

MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE MUNIZ FREIRE-ES

Políticas públicas, Legislação e Meio Ambiente

Gabriel Gomes Mendes¹
Viviane Modesto Arruda²
Jhansley Ferreira da Mata³
Gabriel Longuinhos Queiroz⁴
Katianne Assunção Silva e Silva⁵
Gabriela Dias da Silva⁶

Resumo

A identificação de áreas propensas a inundações é um componente crítico do planejamento urbano e de uma política eficaz na gestão de desastres naturais. Deste modo, o presente artigo tem como objetivo mapear as áreas susceptíveis a inundações no município de Muniz Freire. O percurso metodológico se deu por meio da caracterização da área de estudo, na sequência foi realizado o download dos arquivos necessários para realização do mapeamento, como os limites municipais e estaduais, modelo digital de elevação e uso e ocupação do solo. Tais dados foram manipulados através do software livre de Sistema de Informação Geográfica (SIG), o QGIS versão 3.16.10 “Hannover”. Foram considerados três fatores que afetam as inundações: uso e ocupação do solo, declividade e fluxo acumulado. A partir da geração dos mapas desses fatores, utilizou-se a análise multicritério por meio da álgebra de mapas para a construção do mapa de susceptibilidade à inundação. O estudo possibilitou conhecer a dinâmica espacial das áreas propensas a inundação do município de Muniz Freire, principalmente na identificação de áreas no entorno da zona urbana.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Análise Multicritério; Mapa de susceptibilidade; Distribuição Espacial.

¹Discente do Programa de Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, gabriel_gomes96@live.com.

²Prof. Dra. da Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Ubá – Departamento de Ciências Exatas e da Terra, viviane.modesto@uemg.br.

³Prof. Dr. da Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal – Departamento de Ciências Exatas e da Terra, jhansley.mata@uemg.br.

⁴Discente do Programa de Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, gabriel_longuinhos@hotmail.com.

⁵Discente do Programa de Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, katiannesinhana@hotmail.com.

⁶Discente do Programa de Mestrado em Sistemas Aquáticos Tropicais, Universidade Estadual de Santa Cruz, Campus Soane Nazaré de Andrade, gabrieladias.amb@gmail.com.

INTRODUÇÃO

As inundações em áreas urbanas são um desafio crescente, uma vez que tende a ser um fenômeno global que causa devastação significativa, impactos econômicos e ambientais, bem como perdas de vidas humanas.

Segundo Leal, Barbosa e Aquino (2020) o aumento da população oriundo do processo migratório como também de urbanizações espontâneas, tem resultado na diminuição de áreas de armazenamento e no escoamento das águas pluviais no solo urbano.

As inundações têm ocorrido com maior frequência e dimensão no Brasil nas últimas décadas, afetando todo território brasileiro (PESSÔA *et al.*, 2022). Um estudo divulgado pelo Centro de Pesquisas sobre Epidemiologia de Desastres (CRED) revelam que as inundações são o tipo de desastre natural que mais atinge as pessoas, na qual alcançou mais de dois bilhões de pessoas entre 1998 e 2017, e também são responsáveis por 11% das mortes relacionadas a esse tipo de desastre (WALLEMACQ; HOUSE, 2018).

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, determina que cada município identifique, mapeie e realize estudos para reconhecer as ameaças, suscetibilidade e vulnerabilidade, bem como riscos de desastres ambientais (BRASIL, 2012).

Petri e Oliviera (2018) afirma que ao se buscar formas preventivas e um planejamento para possíveis remediações, é imprescindível verificar as áreas do município propensas a uma maior ou menor probabilidade de vim a ocorrer inundações. Uma das formas de promover o planejamento é através do mapa de suscetibilidade.

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) pode auxiliar no processo de tomada de decisão, pois tem a capacidade de lidar com uma ampla gama de dados de critérios, além de fornecer mapas de inundações que são fundamentais para a gestão de riscos (GIGOVIC' *et al.*, 2017; BAHIA; VASCO; SOUZA, 2021).

Se tratando do mapeamento de risco a inundação existe diversas metodologias aplicadas a esses estudos, uma delas é a Análise Multicritério, especialmente nos

Realização

Apoio

contextos de planejamento e gestão ambiental (MEIRELLES *et al.*, 2007). Essa metodologia é entendida como sendo uma coleção de sistemas computacionais que utilizam lógica matemática para compor e combinar diversas variáveis (SANTOS; NUNES; SANTOS, 2020).

