

Influência da Geomorfologia e da Declividade na Elaboração de Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa

Graziele Fernandes Garcia
Discente, UNESP, Bauru, Brasil, graziele.garcia@unesp.br

Anna Silvia Palcheco Peixoto
Docente, UNESP, Bauru, Brasil, anna.peixoto@unesp.br

RESUMO: O crescimento urbano aliado a alteração no clima está alterando o regime das chuvas, induzindo a ocorrência de desastres cada vez mais severos. Diante disso, foi realizado um levantamento dos desastres de origem geotécnica, hidrológica e meteorológica, nas cidades de Caraguatatuba, São Sebastião e Ubatuba, do litoral norte do estado de São Paulo, para o período de 1980 a 2019. O objetivo da pesquisa é avaliar a influência da geomorfologia e da declividade na ocorrência de movimentos de massa e, a partir disso, elaborar uma carta de suscetibilidade. A análise desses fatores envolveu o modelo digital de elevação (MDE) do portal TopoData e o Mapa Geomorfológico do IBGE, juntamente com complementos do software livre QGIS. Dessa maneira, conclui-se que desastres de origem geológica se encontram majoritariamente em regiões de médias a altas declividades, com relevo escarpado, as de origem hidrológica prevalecem em declividades muito baixas, em terrenos mais planos, e as de origem meteorológica não são influenciadas pelos fatores analisados. Assim, foi possível obter informações que auxiliam e direcionam o monitoramento de áreas mais suscetíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Declividade, geomorfologia, suscetibilidade, movimentos de massa.

ABSTRACT: The convergence of urban growth and climate change is reshaping rainfall patterns, exacerbating the severity of disasters. In response, a comprehensive survey of geotechnical, hydrological, and meteorological disasters was undertaken in the cities of Caraguatatuba, São Sebastião, and Ubatuba, situated on the north coast of São Paulo state, spanning from 1980 to 2019. The research aims to evaluate how geomorphology and slope steepness influence mass movement occurrences, with the ultimate goal of producing a susceptibility map. The analysis of these factors involved the digital elevation model (DEM) from the TopoData webpage and the Geomorphological Map from IBGE, along with supplementary data from the open-source software QGIS. Thus, it was concluded that geological disasters are mostly found in regions with moderate to high slopes and rugged terrain, while hydrological disasters prevail in areas with very low slopes and flatter terrain. Meteorological disasters, however, are not significantly influenced by the analyzed factors. Consequently, valuable information was obtained to aid and guide the monitoring of more susceptible areas.

KEYWORDS: Slope, geomorphology, susceptibility, mass movements.

1 INTRODUÇÃO

Desastres de origem geotécnica e hidrológica são eventos frequentes no Brasil. De acordo com Silva, Pinto e Freitas (2016), eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e estiagens, estão aumentando sua frequência, levando ao aumento de ocorrências de inundações, deslizamentos, entre outros. Adicionalmente, atividades antropogênicas, como ocupação desornada e desmatamento, aumentam a vulnerabilidade das encostas, agravando a situação.

De acordo com Sobreira & Souza (2012), define-se como suscetibilidade a potencialidade de processos geológicos, como movimentos gravitacionais de massa, inundações, alagamentos, corridas e erosões, além de outros processos, causarem transformações do meio físico, independentemente de suas consequências para as atividades humanas.

Metodologias para mapeamento de movimentos de massa requerem análise de diferentes fatores condicionantes, dentre eles estão a geomorfologia e a declividade. (SANDES, 2023).

A geomorfologia estuda a origem e a estrutura das formas de relevo, que também estão ligadas ao processo de ocupação humana e, por isso, podem ser agentes principais nos processos de escorregamentos. (SANDES, 2023).

