

# ANÁLISE DE PADRÕES MULTIVARIADOS EM ÁREAS COM OCORRÊNCIA DE MOVIMENTAÇÃO DE MASSA NA COSTA SUL DA CIDADE DE SÃO SEBASTIÃO (SP)

Ezequiel Silva Rocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INPE, Av. dos Astronautas, 1.758 - Jardim da Granja, São José dos Campos – SP, Ezequiel.Rocha@inpe.br;

## RESUMO

Este trabalho busca encontrar relações entre as características do solo e fenômenos de deslocamentos de massa na cidade de São Sebastião, no estado de São Paulo, por meio da análise de padrões em pontos localizados sobre cicatrizes dos deslizamentos ocorridos no bairro Vila Sahy, no ano de 2023. As características do solo foram comparadas para identificar aquelas mais predominantes nas áreas afetadas pelos desastres. Os resultados demonstram que os pontos de deslizamento de terra apresentam similaridades e tendem a apresentar um padrão de atributos.

**Palavras-chave** — Deslizamentos, Padrão, Solo, Geomorfologia.

## ABSTRACT

*This paper aims to find relationships between soil characteristics and mass displacement phenomena in the city of São Sebastião, in the state of São Paulo, through the analysis of points located on scars from landslides that occurred in the Vila Sahy neighborhood, in the year 2023. Soil characteristics were compared, showing which were most present in areas where landslides occurred. The results indicate that the landslide points display similarities and tend to show a pattern of attributes.*

**Key words** — Landslides, Pattern, Soil, Geomorphology.

## 1. INTRODUÇÃO

Os eventos climáticos extremos estão se tornando mais intensos e frequentes devido às mudanças climáticas globais, afetando tanto o mundo quanto o Brasil. Nos últimos anos, o estado de São Paulo tem sido profundamente impactado por esses eventos, resultando em inundações, enxurradas e deslizamentos de terra de várias categorias. Esses fenômenos têm gerado consequências catastróficas, incluindo um alto número de vítimas fatais e prejuízos econômicos significativos [1].

O bairro Vila Sahy, em São Sebastião, foi considerado o epicentro de um grande desastre natural de movimentação de massa no litoral norte de São Paulo, que resultou em um grande número de pessoas mortas e desabrigadas, conforme reportado pelo noticiário Agência Brasil em matéria sobre o desastre ocorrido no ano de 2023 [2]. A cidade é caracterizada

por áreas de encostas suscetíveis a deslizamentos de terra, especialmente durante períodos chuvosos.

À luz destes fatos, torna-se clara a necessidade de investigações detalhadas sobre as características dos locais com grande suscetibilidade a deslizamentos de massa na cidade de São Sebastião, com o intuito de identificar características semelhantes entre esses locais, gerando modelos de previsão mais assertivos e contribuindo para um melhor planejamento urbano e maior segurança da população local.

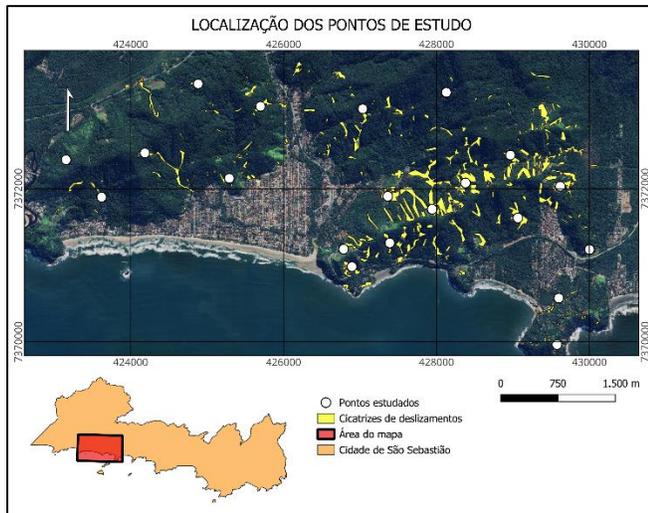
Os movimentos de massa são classificados como desastres naturais de natureza geológica. Esses eventos envolvem o deslocamento rápido de solo e rocha de uma encosta, onde o centro de gravidade desse material se move para fora e para baixo da superfície. Quando esses movimentos acontecem gradualmente ao longo do tempo, são chamados de rastejamento [3].