Dessa forma, esse estudo tem como objetivo mapear as áreas susceptíveis a inundação no município de Muniz Freire-ES.

METODOLOGIA

Área de estudo

O local de estudo compreende-se o município de Muniz Freire, localizada na mesorregião Sul do estado do Espírito Santo, situada na região sudeste do Brasil (Figura 01). O município abrange uma área territorial de 678,804 km², sua população residente estimada para 2021 é de 17.176 habitantes (IBGE, 2022).

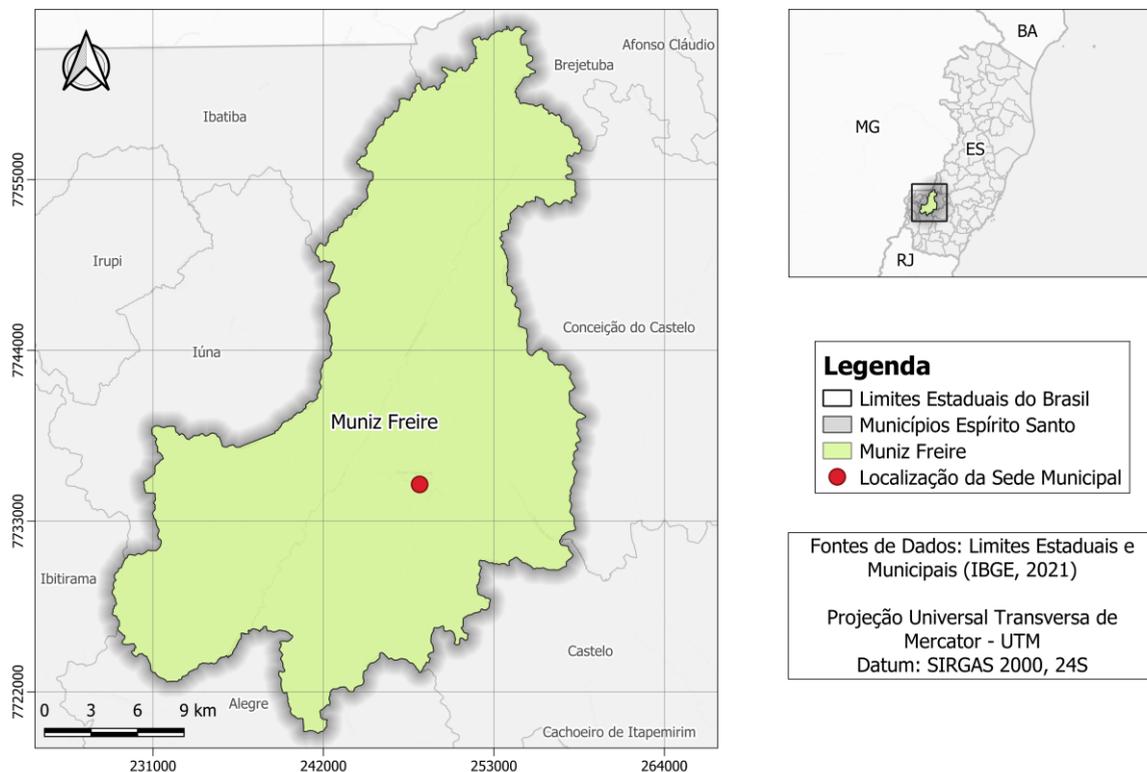


Figura 01: Mapa de localização do município de Muniz Freire-ES.

Realização

Apoio

O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é classificado como Cfa, ou seja, clima temperado úmido com verão quente, apresentando temperaturas superiores a 22°C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco (ALVARES *et al.*, 2013; SEKI *et al.*, 2021).

Os solos do município de Muniz Freire foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como: Cambissolo Háptico Tb Distrófico, Latossolo Amarelo Distrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Abruptico, Nitossolo Vermelho Eutrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, Argissolo Vermelho Distrófico, e Neossolo Litólico Distrófico e Eutrófico (EMBRAPA, 2013).