A declividade é definida como a inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal, podendo variar de 0° a 90°. Declividades acentuadas favorecem a ruptura do solo, gerando escorregamentos, quedas e tombamento de rochas. (VALERIANO, 2018; GABERTI & ROBAINA, 2017)

Segundo o Ministério do Desenvolvimento Regional & a Universidade Federal de Santa Catarina (2022), o Brasil registrou, entre 1991 e 2020, 1146 ocorrências de movimentos de massa, em que 69% delas estão concentradas na região Sudeste. Os impactos trazidos por eles estão presentes principalmente nos setores de habitação e infraestrutura, além de serem o segundo evento com maior número de óbitos no Brasil. Assim, são necessárias medidas que prevejam e mitiguem os desastres em todo o território.

Dessa maneira, o objetivo dessa pesquisa é realizar a espacialização das ocorrências de queda de barreiras, escorregamentos, deslizamentos e erosão, com sua avaliação em função da geomorfologia e declividade, para a elaboração de uma carta de suscetibilidade.

2 METODOLOGIA

A área selecionada para a realização da carta de suscetibilidade compreende três cidades litorâneas do estado de São Paulo, de grande circulação turística, sendo elas Caraguatatuba, São Sebastião e Ubatuba. A escolha foi pautada no alto índice pluviométrico da região durante o verão, que aumenta consideravelmente a incidência da ocorrência de desastres no local. Para melhor analisar a área, foram utilizados a espacialização das ocorrências cadastradas no banco de dados do IPMet (PELLEGRINA, 2011) e o software QGIS.

Na Tabela 1, é apresentada a quantificação dos tipos de desastres obtidos pelo banco de desastres naturais do IPMet, no período de 1980 a 2019. Os desastres geológicos englobaram quedas de barreira, deslizamentos de terra, erosões e escorregamento de encostas. Os desastres hidrológicos abrangeram inundações, alagamentos e enxurradas. Para desastres meteorológicos foram quantificados aqueles com a ocorrência de frentes frias/zonas de convergência, tempestades de raios, chuvas intensas e vendavais. Tais dados foram espacializados no QGIS e estão apresentados na Figura 1.

Tabela 1. Quantificação dos dados da Defesa Civil por desastres e município

Cidades	Tipo de desastre		
	Geológico	Hidrológico	Meteorológico
Caraguatatuba	13	18	2
São Sebastião	28	35	7
Ubatuba	22	30	8
Total	63	79	17

