

MAPEAMENTOS DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA A PARTIR DE PROCESSO HIERÁRQUICO ANALÍTICO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE FATORES CONDICIONANTES

Gustavo Bourdot Back¹; Rafael Augusto dos Reis Higashi²

Resumo – O estudo tem como objetivo analisar o uso do Processo Hierárquico Analítico (AHP) no mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa no Brasil, de forma a sistematizar os fatores condicionantes relevantes à análise multicritério. Para tanto, método baseou-se em uma revisão sistemática da literatura a partir de um protocolo de pesquisa que combinou palavras-chaves com operadores booleanos. Foram considerados 14 artigos válidos no estudo, dos quais constatarem-se conflitos conceituais no que tange a terminologia e semântica dos critérios. Ao todo foram identificados 21 fatores condicionantes, com destaque para declividade, empregada em todos os mapeamentos estudados, geologia, pedologia, uso e ocupação do solo, e forma do terreno. Em termos de relevância dentro da análise multicritério, por fim, destaca-se a declividade como o critério mais relevante, tendo o maior peso em 11 dos 14 mapeamentos analisados.

Abstract – The study aims to analyze the use of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in susceptibility mapping of mass movements in Brazil, focusing on systematizing relevant conditioning factors for multicriteria analysis. To achieve this, the methodology was based on a systematic literature review following a research protocol that combined keywords with Boolean operators. Fourteen valid articles were included in the study, revealing conceptual conflicts regarding the terminology and semantics of the criteria. A total of 21 conditioning factors were identified, with emphasis on slope, employed in all analyzed mappings, as well as geology, pedology, land use and cover, and terrain shape. Regarding relevance within multicriteria analysis, slope stood out as the most significant criterion, bearing the highest weight in 11 out of 14 analyzed mappings.

Palavras-Chave – AHP; Gestão de riscos de desastres; Análise multicritério.

¹ Eng. Civil, Mestrando em Gestão Territorial, Universidade Federal de Santa Catarina, (48) 99952-0698, gustavo.back@ceped.ufsc.br

² Eng. Civil, Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, (51) 0000-XXXX, rafael.higashi@ufsc.br

1. INTRODUÇÃO

Entre os desastres que mais geram impactos às comunidades e comprometem a resiliência de estruturas, destacam-se os movimentos de massa. Estima-se, de acordo com os dados do Atlas Digital de Desastres no Brasil, que entre 1991 e 2022, esta tipologia de desastre afetou pelo menos 4 milhões de pessoas e causou prejuízos econômicos acima de R\$ 13 bilhões no país (Brasil, 2024).

Além da complexidade no gerenciamento do desastre, uma vez que se trata de uma ocorrência associada a danos diretos à vida e/ou às infraestruturas essenciais, como moradias e estradas, os movimentos de massa configuram um grande desafio à gestão de riscos de desastres, principalmente sob o olhar da crescente de áreas urbanas densamente ocupadas, muitas vezes irregulares e vulneráveis.

Neste contexto, o mapeamento de suscetibilidade é uma demanda de elevada importância no que tange as ações de planejamento e gestão ambiental, territorial e de riscos (Silveira et al., 2014), sendo inclusive proposto como objetivo pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Brasil, 2012). Por meio dele é possível compreender sistemicamente como aspectos topográficos, geotécnicos e climáticos se combinam de modo a influenciar a ocorrência do fenômeno, assim como orientar medidas para prevenção e mitigação dos riscos correspondentes.

De forma a ampliar os conhecimentos técnico-científicos relacionados à identificação e avaliação de suscetibilidade aos movimentos de massa, o presente estudo tem como objetivo apresentar uma revisão da aplicação do Processo Hierárquico Analítico (AHP) em mapeamentos, sistematizando os fatores condicionantes relevantes à análise a partir do modelo multicritério. Para tanto, será realizada uma revisão sistemática da literatura que tenha proposto o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa em território nacional a partir do método de análise hierárquica AHP.

