

CARTAS DE PERIGO COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL E GESTÃO DE RISCOS NO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO - SP

Larissa Mozer Blaudt¹; Marcelo Fischer Gramani²; Alessandra Cristina Corsi³

Resumo – O município de São Sebastião, no litoral norte de São Paulo, enfrenta desafios significativos relacionados a movimentos de massa e inundações, agravados por eventos climáticos extremos, como o desastre de fevereiro de 2023. Este estudo propõe o uso de cartas de perigo como ferramenta complementar ao planejamento territorial e à gestão de riscos, superando algumas das limitações dos mapeamentos tradicionais de suscetibilidade. As cartas de perigo identificam não apenas áreas suscetíveis à deflagração de escorregamentos, mas também as zonas de atingimento do material mobilizado, oferecendo uma visão mais abrangente para a tomada de decisões. A metodologia, baseada no *Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa*, utiliza critérios topográficos para delimitar Áreas Críticas (AC) e Áreas de Dispersão (AD). Dados de LiDAR (*Light Detection and Ranging*) com alta resolução foram utilizados e permitiram a elaboração de mapas de inclinação e a aplicação da modelagem em escala detalhada. Os resultados mostraram forte concordância entre as áreas modeladas e as cicatrizes de movimentos de massa observadas após o desastre de 2023, validando a eficácia da abordagem. A aplicação das cartas de perigo em São Sebastião demonstrou ser uma ferramenta eficiente para aprimorar a gestão de riscos, subsidiando decisões estratégicas relacionadas ao zoneamento urbano, realocação de moradias e ações de emergência.

Abstract – The municipality of São Sebastião, located on the northern coast of São Paulo, faces significant challenges related to mass movements and flooding, worsened by extreme weather events such as the February 2023 disaster. This study proposes the use of hazard maps as a complementary tool for territorial planning and risk management, addressing some of the limitations of traditional susceptibility mapping. Hazard maps identify not only areas susceptible to the initiation of landslides but also the zones affected by the mobilized material, offering a more comprehensive view for decision-making. The methodology, based on the *Manual for Hazard and Risk Mapping of Gravitational Mass Movements*, uses topographic criteria to delimit Critical Areas (CA) and Dispersion Areas (DA). High-resolution LiDAR (Light Detection and Ranging) data were used, enabling the creation of slope maps and the application of detailed-scale modeling. The results showed strong agreement between the modeled areas and the scars of mass movements observed after the 2023 disaster, validating the effectiveness of the approach. The application of hazard maps in São Sebastião proved to be an efficient tool to enhance risk management, supporting strategic decisions related to urban zoning, housing relocation, and emergency actions.

Palavras-Chave – escorregamento; mudanças climáticas; modelagem

¹ Geól, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, (22) 99957-9898, larimozer@ipt.br

² Geól., MSc, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, (11) 99932-6634, mgramani@ipt.br

³ Geól, PhD, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, (11) 99131-2980, accorsi@ipt.br

1. INTRODUÇÃO

O município de São Sebastião, no litoral norte de São Paulo, possui histórico de eventos de movimentos de massa e inundações, que causam impactos significativos para a população e a infraestrutura local.

O desastre ocorrido em fevereiro de 2023 evidenciou a necessidade de adoção das estratégias mais eficientes de gestão de riscos. Embora o município já disponha de instrumentos como a carta de suscetibilidade e o Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR), a intensificação dos eventos extremos torna necessário o aprimoramento das medidas preventivas e de resposta.