Com isso, o presente trabalho busca utilizar técnicas de geoprocessamento para realizar uma análise em áreas com ocorrência de movimentação de massa na costa sul da cidade de São Sebastião (SP), com o intuito de identificar possíveis padrões entre pontos em cicatrizes de deslizamentos e gerar um mapa de risco de movimentação de massa baseado nisso.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

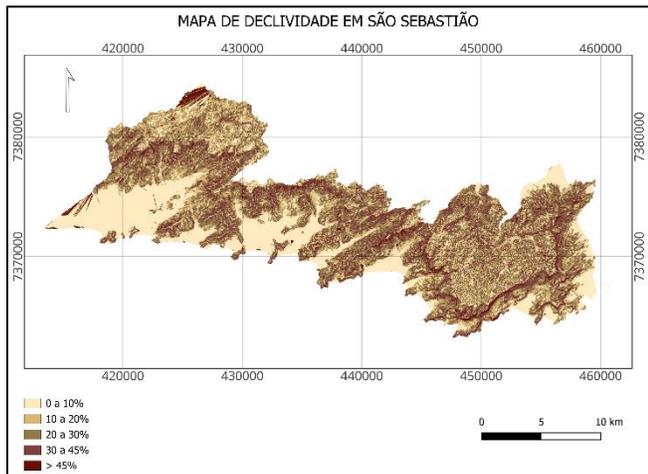
Neste trabalho foram utilizadas informações do banco de dados de Crepani e Medeiros (2002), atualizado por Martins (2023) [4], para análises das características nos locais das cicatrizes e seleção dos pontos para análise. Para tal, foram escolhidos pontos sobre cicatrizes de deslizamentos de terra referentes ao desastre ocorrido em 2023. As cicatrizes fazem parte do banco de dados atualizado de Martins (2023) [5].

A Figura 1 mostra as localizações dos pontos selecionados ao longo das cicatrizes de deslizamentos de terra. A seleção desses pontos foi realizada visando obter um espaçamento adequado e uma distribuição equilibrada entre eles.

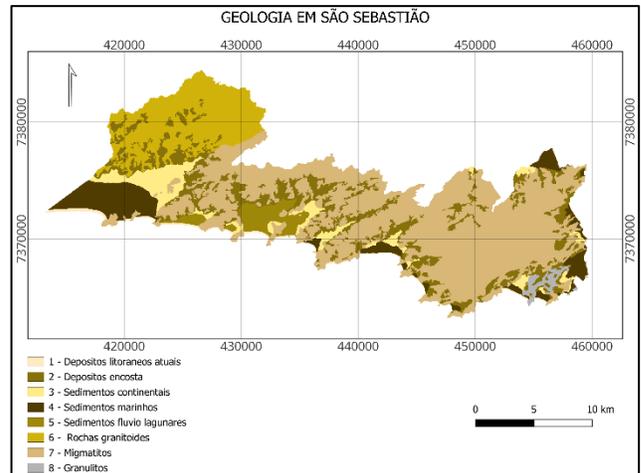


**Figura 1. Pontos (em branco) escolhidos sobre cicatrizes de deslizamentos de terra (em amarelo) no bairro Vila Sahy.**

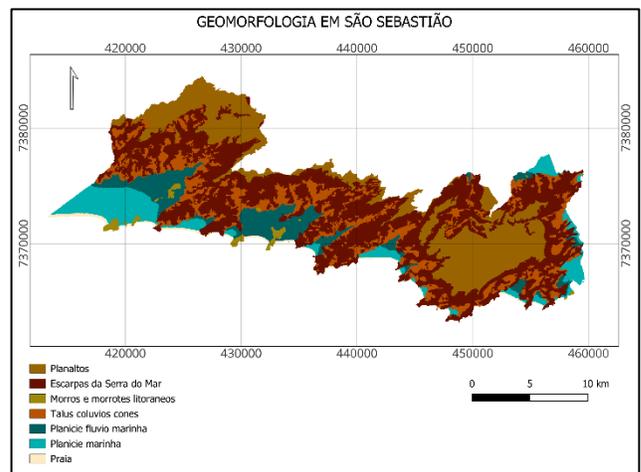
Com a utilização do banco de dados de Crepani e Medeiros (2002), atualizado por Martins (2023), foi possível traçar mapas das características do solo de toda a região da cidade de São Sebastião, que foram utilizados no estudo. As Figuras 2 a 6 mostram os mapas de declividade, geologia, geomorfologia, pedologia e uso da área, respectivamente.