2. PROCESSO HIERÁRQUICO ANALÍTICO (AHP)

O Processo Hierárquico Analítico (AHP, do inglês *Analytic Hierarchy Process*) trata-se de um método matemático destinado a ponderar quantitativamente variáveis a partir de considerações qualitativas (Raffo, 2012). Por estar associado à capacidade de integrar e ponderar fatores influenciadores, baseando-se em uma estrutura hierárquica que permite comparar e priorizar estes fatores, o método se configura como um importante instrumento de tomada de decisão multicritério.

Em seu estudo, Pimenta et al. (2018) destacam o subsídio à formulação de políticas públicas mais específicas e possivelmente mais eficazes, uma vez que o processo permite avaliar as potencialidades ou restrições inerentes ao processo decisório no planejamento. Os autores ainda evidenciam, a partir de um levantamento bibliográfico, que junto ao planejamento urbano e desenvolvimento socioeconômico, o método possui aplicações relacionadas ao mapeamento de suscetibilidade e medidas de gestão de riscos de desastres, incluindo inundações e movimentos de massa.

No contexto do mapeamento de suscetibilidade, especificamente à movimentos de massa, o AHP se destaca pela estruturação de problemas complexos, uma vez que permite sistematizar fatores condicionantes multidisciplinares; e pela ponderação de critérios, que apoia a reflexão quanto à importância e hierarquização de fatores.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão sistemática da literatura foi baseada em quatro etapas, conforme apresenta o fluxograma da Figura 1.

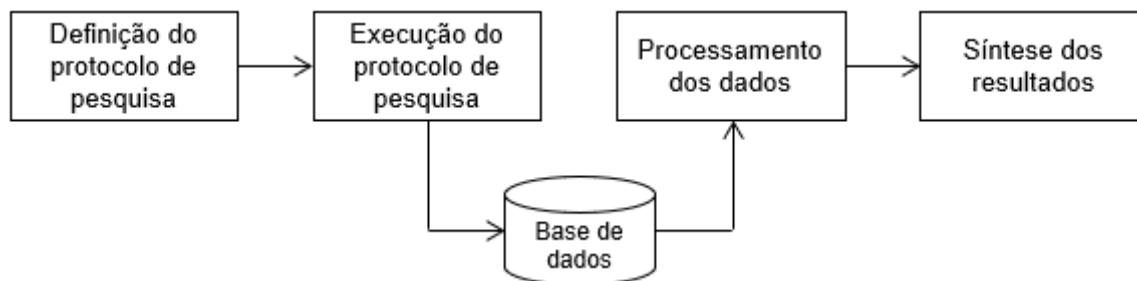


Figura 1. Fluxograma de procedimentos do estudo

O protocolo de pesquisa consistiu na definição da estratégia de busca para a revisão em estudo, a qual levou em consideração os critérios expostos na Figura 2. Cabe pontuar que as palavras-chave foram combinadas a partir dos operadores booleanos OR e AND, de forma a identificar o maior número possível de produções científicas dentro do objetivo do estudo.

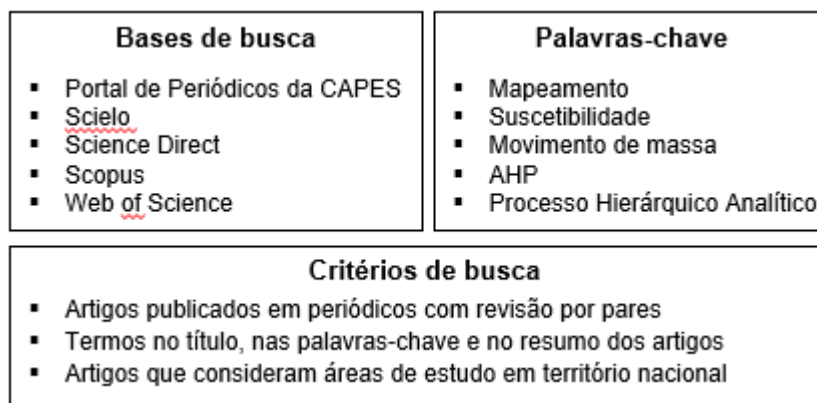


Figura 2. Definições para a estratégia de busca da revisão

Ainda em relação ao protocolo de pesquisa, destaca-se que foram considerados apenas os artigos que consideram áreas de estudo em território nacional em razão da caracterização dos fenômenos de movimentos de massa no país, uma vez que estes não são influenciados por fatores amplamente observados em outros países (ex: tectonismo).