Nesse contexto, as cartas de perigo se apresentam como um recurso que permite uma análise mais detalhada de áreas sujeitas a escorregamentos naturais, subsidiando decisões estratégicas relacionadas ao planejamento e zoneamento urbano, fiscalização, realocações de moradias, obras de infraestrutura e ações de emergência.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. O município de São Sebastião e o desastre ocorrido em fevereiro de 2023

A ocupação urbana no município de São Sebastião está concentrada ao longo da costa e se estende até a base da escarpa da Serra do Mar (Machado, 2014). O clima tropical úmido da região é caracterizado por chuvas intensas no verão, que frequentemente resultam em escorregamentos e inundações. Apesar do clima tipicamente úmido, as chuvas ocorridas em fevereiro de 2023 – da ordem de 640/680 mm/12h - foram acima da média esperada para o município. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), associada a uma frente fria e ao aquecimento anômalo da água do mar, provocou o evento extremo dos dias 18 e 19 de fevereiro de 2023, quando escorregamentos generalizados e inundações causaram a destruição de moradias e infraestruturas urbanas, além de 64 mortes (Vieira *et al.*, 2023). A Figura 1 apresenta o mapa de localização do município e da região afetada pelo desastre.

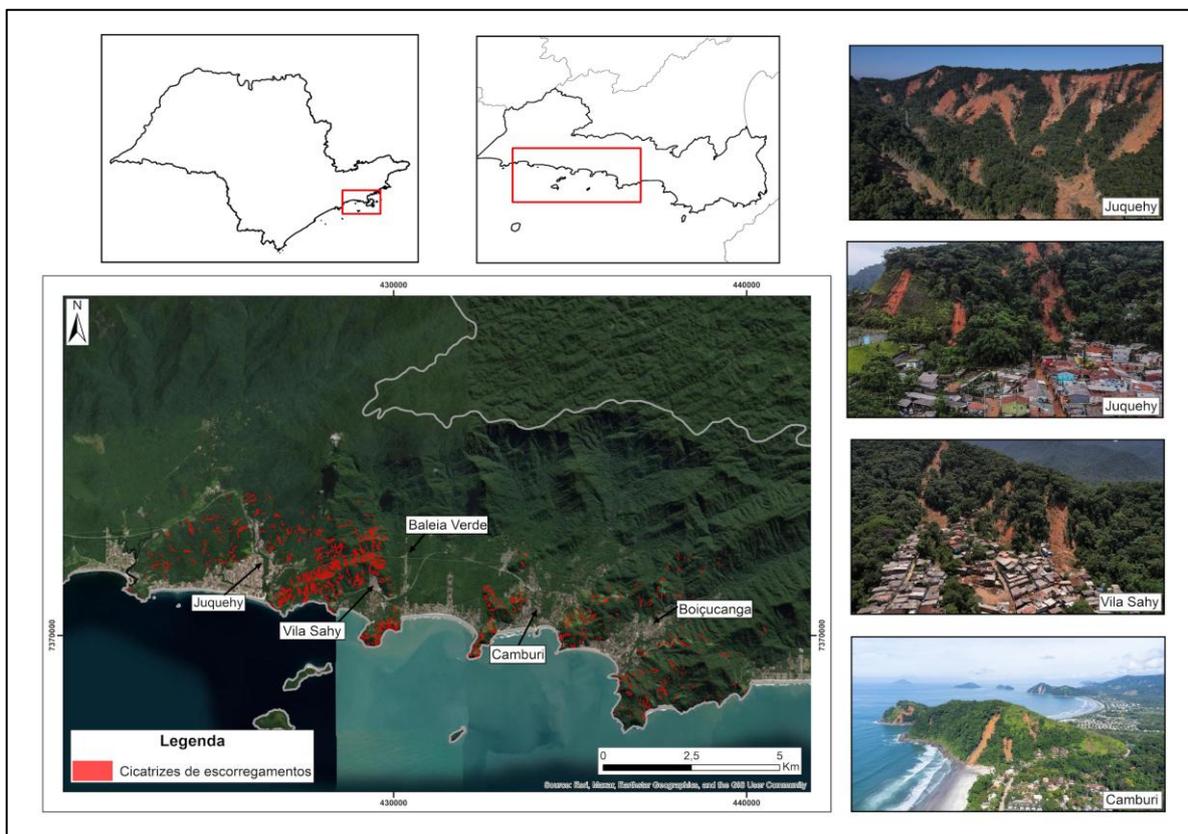


Figura 1. Localização da área de estudo e da região afetada pelo desastre de fevereiro de 2023.