Base de dados

Para realização desse estudo os dados utilizados foram obtidos de plataformas virtuais, conforme apresentado no Quadro 01.

Quadro 01: Fontes de dados utilizados

Dados	Tipo	Origem
Limites municipais e estaduais	Vetorial (polígono)	IBGE
Modelo Digital de Elevação	Raster	SRTM NASA
Uso e ocupação do solo	Raster	ESRI

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Procedimentos

Uma ferramenta amplamente propagada e utilizada para auxiliar na identificação de áreas propensas a inundações é o geoprocessamento. Após o download das imagens realizou-se o pré-processamento dos dados digitais de elevação e drenagem utilizando o software livre de Sistema de Informação Geográfica (SIG), o QGIS versão 3.16.10 “Hannover”, na qual permite a visualização, edição, análise e a confecção de mapas com dados georreferenciados. O sistema de coordenadas utilizado foi o UTM (Universal Transversa de Mercator), os dados foram reprojatados para o Datum SIRGAS 2000.

Para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE), os softwares que realizam

Realização

Apoio

esses procedimentos precisam que os dados de entrada digital sejam de qualidade e estrutura aceitáveis (VERDE *et al.*, 2017). Sendo assim, procedeu-se com o preenchimento das depressões espúrias, definindo a direção do escoamento e do fluxo acumulado, em ambiente de SIG.

Para a confecção do mapa de susceptibilidade à inundação utilizou-se o método de Korah e Lopez (2015), com o objetivo de reclassificar os fatores conforme apresentado no Quadro 02.

Quadro 02: Valores e escala das várias camadas

Fatores que afetam as inundações	Valores	Escala	Interpretação
Uso do solo	Vegetação nativa	1	Muito Baixa
	Áreas em regeneração e florestas plantadas	2	Baixa
	Áreas agrícolas e pastagens	3	Moderada
	Solo exposto e área urbana	4	Alta
Declividade (graus)	> 51	1	Muito Baixa
	23 a 51	2	Baixa
	9 a 23	3	Moderada
	0 a 9	4	Alta
Fluxo acumulado	0 a 1600	1	Muito Baixa
	1601 a 5500	2	Baixa
	5501 a 18000	3	Moderada
	> 18000	4	Alta

Fonte: Adaptado de Korah e Lopez (2015).

Em um ambiente SIG, uma das maneiras de fazer uma análise multicritério é pelo uso de uma álgebra de mapas (LEAL; BARBOSA; AQUINO, 2020). Esse procedimento é baseado em um cálculo matemático utilizando a média ponderada, onde se leva em consideração os valores de domínio de cada uma das variáveis e os pesos atribuídos a

cada uma de suas classes (MOURA, 2007; ZACHARIAS *et al.*, 2021). A geração do mapa de susceptibilidade à inundação foi alcançada pela associação de camadas de dados que representavam os fatores, sendo realizada por meio de um SIG, conforme apresentada na Equação 1. Os pesos utilizados basearam no estudo de Korah e Lopez (2015).

$$MSI = UOS * 0,4 + D * 0,25 + FA * 0,35 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: MSI = Mapa de Susceptibilidade à Inundação; UOS = Uso e Ocupação do Solo; D = Declividade; FA = Fluxo Acumulado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso e ocupação do solo influencia tanto a velocidade do escoamento superficial quanto a retenção de água (KORAH; LOPEZ, 2015). Na Figura 02A, é apresentado o mapa de uso do solo reclassificado, onde em alguns trechos do município tendeu-se a um alto risco de inundação, principalmente onde está situado a sede municipal.

