

Áreas suscetíveis a movimentos de massa em São Sebastião (SP): estudo de técnicas de inferência espacial

Bárbara Marie Van Sebroeck

SER 300 - Introdução ao Geoprocessamento



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



1

Introdução e contextualização





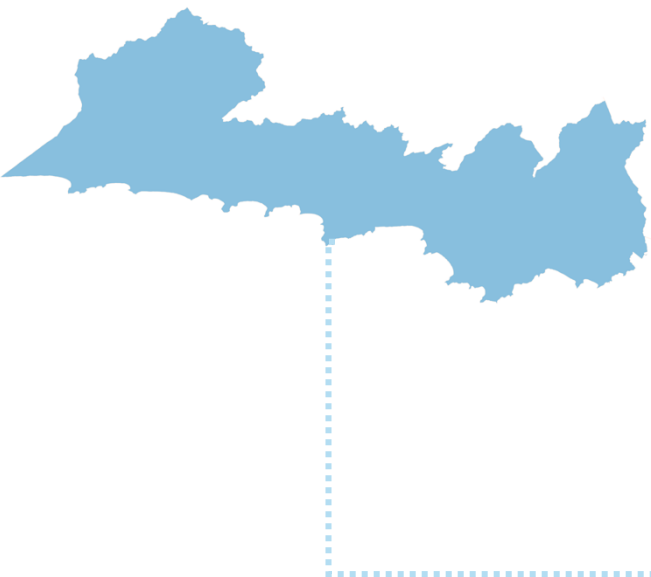
São Sebastião

Suscetibilidade é a propensão do terreno à ocorrência de fenômeno e/ou processo físico

Modelo para prever áreas com **maior suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa**

Fonte: Riffel et al (2016)





São Sebastião

População Total Litoral Norte SP					
	1980	1991	2000	2010	Est. 2021
Caraguatatuba	33.563	52.616	78.628	100.634	125.194
Ubatuba	26.927	46.942	66.644	78.693	92.819
São Sebastião	18.839	33.430	57.745	73.793	91.637
Ilhabela	7.743	13.437	20.752	28.125	36.194

Fonte: IBGE



0 7.5 15 km





Urbanização turística

- 43.256 imóveis (2012) (38,39% uso ocasional) 75% na Costa Sul
- Costa Norte com urbanização consolidada
- Ocupação litorânea

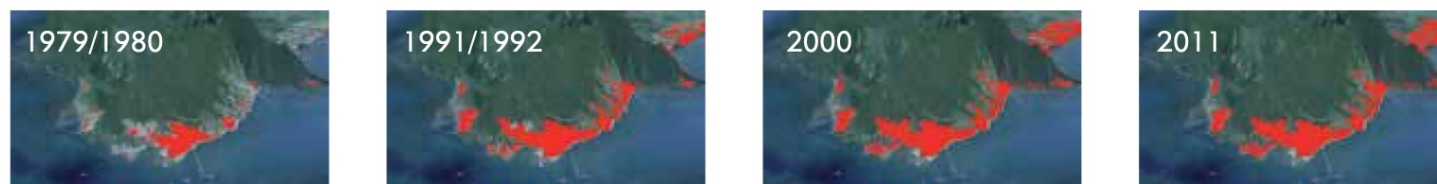


FIGURA 1
São Sebastião – Centro e Costa Norte – Mancha Urbana
Fonte: Imagens Landsat 1979/1980, 1981/1982, 2000, Google Earth, 2011. Elaboração: Instituto Pólis



FIGURA 2
São Sebastião – Costa Sul – Mancha Urbana
Fonte: Imagens Landsat 1979/1980, 1981/1982, 2000, Google Earth, 2011. Elaboração: Instituto Pólis

Fonte: Instituto Pólis (2012)

2

Fundamentação teórica

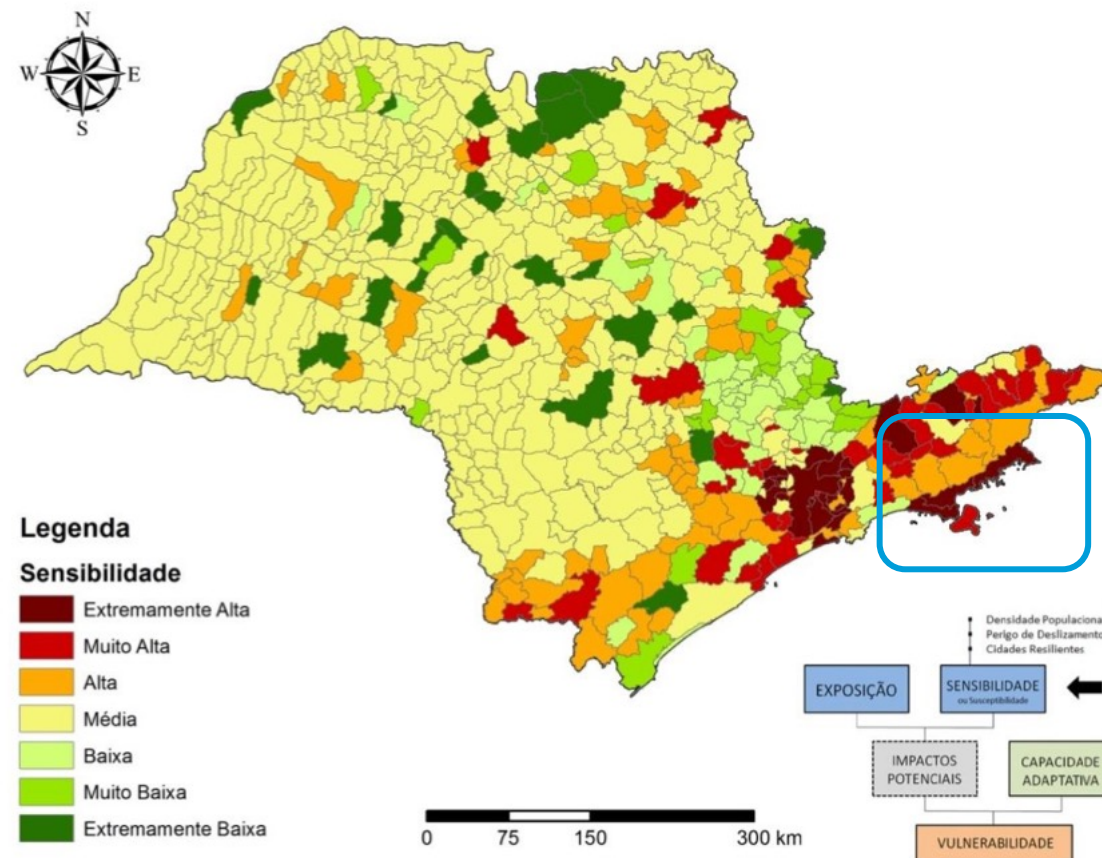




Eventos e impactos

- Caraguatatuba (1967)
- Nova Friburgo (2011)
- Teresópolis (2011)
- Petrópolis (2022)
- Angra dos Reis (2022)
- São Sebastião (2023)

Sub-índice de Sensibilidade aos Desastres Naturais
Relacionados com Deslizamentos De Terra.