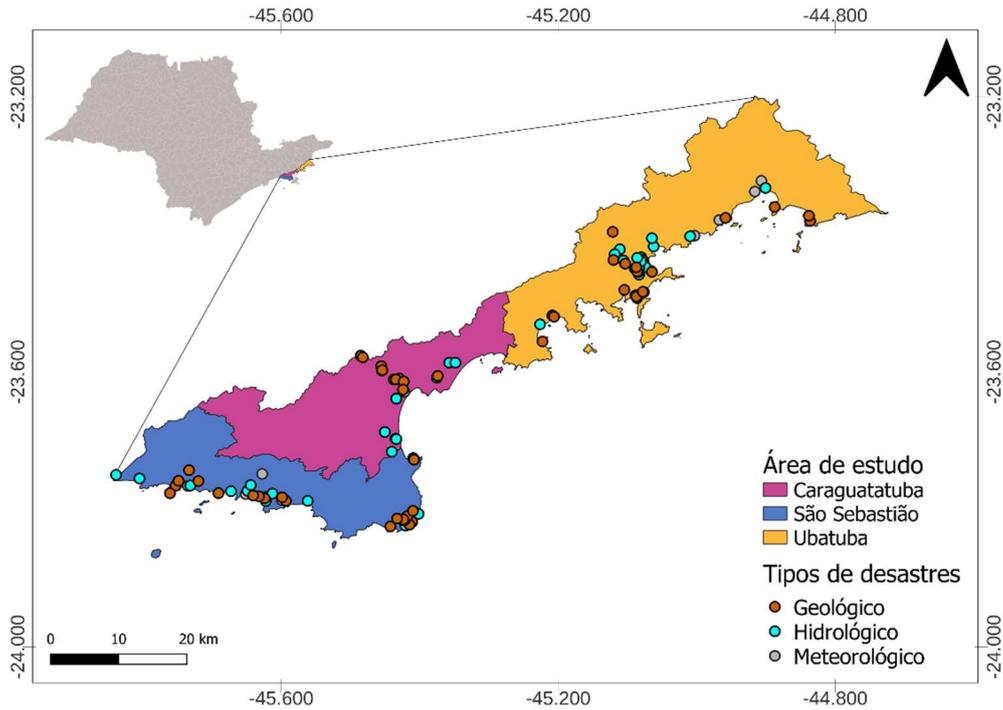


Figura 1. Espacialização dos desastres naturais na área de estudo

Através do modelo digital de elevação (MDE) disponível no portal TopoData, foi possível obter as informações das declividades nas cidades de estudo, através da função do QGIS de análise de declividade em arquivos do tipo raster. A declividade foi subdividida em áreas de inclinação igual a 0 a 3% (plano), 3 a 8% (suave ondulado), 8 a 20% (ondulado), 20 a 45% (forte ondulado), 45 a 75% (montanhoso) e 75 a 100% (escarpado), seguindo a classificação sugerida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999).

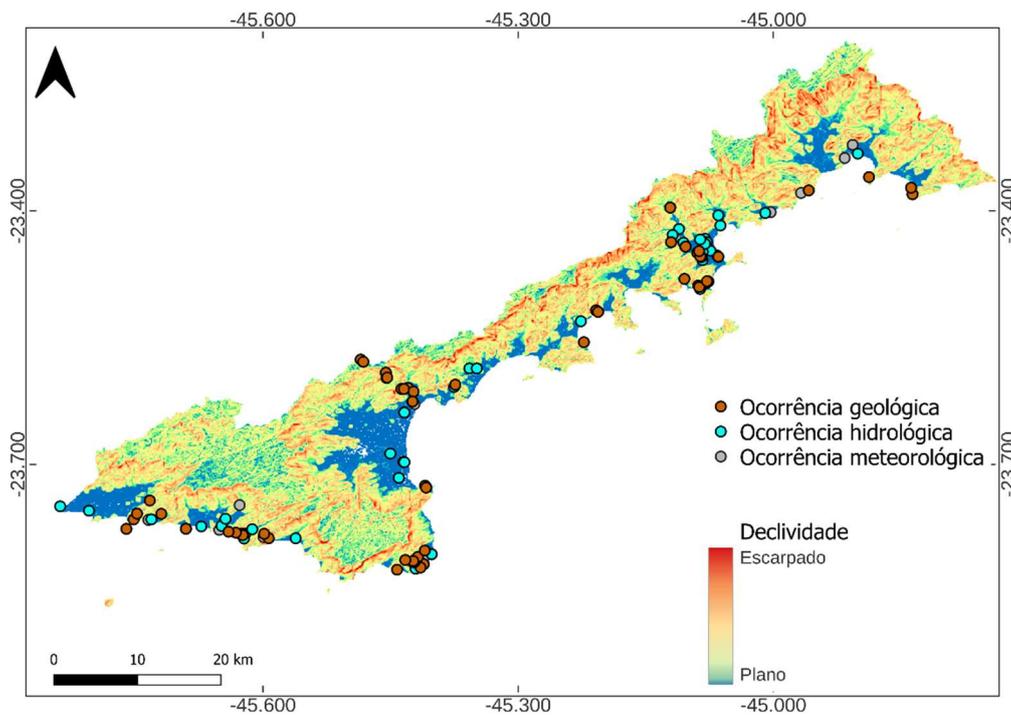


Figura 2. Caracterização declividade

Para a análise da geomorfologia, foram usados dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), que apresentou as seguintes classificações para a área de estudo: Escarpas e reversos da Serra do Mar; Formas agradacionais atuais e subatuais interioranas; e Planícies deltaicas, estuarinas e praias.

