

## EFEITO DO USO DE DIFERENTES MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE ÍNDICES DE VULNERABILIDADE A INUNDAÇÕES

*Luana Lavagnoli Moreira<sup>1</sup> ; Mariana Madruga de Brito<sup>2</sup> & Masato Kobiyama<sup>3</sup>*

**Palavras-Chave** – índice, indicador, vulnerabilidade.

### INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade tem um papel importante na avaliação do risco de inundações, uma vez que os perigos apenas se transformam em desastres se houver pessoas vulneráveis ou infraestrutura localizada em áreas expostas a perigos (KOBİYAMA et al., 2018). De fato, os impactos das inundações dependem fortemente da vulnerabilidade do sistema ou comunidade exposta (de BRITO et al., 2018). Assim, o conhecimento da vulnerabilidade é fundamental para avaliar o risco de inundação, pois permite calcular a susceptibilidade dos elementos expostos (KARAGIORGOS et al., 2016) ao considerar múltiplas dimensões (BIRKMANN et al., 2013). Além disso, a avaliação da vulnerabilidade permite identificar áreas mais críticas e os principais fatores sociais, econômicos, físicos, culturais, ambientais e institucionais que contribuem para a vulnerabilidade (RUFAT et al., 2015).

O método bastante recomendado para avaliação holística das dimensões da vulnerabilidade consiste no uso de índices e indicadores (NASIRI et al., 2016). O uso de indicadores ajuda a simplificar as condições e o comportamento de um sistema, a resumir questões complexas e multidimensionais, e facilita as interpretações pelos usuários finais (SAISANA; TARANTOLA, 2002). Porém, existem algumas limitações deste método, pois cada etapa da construção do índice carrega incertezas (NAZEER; BORK, 2019).

Essas incertezas estão principalmente relacionadas à normalização de indicadores, ponderação de critérios, método de agregação, bem como à qualidade e disponibilidade de dados, variabilidade e julgamento humano (LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014) que influenciam os padrões finais de vulnerabilidade. Portanto, as escolhas metodológicas durante a construção do índice implicam suposições, subjetividade e incertezas que devem ser identificadas e reconhecidas (NARDO et al., 2008).

Portanto, são necessárias análises de sensibilidade e incerteza. No entanto, essas análises raramente são realizadas em estudos de vulnerabilidade a inundações (BURGASS et al., 2017; de BRITO; EVERS, 2016). A maioria dos artigos publicados trata apenas da incerteza gerada pelo processo de ponderação (Becker et al., 2017; de Brito et al., 2019). No entanto, outras etapas que também são relevantes, como a incerteza introduzida pela normalização (NAZEER; BORK, 2019; YOON, 2012).

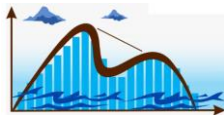
Diante da falta de estudos nessa área, o presente artigo visa compreender o comportamento da vulnerabilidade a inundações, considerando diferentes métodos de normalização com intuito de construir um índice robusto de vulnerabilidade.

---

1) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, lavagnoliluana@gmail.com, 51 3308-7518

2) Department of Urban and Environmental Sociology, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Permoserstraße 15, 04318, Leipzig, Germany, mariana.brito@ufz.de

3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, masato.kobiyama@ufrgs.br, 51 3308-7518



## METODOLOGIA

A metodologia proposta foi aplicada na bacia do rio Maquiné (510 km<sup>2</sup>), localizada na região sul do Brasil. Esta bacia está localizada em uma área montanhosa com altitudes variando entre 1 a 975 metros. A maior parte da bacia é coberta por floresta (78,3%), seguida por cultivos agrícolas (11,7%), solo exposto (5,5%), reflorestamento (3,0%), corpos d'água (0,9%) e área urbana (0,7%). A bacia possui uma população de 6.024 habitantes, sendo que 70,0% vivem em áreas rurais (IBGE, 2010). As inundações ocorrem frequentemente durante todo ano, sendo um dos eventos mais significativos ocorrido em maio de 2008, quando a vazão do rio alcançou 568 m<sup>3</sup>/s, muito acima da vazão média (15,2 m<sup>3</sup>/s), causando danos às moradias e desalojamento de pessoas.