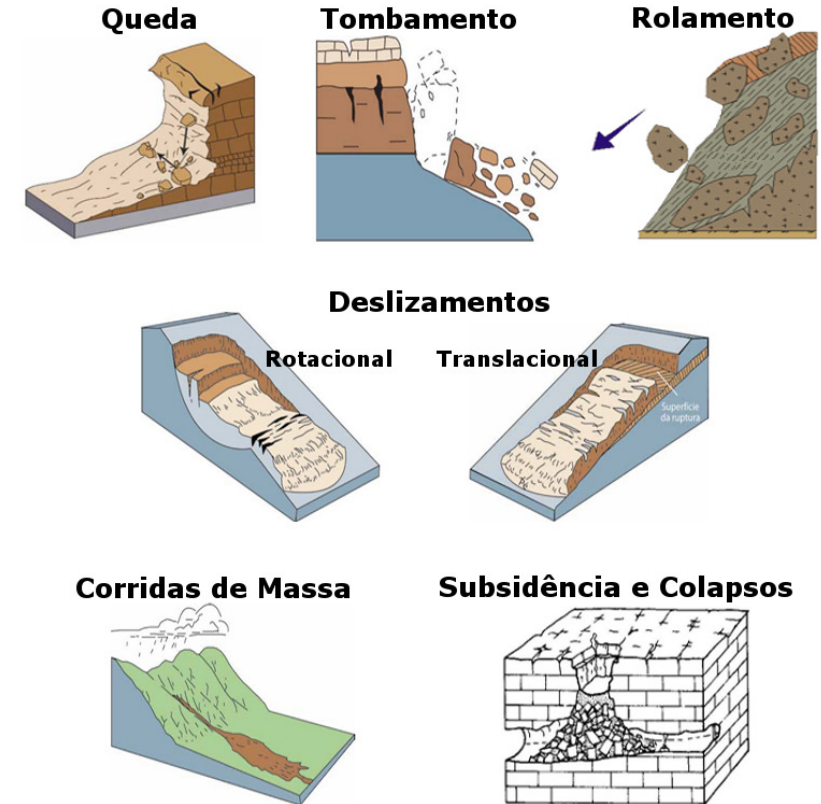


Fonte: Camarinha (2016)



Movimentos de massa

- Movimentos induzidos pela aceleração gravitacional (exceto os com transporte de material diretamente por meio de transporte (água, gelo, neve ou ar)).
- Envolvem o deslocamento de rocha e/ou solo vertente para baixo



Fonte: Cemaden



Formas de ponderação do modelo

- Análise Booleana
- Média Ponderada
- AHP (*Analytic Hierarchy Process*)
- Fuzzy Gama



Material e métodos

- Banco de Dados elaborado por Crepani & Medeiros (2002)
- Uso do solo IPT (2014)
- Cicatrizes por sobrevoo

Banco São Sebastião UTM/Datum SAD69

Banco IPT SIRGAS 2000/UTM zone 23S

Sobrevoo Sahy IPT SIRGAS 2000/UTM 23S



3

Variáveis de estudo

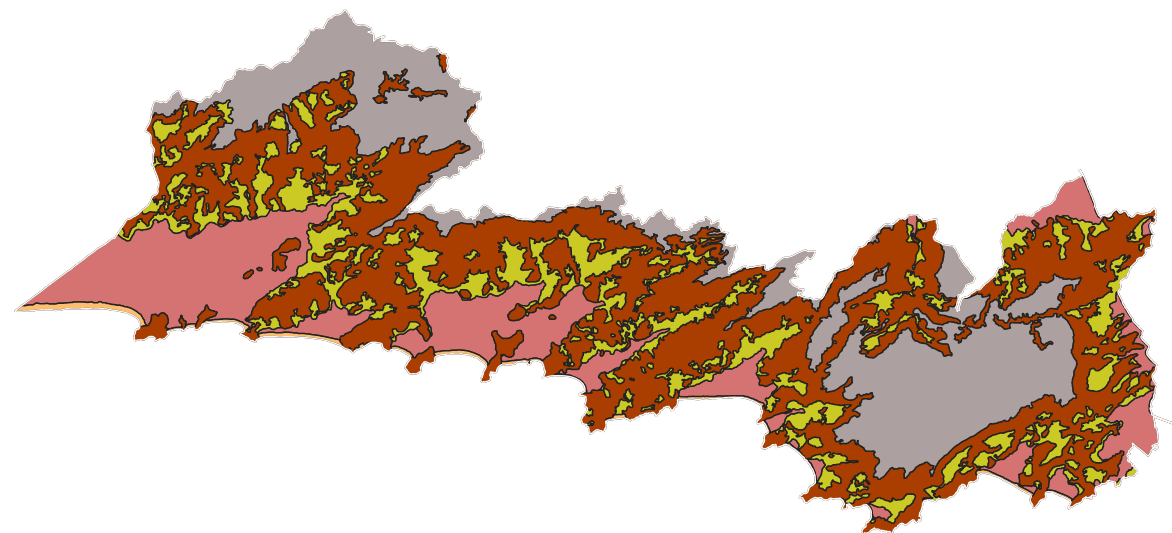




Variáveis

○ Solos

-  Latossolos
-  Cambissolos
-  Espodossolos
-  Neossolos
-  Areia da Praia

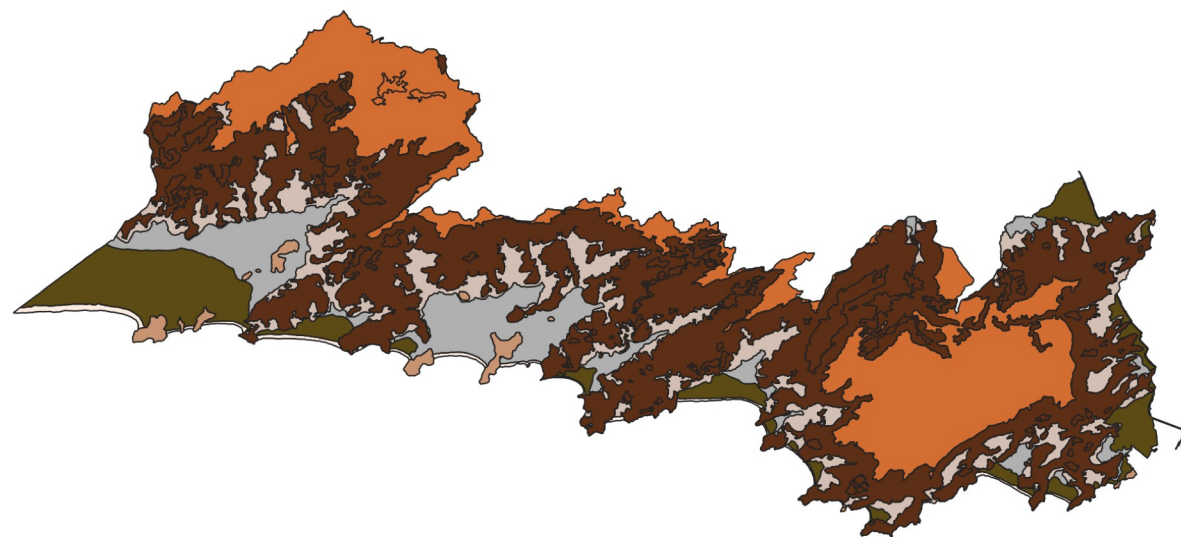




Variáveis

○ Geomorfologia

-  Planaltos
-  Escarpas Serra do Mar
-  Morros e morrotes
-  Tálus colúvios cones
-  Planície flúvio-marinha
-  Planície Marinha
-  Praia