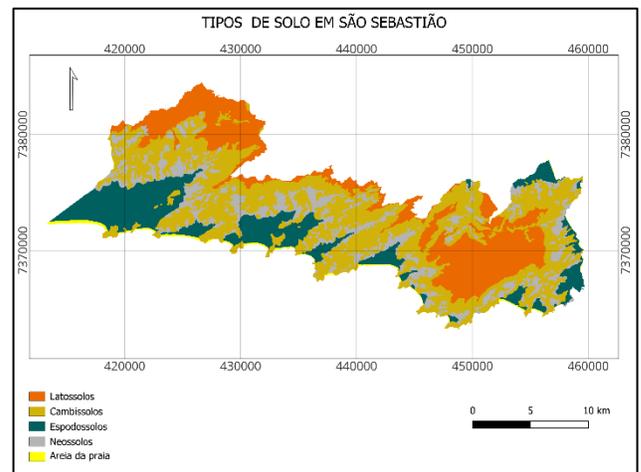
**Figura 2. Mapa de declividade da cidade de São Sebastião.**



**Figura 3. Mapa de declividade da cidade de São Sebastião.**



**Figura 4. Mapa de geomorfologia da cidade de São Sebastião.**



**Figura 5. Mapa de pedologia da cidade de São Sebastião.**

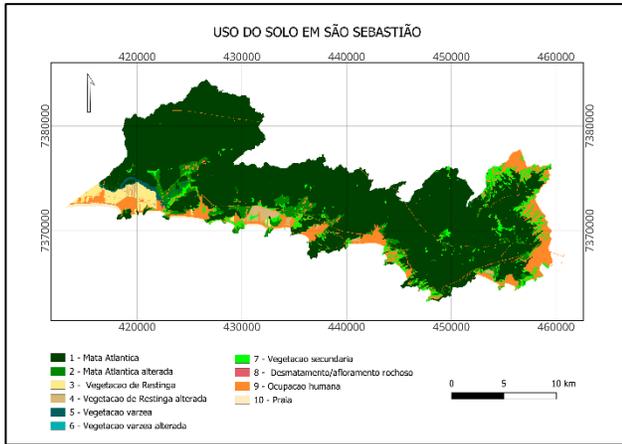


Figura 6. Mapa de uso do solo da cidade de São Sebastião.

Em paralelo, as informações de cada mapa foram cruzadas para atribuir características aos pontos de estudo, resultando em dados pontuais de cada um dos mapas para cada ponto analisado. Após isso, os dados passaram por análise. No tópico a seguir são discutidos os resultados das investigações realizadas nos pontos.

### 3. RESULTADOS

As Figuras 7 a 10 apresentam os gráficos de repetitividade dos atributos nos pontos, e a Figura 11 apresenta a representatividade da combinação de maior ocorrência. Fica clara a presença de um padrão entre os pontos, onde a maioria deles apresenta atributos semelhantes. É válido observar que o gráfico mais distribuído foi o de declividade. A Tabela 1 apresenta o padrão de maior repetitividade.