A construção dos índices geralmente seguem as seguintes etapas: (i) escolha do fenômeno a ser medido; (ii) seleção de indicadores; (iii) normalização; (iv) ponderação; (v) agregação; (vi) classificação dos resultados; (vii) análise de sensibilidade e incerteza; e (viii) validação (Nardo et al., 2008). A fim de investigar a incerteza na construção do índice de vulnerabilidade a inundações foram escolhidos (i) indicadores relevantes com base em uma revisão sistemática da literatura; (ii) que foram normalizados usando os quatro métodos mais comuns (mín-máx, *z-scores*, distância ao máximo e *ranking*) (NARDO et al., 2008); (iii) uso de pesos iguais; (iv) agregação linear dos indicadores normalizados com pesos iguais; (v) classificação da vulnerabilidade a inundações; e (vi) foi realizada análise de sensibilidade e incerteza dos métodos de normalização através da correlação de Spearman e alterando os parâmetros dos dados de entrada, considerando uma análise de sensibilidade local (SA) denominada SA *one-at-time* (DAMM, 2010).

Foram utilizados 19 indicadores (população total, densidade populacional, número de mulheres, taxa de dependência, casas com mais de 5 moradores, número de mulheres chefe de família, pessoas menores de 4 anos e maiores de 65 anos, analfabetos, renda per capita, desempregados, pessoas vivendo em casas alugadas, morador sem renda, rendas per capita menor que 1/8 do salário mínimo, menor que 1 salário e menor que 2 salários, casas com esgoto a céu aberto, casas sem coleta de lixo, e casas sem acesso a eletricidade). Os valores desses indicadores, disponíveis pelo IBGE (2010), foram contabilizados em 20 setores censitários na bacia do rio Maquiné, exceto 2 setores que não foram utilizados por não existir moradores.

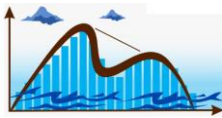
## RESULTADOS

Em relação às correlações entre os índices de vulnerabilidade a inundações, a Figura 1 mostra que a maioria dos índices possui alta correlação entre si e com valores que variam de 0,921 a 1,000.

Figura 1 – Correlação entre os índices de vulnerabilidade a inundações baseado em diferentes métodos de normalização. Os números representam o coeficiente de correlação de Spearman.