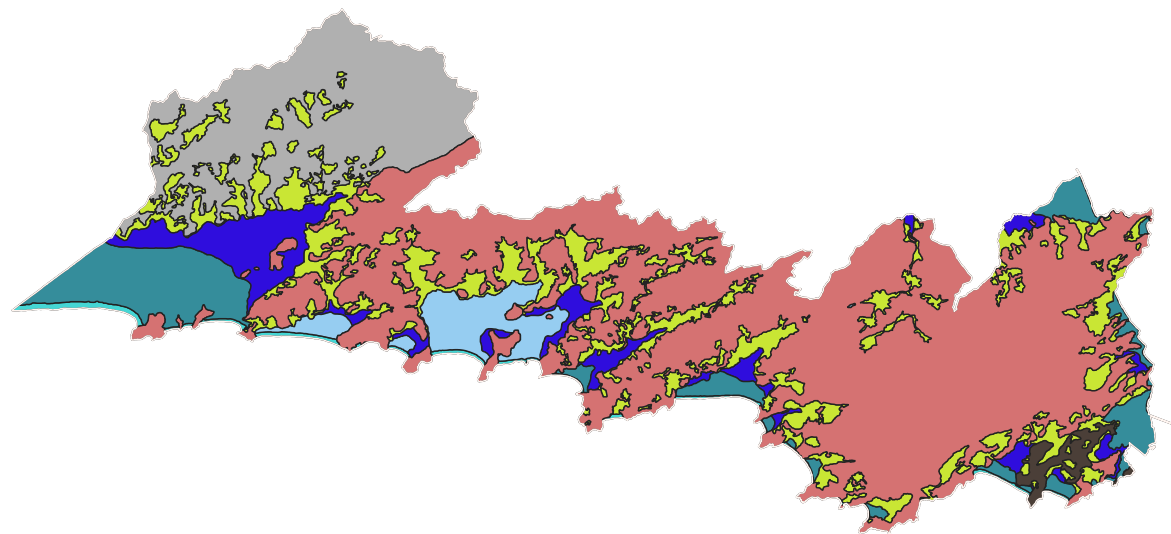




Variáveis

○ Geologia

-  Depósitos litorâneos atuais
-  Depósitos de encosta
-  Sedimentos continentais
-  Sedimentos marinhos
-  Sedimentos flúvio-lagunares
-  Rochas granitórides
-  Migmatitos
-  Granulitos



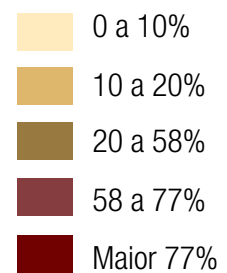
0 5 10 km



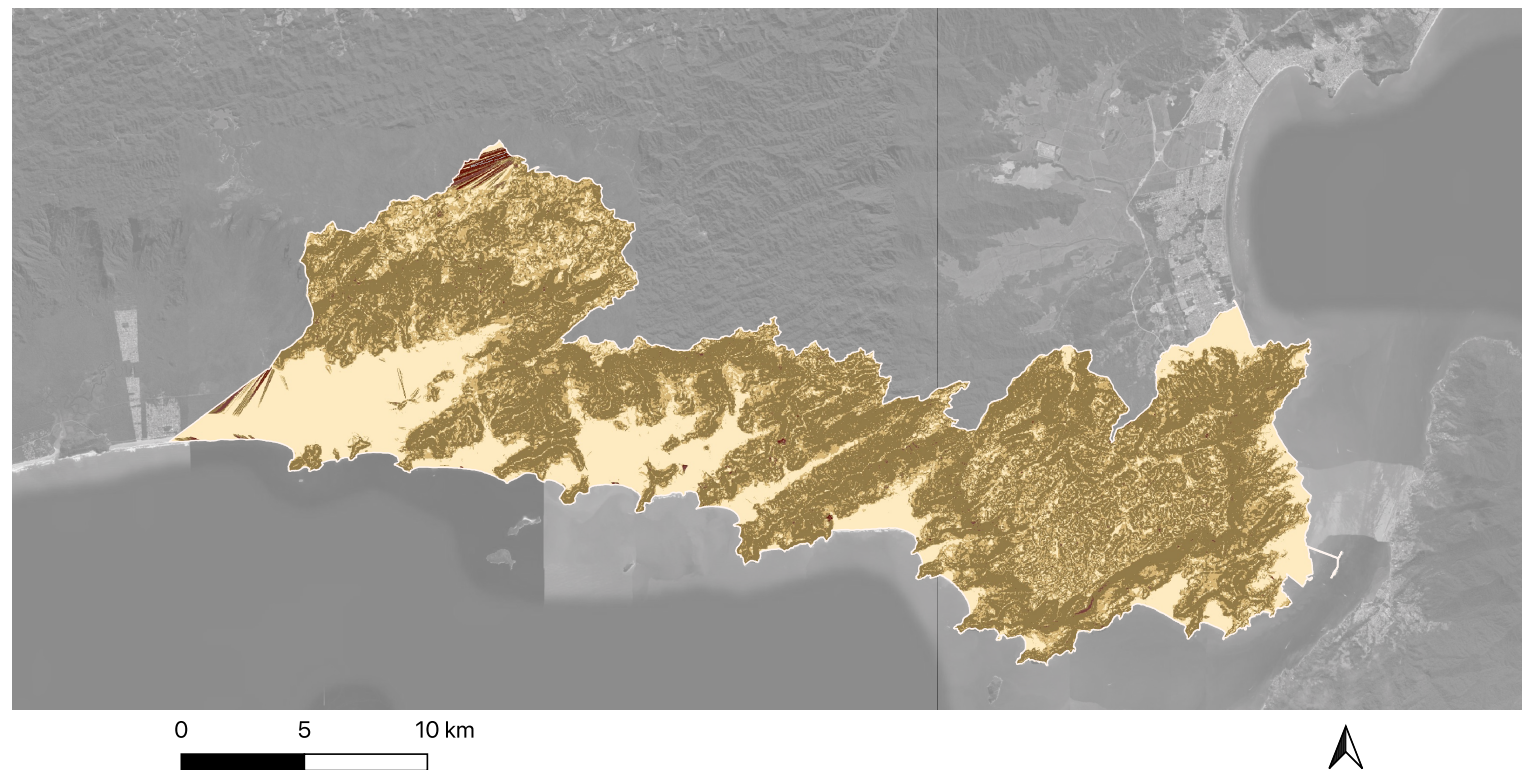


Variáveis

○ Declividade
Fatiamento 0 a 77%



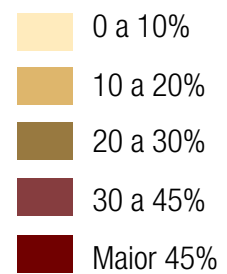
Fonte: Muñoz (2004)