2.2. Instrumentos de planejamento territorial e gestão de riscos e desastres em São Sebastião

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC), instituída pela Lei nº 12.608/2012, estabelece a necessidade de integração entre os diferentes níveis de governo para a redução de desastres. Na esfera municipal, existem alguns instrumentos essenciais para esse objetivo, incluindo o Plano Diretor, a Lei de Parcelamento do Uso do Solo, a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização, a Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa Gravitacionais e Inundações e o Plano Municipal de Redução de Riscos e o Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil.

Em conformidade com a Lei nº 12.608/2012, São Sebastião possui diversos instrumentos para a identificação de riscos em seu território. O primeiro mapeamento de áreas de risco no município foi realizado em 2005, pelo então Instituto Geológico (IG), atualmente Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA), abrangendo processos de escorregamentos e inundações. Esse mapeamento identificou 93 setores de risco, sendo 19 setores de Risco Muito Alto (R4), 33 setores de Risco Alto (R3), 37 setores de Risco Médio (R2) e 4 setores de Risco Baixo (R1). Em 2017, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) elaborou uma Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, na escala 1:25.000. No ano seguinte, o IPT desenvolveu o primeiro Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) para São Sebastião, identificando 18 setores de Risco Alto (R3), tanto para escorregamentos quanto para inundações, e 69 Setores de Monitoramento (SM), que englobam Risco Baixo (R1) e Risco Médio (R2). Para o ano de 2025 está prevista a publicação de uma atualização do PMRR do município, também elaborada pelo IPT.

As cartas de perigo não são tradicionalmente utilizadas como uma ferramenta de diagnóstico nos municípios. No entanto, São Sebastião possui algumas particularidades que justificam seu uso. Uma característica é a ocupação na base das escarpas da Serra do Mar, e não da área montanhosa em si. A ocupação dos trechos mais planos na base das encostas reduz a necessidade de intervenções como cortes e aterros, que frequentemente estão associados a instabilidades em terrenos urbanizados. Tradicionalmente, os escorregamentos relacionados a essas modificações antrópicas do relevo são identificados em mapeamentos de risco, como os realizados em 2006 e no PMRR de 2018. As extensas encostas naturais vegetadas, apesar de não serem ocupadas, podem sofrer escorregamentos deflagrados por chuvas intensas, como ocorreu em fevereiro de 2023. Esses eventos são particularmente destrutivos e devem ser considerados no planejamento territorial e na gestão de riscos do município. Uma maneira de considerar esse tipo de processo é através das cartas de perigo, que vão além das cartas de suscetibilidade e consideram os trechos suscetíveis à deflagração de um movimento de massa e os trechos que podem ser atingidos pelo material deslocado.

3. MODELAGEM DE ATINGIMENTO PARA A ELABORAÇÃO DAS CARTAS DE PERIGO

O termo “perigo” refere-se a uma condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência adversas dentro de um período determinado. O zoneamento de perigo destaca os processos que podem afetar uma área, caracterizando-os em termos de extensão, distribuição espacial, alcance e energia potencial (CPRM, 2018).

Uma das metodologias existentes para a elaboração de uma carta de perigo foi desenvolvida no âmbito do Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais (GIDES), fruto de um acordo entre os governos do Brasil e do Japão em 2013. O projeto publicou uma série de manuais, incluindo o Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa, que descreve a metodologia utilizada nas cartas de perigo elaboradas para São Sebastião.

Para escorregamentos planares, a metodologia define alguns critérios topográficos para identificar trechos de encosta suscetíveis à deflagração dos movimentos. As porções de encosta com altura igual ou superior a 5 m e inclinação igual ou maior que 25° apresentam os critérios mínimos para a ocorrência dos escorregamentos. A partir da definição desses trechos, são realizadas modelagens simples para a definição das chamadas Área Crítica (AC) e Área de Dispersão (AD). Na carta de perigo, são apresentadas as duas classes indicadas pela metodologia e considera-se que ambas representam trechos em perigo para escorregamentos planares.