Os resultados obtidos a partir da execução do protocolo de pesquisa foram tabulados para o processamento dos dados, que por sua vez, visou garantir a aderência dos mesmos ao objetivo proposto ao estudo. Por fim, a síntese dos resultados refere-se ao processo descritivo das análises realizadas sobre as publicações consideradas no estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do protocolo adotado para a pesquisa, foram obtidos inicialmente 16 artigos científicos, todos publicados em periódicos com revisão por pares, e com aplicações do método AHP para o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa. Considerando o critério de abrangência territorial do estudo, dois artigos foram descartados, e, portanto, o estudo prosseguiu

com 14 artigos para análise e interpretação. A Figura 3 indica os artigos considerados, assim como as áreas consideradas em cada estudo, e a quantidade de critérios adotados no mapeamento de suscetibilidade por meio do método AHP.

Autores	Área de estudo	Quantidade de critérios
Carvalho e Riedel (2004)	Entorno dos polidutos de Cubatão (SP)	4
Silva Junior <i>et al.</i> (2013)	Bacia do Rio Anil em São Luís (MA)	5
Silveira, Vettorazzi e Valente (2014)	Município de Juquiá (SP)	5
Rocha e Schuler (2016)	Setores de risco das microrregiões Jordão e Ibura em Recife (PE)	8
Effgen e Marchioro (2017)	Região Administrativa 1 de Vila Velha (ES)	3
Meirelles, Dourado e Costa (2018)	Bacia do Rio Paquequer em Teresópolis (RJ)	10
Silva e Riedel (2018)	Faixa de dutos Orbel (RJ)	5
Bispo <i>et al.</i> (2020a)	Litoral Norte de Maceió (AL)	5
Bispo <i>et al.</i> (2020b)	Litoral Norte de Maceió (AL)	6
Butters <i>et al.</i> (2020)	Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga (MG)	5
Franco <i>et al.</i> (2021)	Bairro Cidade Nova em Aracaju (SE)	4
Duarte <i>et al.</i> (2024)	Área de expansão urbana de Ipojuca (PE)	5
Pessoa Neto <i>et al.</i> (2024)	Município de Jaboatão dos Guararapes (PE)	7
Bazzan e Reckziegel (2024)	Município de Guaratinguetá (SP)	4

Figura 3. Síntese dos artigos científicos considerados na pesquisa

Em relação aos critérios, observou-se uma média aproximada de cinco, com mínimo de três e máximo de dez. A Figura 4 apresenta, por artigo científico, os critérios adotados em cada mapeamento de suscetibilidade. Pontua-se que estes foram tabulados conforme a informação descrita originalmente no artigo. Assim, identificaram-se critérios semanticamente iguais, com terminologias distintas (ex: geologia e substrato geológico).