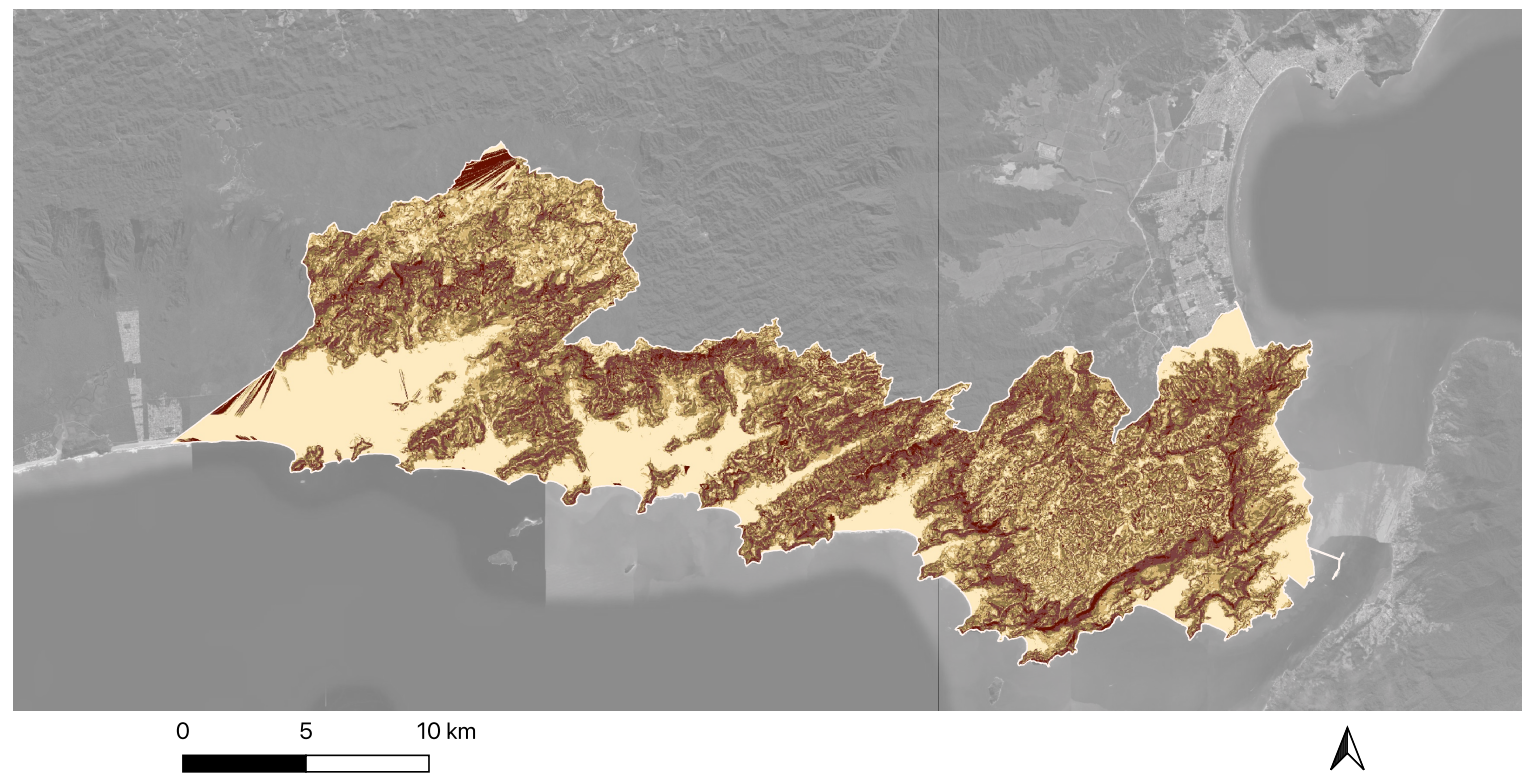


Variáveis

○ Declividade
Fatiamento 0 a 45%



Fonte: Bispo (2011)

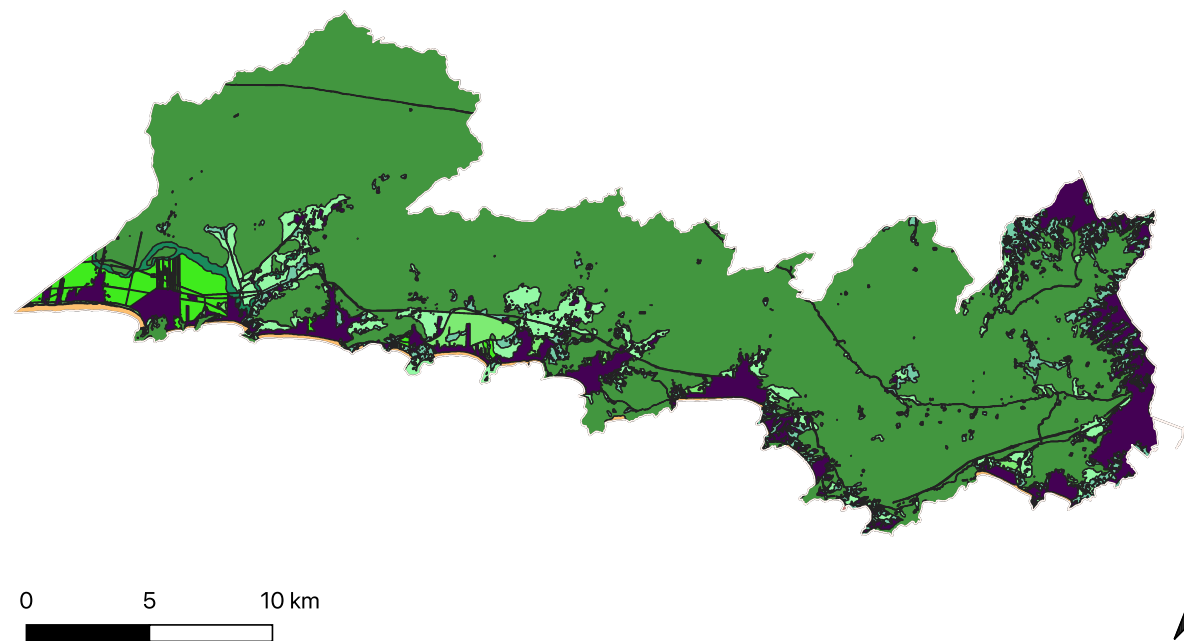




Variáveis

○ Uso do solo

-  Mata Atlântica
-  Mata Atlântica Alterada
-  Vegetação de Restinga
-  Vegetação de Restinga Alterada
-  Vegetação de Várzea
-  Vegetação de Várzea Alterada
-  Vegetação Secundária
-  Afloramento Rochoso
-  Ocupação Humana
-  Praia