4. CARTAS DE PERIGO PARA O MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO

Conforme a orientação do Manual (CPRM, 2018), a qualidade da base topográfica é determinante para a precisão da modelagem. Dessa forma, foram utilizados dados topográficos obtidos por meio de uma campanha de LiDAR (*Light Detection and Ranging*) com uma resolução a 4 a 10 pontos/m² (Base cartográfica: Nuvem de Pontos LiDAR 2023/2024, 4 a 10 pontos/m², pertencentes ao Instituto Geográfico e Cartográfico – IGC, Sistema Cartográfico do Estado de São Paulo). O arquivo .Las foi processado através da ferramenta LasGrid no *software* QGis (versão 3.40.4), gerando um Modelo Digital de Superfície (MDS).

A próxima etapa para a elaboração das cartas de perigo foi a obtenção de um mapa de inclinação, a partir do MDS. O mapa de inclinação foi subdividido em classes conforme orientado no Manual, com objetivo de identificar as faixas de inclinação de ocorrência de diferentes processos de movimentos gravitacionais de massa. Por ser o processo mais comum, apenas os escorregamentos planares foram considerados para as cartas de perigo de São Sebastião. A Figura 2 apresenta um exemplo de mapa de inclinação com as diferentes classes sugeridas.

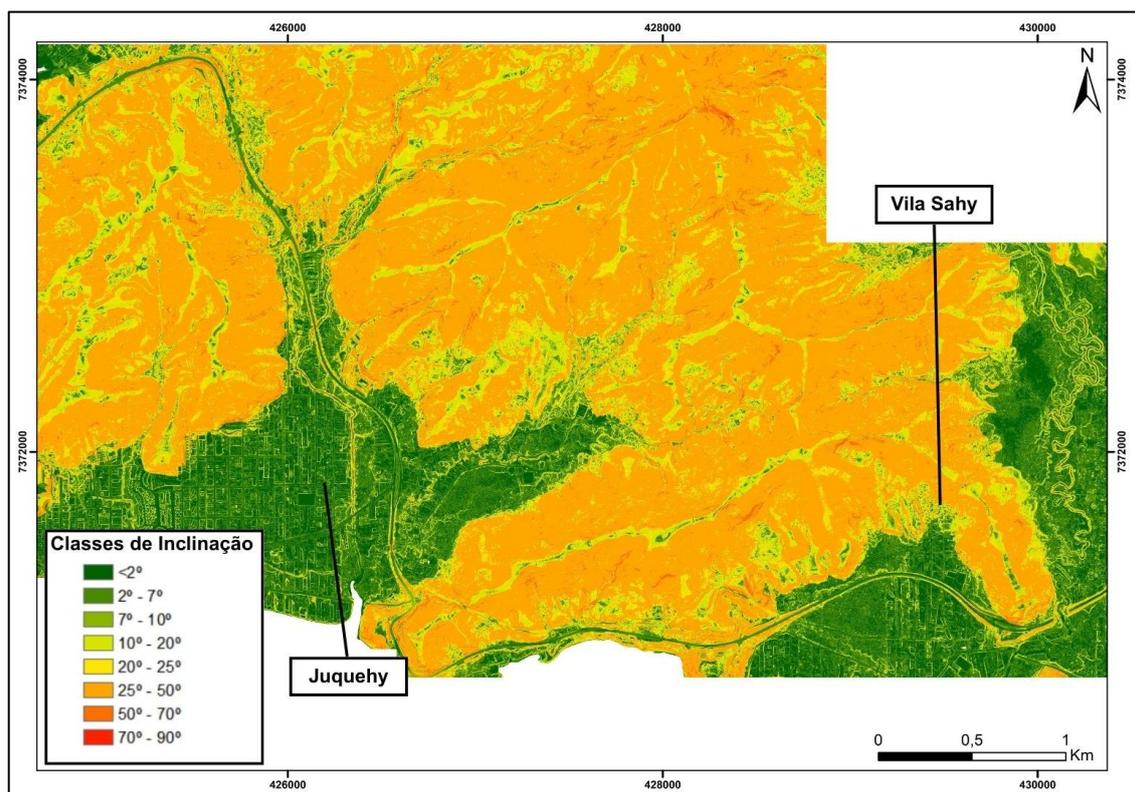


Figura 2. Mapa de inclinação para os bairros Juquehy e Vila Sahy.