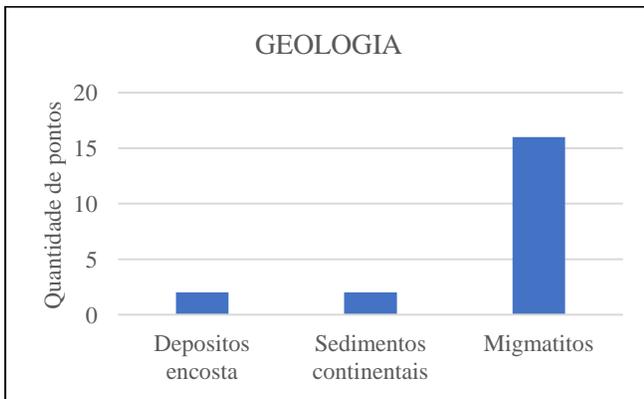


Figura 7. Distribuição do tipo de geologia por quantidade de pontos.

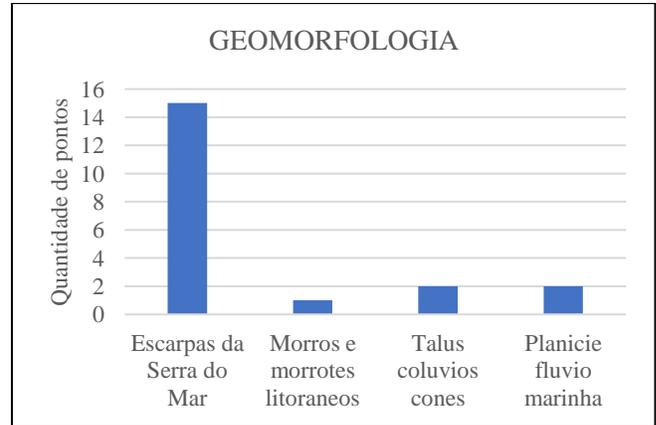


Figura 8. Distribuição do tipo de geologia por quantidade de pontos.

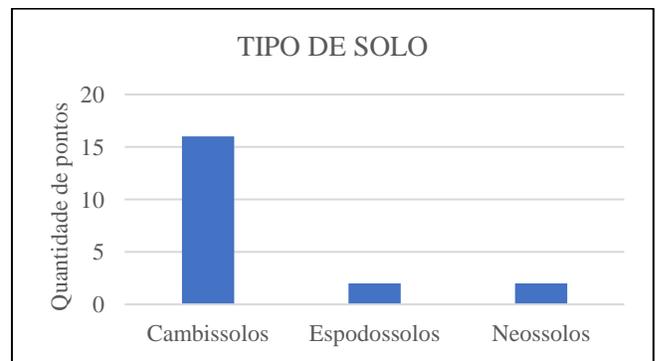


Figura 9. Distribuição do tipo de solo por quantidade de pontos.

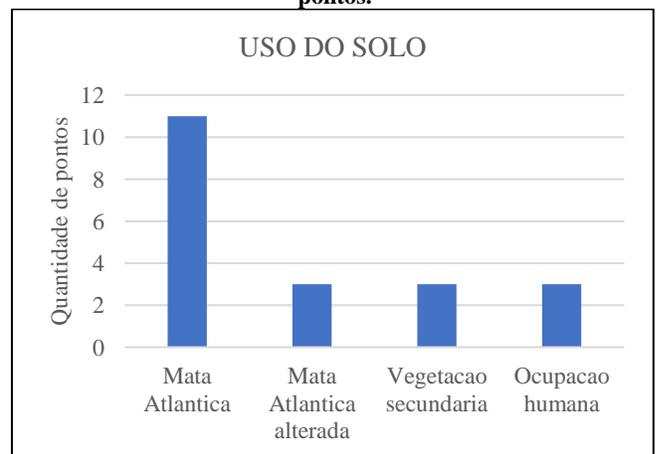
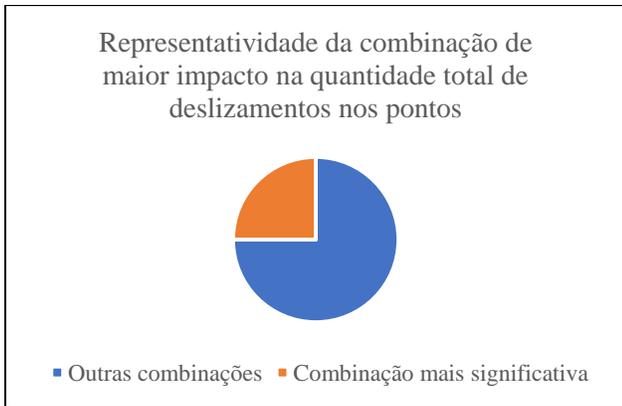


Figura 10. Distribuição do tipo de uso do solo por quantidade de pontos.



