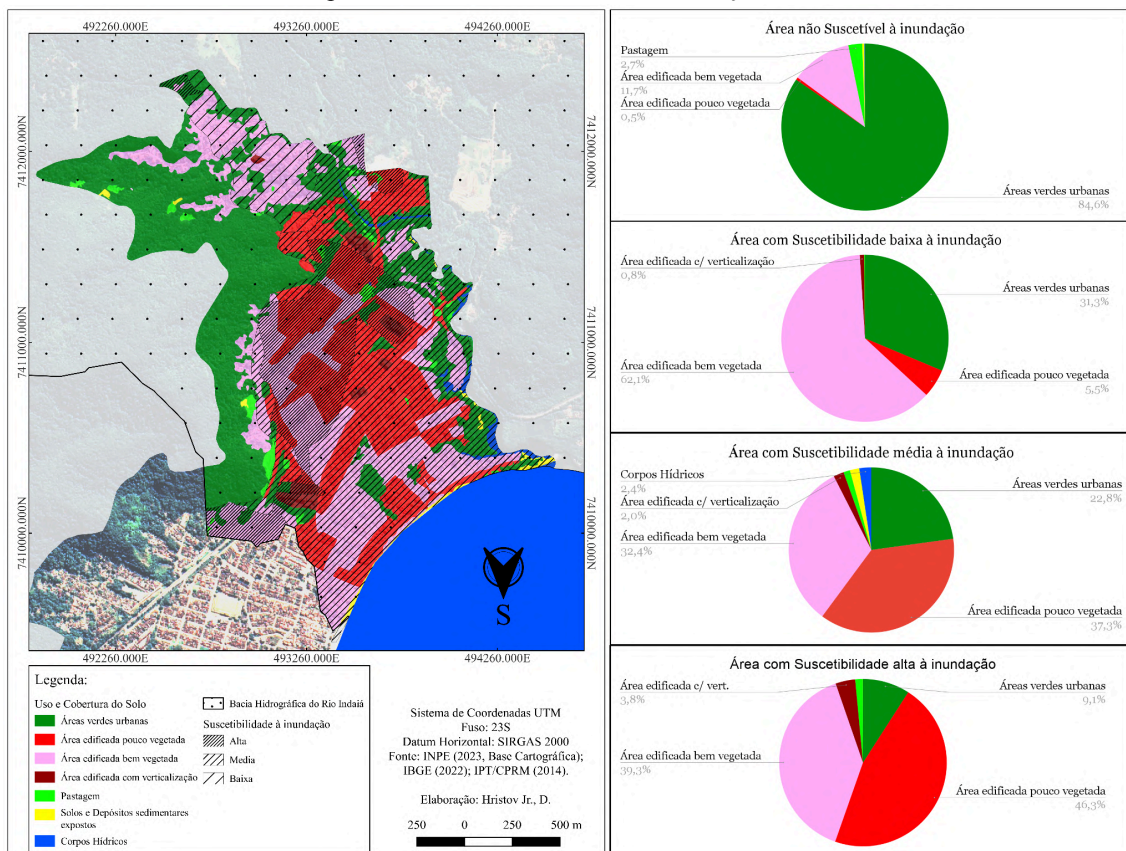
Com as etapas anteriores efetuadas, foi possível operacionalizar o mapeamento de uso e cobertura dos setores censitários urbanos da bacia, através de um processo de interpretação visual com vetorização em tela, buscando compreender organização de conjunto dos pixels, identificando feições rugosas, lisas, sombras e suas diferentes nuances e relações de vizinhança.

Enfim, tendo o mapeamento de uso e cobertura da terra efetuado, este foi sobreposto aos polígonos de suscetibilidade à inundações do IPT, com o qual efetuaram-se reclassificações e rasterização de ambos produtos, viabilizando o cruzamento de matrizes geográficas, a fim de ver suas relações espaciais entre os temas e valores quantitativos de área.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do cruzamento dos temas gerados, foi possível chegar a uma correlação positiva entre as classificações de uso mais impermeabilizadas e os maiores graus de suscetibilidade às inundações (Figura 3), sendo a única classe de suscetibilidade com predominância das áreas verdes urbanas a de nenhuma suscetibilidade e a de suscetibilidade baixa a com maior ocorrência de áreas edificadas com bastante vegetação.

Figura 3 - a) Ubatuba-SP. Mapa de Uso e cobertura da terra na área urbana da bacia do rio Indaiá, com sobreposição das classes de suscetibilidade à inundações mapeadas pelo IPT, 2023. b) Relação de tipos de uso e cobertura por classe de suscetibilidade a inundações na área de estudo.



Fonte: Elaboração própria com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2014), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2023) e vetorizações próprias.

Em contraste, as áreas edificadas com pouca vegetação se constituem majoritárias nas áreas de média e alta suscetibilidade, com crescimento sutil das áreas de verticalização nas maiores classes de suscetibilidade. Cabe apontar que o fenômeno da inundação não é dependente apenas pela permeabilidade do solo, sendo este um dos fatores em sua deflagração apenas, contudo, esta relação proporcional entre as superfícies impermeabilizadas e as classes de suscetibilidade às inundações se fazem valiosas enquanto instrumento para decisões acerca do ordenamento territorial.

Sobretudo a cobertura de áreas edificadas bem vegetadas, demonstra que planos de arborização urbana podem constituir importantes medidas na mitigação de impactos da natureza das inundações, promovendo um amortecimento da velocidade das águas na sua confluência para os canais fluviais.

No que tange à área das classes de suscetibilidade, a extensão das áreas de suscetibilidade média ganha destaque com 1,475 km² (Tabela 1), enquanto as outras classes não chegam a totalizar 1 km², nestas classes de maior extensão, há a maior ocorrência de áreas edificadas pouco vegetadas da bacia em termos absolutos, sendo área potencial à arborização.

Tabela 1 - Área ocupada pelas diferentes classes de cobertura da terra e sua relação com os diferentes graus de suscetibilidade à inundações na área urbana da bacia hidrográfica do rio Indaiá.

Classes de suscetibilidade à inundação	Não Suscetível	Suscetibilidade baixa	Suscetibilidade Média	Suscetibilidade alta
Tipo de uso e cobertura do solo	Extensão (m ²)	Extensão (m ²)	Extensão (m ²)	Extensão (m ²)
Áreas verdes urbanas	715.888	85.648	336.904	55.816
Área edificada pouco vegetada	4.220	15.132	550.292	284.276
Área edificada bem vegetada	99.008	169.888	477.556	241.484
Área edificada com verticalização	0	2.280	29.844	23.348
Pastagem	22.556	432	18.988	8.968
Solo e Depósitos sedimentares expostos	3.480	0	27.036	196
Corpos Hídricos	1.024	0	34.836	0
Total	846.176	273.380	1.475.456	614.088

Fonte: Elaboração própria com base em dados obtidos do IPT (2014); IBGE (2022); INPE (2023); e vetorização própria.

Em contrapartida a área pouco vegetada mal aparece nas classes de baixa ou nenhuma suscetibilidade, Ubatuba para estes fins de análise constitui um caso particular

pela pouca atividade agrícola, se constituindo majoritariamente por bananicultura que, por constituir-se em bananais, exerce função semelhante à mata atlântica nativa em relação às dinâmicas hídricas, se fazendo interessante a consideração da aplicação dessa metodologia para análises em diferentes municípios com distintas dinâmicas tanto no urbano espaço quanto no rural.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa demonstrou enorme potencialidade na classificação de informações para compreensão da dinâmica da água no meio intra urbano, podendo corroborar com futuras análises e refinamento de classificações de suscetibilidade às dinâmicas de inundações, uma vez que a alta resolução espacial adquirida com o satélite CBERS 04a, permite compreensão das dinâmicas em detalhe que, se somadas com outras variáveis determinantes dos processos de inundação, pode gerar resultados promissores para subsídio do ordenamento territorial.

Outrossim, seu resultado na identificação de sucesso das áreas bem vegetadas no amortecimento do escoamento superficial da água, somado ao seu trabalho inerente de identificação das áreas pouco vegetadas e de maior criticidade do município possibilita também como outrora citado, uma melhor gestão do município, com planos de arborização para garantir a interceptação das chuvas em sua sede, área com maior contingente populacional potencialmente exposto ao perigo natural.

Palavras-chave: Hidrogeografia; Desastres naturais; Sistemas de Informação Geográfica; Sensoriamento remoto; Espaço urbano.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que financiaram, por meio dos processos FAPESP 2022/ 03080-4 e 2024/05927-0 e pelo processo CAPES nº. 88887.705094/2022-00, a pesquisa que possibilitou esse artigo.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, T.; FONSECA MATIAS, L. Urban Land Use and Land Cover Mapping: Proposal of a Classification System with Remote Sensing. **Agua y Territorio / Water and Landscape**, [S. l.], n. 23, p. e7251, 2023. DOI: 10.17561/at.23.7251. Disponível em: <https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/atma/article/view/7251>.

BITAR, O. Y. (coord.). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa em inundações-1:25.000**: nota técnica explicativa. São Paulo: IPT; Brasília, DF: CPRM, 2014. Disponível em:
https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/16588/1/NT-Carta_Suscetibilidade.pdf.

COELHO NETO, A. L. **Hidrologia de encostas na interface com a geomorfologia**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B da (Orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases conceituais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

KELLER, E. A.; BLODGETT, R. H. Inundaciones. In: KELLER, E. A.; BLODGETT, R. H. **Riegos Naturales: procesos de la Tierra como riegos, desastres y catástrofes**. Madrid, Pearson Education, 2004.

NUNES, L. H. **Urbanização e desastres naturais**: abrangência América do Sul. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAM (UNDP). **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York: UNDP, 2004.