A próxima etapa consistiu na delimitação das Áreas Críticas, que, conforme definido no Manual, correspondem às regiões com maior probabilidade de deflagração de movimentos gravitacionais de massa e de atingimento do material mobilizado, considerando que a energia potencial do movimento ocorre de forma concentrada na área afetada. No caso de escorregamentos planares, são definidos os trechos que atendem ao critério topográfico de altura igual ou maior que 5 metros e inclinação igual ou superior a 25° e menor que 50°. A partir dessas condições, delimitam-se faixas de 10 metros de extensão a montante do limite superior da condição topográfica e, na base, define-se uma faixa cuja extensão corresponde à altura do trecho que atende aos critérios, com um limite máximo de 30 metros. Após essa etapa, procede-se à definição das Áreas de Dispersão, que são aquelas sujeitas à deposição do material mobilizado durante um escorregamento, considerando-se que a energia potencial do movimento ocorre de forma dispersa na área afetada. Sua delimitação é feita a partir de uma faixa que se inicia na base da condição topográfica e se estende por duas vezes a medida da altura, limitando-se a 50 metros. A Figura 3 apresenta um fluxograma das etapas para a elaboração da Carta de Perigo e a Figura 4 mostra um exemplo de definição de condição topográfica, Área Crítica e Área de Dispersão.

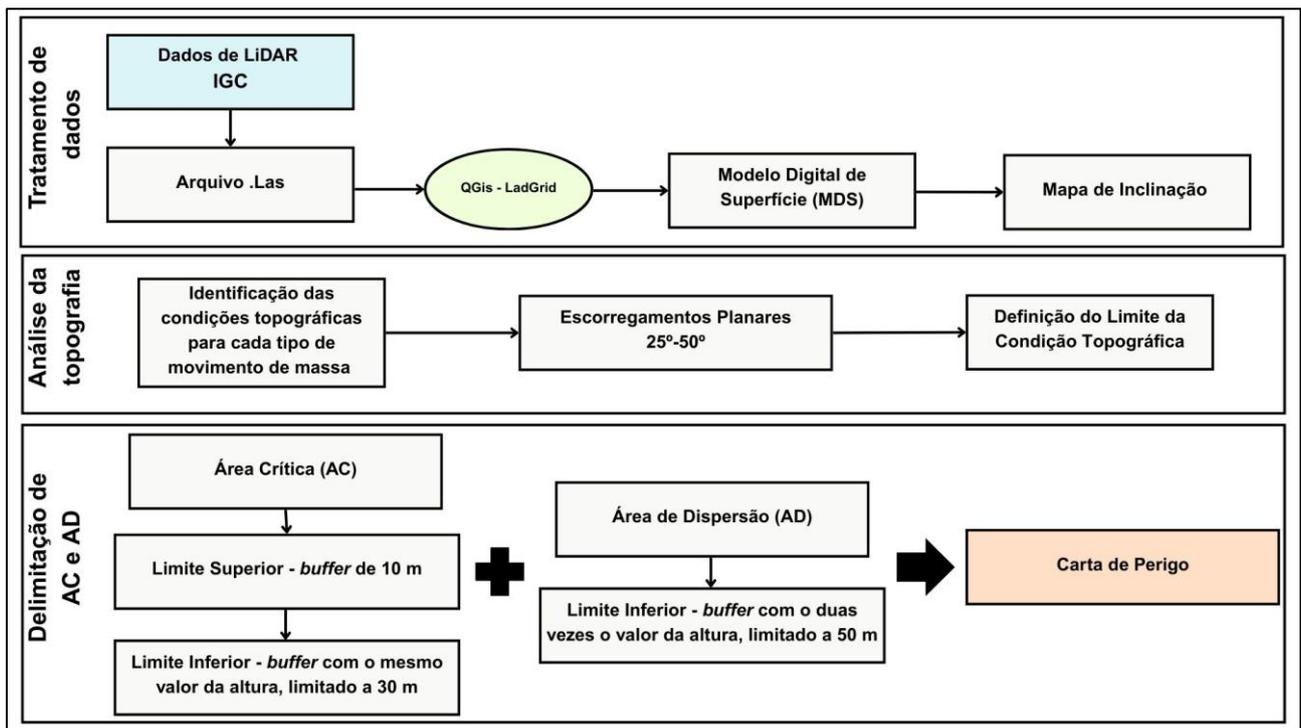


Figura 3. Fluxograma com as etapas para a elaboração das Cartas de Perigo.