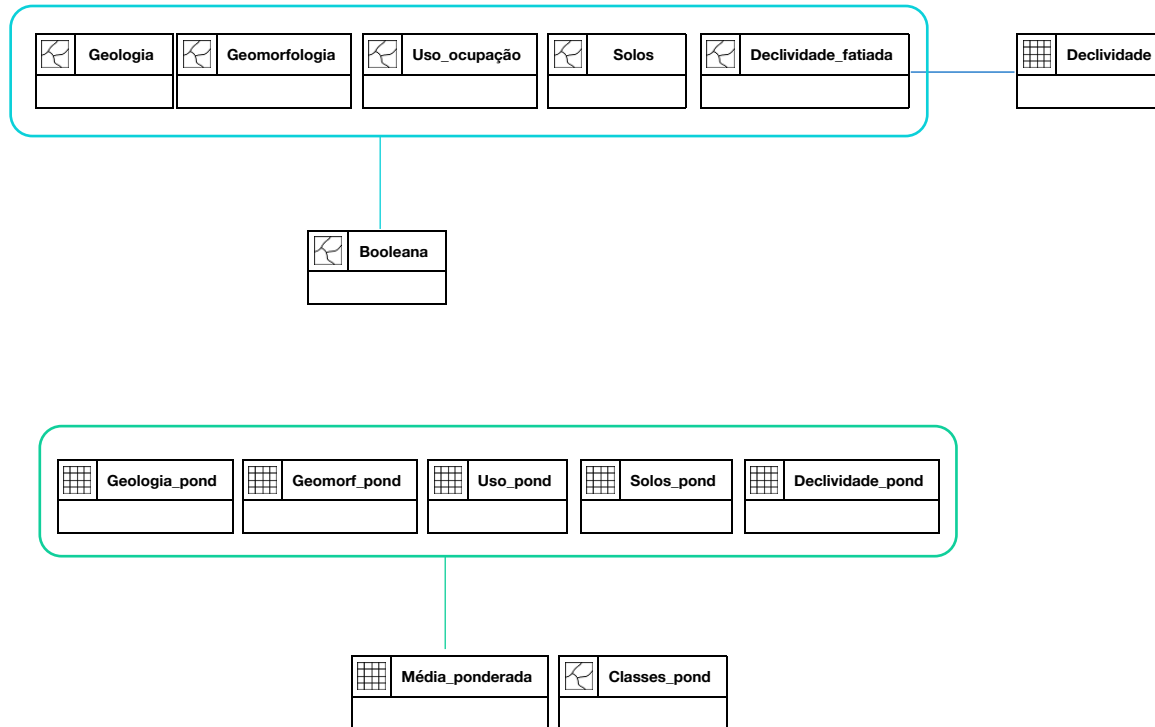
4

Modelagem dos dados





Visão geral da modelagem



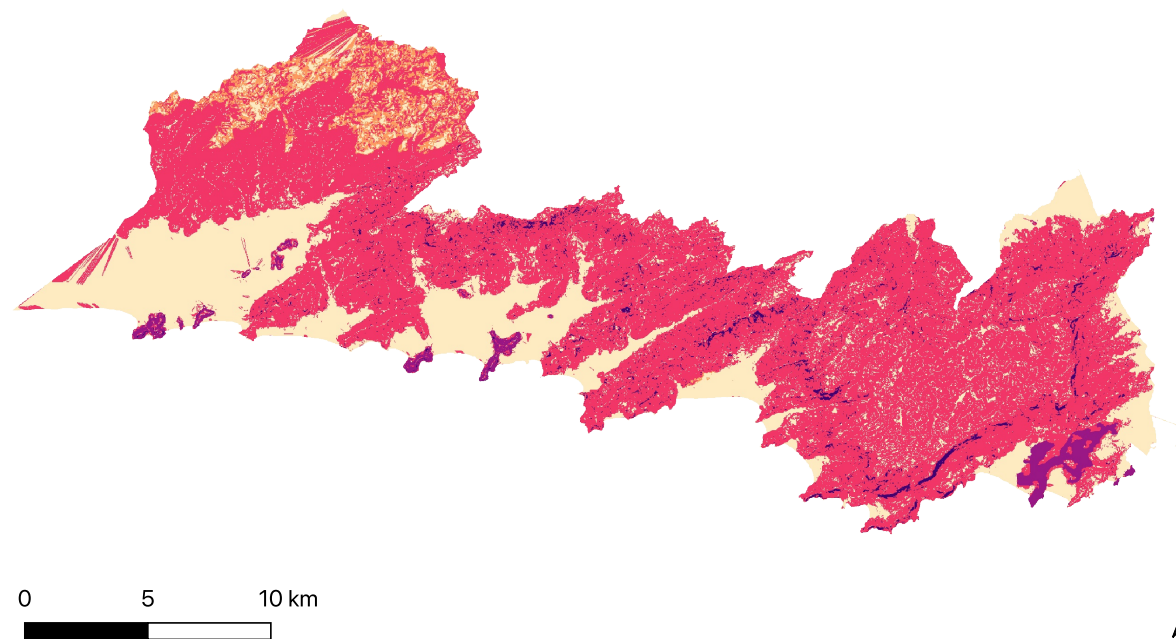


Booleana

Lógica binária

Regras aplicadas às classes

- Muito alta
- Alta
- Média
- Baixa
- Muito baixa





Modelagem média ponderada

Atribuição de pesos
com base na literatura

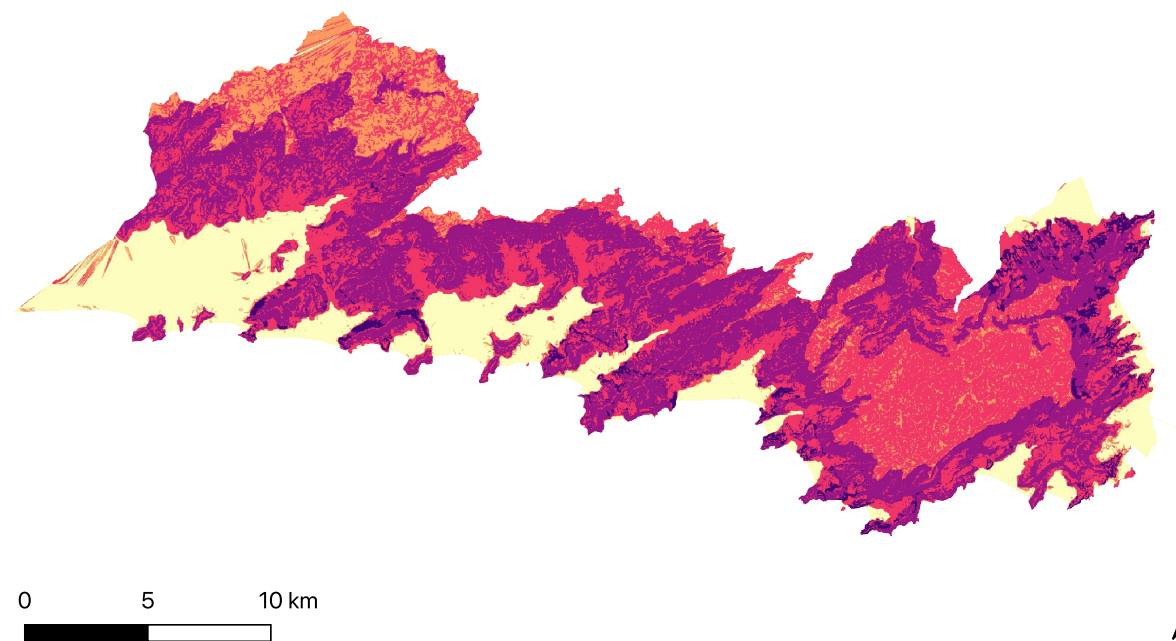
Tabela de ponderação das variáveis						
Uso solo	Geologia	Geomorfologia	Solos	Declividade	Peso	Grau
Ocupação humana	Depósitos de encosta	Escarpas Serra do Mar	Latossolos	Maior 77%	10	Muito Alto
Mata Atlântica Alterada	Migmatitos	Morros e morrotes	Cambiosolos	58 a 77%	7,5	Alto
Vegetação Secundária	Rochas Granitóides - Granulitos	Tálus-colúvios-conos	Espadossolos	20 a 58%	5	Médio
Mata Atlântica	Sedimentos continentais	Planaltos	Neossolos	10 a 20%	2,5	Baixo
Restinga e Várzea	Depósitos Litorâneos	Planícies	Areia da Praia	0 a 10%	0	Muito Baixo

$$r = \frac{(0,46 \times dec) + (0,26 \times gmf) + (0,17 \times geo) + (0,09 \times sol) + (0,02 \times uso)}{1}$$