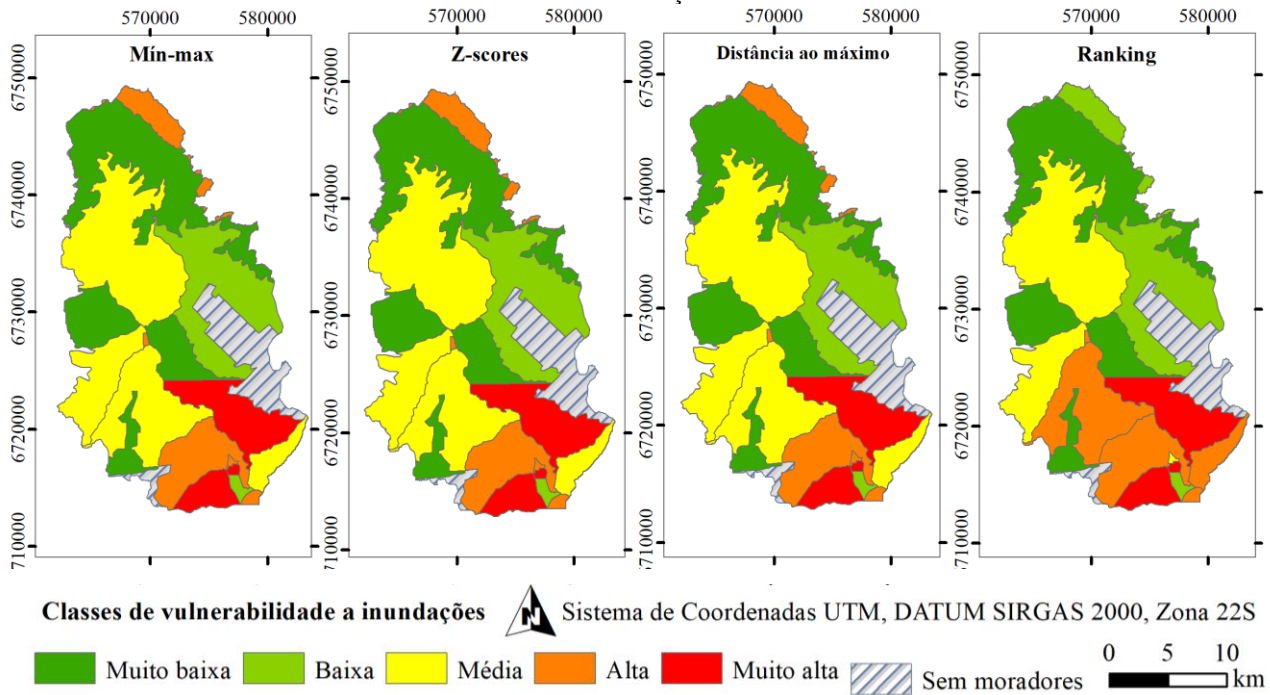
Min-máx		
0,998	<i>Z-scores</i>	
1,000	0,998	Distância ao máximo
0,933	0,921	0,933
<i>Ranking</i>		

Altos coeficientes de correlação de Spearman (> 0,980) para os métodos mín-máx e *z-scores* também foram encontrados nos índices de vulnerabilidade dos estudos de Nazeer e Bork (2019) e Yoon (2012). No entanto, para outras áreas de aplicação (por exemplo, índice de sustentabilidade agrícola) diferenças significativas foram encontradas de acordo com diferentes métodos de normalização (TALUKDER et al., 2017).



Para entender como esses métodos afetam o comportamento espacial da vulnerabilidade a inundações, foram gerados mapas na bacia do rio Maquiné onde a vulnerabilidade a inundações foi classificada em “muito baixa”, “baixa”, “média”, “alta” e “muito alta” com base no método de classificação *natural breaks* (Figura 2).

Figura 2 – Classificação da vulnerabilidade a inundações na bacia do rio Maquiné, usando diferentes métodos de normalização.



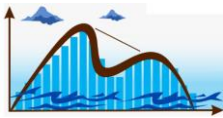
A distribuição espacial das cinco classes de vulnerabilidade produzidas pelos métodos de normalização mín-máx, *z-scores* e distância ao máximo com agregação linear são idênticos para todos os setores censitários. No entanto, as classes de vulnerabilidade a inundações mudam para a normalização do *ranking* com agregação linear em alguns setores. Mesmo que todos os métodos de normalização apresentaram alto coeficiente de correlação de Spearman com relação ao ranking (0,921 a 0,933), houve algumas mudanças espaciais na classe de vulnerabilidade a inundações nesse método. Setores censitários mudaram da classe “alta” para classe “baixa”, assim como da classe “média” para “alta”.

## CONCLUSÕES

O presente estudo investigou os efeitos do uso de diferentes métodos de normalização na construção de índice de vulnerabilidade a inundações, aplicado na bacia do rio Maquiné, utilizando os indicadores na escala de setores censitários. Conclui-se que as técnicas de normalização como mín-máx, *z-scores* e distância ao máximo não alteram os resultados da vulnerabilidade a inundações, por outro lado, o método *ranking* pode modificar a vulnerabilidade espacialmente. De forma complementar, recomenda-se estudos comparando métodos de agregação e de classificação dos índices para observar outras incertezas envolvidas.