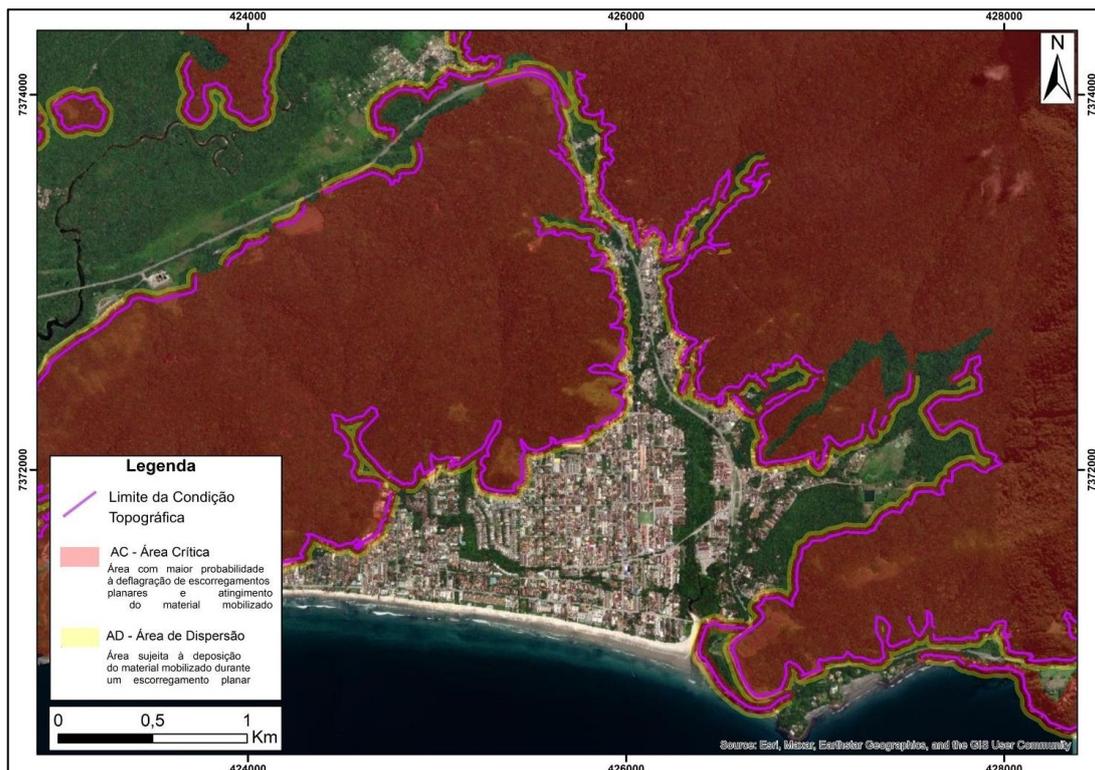


Figura 4. Definição de condição topográfica, Área Crítica e Área de Dispersão no bairro Juquehy.

Uma forma de validar se as cartas de perigo podem ser uma ferramenta útil para a gestão municipal em São Sebastião foi comparar os resultados da modelagem com as cicatrizes dos movimentos de massa ocorridos no desastre de fevereiro de 2023 (Figura 5). O estudo de Coelho *et al.* (2024) mapeou as cicatrizes de movimentos de massa utilizando os mesmos dados topográficos empregados na modelagem de perigo, permitindo uma análise comparativa entre os produtos. A sobreposição dos resultados mostra uma forte correlação espacial entre as áreas definidas como críticas e os locais efetivamente afetados pelos deslizamentos nos bairros de Juquehy e Vila Sahy. Observou-se que a maioria dos movimentos teve origem dentro dos polígonos de Áreas

Críticas (AC), situados em trechos de encostas com inclinações variando entre 25° e 50°, enquanto o material mobilizado foi direcionado predominantemente para as Áreas de Dispersão (AD), localizadas em trechos de menor inclinação na base das encostas.