Média ponderada

- Muito alta
- Alta
- Média
- Baixa
- Muito baixa





Modelagem AHP

Atribuição de pesos
combinação por pares

Variável	Ranking Importância
Declividade	1
Solos	2
Geologia	3
Uso do solo	4
Geomorfologia	5

Razão de consistência = **2,2%**

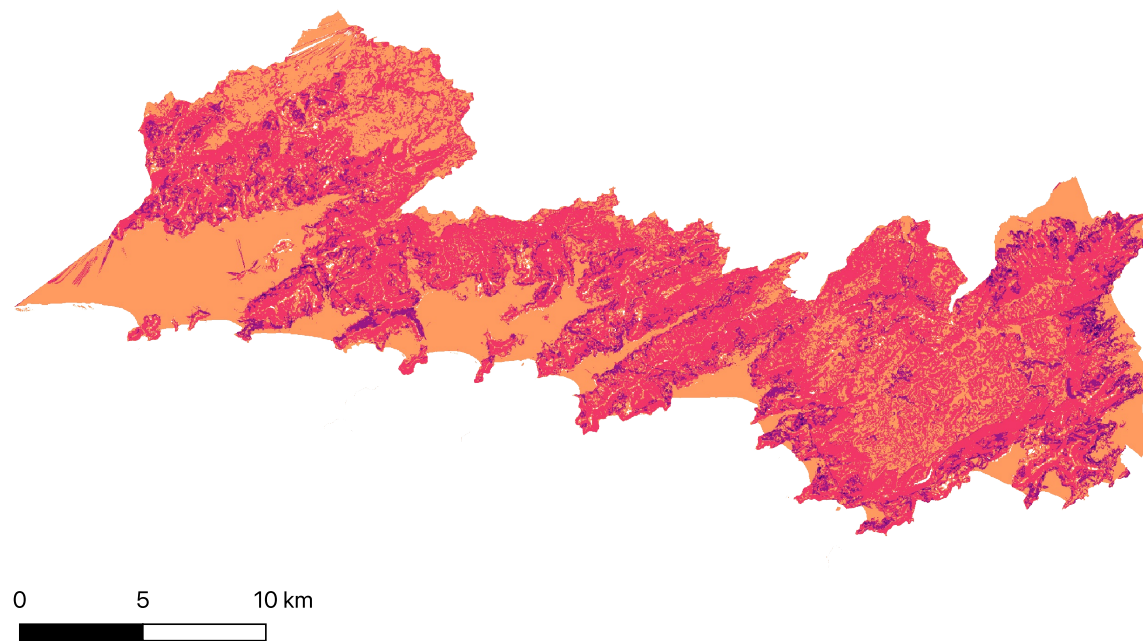
$$r = (0,43 \times dec) + (0,072 \times gmf) + (0,096 \times geo) + (0,318 \times sol) + (0,081 \times uso)$$





AHP

- Muito alta
- Alta
- Média
- Baixa
- Muito baixa





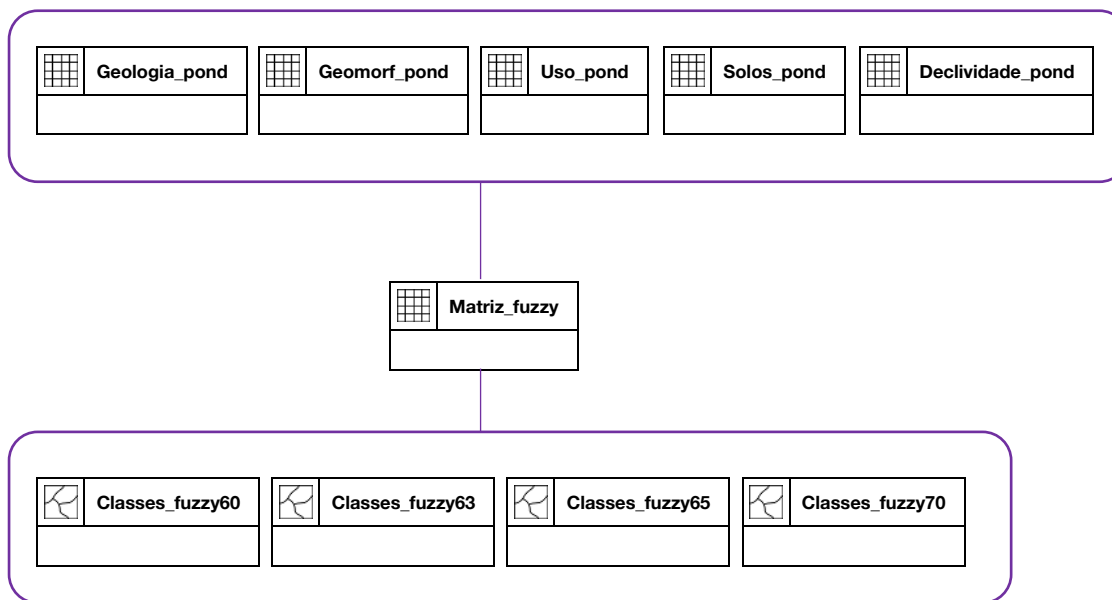
Modelagem FuzzyGama

FUZZY GAMA

$\mu = (\text{soma algébrica fuzzy})^\gamma$

$X = (\text{produto algébrico fuzzy})^{1-\gamma}$

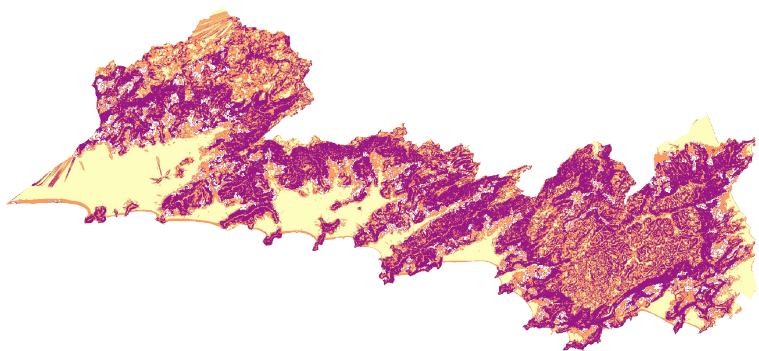
$\gamma = 0,60 \mid 0,63 \mid 0,65 \mid 0,70$