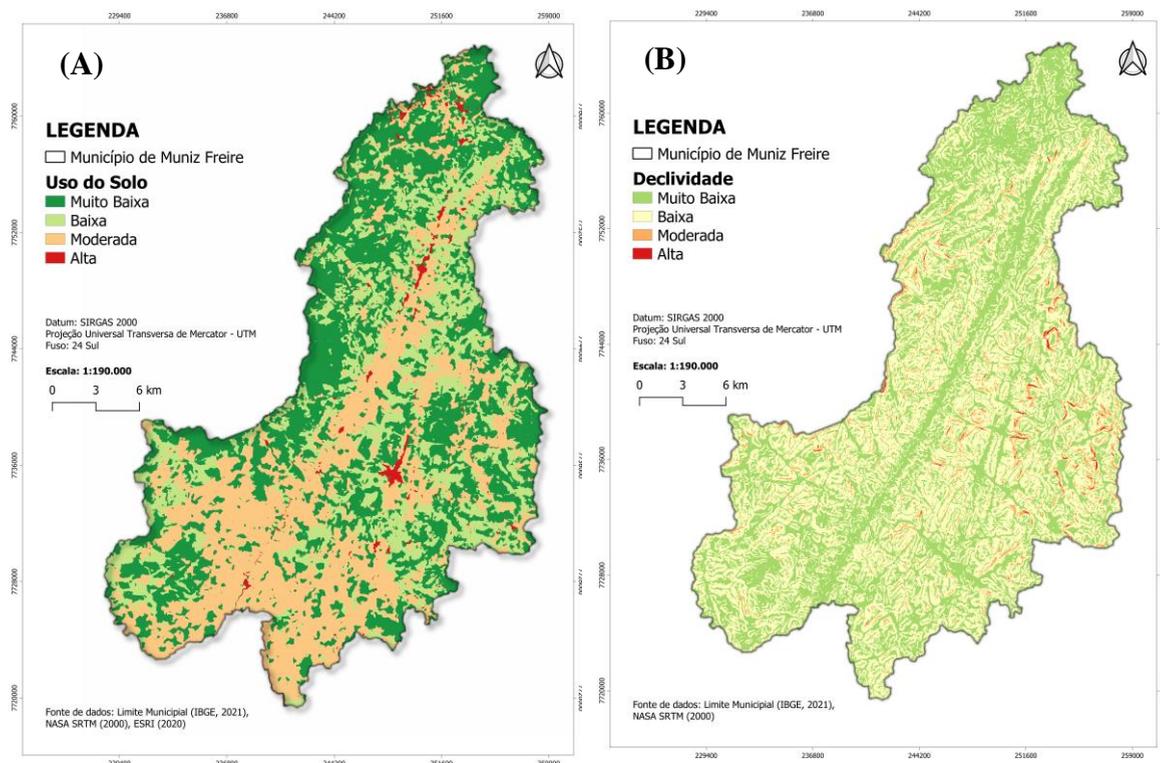


Figura 02: Cont.

Realização

Apoio

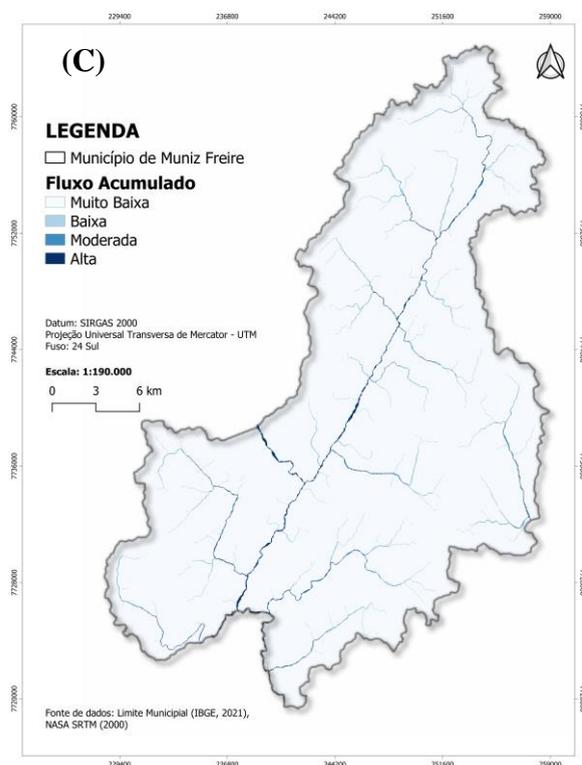


Figura 02: Variáveis de risco a inundação reclassificados: (A) Uso e ocupação do solo; (B) Declividade; e (C) Fluxo acumulado.