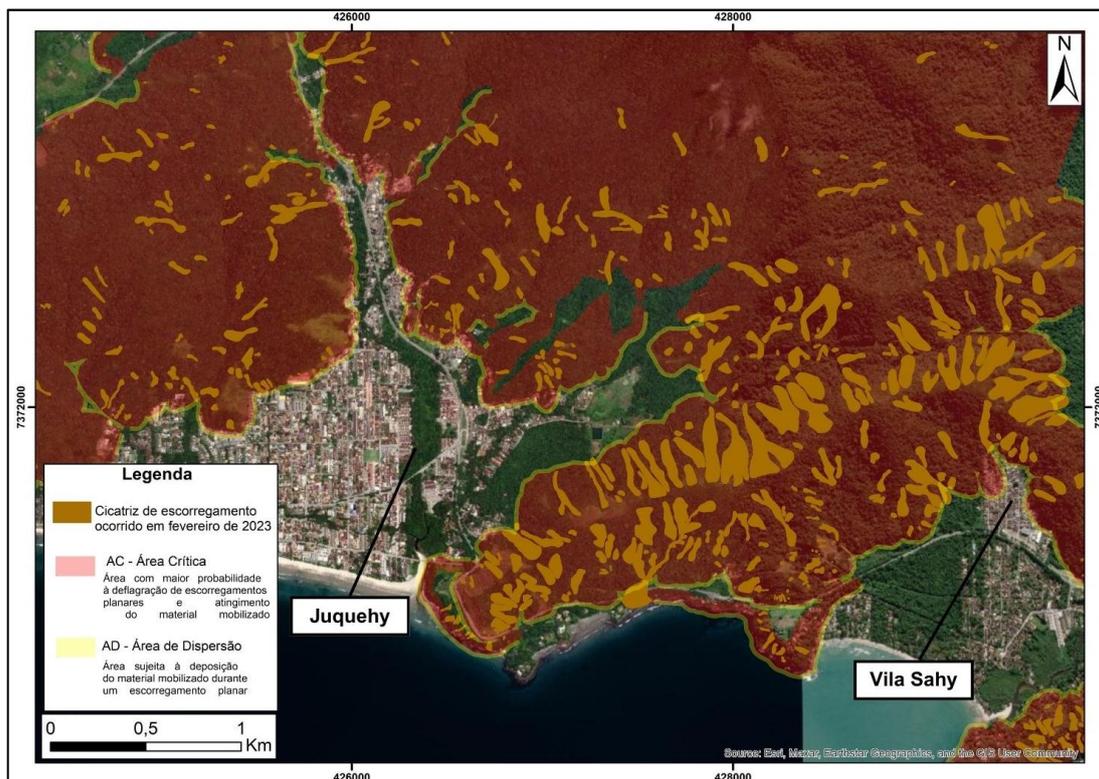


Figura 5. Comparativo entre as cicatrizes de movimentos de massa e a modelagem de perigo nos bairros de Juquehy e Vila Sahy.

Considerando o desempenho positivo da modelagem de perigo na identificação de áreas que podem ser afetadas por escorregamentos planares em encostas naturais, a mesma metodologia foi estendida para a totalidade da área urbanizada do município. A Figura 6 apresenta um exemplo de carta de perigo para bairros da região central de São Sebastião.