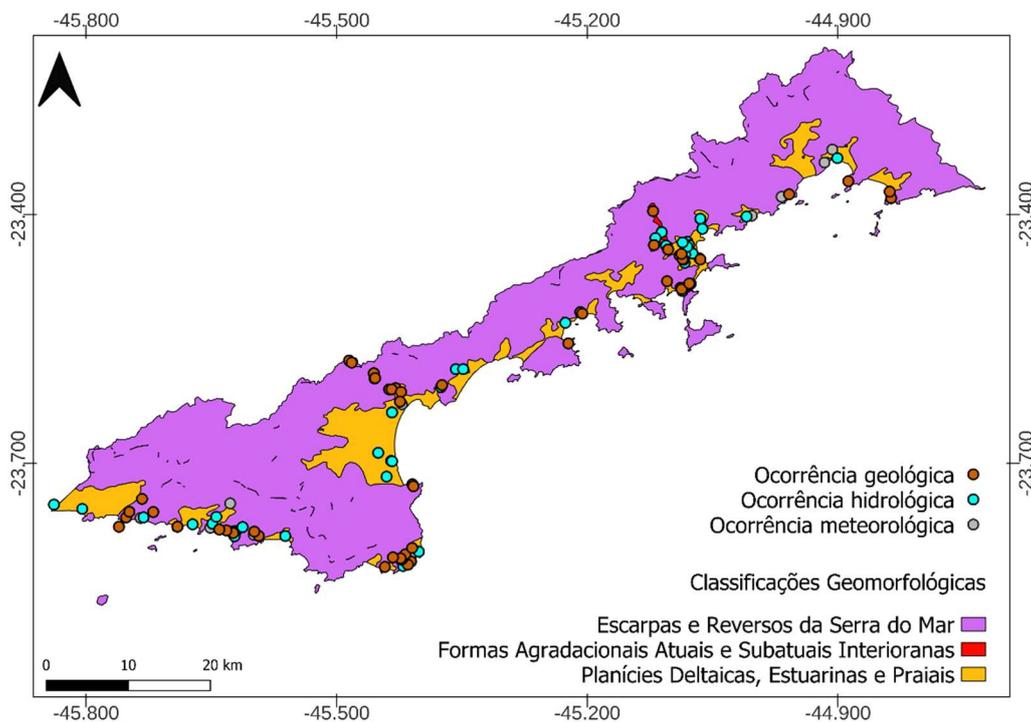


Figura 3. Caracterização geomorfologia

Foram quantificadas as frequências de cada tipo de ocorrência em cada subdivisão da declividade e da geomorfologia e, em seguida, tal valor foi dividido pelo número total de desastres do tipo de ocorrência correspondente. Posteriormente, as divisões resultantes foram normalizadas através da Equação 1. Com os dados de cada tipo de ocorrência, atribuindo a cada dado individual o valor da faixa normalizada em que se encontra, tanto de declividade quanto de geomorfologia, e em seguida somando esses valores e os normalizando novamente, cada tipo de ocorrência foi subdividida em faixas de muita baixa (0 a 0,2), baixa (0,2 a 0,4), média (0,4 a 0,6), alta (0,6 a 0,8) e muito alta (0,8 a 1) suscetibilidade à ocorrência de desastres geológicos, hidrológicos e meteorológicos.

$$x_n = \frac{(x - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} \quad (1)$$

Em que: X_n = variável n normalizada, x = variável a ser normalizada, x_{\min} = valor mínimo obtido nesse critério entre todos os eventos e x_{\max} = valor máximo obtido nesse critério entre todos os eventos.

3 RESULTADOS

Com o cruzamento das informações de declividade obtidas do MDE e da localização dos dados anteriormente espacializados, é possível verificar a influência das diferentes classes de declividade em cada tipo de ocorrência, como pode ser visto nas Tabela 2, 3 e 4.