**Figura 11. Representatividade da combinação de maior repetitividade.**

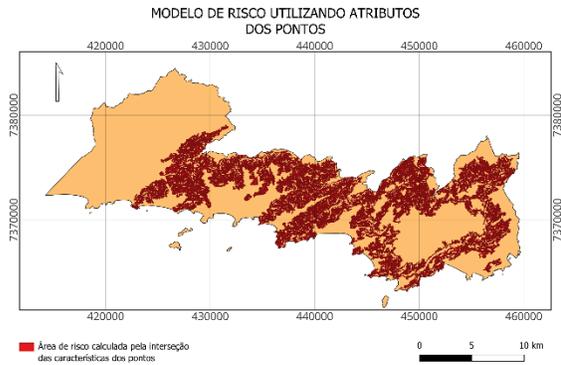
<b>Declividade</b>	20 a 30%
<b>Geologia</b>	Migmatitos
<b>Geomorfologia</b>	Escarpas da Serra do Mar
<b>Pedologia</b>	Cambissolos
<b>Uso do solo</b>	Mata Atlântica

**Tabela 1. Combinação de atributos de maior repetitividade.**

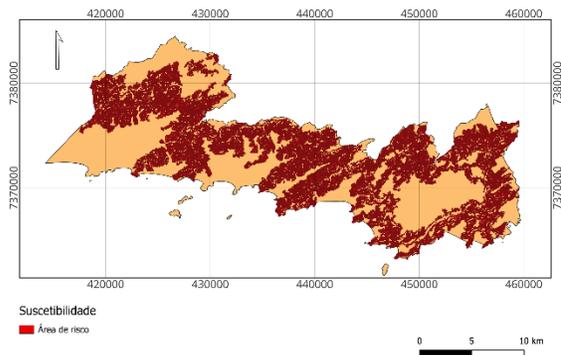
Com as informações da Tabela 1, pode-se idealizar um mapa que mostra onde esse padrão está presente. A Figura 12 apresenta o mapa gerado, que pode ser considerado um mapa de áreas de risco a deslizamentos de terra, visto que apresenta os mesmos atributos de locais que anteriormente sofreram esses eventos.

Pode-se perceber que o modelo criado acaba limitando algumas áreas da cidade, visto que os mapas de geologia e geomorfologia abrangem grandes áreas da mesma tipologia. Dessa forma, a metodologia falha ao deixar essas áreas sem indicação de risco à movimentação de massa, mesmo que elas possuam todos os outros atributos da Tabela 1.

Por conta disso, elaborou-se um novo mapa indicador de risco a deslizamentos de terra. Neste novo mapa foram consideradas combinações de quatro atributos; logo, se uma área possui quatro atributos iguais aos da Tabela 1, essa área será contabilizada. O resultado é mostrado na Figura 13. Como é possível notar, o novo modelo abrange uma área maior, resultado da contabilização de menos atributos.



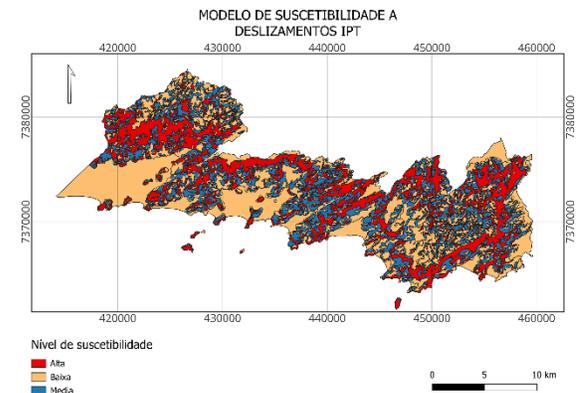
**Figura 12. Mapa com área de risco a deslizamentos de terra.**



**Figura 13. Mapa com área de risco a deslizamentos de terra, considerando combinações de 4 atributos.**

#### 4. DISCUSSÃO

Com os resultados dos mapas de risco a deslizamentos produzidos, observa-se que grande parte da cidade de São Sebastião é coberta por áreas de risco de deslizamentos. Dessa maneira, é importante que os dados gerados sejam comparados com outras fontes. A Figura 14 apresenta um mapa de risco a deslizamentos de terra na cidade de São Sebastião feito pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).