O mapa de uso e ocupação do solo é de grande relevância para identificação de áreas susceptíveis a inundações, uma vez que como alguns tipos de ocupação têm a capacidade de impermeabilizar a infiltração da água no solo. Nesse sentido, Aragão *et al.* (2017) afirmam que é de extrema necessidade o monitoramento do uso e ocupação do solo urbano, bem como diagnosticar e simular cenários do seu uso como possíveis medidas de controle.

No que diz respeito à declividade, conforme a Figura 02B, os resultados demonstraram que áreas do município de Muniz Freire variaram de baixa a alta em termos de graus de inclinação, influenciando assim a direção e a quantidade de escoamento superficial.

Dentro do limite municipal de Muniz Freire passa diversos cursos d'água, principalmente nas proximidades da sede municipal. Por serem mais planas e próximas aos cursos d'água, as margens dos riachos são as áreas mais densas e irregularmente ocupadas (AMARAL; GIAROLA; ALMEIDA NETO, 2017).

Realização

Apoio

Na Figura 02C é apresentada o mapa de direção de fluxo, na qual se permite a observação da direção do escoamento da água sob o relevo. Conforme Palácio *et al.* (2021), essa variável é de fácil compreensão, pois quanto maior o acúmulo de fluxo d'água, maior a suscetibilidade a inundações. Percebe-se através do mapa que as áreas com células mais escuras acumulam muita água do que as células mais claras no que diz respeito ao escoamento.

O mapa de susceptibilidade à inundação do município de Muniz Freire (Figura 03), resultou do cruzamento dos mapas temáticos de uso e ocupação do solo, declividade e fluxo acumulado. Esse mapa permitiu apresentar a espacialização do risco à inundação em categorias: muito baixo, baixo, moderado e alto.

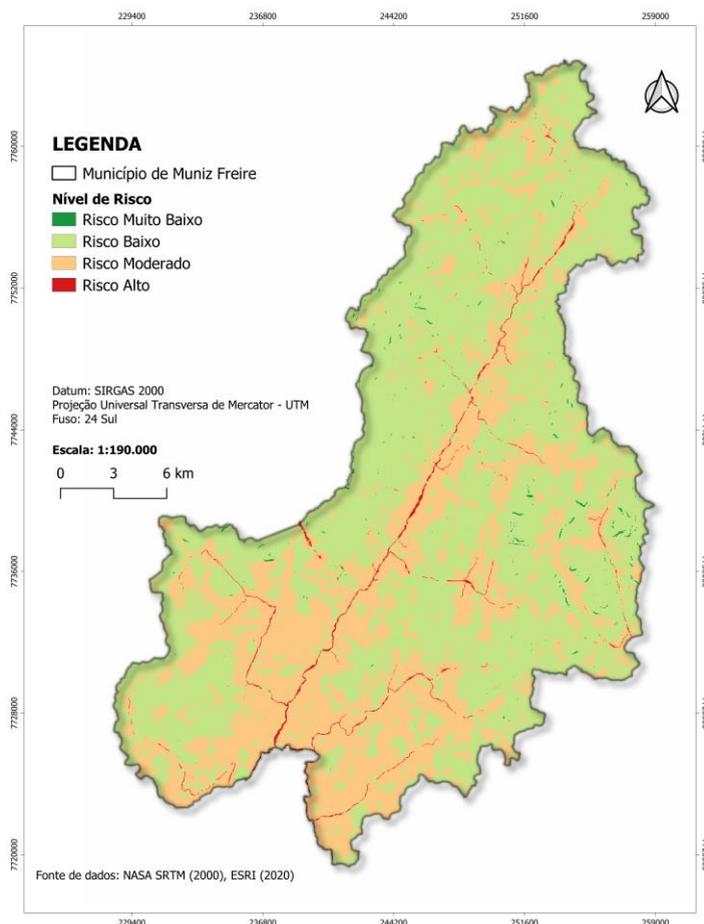


Figura 03: Mapa de Susceptibilidade à Inundação do município de Muniz Freire-ES.

A ponderação integrada das variáveis caracterizou a porção extremo-sul da cidade de Muniz Freire como a de risco moderado a alto à ocorrência de inundações, diminuindo

Realização

Apoio

progressivamente quando em direção à porção norte do município. Existe diversos registros em mídia local sobre a ocorrência de inundação no município, onde os principais afetados foram as populações de baixa renda.