Tabela 2. Caracterização da declividade para ocorrências de origem geológica

Caracterização (%)	Número de ocorrências	Ocorrências/Total	Faixa normalizada	Classificação
0 a 3	5	0,079	0,167	Muito baixa
3 a 8	7	0,111	0,250	Baixa
8 a 20	14	0,222	0,542	Média
20 a 45	25	0,397	1,000	Muito alta
45 a 75	11	0,175	0,417	Média
Acima de 75	1	0,016	0,000	Muito baixa
Total	63	1		

Tabela 3. Caracterização da declividade para ocorrências de origem hidrológica

Caracterização (%)	Número de ocorrências	Ocorrências/Total	Faixa normalizada	Classificação
0 a 3	46	0,582	1,000	Muito alta
3 a 8	10	0,127	0,217	Baixa
8 a 20	10	0,127	0,217	Baixa
20 a 45	8	0,114	0,196	Muito baixa
45 a 75	5	0,051	0,087	Muito baixa
Acima de 75	0	0,000	0,000	Muito baixa
Total	79	1		

Tabela 4. Caracterização da declividade para ocorrências de origem meteorológica

Caracterização (%)	Número de ocorrências	Ocorrências/Total	Faixa normalizada	Classificação
0 a 3	8	0,471	1,000	Muito alta
3 a 8	1	0,059	0,125	Muito baixa
8 a 20	0	0,000	0,000	Muito baixa
20 a 45	7	0,412	0,875	Muito alta
45 a 75	1	0,059	0,125	Muito baixa
Acima de 75	0	0,000	0,000	Muito baixa
Total	17	1		

A partir desses dados, é possível verificar que, para desastres de origem geológica, a maior parte das ocorrências encontra-se na classe forte ondulada, com declividades de 20 a 45%. Tal resultado é coerente, visto que, em áreas de maior declividade, existe uma maior atuação da força da gravidade, que facilita a ocorrência de movimentos de massa. Já para as ocorrências de origem hidrológica, a maior parte dos dados encontra-se em áreas de declividade plana, entre 0 e 3%, o que também é compreensível, tendo em vista a dificuldade de a água escoar em superfícies com menor inclinação, ocasionando inundações e alagamentos. Os desastres de caráter apenas meteorológico tiveram presença tanto em áreas planas, como mais íngremes.

Com a normalização dos dados da geomorfologia, foram obtidas as Tabelas 5, 6 e 7, apresentadas a seguir.

Tabela 5. Caracterização da geomorfologia para ocorrências de origem geológica

Caracterização	Número de ocorrências	Ocorrências/Total	Faixa normalizada	Classificação
Escarpas e reversos da Serra do Mar	51	0,810	1,000	Muito alta
Planícies deltaicas, estuarinas e praias	11	0,175	0,200	Muito baixa
Formas agradacionais atuais e subatuais interioranas	1	0,016	0,000	Muito baixa
Total	63	1		

Tabela 6. Caracterização da geomorfologia para ocorrências de origem hidrológica

Caracterização	Número de ocorrências	Ocorrências/Total	Faixa normalizada	Classificação
Escarpas e reversos da Serra do Mar	25	0,316	0,458	Média
Planícies deltaicas, estuarinas e praias	51	0,646	1,000	Muito alta
Formas agradacionais atuais e subatuais interioranas	3	0,038	0,000	Muito baixa
Total	79	1		

Tabela 7. Caracterização da geomorfologia para ocorrências de origem meteorológica

Caracterização	Número de ocorrências	Ocorrências/Total	Faixa normalizada	Classificação
Escarpas e reversos da Serra do Mar	10	0,588	1,000	Muito alta
Planícies deltaicas, estuarinas e praias	7	0,412	0,700	Alta
Formas agradacionais atuais e subatuais interioranas	0	0,000	0,000	Muito baixa
Total	17	1		

Dessa maneira, conclui-se que, para ocorrências de origem geológica, a classe geomorfológica predominante é Escarpas e reversos da Serra do Mar, o que condiz com o esperado, pois em relevos escarpados, ou seja, que apresentam declive acentuado, é mais favorável o acontecimento de deslizamentos, enquanto para ocorrências de origem hidrológica predominam as Planícies deltaicas, estuarinas e praias, que se apresenta como um relevo pouco acidentado, desfavorecendo o escoamento de águas provenientes de chuvas, ocasionando os desastres hidrológicos.