Autores	CrITÉrios adotados
Carvalho e Riedel (2004)	Declividade; Geologia; Geomorfologia; Vegetação
Silva Junior <i>et al.</i> (2013)	Declividade; Forma do Terreno; Geologia; Geomorfologia; Solos
Silveira, Vettorazzi e Valente (2014)	Declividade; Substrato geológico; Precipitação; Solos; Uso e cobertura do solo
Rocha e Schuler (2016)	Declividade; Curvatura da encosta; Unidade geológica; Proximidade da rede de escoamento pluviométrico; Proximidade de vias; Relevo; Unidade de relevo; Uso e ocupação do solo
Effgen e Marchioro (2017)	Declividade; Curvatura da encosta; Geologia
Meirelles, Dourado e Costa (2018)	Declividade; Orientação da vertente; Forma do terreno; Geologia; Morfologia do relevo; Formações superficiais; Uso e cobertura do solo; Pedologia; Proximidade de rios; Proximidade de estradas
Silva e Riedel (2018)	Declividade; Hipsometria; Unidades litológicas; Unidades de relevo; Forma de vertentes
Bispo <i>et al.</i> (2020a)	Declividade; Geomorfologia; Geologia; Solos; Forma do terreno
Bispo <i>et al.</i> (2020b)	Declividade; Geomorfologia; Geologia; Solos; Forma do terreno; Uso e ocupação da terra
Butters <i>et al.</i> (2020)	Declividade; Uso e ocupação do solo; Solos; Precipitação; Escoamento Superficial
Franco <i>et al.</i> (2021)	Inclinação; Hipsometria; Litologia; Densidade de fluxo
Duarte <i>et al.</i> (2024)	Declividade; Litologia; Curvatura de vertentes; Solos; Uso e ocupação do solo
Pessoa Neto <i>et al.</i> (2024)	Declividade; Hipsometria; Uso e ocupação do solo; Pedologia; Distância entre corpos hídricos; Formato das vertentes; Litologia
Bazzan e Reckziegel (2024)	Geologia; Solos; Padrões de relevo; Declividade

Figura 4. CrITÉrios adotados em cada mapeamento de suscetibilidade

Ainda em relação às terminologias adotadas em cada artigo, observaram-se conflitos que permeiam conceitos de geografia e geologia. Rocha e Schuler (2016), por exemplo, conceituam unidades de relevo como detalhes morfológicos de planaltos, dividindo-as em encosta e topo de encosta. Silva e Riedel (2018), Duarte *et al.* (2024) e Pessoa Neto *et al.* (2024), por sua vez, trazem unidades geológicas como um descritivo para o critério de litologia.

Considerando as variações conceituais identificadas, os artigos empregaram 21 critérios nos mapeamentos de suscetibilidade. Entre os critérios mais aplicados destacam-se declividade, presente em todos os 14 artigos; geologia, em 12 artigos, pedologia, em nove artigos, uso e ocupação do solo, em sete artigos; e forma do terreno, em quatro artigos.

Por fim, ao analisar os pesos calculados para os critérios, destaca-se que a declividade não desempenhou maior influência em apenas três artigos: Carvalho e Riedel (2004) tiveram o mesmo peso para geomorfologia; Rocha e Schuler (2016) e Duarte *et al.* (2024) tiveram peso mais significativo atribuído para uso e ocupação do solo.

5. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo apresentar uma revisão da aplicação do Processo Hierárquico Analítico (AHP) em mapeamentos de suscetibilidade a movimentos de massa, de forma a sistematizar os fatores condicionantes relevantes à análise a partir do modelo. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura que tenha proposto o mapeamento de suscetibilidade ao fenômeno em questão no território nacional a partir do método de estudo.

O protocolo de pesquisa adotado retornou 16 artigos científicos, dos quais foram considerados 14 válidos a partir do objetivo e dos critérios do estudo. Desses artigos, observou-se a média de cinco critérios adotados nos mapeamentos de suscetibilidade, com mínimo de três, e máximo de dez.

Ao analisar os critérios, identificaram-se conflitos de caráter conceitual, que envolveram questões de terminologias distintas entre artigos, e também questões semânticas relacionadas às disciplinas de geografia e geologia. Considerando as variações conceituais passíveis de solução, identificaram-se 21 critérios aplicados nos mapeamentos de suscetibilidade estudados, com destaque para declividade, com inclusive maior influência dentro do método AHP em 11 dos 14 mapeamentos; geologia, pedologia, uso e ocupação do solo e forma do terreno.