Fernández e Lutz (2010) desenvolveram um zoneamento de risco de inundação urbana assistido pelo SIG em duas cidades usando o método de análise de decisão multicritério, na qual identificaram através do mapa que os bairros localizados próximos aos principais sistemas de drenagem estão em perigo.

Além dos critérios utilizados nesse estudo, pode-se incorporar mais variáveis de análise tais como: geologia, precipitação, pedologia, altitude, dentre outras (FELONI; MOUSADIS; BALTAS, 2019; WEISS; PIPPI, 2019; LEAL; BARBOSA; AQUINO, 2020). Para os próximos estudos nessa temática, incorporando essas outras variáveis, o diagnóstico ganha uma robustez e gera uma análise mais precisa sobre as possíveis áreas que podem vim a ocorrer inundações na área urbana.

A gestão do risco de inundação desempenha um papel crítico na implementação de estratégias para prevenir e mitigar as inundações através de decisões governamentais apropriadas (HUMBERTO *et al.*, 2019). Rimba *et al.* (2017), completa ao afirmar que a identificação das áreas vulneráveis se promove o fornecimento de respostas rápidas e diminui o impacto de possíveis eventos de inundação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo apresentou uma proposta metodológica que utilizou um SIG, para proceder com a avaliação de inundação no município de Muniz Freire. Através da análise multicritério foi possível realizar uma investigação com três variáveis associando com o método de álgebra de mapas, na qual possibilitou reunir, juntar e classificar às áreas propensas a inundação.

O município de Muniz Freire apresentou diversas áreas com risco de inundações, principalmente no entorno da área urbana. Fica evidente que estudos dessa magnitude se torna imprescindível para elaboração de mapeamento de áreas suscetíveis a inundações, podendo ser utilizada como instrumento de gestão pública.

Realização

Apoio

A AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio e a concessão da bolsa de estudo ao primeiro autor.

R REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

SEKI, M. S.; TETTO, A. F.; TRES, A.; VIEIRA, R. S. Classificação climática do Estado do Espírito Santo segundo as zonas de vida de Holdridge. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 1-19, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14supl.2.e8007>.

KORAH, P. I.; LÓPEZ, F. Mapping Flood Vulnerable Areas in Quetzaltenango, Guatemala using GIS. *Journal of Environment and Earth Science*, v. 5, n. 6, p. 132-143, 2015. Disponível em: <https://iiste.org/Journals/index.php/JEES/article/view/21000/21249>. Acesso em: 10 abr. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades Panorama**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/muniz-freire/panorama>. Acesso em: 10 abr. 2022.

GIGOVIĆ, L.; PAMUCAR, D.; BAJIC, Z.; DROBNJAK, S. Application of GIS-interval rough AHP methodology for flood hazard mapping in urban areas. *Water*, [S. l.], v. 9, n. 6, p. 360, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w9060360>.

FERNÁNDEZ, D. S.; LUTZ, M. A. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, v. 111, n. 1–4, p. 90–98, 2010.

HUMBERTO, J. S.; DA SILVA, L. B. L.; LIMA, L. E. S.; ALENCAR, M. H.; ALMEIDA, J. A.; DE ALMEIDA, A. T. Modelo De Apoio à Decisão Multicritério para Gestão de Riscos de Inundação em Áreas Urbanas. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbpo-2019/papers/modelo-de-apoio-a-decisao-multicriterio-para-gestao-de-riscos-de-inundacao-em-areas-urbanas?lang=pt-br>. Acesso em: 21 abr. 2022.

RINCÓN, D.; KHAN, U. T.; ARMENAKIS, C. Flood risk mapping using GIS and multicriteria analysis: A greater toronto area case study. *Geosciences* (Switzerland), v. 8, n. 8, 2018.

VERDE, B. S. C.; SANTANA, R. O.; MENDES, G. G.; OLIVEIRA, M. C. S. C. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Acará e Espacialização da Precipitação Média Anual

Realização

Apoio

pelo Método IDW. In: Giovanni Seabra. (Org.). **Educação Ambiental e Biogeografia**. 1ed. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2017, v. 6, p. 150-161. Disponível em: http://www.mediafire.com/file/kepix1wp0c502du/E-book_V_CNEA_-_Livro_2.pdf/file. Acesso em: 22 abr. 2022.