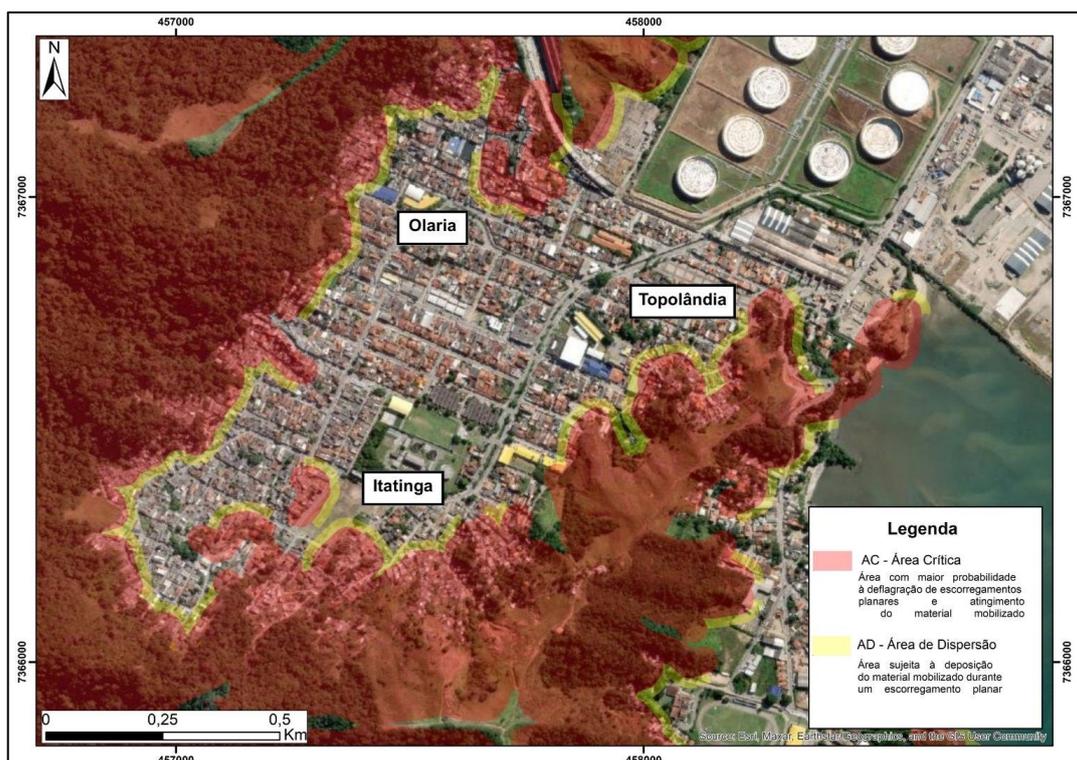


Figura 6. Carta de perigo para os bairros Olaria, Topolândia e Itatinga, na região central de São Sebastião.

5. CONCLUSÕES

A elaboração das cartas de perigo no município de São Sebastião mostrou-se uma alternativa eficiente que pode ser utilizada para aprimorar o planejamento territorial e a gestão de riscos. Os resultados obtidos confirmam que o método utilizado é capaz de identificar com maior precisão as áreas sujeitas à deflagração e atingimento de escorregamentos em encostas naturais, superando algumas das limitações dos mapeamentos tradicionais. A incorporação dessas informações na tomada de decisão municipal pode contribuir significativamente para a redução de impactos socioeconômicos decorrentes de desastres. Dessa forma, é importante que haja continuidade no desenvolvimento de produtos que atendam às necessidades e reflitam a realidade do município, permitindo a evolução das políticas públicas locais e promovendo uma maior resiliência e segurança para a população.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) e à Prefeitura de São Sebastião pelo suporte técnico e pelo fornecimento dos dados utilizados neste estudo.

REFERÊNCIAS

COELHO, R. D. et al. (2024) “*Landslides of the 2023 summer event of São Sebastião, southeastern Brazil: spatial dataset*”, Brazilian Journal of Geology, v. 54, p. e20240006.

CPRM (2018) “*Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa*”.

MACHADO, M. D. (2014) “*Os compartimentos de relevo e a ocupação urbana em São Sebastião no litoral norte de São Paulo*”. Revista Geonorte, v. 5, n. 23, p. 635-640.

VIEIRA, E. T. et al. (2023) “*Desenvolvimento regional e a intensificação das catástrofes socionaturais: o caso do município de São Sebastião/SP*”, Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 19, n. 3.