ÁREAS INUNDÁVEIS E O MAPEAMENTO DE PLANÍCIES ALUVIAIS NA REGIÃO DO BAIXO JAGUARIBE, CE

Rafaela da Silva Alves[1]; Rafaela dos Santos Gomes[2]; Samiramisthaís Souza Linhares[3]; Valdenor Nilo de Carvalho Júnior[4] & Renan Vieira Rocha[5]

Palavras-Chave - HAND; Planícies Aluviais; Baixo Jaguaribe.

INTRODUÇÃO

As planícies aluviais são ambientes geomorfológicos formados pela deposição de sedimentos ao longo do tempo, oriundos da interação entre fatores climáticos e mudanças da dinâmica fluvial a exemplo da migração de canais e evolução da rede de drenagem (Silva e Santos, 2011; Gibling *et al*., 2011; Dhote *et al*., 2023). Historicamente, essas áreas apresentam relações diretas com a ocupação humana, em virtude da elevada fertilidade dos solos e acesso à água, sendo estes aspectos mais importantes que os riscos da comunidade a inundação (Brandolini e Carrer, 2020). Em regiões semiáridas, essas áreas apresentam elevada relevância hidrológica por favorecerem a formação de aquíferos aluviais, que constituem importantes reservas estratégicas de água subterrânea para o abastecimento humano, dessedentação animal e o desenvolvimento de atividades produtivas, sobretudo em períodos de seca (Echogdali et al., 2023; Scheiber et al. 2020).

No estado do Ceará, caracterizado pela elevada variabilidade climática e pela recorrência de secas, a identificação dessas áreas pode contribuir tanto para a segurança hídrica, quanto para o planejamento territorial e prevenção de desastres em regiões suscetíveis a inundações. Entretanto, os métodos convencionais de mapeamento de aluviões demandam levantamentos detalhados de campo, tornando necessária a busca por abordagens que otimizem recursos e aplicáveis em escalas regionais.

Nesse contexto, técnicas de mapeamento que utilizam Modelos Digitais de Elevação (MDE) surgem como ferramentas promissoras para a delimitação automática de planícies aluviais. Entre essas técnicas, destaca-se o *Height Above Nearest Drainage* (HAND), que permite estimar a altura relativa do terreno em relação à drenagem mais próxima (Rennó *et al*., 2008). Estudos prévios demonstram o potencial dessa abordagem em diferentes aplicações, incluindo o mapeamento de planícies aluviais, gestão de desastres com mapeamento de áreas de inundação e a identificação de zonas mais favoráveis ao desenvolvimento de determinadas atividades agrícolas (Dhote *et al*., 2023; Li *et al*., 2022).

Em 2023, o Governo Federal publicou uma nota técnica definindo 74 municípios do Estado como prioritários para o monitoramento de desastres naturais. Destes municípios, 7 encontram-se na região do Baixo Jaguaribe, com aproximadamente 11.390 pessoas convivendo em áreas de risco geo-hidrológico (inundações, deslizamentos e enxurradas).

A região do Baixo Jaguaribe é uma das mais produtivas do estado do Ceará, sendo destaque econômico na fruticultura irrigada, agronegócio e carcinicultura (Cavalcante, Silva e Martins, 2022). De acordo com o IPECE (2025), o Vale do Jaguaribe está na 4ª posição em termos de

[1])Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, rafaela.alves@funceme.br
[2]) Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, rafaela.gomes@funceme.br
[3])Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, samira.linhares@funceme.br
[4]Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, nilo@funceme.br
[5]Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, renan.rocha@funceme.br

Produto Interno Bruto (PIB) do Estado, representando 3,73%, perdendo apenas para Grande Fortaleza (63,66%), Cariri (7,53%) e Sertão de Sobral (4,36%).

Em 2024, a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) mapeou de maneira automática, utilizando o HAND, todas as regiões hidrográficas do estado do Ceará, visando a identificação de possíveis aquíferos aluviais. O presente estudo pretende apresentar o mapeamento das planícies aluviais na Região Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, no estado do Ceará (Figura 1), discutir sua proximidade aos centros urbanos e relacionar com trechos de vulnerabilidade à inundação identificados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM). Essa bacia foi selecionada em virtude da sua relevância hidrológica, econômica e socioambiental, a compreensão da distribuição espacial das áreas inundáveis subsidia a gestão dos recursos hídricos, o planejamento territorial e a redução dos riscos associados a eventos hidrológicos extremos.

METODOLOGIA

A metodologia baseou-se na utilização do *Height Above Nearest Drainage* (HAND), com o uso do modelo digital de terreno FABDEM, derivado do Modelo Digital de Elevação Copernicus, visando à identificação automática de áreas com características geomorfológicas compatíveis com planícies aluviais.

As etapas de pré-processamento e processamento foram desenvolvidas mediante algoritmos em Python. Inicialmente, os modelos digitais de elevação foram submetidos às etapas de pré-processamento para correção de inconsistências e adequação à escala de análise. Após a etapa 1, foram realizadas a delimitação da rede de drenagem e a geração do modelo HAND, que expressa a diferença altimétrica entre cada *pixel* do terreno e o canal de drenagem mais próximo.

A partir da definição de limiares de altura relativa, foram identificadas áreas potencialmente associadas às planícies aluviais. As formas de relevo propensas à inundação e a formação dos depósitos aluvionares são extraídos na forma de uma máscara *raster* binária e representam *pixels* classificados como candidatos a aluvião em toda a área de interesse.

Os resultados obtidos foram posteriormente analisados em *software* de sistema de informação geográfica (QGIS 3.42.2), permitindo a avaliação da coerência espacial do mapeamento em relação à rede hidrográfica e às características geomorfológicas conhecidas das áreas estudadas.

Além disso, utilizou-se de dados em formato *shapefile* de trechos de curso d'água inundáveis com atributos de frequência de ocorrência, grau de impacto e vulnerabilidade a inundações graduais, aqui vamos nos deter a apresentar a vulnerabilidade, produzidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e Serviço Geológico do Brasil (CPRM), para validação inicial das informações.

RESULTADOS

Os resultados apresentados na Figura 1 mostram que o mapeamento automático com o uso do HAND, foi capaz de mapear a planície aluvial do Rio Jaguaribe, bem como de outras drenagens que ocorrem na região hidrográfica. Observa-se que há áreas urbanizadas inseridas nas áreas mapeadas, evidenciando áreas suscetíveis às inundações sazonais corroboradas por sobreposição de mapeamentos como o de vulnerabilidade à inundação da ANA e a setorização de riscos de inundação da SGB-CPRM. A intervenção humana intensifica os impactos das inundações e enchentes em ambientes urbanos, sendo necessário meio de readequação do uso do solo (Larentis, 2020).

Na área de estudo foram identificados 51 polígonos classificados com a tipologia de inundação. O município de Jaguaruana apresentou, adicionalmente, áreas com múltiplas tipologias

de eventos hidrológicos, incluindo alagamentos. De forma geral, os municípios do Baixo Jaguaribe, localizados às margens do Rio Jaguaribe, apresentam trechos com baixa, média e alta vulnerabilidade à inundação, os quais coincidem espacialmente com as planícies aluviais delimitadas pela metodologia HAND, áreas urbanizadas e setores de risco. Entre 1991 e 2025, os municípios de Tabuleiro do Norte (6 registros), Limoeiro do Norte (5) e Aracati (4) concentraram 15 registros de desastres hidrológicos no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), enquanto os demais municípios totalizaram 10 registros no mesmo período. Embora o centro urbano de Russas não esteja localizado às margens do Rio Jaguaribe, sua área urbana é atravessada por outros cursos d'água. Já Aracati destaca-se por concentrar o maior contingente populacional potencialmente exposto às áreas de risco. A metodologia HAND apresentou boa correspondência espacial com as áreas de vulnerabilidade e setores de risco existentes, evidenciando seu potencial como ferramenta de apoio ao mapeamento de planícies aluviais e de áreas suscetíveis à inundação.

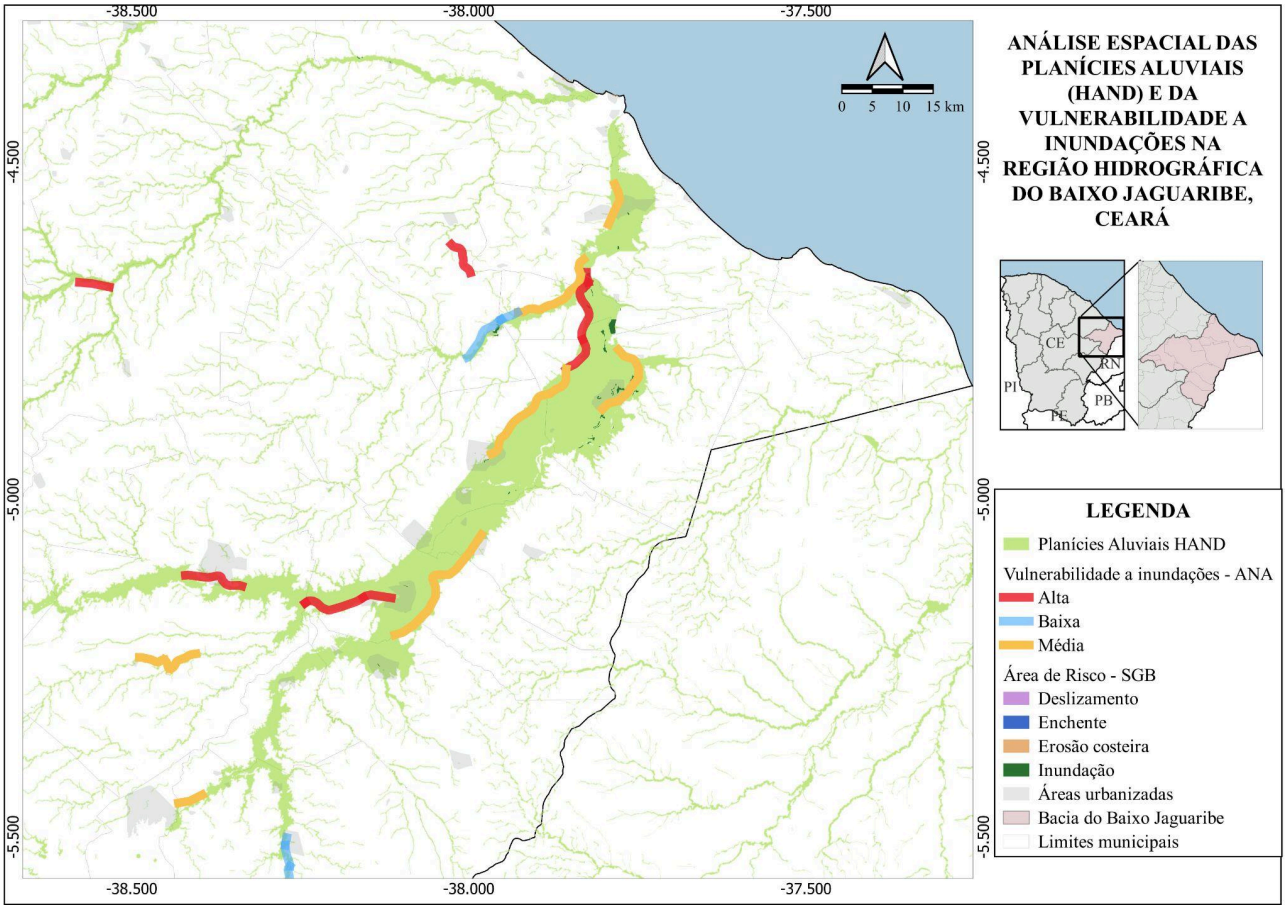


Figura 1. Análise espacial das planícies aluviais mapeadas pelo HAND, áreas urbanizadas, vulnerabilidade a inundações (ANA) e áreas de risco (SGB). Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÕES

A ocupação urbana nas proximidades da planície aluvial do Rio Jaguaribe expõe parte da população a condições de elevada vulnerabilidade socioespacial frente aos eventos de inundação. As áreas suscetíveis mapeadas pelo SGB e pela ANA foram delimitadas a partir da integração de registros históricos de impactos e da atuação conjunta entre órgãos de proteção e defesa civil, municípios e estados. Os resultados obtidos evidenciaram a sobreposição espacial entre a planície aluvial delimitada neste estudo, por meio da metodologia HAND, e as áreas previamente mapeadas

por essas instituições, reforçando a consistência da abordagem adotada. No entanto, conforme ilustrado na Figura 1, observam-se áreas urbanizadas adicionais situadas no entorno da planície aluvial que ainda não estão contempladas nesses mapeamentos e que, em razão de sua localização, permanecem potencialmente suscetíveis às inundações sazonais do Rio Jaguaribe. Nesse contexto, o mapeamento produzido neste estudo amplia a identificação de áreas com potencial exposição às inundações e pode subsidiar o planejamento territorial, o aprimoramento dos instrumentos de gestão do risco e a formulação de políticas públicas voltadas à prevenção, mitigação e adaptação aos impactos associados às inundações.

REFERÊNCIAS

BRANDOLINI, F.; CARRER, F. (2020). "Investigate human responses to Late-Holocene changes of fluvial landforms through Spatial Point Pattern Analysis (Po Plain, Northern Italy)" in *Geophysical Research Abstracts*, v. 22.

CAVALCANTE, L. V.; SILVA, F. R. L.; MARTINS, E. P. (2022). "A geografia do latifúndio no Baixo Jaguaribe/Ceará: dinâmicas de uso e propriedade da terra". *Terra Livre*, v. 2, n. 57, p. 759–787.

DHOTE, P. R.; *et al.* (2023). "Evaluating topography-based approaches for fast floodplain mapping in data-scarce complex-terrain regions: Findings from a Himalayan basin". *Journal of Hydrology*, v. 620, art. 129309.

ECHOGDALI, F. Z.; BOUTALEB, S.; AYADY, E. H.; *et al.* (2023). "Characterization and Productivity of Alluvial Aquifers in Sustainability Oasis Areas: A Case Study of the Tata Watershed (Southeast Morocco)". *Applied Sciences*, v. 13, n. 9, art. 5473.

GIBLING, M. R.; FIELDING, C. R.; SINHA, R. (2011). "Alluvial Valleys and Alluvial Sequences: Towards a Geomorphic Assessment" in *From River to Rock Record: The Preservation of Fluvial Sediments and Their Subsequent Interpretation*. Org. por DAVIDSON, S. K.; LELEU, S.; NORTH, C. P. Society for Sedimentary Geology (SEPM), Tulsa/USA.

LARENTIS, D. G. (2020). "Procedimentos e critérios para zoneamento de planícies de inundação em áreas urbanas". *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 17.

LI, M.; ZHANG, T.; TU, Y.; *et al.* (2022). "Monitoring Post-Flood Recovery of Croplands Using Integrated Sentinel-1/2 Imagery in the Yangtze-Huai River Basin". *Remote Sensing*, v. 14, n. 3, art. 690.

RENNÓ, C. D.; *et al.* (2008). "HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia". *Remote Sensing of Environment*, v. 112, n. 9, p. 3469–3481.

SCHEIBER, L.; *et al.* (2020). "Hydrochemical apportioning of irrigation groundwater sources in an alluvial aquifer". *Science of the Total Environment*, v. 744, art. 140506.

SILVA, J. M. F.; SANTOS, L. J. C. (2011). "Fácies pedológicas associadas a planícies fluviais: estudo na porção norte da Serra do Mar Paranaense". *Caminhos de Geografia*, v. 12, n. 37, p. 54–64.