LEAL, F. C. B. S.; BARBOSA, I. M. B. R.; AQUINO, J. T. MAPEAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS À INUNDAÇÃO COM USO DO SIG E DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO: O CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA EM PERNAMBUCO. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 9, n. 0, p. 20, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e0i202020-40>.

ZACHARIAS, A.; TEIXEIRA, A. L.; VENTORINI, S. E.; FERREIRA, A. B. R.; SANTOS, T. G. A cartografia de síntese e as estruturas verticais e horizontais da paisagem em ambientes urbanos suscetíveis à inundação. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 41, n. 1, p. e177185, 2021. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.177185.

PETRI, C. A.; OLIVEIRA, L. M. CRIAÇÃO E AVALIAÇÃO DE MAPAS DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE IGUAPE, ESTADO DE SÃO PAULO. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 289-305, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e42018289-305>.

PESSÔA, V. M. M.; CECAGNO, C. F.; CAMARGO, D. M. de; MARQUES, M. L. Contribuição de Aspectos Naturais e Antropogênicos para Análise do Perigo à Inundação em Campinas-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 74, n. 1, p. 100–121, 2022. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/49026>. Acesso em: 24 abr. 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

WALLEMACQ, P.; ROWENA, H. **Economic losses, poverty & disasters: 1998-2017**. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), p. 31, 2018. Disponível em: https://www.preventionweb.net/files/61119_credeconomiclosses.pdf. Acesso em: 24 abr. 2022.

BAHIA, D. S. G.; VASCO, A. N.; SOUZA, I. F. Determinação de áreas naturalmente suscetíveis a inundação utilizando análise multicritério no município de Aracaju, SE. In: José Henrique Porto Silveira. (Org.). **Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia**. 1ªed. Belo Horizonte, MG: Poisson, v. 0, p. 40-51, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.36229/978-65-5866-132-0.CAP.05>.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC; autoriza a criação de sistemas de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1997, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm. Acesso em: 24 abr. 2022.

Realização

Apoio



MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CÂMARA, G. Técnicas de inferência espacial. In: MORAES, A.C.; SANTOS, A.R. dos. (Ed.). **Geomática e análise ambiental**, Vitória: EDUFES, 2007. p. 107-189.

SANTOS, R. L.; NUNES, F. G.; SANTOS, A. M. QUALIDADE AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ-MA: UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE INDICADORES INTRA-URBANOS. **Caminhos de Geografia**, [S. l.], v. 21, n. 78, p. 01–20, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/RCG217850883>.

ARAGÃO, R.; CRUZ, M. A. S.; CORREIA, E. C. O.; MACHADO, L. F. M.; FIGUEIREDO, E. E. Impacto do Uso do Solo pelo aumento da Densidade Populacional sobre o escoamento numa área urbana do Nordeste Brasileiro via Geotecnologias e Modelagem hidrológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 543-557, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170035>.

AMARAL, C. M.; GIAROLA, I. B. S.; ALMEIDA NETO, J. O. Identificação das áreas suscetíveis à inundação na bacia hidrográfica do Córrego Matirumbide, Juiz de Fora-MG. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, [S. l.], p. 4141-4149, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/sbfga.v1i2017.2567>.

PALÁCIO, O. D.; OLIVEIRA, C. W.; MEIRELES, A. C. M.; SOUZA JÚNIOR, T. G. S. Análise de Susceptibilidade a Alagamento em Juazeiro do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 2204-2219, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2204-2219>.

FELONI, E.; MOUSADIS, I.; BALTAS, E. Flood vulnerability assessment using a GIS-based multi-criteria approach—The case of Attica region. **Journal Of Flood Risk Management**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. e12563, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jfr3.12563>.

WEISS, R.; PIPPI, L. G. A. Análise multicritério na definição de vulnerabilidade ambiental. **Terr@ Plural**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 272-295, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5212/terraplural.v.13i3.0018>.

RIMBA, A.; SETIAWATI, M.; SAMBAH, A.; MIURA, F. Physical Flood Vulnerability Mapping Applying Geospatial Techniques in Okazaki City, Aichi Prefecture, Japan. **Urban Science**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 7, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/urbansci1010007>.

Realização

Apoio