Fuzzy Gama

γ^{60}

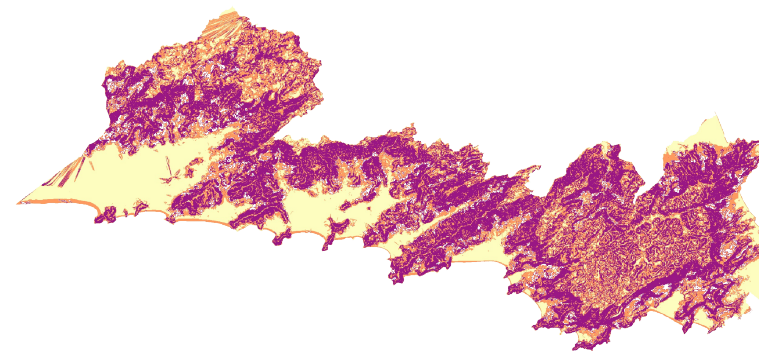


0 5 10 km



- Muito alta
- Alta
- Média
- Baixa
- Muito baixa

γ^{63}



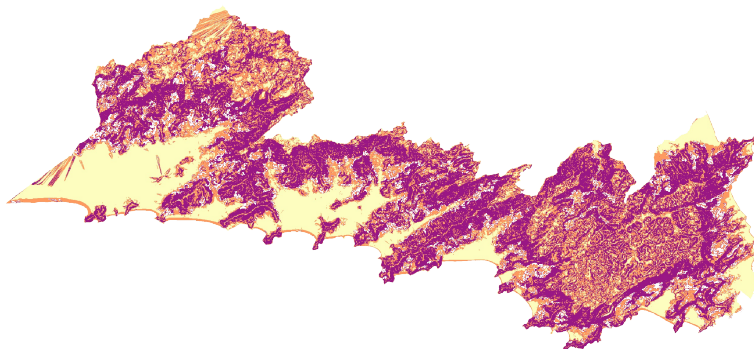
0 5 10 km





Fuzzy Gama

γ^{65}

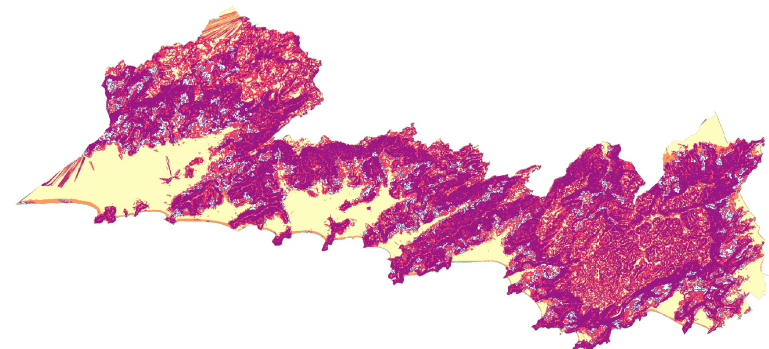


0 5 10 km



- Muito alta
- Alta
- Média
- Baixa
- Muito baixa

γ^{70}



0 5 10 km



5

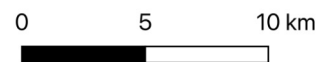
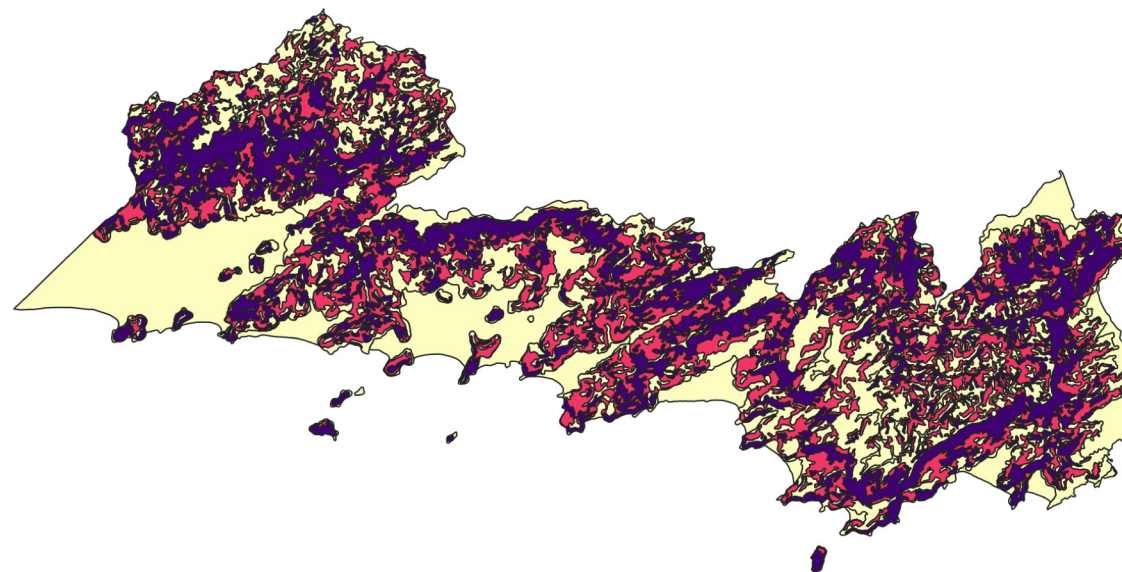
Resultados e discussão





Mapa IPT 2014

-  Muito alta
-  Média
-  Baixa





Tabulação cruzada

Booleana vs IPT

	alta	média	baixa
muito alta	8,37%	1,60%	0,36%
alta		1,98%	0,89%
média	87,70%	87,65%	45,34%
baixa	1,31%	3,46%	53,40%
muito baixa	2,62%	5,31%	

Ponderada vs IPT

	alta	média	baixa
muito alta	75,92%	4,84%	1,54%
alta		48,98%	10,43%
média	21,78%	40,92%	39,52%
baixa	2,21%	5,01%	48,52%
muito baixa	0,09%	0,25%	

AHP vs IPT

	alta	média	baixa
muito alta	7,40%	4,84%	1,54%
alta		48,98%	10,43%
média	21,78%	40,92%	39,52%
baixa	2,21%	5,01%	66,87%
muito baixa	0,09%	0,25%	

Fuzzy 60 vs IPT

	alta	média	baixa
muito alta	77,45%	1,60%	0,36%
alta		1,98%	0,89%
média	87,70%	87,65%	45,34%
baixa	1,31%	3,46%	81,14%
muito baixa	2,62%	5,31%	

Fuzzy 70 vs IPT

	alta	média	baixa
muito alta	77,45%	1,60%	0,36%
alta		1,98%	0,89%
média	87,70%	87,65%	45,34%
baixa	1,31%	3,46%	51,74%
muito baixa	2,62%	5,31%	



Evento extremo 18 fevereiro 2023



Área devastada em São Sebastião: falta de estrutura das cidades brasileiras acentua os efeitos do clima (Rovena Rosa/Agência Brasil)

Fonte: Exame (26/02/2023)



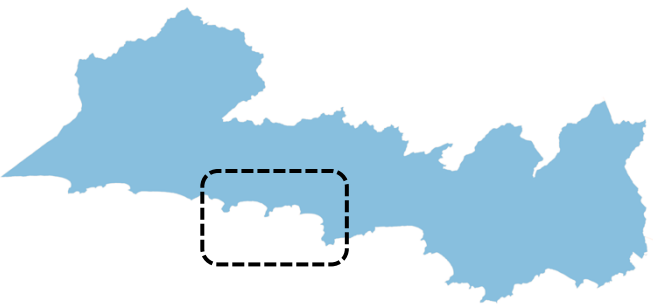
Deslizamentos em Juquehy, em São Sebastião: grande volume de chuvas deixou mais de 60 mortes e mais áreas de risco
Imagem: Fernando Marron/AFP

Fonte: Folha de São Paulo (19/03/2023)