Por fim, conclui-se a partir deste estudo que a análise multicritério combinada ao mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa tem ainda no que avançar, destacando-se como possibilidades as soluções dos conflitos conceituais identificados; a descrição e classificação mais detalhada dos critérios identificados; e o tratamento estatístico dos fatores condicionantes de modo a empregar-los em uma nova área de estudo

REFERÊNCIAS

BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E. W. Análise multicritério com o método Analytic Hierarchy Process (AHP) para o mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos no município de Guaratinguetá/SP. *Revista Observatorio de La Economia Latinoamericana*, Curitiba, v. 22, n. 5, p. 1-21, 2024.

BISPO, C. de O. *et al.* Previsão de escorregamentos no município de Maceió (AL) a partir do modelo AHP. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 39, p. 88-101, 2020a.

BISPO, C. de O. *et al.* Suscetibilidade induzida a escorregamentos, via aplicação do método AHP. *Diversitas Journal*, Santana do Ipanema, v. 5, n. 1, p. 298-314, 2020b.

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 sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2012b. Acesso em: 15 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. *Atlas Digital de Desastres no Brasil*. Brasília: MIDR, 2024.

BUTTERS, L. M. *et al.* Uso de Sistema de Informações Geográficas para identificação da capacidade de susceptibilidade à movimentos de massa na Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga, Minas Gerais. *ForScience*, Formiga, v. 8, n. 2, e00541, 2020.

CARVALHO, C. M. de; RIEDEL, P. S. Análise da suscetibilidade a escorregamentos nos entornos dos polidutos de Cubatão-SP, através de técnicas de informação geográfica. *Holos Environment*, [S. L.], v. 4, n. 2, p. 157-173, 2004.

DUARTE, C. D. *et al.* Aplicação do índice estatístico e análise multicritério no mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos no município de Ipojuca, Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. L.] v. 17, n. 2, p. 1015-1037, 2024.

EFFGEN, J. F.; MARCHIORO, E. Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no município de Vila Velha-ES, com uso de Análise de Processos Hierarquizados (AHP). *Geosciences = Geociências*, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 731-742, 2017.

FRANCO, L. S. *et al.* Análises hierárquica e de regressão linear aplicadas aos mapeamentos de suscetibilidade e de risco aos movimentos de massa (Bairro Cidade Nova, Aracaju – SE, Brasil). *Geologia USP. Série Científica*, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 85-107, 2021.

MEIRELLES, E. de O.; DOURADO, F.; COSTA, V. C. da. Análise multicritério para mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa na Bacia do Rio Paqueta-RJ. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 33, e26037, 2018.

PESSOA NETO, A. G. *et al.* Mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. *Revista Barú – Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos*, Goiânia, v. 9, n. 1, e13315, 2024.

PIMENTA, L. B. *et al.* Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. *Interações*, Campo Grande, v. 20, n. 2, p. 407-420, 2019.

RAFFO, J. G. da G. O Processo Analítico Hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. Especial RDG 30 anos, p. 26–37, 2012.

ROCHA, A. P.; SCHULER, C. A. B. Avaliação espaço temporal da suscetibilidade a movimentos de massa utilizando ortofotocartas e modelagem espacial multicritério na dinâmica de áreas de risco nas microrregiões do Jordão e Ibura, Recife-PE. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, v. 68, n. 9, p. 1747-1770, 2016.

SILVA, C. A. C. da; RIEDEL, P. S. Comparação entre as análises integrada e paramétrica na suscetibilidade a escorregamentos no entorno de dutos: faixa de dutos Orbel, Estado do Rio de Janeiro. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 45, e0580, 2018.

SILVA JUNIOR, C. H. L. *et al.* Uso de Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico – AHP no zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamento utilizando o operador Fuzzy Média Ponderada AHP – O caso da Bacia Hidrográfica do Rio Anil em São Luís – MA. *Revista de Geografia*, Juiz de Fora, v. 3, n. 2, p. 1-7, 2013.

SILVEIRA, C. T. da *et al.* Mapeamento preliminar da suscetibilidade natural a movimentos de massa da Serra do Mar Paranaense apoiado na análise digital do relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 1-22, 2014.

SILVEIRA, H. L. F. da; VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. A. Avaliação multicriterial no mapeamento da suscetibilidade de deslizamentos de terra. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 973-982, 2014.