**Figura 14. Mapa com área de risco a deslizamentos de terra elaborado por IPT.**

No modelo elaborado pelo IPT, é possível notar uma estratificação dos níveis de suscetibilidade em Baixo, Médio ou Alto. Além disso, ao ser comparado com o modelo gerado por atributos (Figura 12 e 13), nota-se que o mapa do IPT abrange áreas maiores. Ao mesmo tempo, é possível observar que a maioria das áreas de risco encontradas no mapa da Figura 13 está de acordo com áreas do mapa do IPT para os níveis de suscetibilidade Médio ou Alto, mostrando que há uma correlação dos atributos estudados com os deslizamentos de terra.

É importante também ressaltar que alguns dados levados em consideração na análise não apresentam grande relação com os deslizamentos de terra, visto que o atributo "uso do solo" conta com "mata atlântica" como a maior repetição. Desta forma, é possível perceber que a mata atlântica em si não está diretamente relacionada às movimentações de massa.

Além disso, a declividade na combinação de maior repetitividade, mostrada na Tabela 1, não apresenta o valor de maior declividade, o que pode ser uma contradição, visto que convencionou-se que quanto maior a declividade, maior será a suscetibilidade a deslizamentos.

## 5. CONCLUSÕES

Com isso, concluiu-se que os modelos de risco de movimentação de massa gerados a partir dos atributos coletados dos pontos de deslizamentos podem ser um bom indicativo de áreas de risco. No entanto, quando comparados a modelos que levam em consideração mais variáveis, como o do IPT, podem se mostrar defasados.

A análise das características do uso do solo e da declividade não se mostraram como resultados confiáveis para indicar maior risco de deslizamentos, visto que a presença da mata atlântica e a declividade média não podem ser fatores indicativos por si só.

Desta forma, mais estudos devem ser levados em consideração para uma análise mais aprofundada, incluindo um maior volume de variáveis e pontos, e considerando outras áreas da cidade, a fim de aperfeiçoar o modelo e entregar mapas indicadores de risco mais confiáveis.

## 6. REFERÊNCIAS

[1] HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. O manual de deslizamentos: um guia para compreensão de deslizamentos. Local: U.S. Geological Survey Circular, 2008. 129 p. Disponível em: [https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos\\_M5DS.pdf](https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos_M5DS.pdf). Acesso em: 29 mar. 2024.

[2] AGÊNCIA BRASIL. Cemaden indica risco alto para deslizamento em São Sebastião. 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-02/cemaden-indica-risco-alto-para-deslizamento-em-sao-sebastiao>. Acesso em 02 abr. 2024

[3] TERZAGHI, K. Mecanismos de escorregamentos de terra. Tradução de Ernesto Pichler. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1952. 41p.

[4] CREPANI, E. E DE MEDEIROS, J. S. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Estudo da Vulnerabilidade aos Movimentos de Massa no Município de São Sebastião – SP, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil, 2002.

[5] MARTINS, B. M. V. S. L. S. Áreas suscetíveis a movimentos de massa em São Sebastião (SP): estudo de técnicas de inferência espacial, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil, 2023. Disponível em: [http://wiki.dpi.inpe.br/lib/xe/fetch.php?media=ser300:alunos2023:monografia\\_barbara\\_martins.pdf](http://wiki.dpi.inpe.br/lib/xe/fetch.php?media=ser300:alunos2023:monografia_barbara_martins.pdf). Acesso em: 02 abr. 2024

[6] REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DE GEOCIÊNCIAS. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de São Sebastião – SP. 2017. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23448>. Acesso em 15 mai. 2024.