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO





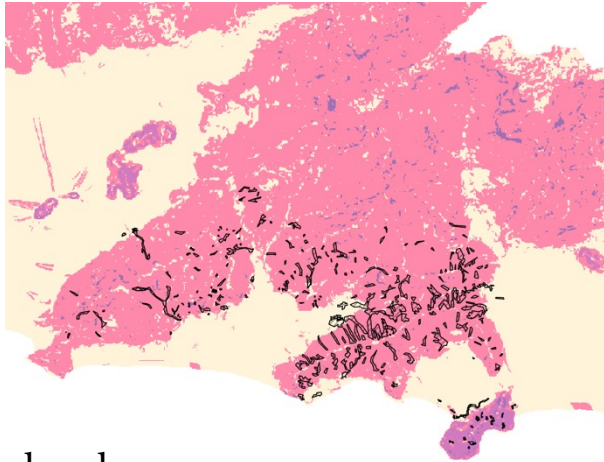
Cicatrizes

273 feições

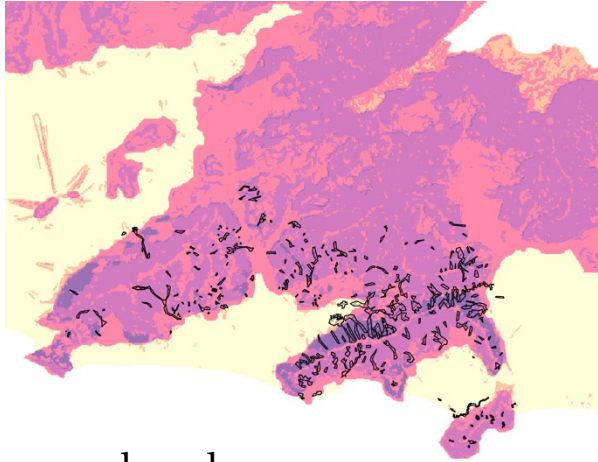




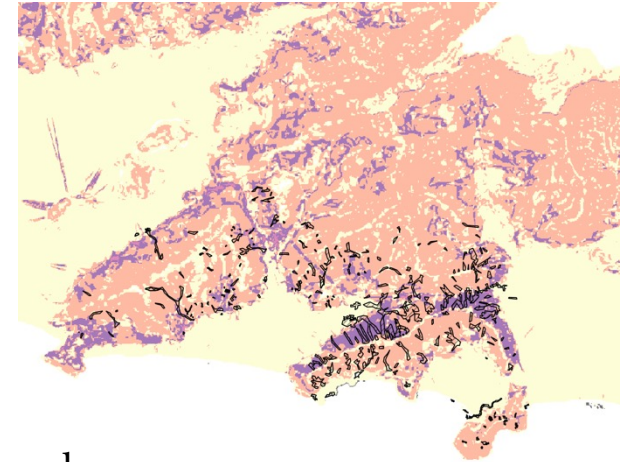
Comparação com os modelos



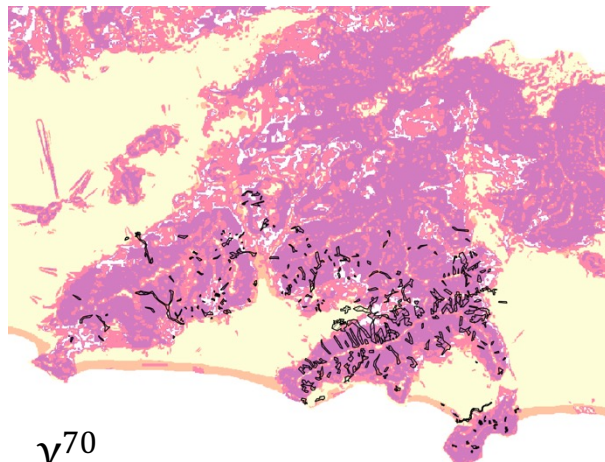
booleana



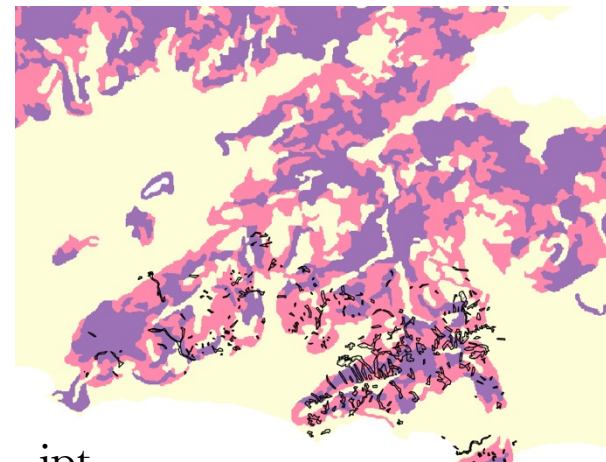
ponderada



ahp



γ^{70}



ipt

6

Considerações finais





Principais pontos do trabalho

Inferência espacial

Diferentes abordagens entregaram diferentes resultados

Diferença entre trabalhar apenas com classes (Booleana) e com dados ponderados (Média Ponderada, AHP, Fuzzy Gama)

Mudanças climáticas

Essencial trabalhar com dados de pluviosidade e outros eventos meteorológicos para melhor predição

Dados de cicatrizes

Demonstraram a sua importância para calibrar o modelo e trazer novas informações para mapeamentos futuros





Para trabalhos futuros...

- Considerar as variáveis que podem ter influenciado mediante mapeamento extensivo das cicatrizes no município
- Treinar os modelos e incorporar dados de pluviosidade e acúmulo de umidade no solo
- Ação conjunta no mapeamento de áreas de suscetibilidade em Ilhabela e Ubatuba



Referências

- BISPO et al, P. C.; ALMEIDA, C. M.; VALERIANO, M. M.; MEDEIROS, J. S.; CREPANI, E. Análise da suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial. Revista Geociências, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 467-478, 2011. Disponível em: <https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7188>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- CAMARINHA, P. I. M. Vulnerabilidade aos desastres naturais decorrentes de deslizamentos de terra em cenários de mudanças climáticas na porção paulista da Serra do Mar. 2016. 274 p. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3LT6C4S>>.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações : 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo : IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo ; Brasília, DF : CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.
- 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.
- LUCHIARI, M. T. Caiçaras, migrantes e turistas : a trajetória da apropriação da natureza no litoral norte paulista (São Sebastião-Distrito de Maresias). Dissertação (Mestrado em Sociologia) – Instituto de Ciências Humanas e Filosofia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.
- MACEDO, S. Paisagem, urbanização e litoral: do éden à cidade. Tese de Livre Docência – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- MUÑOZ et al, V. et al. Técnicas de Inferência Espacial na Identificação de Unidades de Susceptibilidade aos Movimentos de Massa na Região de São Sebastião, São Paulo, Brazil. In: Proceedings of the 12 Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica (SELPER). 2006.
- RODRIGUES, Carina de Sousa. Mapeamento de suscetibilidade a escorregamentos de Nova Friburgo-RJ por meio de inferência fuzzy e elaboração de cenários de alerta com uso do TerraMA2. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/08.03.20.54/doc/thisInformationItemHomePage.html>>.
- RUIZ JUNIOR, L. D., OLIVEIRA, R. C. Áreas protegidas e expansão do uso da terra no Litoral Norte do Estado de São Paulo. In Caminhos da Geografia. V.14, n.48 (Dez/2013), p.48-59.
- LOPES, E. S. S., ARRUDA JUNIOR, E. R. Sensoriamento Remoto para Deslizamentos. In: SAUSEN, T. M., LACRUZ, M. S. P. Sensoriamento Remoto para Desastres. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- TOMINAGA, L. K. et al. Cartas de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do Litoral Norte de São Paulo: conceitos e técnicas. Cartografia Geotécnica e Ambiental-Conhecimento do meio físico: base para a sustentabilidade. São Paulo: ABGE, p. 205-216, 2004.
- TULIK, Olga. Residências secundárias: presença, dimensão e expressividade do fenômeno no Estado de São Paulo. 1995. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.