Através da união dos dados da declividade e da geomorfologia, foram obtidas cartas de suscetibilidade a ocorrências de origem geológica, hidrológica e meteorológica. A carta de cada origem (geológica, hidrológica, e meteorológica) encontra-se nas Figuras 4, 5 e 6.

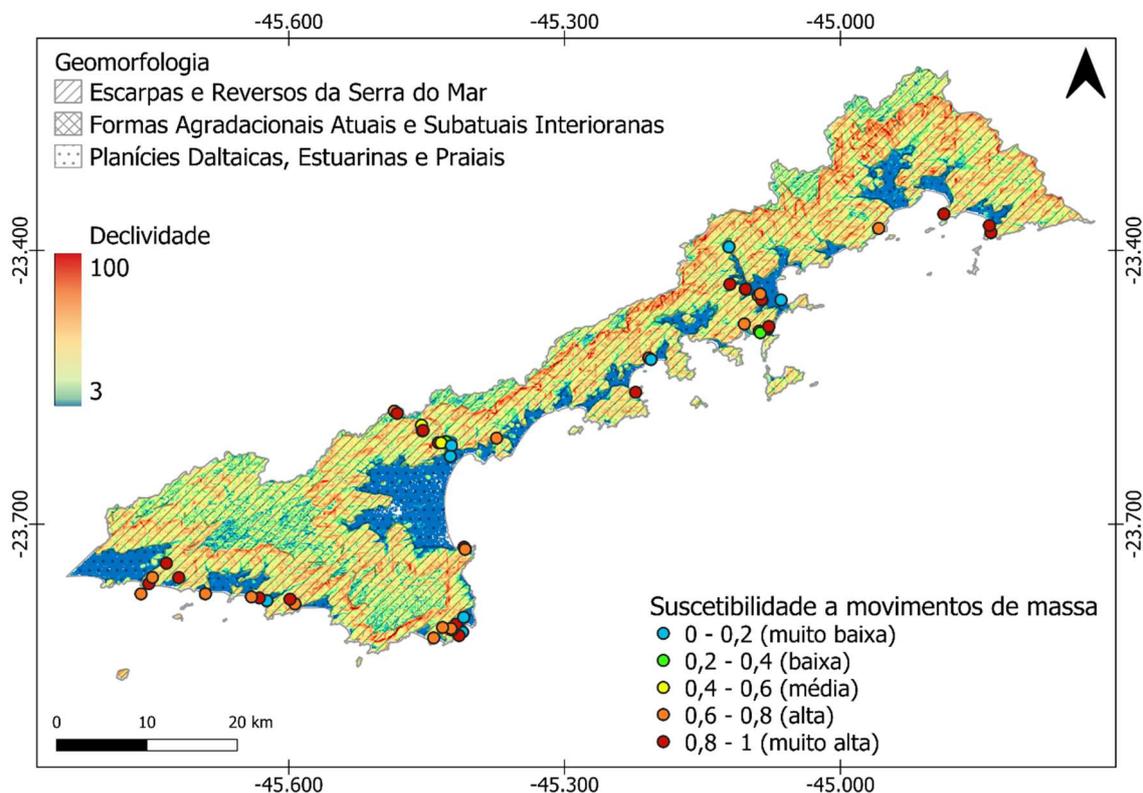


Figura 4. Carta de suscetibilidade a ocorrências de origem geológica

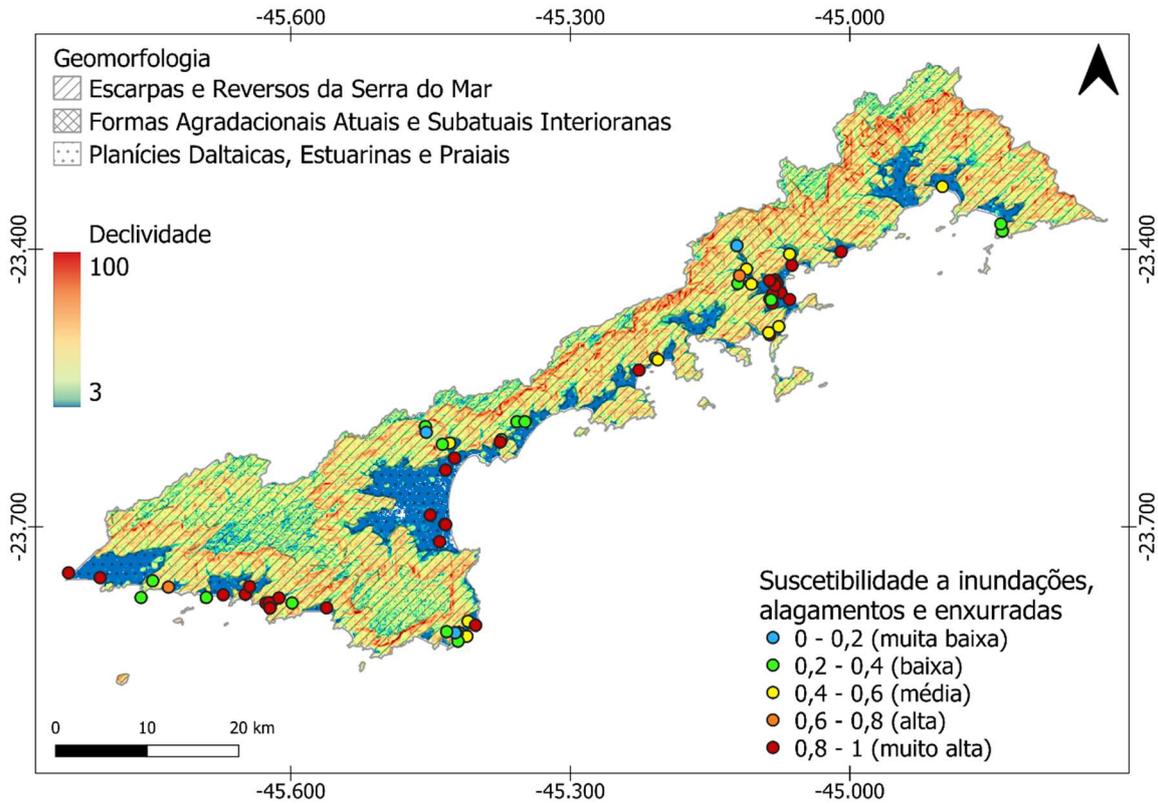


Figura 5. Carta de suscetibilidade a ocorrências de origem hidrológica

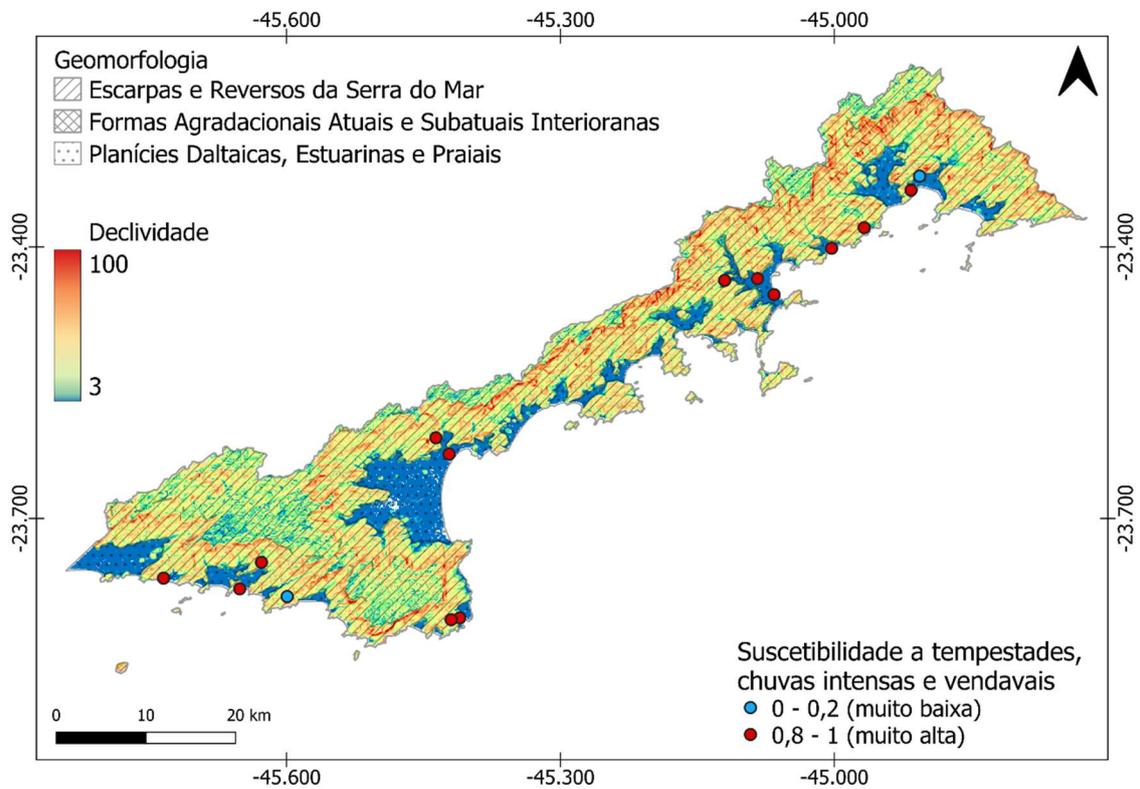


Figura 6. Carta de suscetibilidade a ocorrências de origem meteorológica

4 CONCLUSÕES

A análise dos mapas levou à conclusão que eventos geológicos predominam em áreas de altas a médias declividades e relevo escarpado, enquanto os hidrológicos predominam em áreas mais planas, com baixas declividades. Também, eventos meteorológicos não são influenciados pela declividade e pela geomorfologia.

Portanto, diferentes áreas das cidades de estudo merecem atenção devido a diferentes desastres ambientais. Dando enfoque aos desastres de origem geológica, que causam maior perda humana e material, deve-se atentar a construções irregulares em encostas de morros para que exista menores danos às comunidades.

