

RESSALVA

Atendendo a solicitação do(a) autor(a), o texto completo desse trabalho será disponibilizado no repositório a partir de 02/02/2026.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia



Ministério da **Ciência,
Tecnologia e Inovações**



BELIANA CAVALCANTE SAWADA DE CARVALHO

**ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO EM
GRANDES CIDADES ATRAVÉS DO MÉTODO DE FLORESTAS
ALEATÓRIAS: Estudo de caso no município de São Paulo (SP)**

BELIANA CAVALCANTE SAWADA DE CARVALHO

**ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO EM GRANDES CIDADES
ATRAVÉS DO MÉTODO DE FLORESTAS ALEATÓRIAS: Estudo de caso no
município de São Paulo (SP)**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRA pelo Programa de Pós-Graduação em DESASTRES NATURAIS.

Área: Desastres Naturais. Linha de pesquisa: Instrumentação e Análise de Dados.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões

Coorientador: Profa. Dra. Tatiana Sussel Gonçalves Mendes

São José dos Campos

2024

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2024]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Carvalho, Beliana Cavalcante Sawada de
Análise se suscetibilidade a inundação em grandes cidades através do método de florestas aleatórias: Estudo de caso no município de São Paulo (SP) / Beliana Cavalcante Sawada de Carvalho. - São José dos Campos : [s.n.], 2024.

56 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Desastres Naturais - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2024.

Orientador: Silvio Jorge Coelho Simões

Coorientador: Tatiana Sussel Gonçalves Mendes

1. Aprendizado em máquina. 2. Florestas Aleatórias. 3. Desastres Naturais. 4. Inundações. 5. São Paulo. I. Simões, Silvio Jorge Coelho, orient. II. Mendes, Tatiana Sussel Gonçalves, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual Paulista (Unesp). VI. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A espacialização dos dados de chuva com o uso da geoestatística é significativo porque contribui para o entendimento dos padrões de precipitação em uma determinada região a partir de análises temporais e espaciais dos dados coletados, permitindo identificar áreas propensas a eventos extremos e a tomada de decisões sobre uso da terra e gestão de recursos, bem como contribui para o mapeamento de suscetibilidade a inundação em grandes cidades. Mapa de suscetibilidade a inundação é uma ferramenta de extrema importância para gestores na avaliação e gerenciamento de riscos. Os mapas gerados neste estudo fornecem informações detalhadas e precisas para identificar áreas favoráveis aos eventos de inundação, permitindo que a cidade de São Paulo possa implementar medidas preventivas e de preparação para diminuir os efeitos nas comunidades sujeitas aos riscos de inundação.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The spatialization of rainfall data with the use of geostatistics is significant because it contributes to the understanding of precipitation patterns in a given region based on temporal and spatial analyses of the data collected, allowing the identification of areas prone to extreme events and the making of decisions about land use and resource management, as well as contribute for flood susceptibility mapping in large cities. Flood susceptibility map is an extremely important tool for managers in the assessment and management of hazards. The maps generated in this study provide detailed and accurate information to identify areas favorable to flood events, allowing the city of São Paulo to implement preventive and preparedness measures to reduce the effects on communities subject to flood risks.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Ciência e Tecnologia
Campus de São José dos Campos

Prof. Dr. Rogério Galante Negri

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Ciência e Tecnologia
Campus de São José dos Campos

Profa. Dra. Mariana Ferreira Benessiuti Motta

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Engenharia e Ciências
Campus de Guaratinguetá

São José dos Campos, 02 de fevereiro de 2024.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãs, filha e marido por todo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Silvio Jorge Coelho Simões, pela sua orientação, valiosas sugestões e ensinamentos.

À Professora Tatiana Sussel Gonçalves Mendes, pela sua orientação, permanente colaboração e acompanhamento.

À banca de qualificação, Professor Rogério Galante Negri e Professora Mariana Benessiuti Motta, pelas sugestões de melhoria ao meu trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-graduação de Desastres Naturais que contribuíram para o meu aprendizado. Aos funcionários da secretária técnica da Pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa de mestrado.

Ao meu pai e à minha irmã Taisa, que sempre me incentivaram nos estudos.

Aos meus amores, minha afilhada Loli e minha filha Marcela, por alegrarem os meus dias.

Ao meu marido Adriano, por todo apoio e cuidado com a nossa família.

Finalmente, à Deus, por estar sempre me guiando.

“É maravilhoso, Senhor, ter tão pouco a pedir e tanto para agradecer”. Autor desconhecido

RESUMO

CARVALHO, B. C. S. C. **Análise de suscetibilidade a inundação em grandes cidades através do método de Florestas Aleatórias:** Estudo de caso no município de São Paulo (SP). 2024. Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2024.

O aumento da frequência de chuvas intensas devido aos efeitos das mudanças climáticas e o acelerado processo de expansão urbana, como compactação e impermeabilização do solo, são fatores que contribuem para a incidência de desastres naturais como inundações, alagamentos e deslizamentos de encostas. Atualmente, os eventos de inundação são a principal causa de danos em todo o mundo. Esses eventos apresentam tendência de aumento quando comparados à média anual de eventos no passado e podem ser agravados em cenários de variação climática. Considerando uma das cidades mais importantes do Brasil, São Paulo tem características peculiares relacionadas a áreas densamente ocupadas sobre e margeando os rios. Este trabalho tem como objetivo a análise suscetibilidade a inundação usando o método Floresta Aleatória em uma região do município de São Paulo. O método proposto usa como base dois inventários, um com 75 pontos de inundação e outro com 578 pontos de inundação e alagamento. O mapa de precipitação é um dos fatores condicionantes usados como dados de entrada no modelo. Para estimar a precipitação média anual para o município, foi utilizado o método geostatístico de krigagem ordinária. Um MDT, derivado de dados LiDAR, foi usado para gerar a maioria dos fatores condicionantes. Ao todo, 10 fatores condicionantes foram usados, sendo: altitude, amplitude do relevo, aspecto, curvatura, curvatura em perfil, curvatura plana, declividade, litologia, pluviométrico e TWI. Os resultados foram comparados com um mapa geotécnico disponível para a área. O modelo gerado a partir dos pontos de inundação e alagamento apresentou melhor desempenho em termos de acurácia, AUC, sensibilidade e especificidade. Os resultados dos modelos revelam que as áreas de suscetibilidade à inundação vão além das classes de planície de inundação e área sujeita a inundação apresentadas no mapa geotécnico.

Palavras-chave: Aprendizado em máquina; florestas aleatórias; desastres naturais; inundações, São Paulo.

ABSTRACT

CARVALHO, B. C. S. C. *Analysis of susceptibility to flooding in large cities using the Random Forest method: a case study in the city of São Paulo (SP)*. 2024. Dissertation (Master's degree in Natural Disaster) - São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology, National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (Cemaden), São José dos Campos, 2024.

The increase in the frequency of heavy rains due to the effects of climate change and the accelerated process of urban expansion, such as soil compaction and sealing, are factors that contribute to the incidence of natural disasters such as flooding, flooding and landslides on slopes. Currently, flood events are the main cause of damage worldwide. These events present an upward trend when compared to the annual average of events in the past and can be worsened in climate variation scenarios. Considering one of the most important cities of Brazil, São Paulo has peculiar characteristics related to densely occupied areas over and bordering rivers. This work aims to analyze flood susceptibility using the Random Forest method in a region of the city of São Paulo. The proposed method uses two inventories, one with 75 flooding points and the other with 578 flooding and flash flood points. The precipitation map is one of the conditioning factors used as input data in the model. To estimate the average annual precipitation in the municipality of São Paulo, the geostatistical method of ordinary kriging was used. DTM derived from LiDAR data was used to generate most of the conditioning factors. In all, 10 conditioning factors were used, namely: altitude, relief amplitude, aspect, curvature, profile curvature, plan curvature, slope, lithology, rainfall and TWI. The results were compared with a geotechnical map available for the area. The model generated from the flood and flash flood points better showed the highest performance in terms of accuracy, AUC, sensitivity and specificity. The results of the models reveal that the flooding susceptibility areas go beyond the classes of floodplain and area subject to flooding classes presented on the geotechnical map.

Keywords: Machine learning; random forests; natural disasters; flooding; Sao Paulo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 ARTIGOS	14
2.1 Artigo – Carvalho, B.C.S.; Mendes, T. S. G.; Simões, S. J. C. Distribuição Espacial das Chuvas na Cidade de São Paulo utilizando a Geoestatística / <i>Rainfall Spatial Distribution in the city of Sao Paulo using geostatistics.</i>	14
2.2 Artigo – Carvalho, B. C. S.; Mendes, T. S. G.; Simões, S. J. C.; Makita, F. H. Mapeamento de suscetibilidade a inundações e alagamentos utilizando Floresta Aleatória na cidade de São Paulo, Brasil / <i>Flooding and flash flood susceptibility mapping using Random Forest in São Paulo city, Brazil.</i>.....	28
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS	61
ANEXOS	64

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do século XIX, o desenvolvimento das cidades decorrente da industrialização e da mecanização da agricultura acionou a procura de terras nas planícies de inundações. A ocupação nas imediações das margens dos rios promoveu alterações nos canais, bem como a redução da sua capacidade original de reduzir os períodos de cheias. Nas grandes cidades brasileiras, como por exemplo na cidade de São Paulo, os sistemas fluviais dos rios foram modificados através do aumento da área da seção transversal para assumir o crescimento populacional e de estruturas urbanas da cidade. Diante deste modelo de ocupação, as ocorrências de inundação e seus impactos na capital paulista, principalmente na região de convergência entre os Rios Pinheiros e Tietê, tornou-se um grande desafio no processo de gestão desta área.

As marginais dos Rios Pinheiros e Tietê, interligam as regiões norte e sul da cidade de São Paulo e são responsáveis pelo acesso de várias rodovias importantes do país. Nos eventos de inundação provocados por estes rios, os principais sistemas viários são paralisados e refletem no abastecimento de produtos essenciais para diversas regiões do Brasil e, com isso, a economia brasileira é diretamente afetada.

Neste estudo, os mapas de suscetibilidade à inundação foram desenvolvidos com resolução espacial de 50 cm em uma porção da bacia do rio Tamanduateí, localizada na cidade de São Paulo. Na metodologia, o modelo de suscetibilidade a inundação a partir do algoritmo de RF, usou registros de localização de pontos de inundação (modelo A) e de pontos de inundação e alagamento (modelo B) para compor as amostras de treinamento e validação. Fatores condicionantes topográficos, hidrológicos, geológicos e de precipitação foram usados no modelo de suscetibilidade a inundação. O mapa de precipitação média anual do município foi gerado a partir registros históricos de precipitação e interpolação dos dados usando uma abordagem geoestatística. Métricas estatísticas foram utilizadas para verificar o desempenho e comparar modelos de suscetibilidade a inundação gerados.

Os resultados mostraram que o modelo B, com registros de inundação e alagamentos, apresentou o melhor desempenho em termos de acurácia (0,879), AUC (0,925), sensibilidade (0,870) e especificidade (0,888) quando comparado com o modelo A, que usou apenas registros de inundação. Na análise de Frequência Relativa, tem-se que a maioria dos eventos de inundação ocorreram na classe de baixa Altitude. O fator condicionante mais significativo nos modelos de suscetibilidade foi a Declividade, seguido (em ordem decrescente) dos fatores

condicionantes Aspecto, Precipitação, Altitude, TWI, Amplitude, Curvatura de perfil, Curvatura plana, Curvatura e Litologia.

O fator condicionante pluviométrico (Precipitação) ocupou a terceira posição nos modelos A e B, indicando a importância dessa variável. No entanto, obter um mapa de precipitação baseado em dados de estações pluviométricas nem sempre é uma tarefa simples e um dos maiores problemas é a disponibilidade dos dados. No presente estudo verificou-se que a distribuição das estações pluviométricas com dados consistentes nas proximidades da cidade de São Paulo não é homogênea. Apenas 19 estações puderam ser consideradas para a análise, sendo somente seis delas pertencentes ao município de São Paulo. O mapa de estimativa de erros gerado pela abordagem geostatística mostrou que a região necessita de adensamento de estações pluviométricas com séries históricas suficientes e dados consistentes para melhorar a representatividade da variável. Portanto, a elaboração de mapas de precipitação, anual ou sazonal, é um desafio significativo para determinadas localidades, pois sua precisão pode ser afetada pela falta de dados.

Os resultados dos modelos de suscetibilidade mostraram que a área suscetível à inundação vai além do que é mostrado no mapa geotécnico, que apresentam as classes de planície de inundação e áreas suscetíveis a inundação. Tal fato também pode ser observado pela localização dos eventos de inundação e alagamentos, a partir do inventário. Por isso que a metodologia proposta deste estudo, baseada em *data-driven*, propõe um avanço na coleta e processamento do conjunto de dados para a área de estudo, uma vez que os mapas de suscetibilidade a inundação disponíveis para o município de São Paulo não usam métodos de ML e geralmente possuem baixa precisão e pouco detalhamento, dado à baixa resolução espacial (10 a 30 metros) do MDT utilizado.

A atualização das áreas suscetíveis a inundação e de planícies de inundação do município deve ser realizada, no entanto é uma tarefa dispendiosa. Para obter uma compreensão abrangente das áreas sujeitas a inundação, seria interessante estudos que envolvessem uma abordagem baseada em modelo de chuva-vazão, tendo como resultado a simulação da mancha de inundação. No entanto, essa abordagem também é limitada devido à ausência de dados de vazão disponíveis na região, necessários para a calibração do modelo. Dessa forma, métodos baseados em ML, como proposto no presente estudo, proporcionam uma alternativa potencial para a atualização dessas áreas.

Espera-se que os mapas de suscetibilidade a inundação analisados neste estudo sejam utilizados como uma fonte de dados confiável, com a inclusão da determinação de áreas

prioritárias para evitar os danos decorrentes por este evento e, dessa maneira, o trabalho possa contribuir para as ações de planejadores e gestores na prevenção e mitigação de desastres causados pela inundação.

Este estudo é relevante na avaliação de inundação na cidade de São Paulo, porque a técnica de ML, aplicada através do algoritmo RF, apresentou ótima sensibilidade quando comparado a resultados de outros estudos. Todavia, a área deste estudo pertence a região central do município e diferentes resultados podem ser obtidos de acordo com as características regionais. Em pesquisas futuras, os modelos poderão ser aplicados a outras áreas inundáveis considerando as características locais das áreas a serem estudadas.

REFERÊNCIAS

ABEDI, R.; COSTACHE, R.; SHAFIZADEH-MOGHADAM, H.; PHAM, Q. B. Flash-flood susceptibility mapping based on XGBoost, random forest and boosted regression trees. **Geocarto International**, 37:19, p. 5479-5496, 2022.

AIYELOKUN, O.O., AIYELOKUN, O.D., AGBEDE, O.A. Application of random forest (RF) for flood levels prediction in Lower Ogun Basin, Nigeria. **Natural Hazards**, v.119, p. 2179–2195, 2023.

APARECIDO, L.E.D.O.; MORAES, J.R.D.S.C.D., LIMA; R.F.D.; TORSONI, G.B. 2022. Spatial Interpolation Techniques to Map Rainfall in Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.37, p. 141-155, 2022

Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012 / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

BUI, Q.T; NGUYEN, Q.H.; NGUYEN, X. L.; PHAM, V. D.; NGUYEN, H. D; PHAM, V. M. Verification of novel integrations of swarm intelligence algorithms into deep learning neural network for flood susceptibility mapping. **Journal of Hydrology**, v. 581, 124379, 2020.

COLLINS, E.L.; SANCHEZ, G.M.; TERANDO, A.; STILLWELL, C.; MITASOVA, H.; SEBASTIAN, A.; MEETNTEMEYER, R. Predicting flood damage probability across the conterminous United States. **Environmental Research Letters**, 17, 2022.

DU, J., CHENG, L., ZHANG, Q. ET AL. Different Flooding Behaviors Due to Varied Urbanization Levels within River Basin: A Case Study from the Xiang River Basin, China. **Int J Disaster Risk Sci**, v.10, p. 89–102, 2019.

HADDAD, E. A.; TEIXEIRA, E. Economic impacts of natural disasters in megacities: The case of floods in São Paulo, Brazil. **Habitat International**, v. 45, p. 106-113, 2015.

HAWKER. L.; BATES, P.; NEAL, J.; ROUGIER, J. Perspectives on Digital Elevation Model (DEM) simulation for flood modeling in the absence of a high-accuracy open access global DEM. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, p. 233, 2018.

HIRABAYASHI, Y.; MAHENDRAN, R.; KOIRALA, S.; KONOSHIMA, L.; YAMAZAKI, D.; WATANABE, S.; KIM, H.; KANAE, S. Global flood risk under climate change. **Nature Clim Change**, v. 3, p. 816–821, 2013

Histórica/Revista Online do Arquivo Público do Estado de São Paulo - Ano 10 - São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>>. Acesso em: 20 de jun. de 2022.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.

IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

EL-MAGD, A.; AHMED, S.. Random forest and naïve Bayes approaches as tools for flash flood hazard susceptibility prediction, South Ras El-Zait, Gulf of Suez Coast, Egypt. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 15, n. 3, 2022.

FENG, B., ZHANG, Y., BOURKE, R. Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. **Natural Hazards**, v. 106, p. 613–627, 2021.

LANDIM, P.M.B., STURARO, J.R.. Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. *Geomatemática, Texto Didático 6, DGA,0 IGCE, UNESP/Rio Claro*, 2002. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em 16 de abril de 2022.

MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, O.J.M.; OLIVEIRA, M.S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 925-933, 2003.

MEMBELE, G. M.; NAIDU, M.; MUTANGA, O. Examining flood vulnerability mapping approaches in developing countries: A scoping review. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 69, p. 102766, 2022.

MOBLEY, W.; SEBASTIAN, A.; BLESSING, R.; HIGHFIELD, W.E.; STEARNS, L.; BRODY, S.D. Quantification of continuous flood hazard using random forest classification and flood insurance claims at large spatial scales: a pilot study in southeast Texas. **Natural Hazards Earth Systems Sciences**, v. 21: 807-822, 2021.

NORALLAHI, M.; KABOLI, H. S. Urban flood hazard mapping using machine learning models: GARP, RF, MaxEnt and NB. **Natural Hazards**, v.106, p. 119–137, 2021.

POURGHASEMI, H.R.; KARIMINEJAD, N.; AMIRI, M. et al. Assessing and mapping multi-hazard risk susceptibility using a machine learning technique. **Scientific Report**, v.10, p. 3203, 2020.

SIMÕES, S.J.C.; GOMES, L.; MENDES, R.M.; MENDES, T.S.G. SIG e modelos de escorregamentos: avaliando métodos para reduzir as incertezas de dados de solo e precipitação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 9, 1737-1746, 2016

Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres - S2iD. Ministério da Integração – MI. Disponível em: <<http://S2iD.mi.gov.br/>>. Acesso em: 01 de maio de 2022.

TAALAB, K.; CHENG, T.; ZHANG, Y. Mapping landslide susceptibility and types using random forest. **Big Earth Data**, v. 2, n. 2, p. 159–178, 2018.

TAROMIDEH, F.; FAZLOULA, R.; CHOUBIN, B.; EMADI, A.; BERNDTSSON, R. Urban Flood-Risk Assessment: Integration of Decision-Making and Machine Learning. **Sustainability**, v. 14, 4483, 2022.

TOMÁS, L.R.; SOARES, G.G.; JORGE, A.A.S.; MENDES, J.F.; FREITAS, V.L.S.; SANTOS, L.B.L. Flood risk map from hydrological and mobility data: A case study in São Paulo (Brazil). **Transactions in GIS**, v. 26, p. 2341–2365, 2022.

VALVERDE, M. C.; CALADO, B. N.; CALADO, G. G.; KUROKI, L.Y.; BRAMBILA, R.; SOUSA, A. R. Climate projections of precipitation and temperature in cities from ABC Paulista, in the Metropolitan Region of São Paulo-Brazil. **Frontiers in Clim**, v. 5, p.1127026, 2023.

XAVIER JÚNIOR, S. F. A.; JALE, J. D. S.; STOSIC, T.; SANTOS, C. A. C. D.; SINGH, V. P. Precipitation trends analysis by Mann-Kendall test: a case study of Paraíba, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.35, p. 187-196, 2020.

WU, Y., ZHANG, W., HU, X. ET AL. Unravelling increasing flood hazard and influential factors in a tidal river. **Natural Hazards**, 2024.

ZOPE, P.E.; ELDHO, T.I.; JOTHIPRAKASH, V. Impacts of land use–land cover change and urbanization on flooding: A case study of Oshiwara River Basin in Mumbai, India. **Catena**, v. 145, p. 142-154, 2016.

YANTO, APRIYONO, A., SANTOSO, P.B. ET AL. Landslide susceptible areas identification using IDW and Ordinary Kriging interpolation techniques from hard soil depth at middle western Central Java, Indonesia. **Natural Hazards**, v. 110, p. 1405–1416, 2022.