## REFERÊNCIAS

BECKER, W.; SAISANA, M.; PARUOLO, P.; VANDECASTEELE, I. (2017). “Weights and importance in composite indicators: Closing the gap”. *Ecological Indicators*, 80, pp. 12–22.



- BIRKMANN, J.; CARDONA, O. D.; CARREÑO, M. L.; BARBAT, A. H.; PELLING, M.; SCHNEIDERBAUER, S.; KIENBERGER, S.; KEILER, M.; ALEXANDER, D.; ZEIL, P.; WELLE, T. (2013). “Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework”. *Natural Hazards*, 67(2), pp. 193–211.
- BURGASS, M. J.; HALPERN, B. S.; NICHOLSON, E.; MILNER-GULLAND, E. J. (2017). “Navigating uncertainty in environmental composite indicators”. *Ecological Indicators*, 75, pp. 268–278.
- DAMM, M. (2010). “Mapping Social-Ecological Vulnerability to Flooding: A sub-national approach for Germany”. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität. Disponível em: [http://hss.ulb.unibonn.de/diss\\_online](http://hss.ulb.unibonn.de/diss_online).
- de BRITO, M. M.; ALMORADIE, A.; EVERS, M. (2019). “Spatially-explicit sensitivity and uncertainty analysis in a MCDA-based flood vulnerability model”. *International Journal of Geographical Information Science*, 33(9), pp. 1788–1806.
- De BRITO, M. M.; EVERS, M. (2016). “Multi-criteria decision-making for flood risk management: A survey of the current state of the art”. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(4), pp. 1019–1033.
- De BRITO, M. M.; EVERS, M.; DELOS SANTOS ALMORADIE, A. (2018). “Participatory flood vulnerability assessment: A multi-criteria approach”. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 373–390.
- IBGE (2010). “Censo Demográfico 2010”. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9678&t=downloads>>. Acesso em: 1 jul. 2019.
- KARAGIORGOS, K.; THALER, T.; HEISER, M.; HÜBL, J.; FUCHS, S. (2016). “Integrated flash flood vulnerability assessment: Insights from East Attica, Greece”. *Journal of Hydrology*, 541, pp. 553–562.
- KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F.; MONTEIRO, L. R. (2018). “Integração das Ciências e das tecnologias para redução de desastres naturais: Sócio-hidrologia e sócio-tecnologia”. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7, pp. 206.
- LIGMANN-ZIELINSKA, A.; JANKOWSKI, P. (2014). “Spatially-explicit integrated uncertainty and sensitivity analysis of criteria weights in multicriteria land suitability evaluation”. *Environmental Modelling & Software*, 57, pp. 235–247.
- NARDO, M.; SAISANA, M.; SALTELLI, A.; TARANTOLA, S. (2008). “Handbook of Constructing Composite Indicators: Methodology and user guide”. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>
- NASIRI, H.; MOHD YUSOF, M. J.; MOHAMMAD ALI, T. A. (2016). “An overview to flood vulnerability assessment methods. *Sustainable Water Resources Management*”, 2(3), pp. 331–336.
- NAZEER, M.; BORK, H. R. (2019). “Flood vulnerability assessment through different methodological approaches in the context of North-West Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan”. *Sustainability (Switzerland)*, 11(23).
- RUFAT, S.; TATE, E.; BURTON, C. G.; MAROOF, A. S. (2015). “Social vulnerability to floods: review of case studies and implications for measurement”. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, pp. 470–486.
- SAISANA, M.; TARANTOLA, S. (2002). “State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development”. In European Commission Joint Research Centre (pp. 1–72).
- TALUKDER, B.; HIPEL, K. W.; VANLOON, G. W. (2017). “Developing composite indicators for agricultural sustainability assessment: Effect of normalization and aggregation techniques”. *Resources*, 6(4).
- YOON, D. K. (2012). “Assessment of social vulnerability to natural disasters: A comparative study”. *Natural Hazards*, 63(2), pp. 823–843.