Entretanto, não é fácil o resguardo do levantamento dessas obras, visto que em grande parte tais edificações são instaladas em lugares suscetíveis a catástrofes naturais pela falta de terrenos seguros e acessíveis à população. Assim, torna-se necessário o estudo de outros fatores condicionantes, tal como o uso e ocupação do solo na região, que consiste na próxima etapa desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro ao processo nº 2023/12662-0 Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de iniciação científica da primeira autora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EMBRAPA (1999). *Manual de classificação dos solos*. Brasília, CNPS.

IBGE (2023). *Geomorfologia 1:250.000*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html?=&t=downloads>>. Acesso em 3 mar. 2024.

Ministério do Desenvolvimento Regional; Universidade Federal de Santa Catarina (2022) *A P&DC e os 30 anos de desastres no Brasil: (1991 – 2020)*. Florianópolis: Fepese. 64 p.

Pellegrina, G. J. (2011) *Proposta de um procedimento metodológico para o estudo de problemas geoambientais com base em banco de dados de eventos atmosféricos severos*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, UNESP.

Sandes, M. S. (2023) *Mapeamento de risco de movimentos de massa em corredores rodoviários: estudo de caso na BR-116*. 2023. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru.

Silva, A. C. P.; Pinto, R. W. P.; Freitas, M. M. (2016) *Avaliação de políticas públicas relacionadas aos desastres naturais no Brasil, entre 1990 – 2014*. *Ambiência: Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, Guarapuava, v. 12, n. 4, p. 885-900.

Sobreira, F. G.; Souza, L. A. (2012) *Cartografia Geotécnica Aplicada ao Planejamento Urbano*. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, v. 2, p. 79-97.

Zuquette, L. (2018) *Riscos, desastres e eventos naturais perigosos: aspectos conceituais na análise e estimativa de riscos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier.

Zuquette, L. (2018) *Riscos, desastres e eventos naturais perigosos: fontes de eventos perigosos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier.