

## AVALIAÇÃO MULTIMETODOLÓGICA PARA DEFINIÇÃO DA PLUVIOMETRIA DEFLAGRADORA DE DESLIZAMENTOS EM DIFERENTES CLASSES DE SUSCETIBILIDADE

Amanda Alves da Silva <sup>1</sup>; Marcos Barreto de Mendonça <sup>2</sup>; André de Souza Avelar <sup>3</sup>

**Resumo** – Este estudo investiga a integração de métodos estatísticos e aprendizado de máquina para aprimorar a identificação da pluvimetria deflagradora de deslizamentos na região central de Angra dos Reis – RJ. Esta abordagem metodológica combina a análise da relação entre precipitação antecedente e ocorrência de deslizamentos por meio do teste Qui-Quadrado, em paralelo à modelagem de suscetibilidade utilizando o algoritmo Random Forest. Foram analisados diferentes períodos acumulados de precipitação acumulada em até 10 dias (24h, 48h, 72h, 96h, ... , 240h), isoladamente e em combinações, para determinar os intervalos mais representativos na deflagração dos eventos. Os resultados indicaram forte dependência estatística entre a precipitação e os deslizamentos, com destaque para o período isolado de 48 horas e a combinação de 24h e 96h, que apresentaram os maiores coeficientes de contingência. Além disso, foi constatado que terrenos em áreas de baixa e moderada suscetibilidade a deslizamentos, baseado nos parâmetros geoambientais da área de estudo, requerem volumes pluviométricos mais elevados para o desencadeamento dos deslizamentos, enquanto regiões de alta e muito alta suscetibilidade são mais sensíveis a menores acumulados de chuva. Esses achados ressaltam a importância dos fatores geoambientais e geotécnicos na estabilidade das encostas, indicando que a resistência do solo pode, em alguns casos, influenciar nos efeitos da precipitação crítica responsável pela deflagração de deslizamentos. A combinação de aprendizado de máquina com métodos estatísticos representa um avanço significativo na previsão de deslizamentos, contribuindo para o aprimoramento de sistemas de alerta e a gestão de riscos em áreas urbanizadas sujeitas a esses eventos.

**Abstract** – This study investigates the integration of statistical methods and machine learning to improve the identification of rainfall that triggers landslides in the central region of Angra dos Reis - RJ. This methodological approach combines the analysis of the relationship between antecedent rainfall and the occurrence of landslides using the Chi-Square test, in parallel with susceptibility modeling using the Random Forest algorithm. Different periods of accumulated precipitation over up to 10 days (24h, 48h, 72h, 96h, ..., 240h) were analyzed, alone and in combinations, to determine the most representative intervals in the triggering of events. The results indicated a strong statistical dependence between rainfall and landslides, with the 48-hour period in isolation and the combination of 24 and 96 hours showing the highest contingency coefficients. In addition, it was found that land in areas of low and moderate susceptibility to landslides, based on the geoenvironmental parameters of the study area, requires higher rainfall volumes to trigger landslides, while regions of high and very high susceptibility are more sensitive to lower rainfall accumulations. These findings highlight the importance of geoenvironmental and geotechnical factors in slope stability, indicating that soil resistance can, in some cases, influence the effects of critical precipitation responsible for triggering landslides. The combination of machine learning and statistical methods represents a significant advance in landslide prediction, contributing to the improvement of warning systems and risk management in urbanized areas subject to these events.

**Palavras-Chave** – Deslizamentos, Pluviometria, Análise Estatística, Aprendizado de Máquina, Suscetibilidade.

<sup>1</sup> Doutoranda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil | amandaalves@poli.ufrj.br

<sup>2</sup> Professor Associado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil | mmb@poli.ufrj.br

<sup>3</sup> Professor Associado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil | andreavelar@poli.ufrj.br

## 1. INTRODUÇÃO

A previsão de deslizamentos a partir de critérios baseados na precipitação acumulada é um instrumento importante nas ações de resposta e de mitigação de impactos socioeconômicos e ambientais. No entanto, a definição precisa desses critérios pluviométricos enfrenta desafios substanciais, em especial devido à necessidade de bases de dados pluviométricos confiáveis, bem como de redes de monitoramento suficientemente densas para captar a variabilidade espacial e temporal das precipitações. Ademais, os processos de desestabilização do solo são influenciados por uma série de fatores geomorfológicos e geotécnicos que transcendem a simples acumulação de chuva, tornando imprescindível a adoção de abordagens analíticas integradas que ampliem a robustez dos critérios preditivos.

Tradicionalmente, métodos estatísticos têm sido utilizados para analisar a dependência estatística entre a precipitação e ocorrência de deslizamentos, e em regiões como o estado do Rio de Janeiro, como Petrópolis, tais abordagens permitiram a definição de valores críticos baseados em séries históricas de eventos, através da combinação de pares de períodos de chuva acumulada, calculada com base em dados obtidos em pluviômetro (Mendonça, Gonzalez e Coelho, 2021). Esses modelos, ainda que probabilísticos, representam, de forma abrangente, a quantificação da chuva deflagradora de deslizamentos, sem considerar a complexidade dos processos de desestabilização, que envolvem interações não lineares entre fatores como declividade, uso e cobertura do solo, características do material superficial e dinâmica da infiltração da água. Por isso, a ausência de metodologias que incorporem adequadamente tais fatores ainda constitui uma lacuna significativa na previsão de deslizamentos.

Nos últimos anos, a incorporação de técnicas de aprendizado de máquina no mapeamento da suscetibilidade tem se mostrado promissora, permitindo a identificação de padrões complexos nos dados e aprimorando a modelagem de relações não lineares entre precipitação e estabilidade de encostas (Canavesi et. al, 2020). Modelos baseados em florestas aleatórias e árvores de decisão vêm sendo aplicados com sucesso, proporcionando uma redução nas incertezas associadas à variabilidade dos dados e permitindo a definição de critérios mais representativos das condições geotécnicas locais (Silva, Mendonça e Avelar, 2024).

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo investigar a integração de um método estatístico pluviométrico e um modelo de suscetibilidade baseado em aprendizado de máquina, para determinar as condições de precipitação que desencadeiam deslizamentos em diferentes classes de suscetibilidade, considerando parâmetros geoambientais. Busca-se avaliar comparativamente diferentes abordagens, analisando suas limitações e potencial de aprimoramento dos modelos preditivos, tomando como estudo de caso a região central de Angra dos Reis – RJ.

O estudo se justifica pela necessidade de aperfeiçoar os critérios de previsão de deslizamentos, contribuindo para um planejamento urbano mais seguro e para o desenvolvimento de estratégias de mitigação de riscos mais eficazes. Os resultados têm relevância tanto para gestores públicos e órgãos de defesa civil, responsáveis pela tomada de decisões em emergências, assim como para a comunidade científica, ao avançar na compreensão dos processos condicionantes da instabilidade de encostas e ampliar a precisão dos modelos preditivos.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

Localizado no litoral sul do Estado do Rio de Janeiro, o município de Angra dos Reis enfrenta frequentemente desastres associados a movimentos de massa, processos normalmente deflagrados por pluviosidade intensa. A suscetibilidade a tais eventos aliada a ocupação desordenada, tem como resultado um alto índice de exposição de uma grande parcela da população vulnerável. Conseqüentemente, quando da ocorrência de eventos catastróficos há um forte impacto negativo na segurança, saúde e infraestrutura das comunidades expostas.

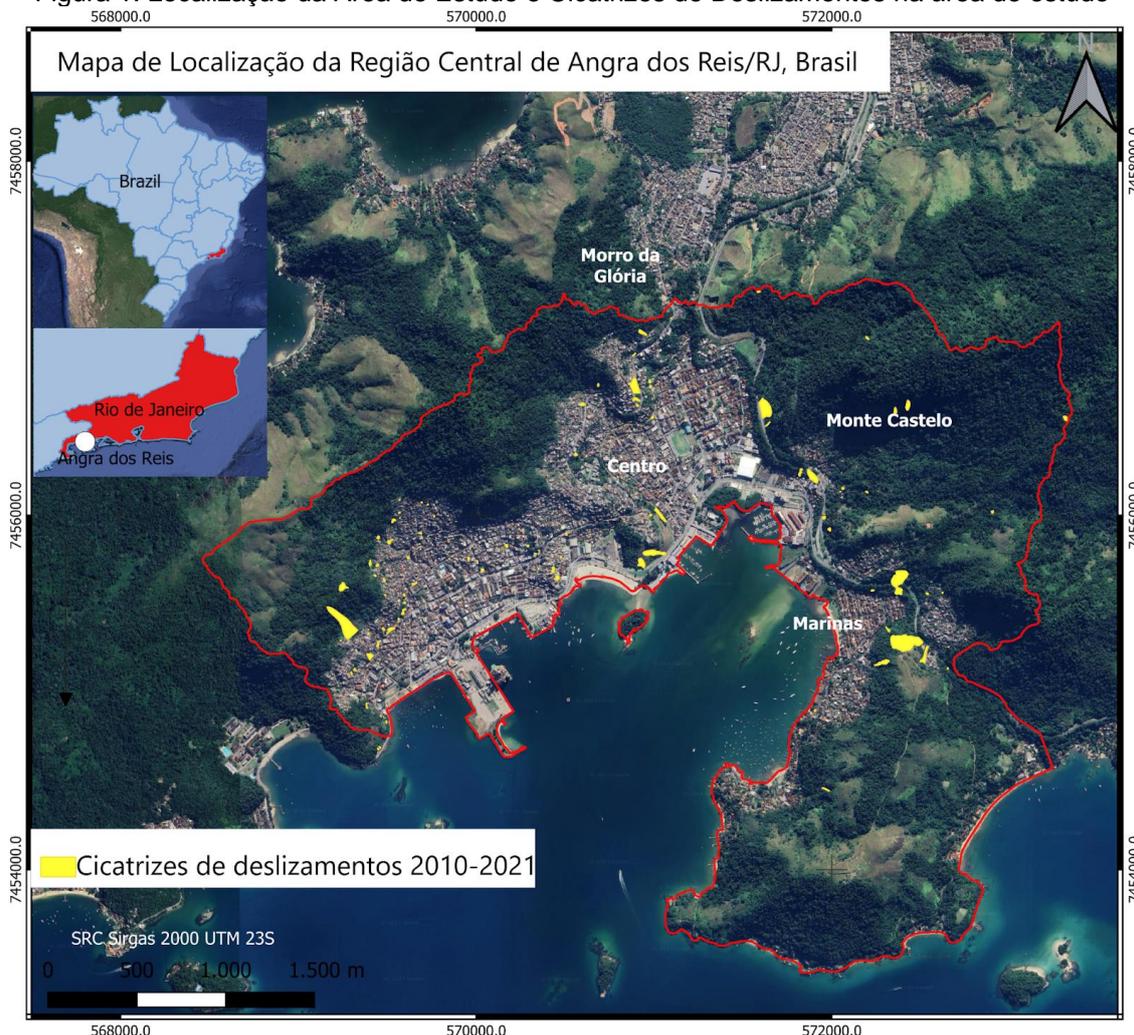
Segundo Guerra et al. (2013), a localização do município de Angra dos Reis em relação ao Oceano Atlântico influencia significativamente no clima, assim como a presença da Serra do Mar, que apresenta uma barreira às frentes polares úmidas e resulta em chuvas intensas, principalmente durante o verão, fato este que propicia os deslizamentos de forma recorrente no município. Desta forma, Angra dos Reis é frequentemente afetada por desastres relacionados a movimentos de massa, uma realidade documentada por diversos relatos.

## 2.1. Identificação de Deslizamentos na Região Central de Angra dos Reis

A análise dos deslizamentos na Região Central de Angra dos Reis foi conduzida por meio de mapeamento multitemporal, utilizando imagens de satélite do Google Earth registradas entre 2010-2021 (Silva, Mendonça e Avelar, 2024; Leal et al., 2022). Dados da Defesa Civil Municipal de Angra dos Reis foram utilizados como referência para o mapeamento de cicatrizes, consistindo em pontos de coordenadas geográficas de ocorrências relatadas pela população. É importante ressaltar que esses pontos representam áreas impactadas por deslizamentos e não necessariamente a localização exata dos eventos. Portanto, eles servem como indicadores no mapeamento de cicatrizes, podendo ainda influenciar na delimitação das geometrias de deslizamentos pretéritos.

O mapeamento de cicatrizes a partir dos pontos de ocorrências baseou-se na varredura visual de padrões morfodinâmicos como evidências de remoção de massa, mudanças na cobertura vegetal, existência de feições erosivas e de instabilidade do solo, em imagens orbitais pretéritas. Também foi utilizado o software Google Earth e sua série de imagens históricas, permitindo a delimitação precisa das cicatrizes mapeadas entre o ano de 2010 e 2021 (Figura 1).

Figura 1: Localização da Área de Estudo e Cicatrizes de Deslizamentos na área de estudo

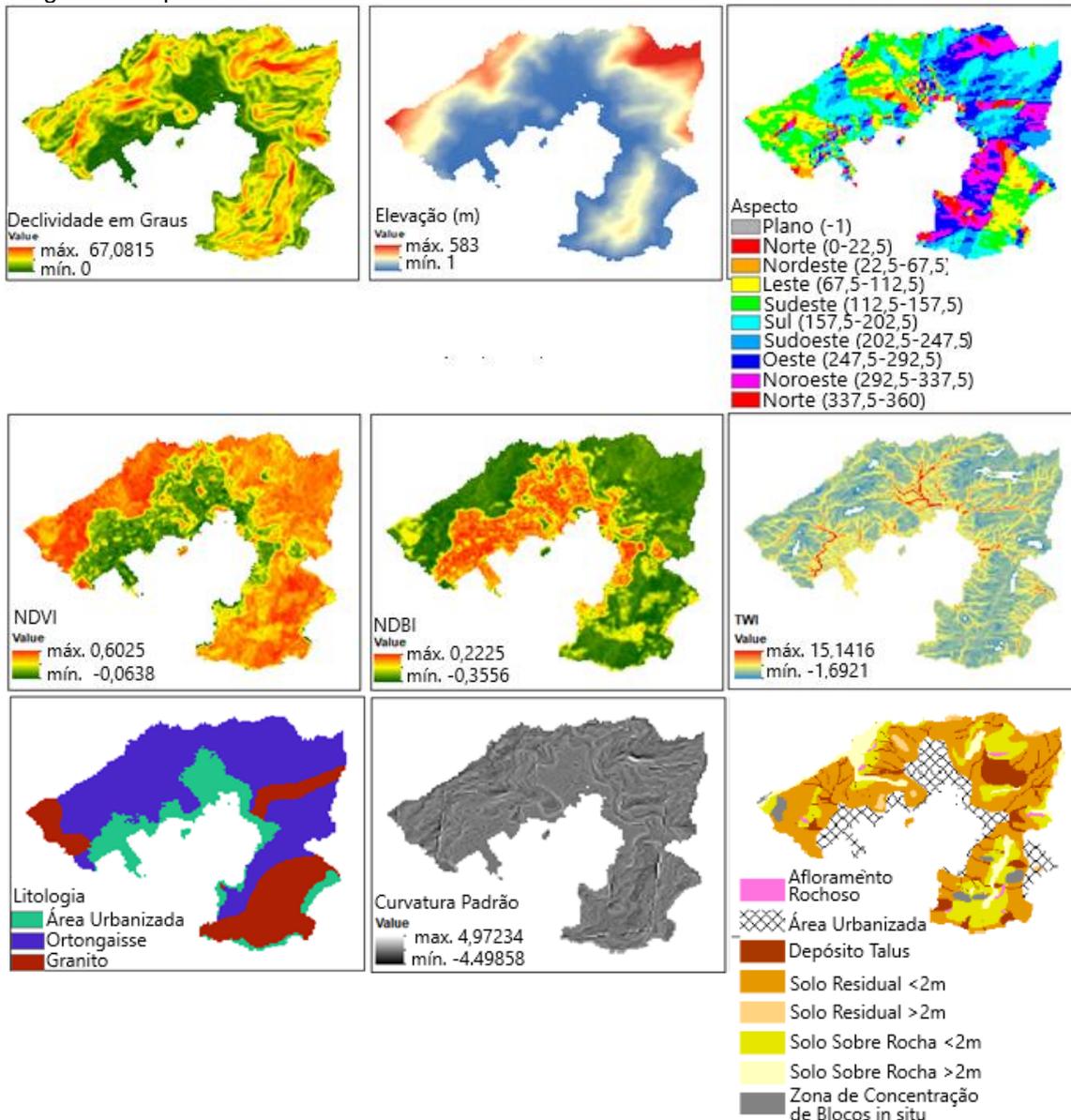


## 2.2. Parâmetros Geoambientais

Os parâmetros geoambientais são as variáveis ambientais condicionantes à suscetibilidade a deslizamentos. Estes parâmetros (Figura 2) que foram mapeados e integrados ao modelo de suscetibilidade, contendo dados derivados de Modelo Digital de Elevação *ASTER GDEM*, índices da diferença espectral normalizada para vegetação (NDVI) e da diferença espectral normalizada para construções (NDBI) de imagens *LANDSAT 8*, e informações geotécnicas da Carta Geotécnica de Aptidão Urbana (NADE/DRM 2015), complementadas por dados geológicos e geomorfológicos da UFRJ (2014).

A análise topográfica permitiu mapear parâmetros geoambientais como a declividade, curvatura padrão, aspecto e o índice topográfico de umidade (TWI), para entender a influência do relevo na deflagração de deslizamentos na área de estudo. Os índices NDVI e NDBI permitiram avaliar a cobertura vegetal e a ocupação urbana, respectivamente, indicadores importantes de estabilidade do solo. Já os dados geotécnicos e geológicos forneceram informações detalhadas sobre os tipos de solo (Afloramentos Rochosos, Solos Rasos Sobre Rocha, Solos Residuais Espessos, Zonas de Concentração de Blocos in situ, Depósitos de Corrida de Massa e Depósitos de Tálus) e a geologia local (Granitos Mombaça e Ortognaisses associados ao Complexo Rio Negro), essenciais para uma avaliação precisa do potencial de ocorrência de deslizamentos.

Figura 2: Mapas temáticos dos Parâmetros Geoambientais Condicionantes de Deslizamentos



### 2.3. Levantamento de Dados Pluviométricos

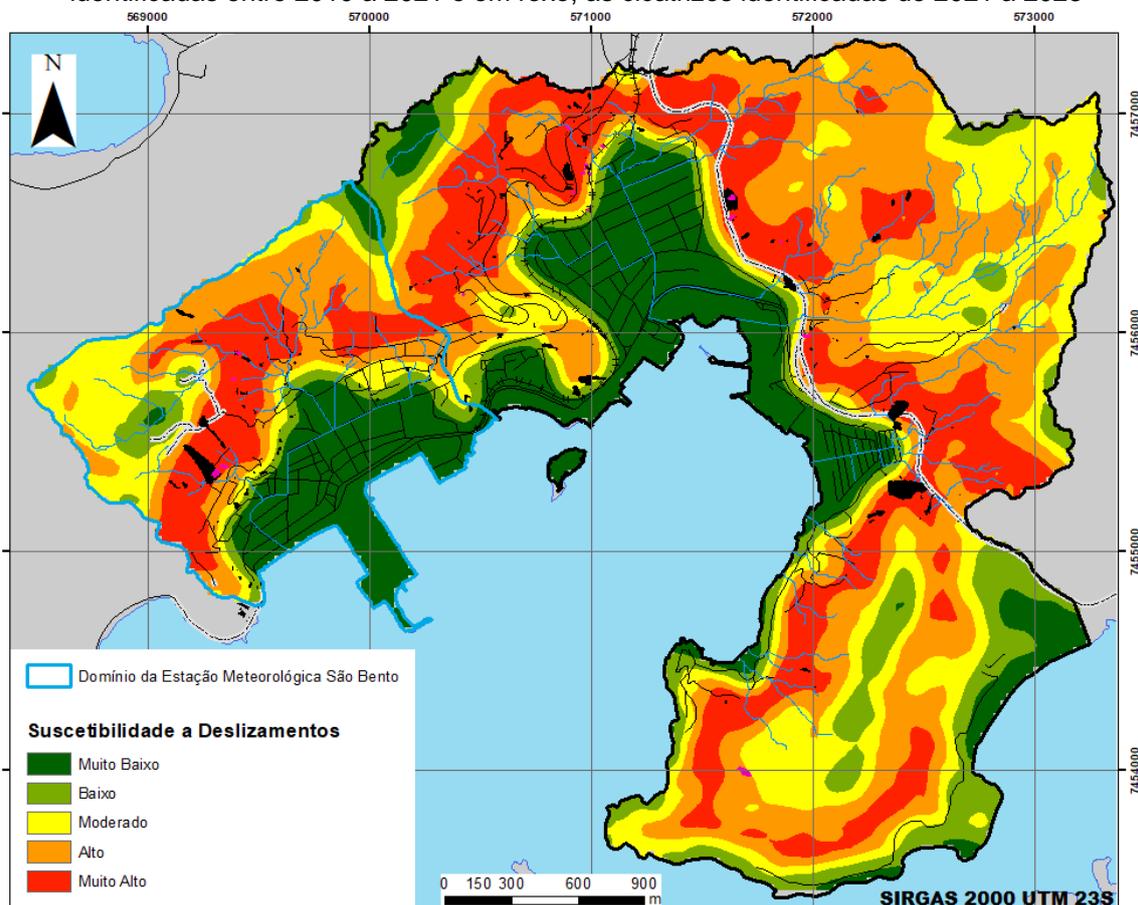
A análise da influência da precipitação na deflagração de deslizamentos foi realizada com base nos registros coletados da Estação Meteorológica São Bento (CEMADEN), selecionada por sua confiabilidade e contemporaneidade com o inventário de cicatrizes de 2010-2021. Foram examinadas séries temporais de precipitação diária, possibilitando o cálculo de antecedentes pluviométricos acumulados em diferentes janelas temporais para até 10 dias anteriores aos eventos identificados (24h, 48h, 72h, 96h até 240h). Os dados foram organizados em três categorias principais:

- (i) contagem do número de dias com eventos e de dias com ausência de eventos, agrupados por faixas pluviométricas em períodos isolados;
- (ii) contagem do número de dias com eventos e de dias com ausência de eventos, agrupados por faixas pluviométricas para combinação de pares de períodos (ex.: 24h x 48h, 24h x 72h até 24h x 240h);
- (iii) estrutura semelhante à anterior, mas considerando o acumulado de 72h como referência.

### 3. RELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE O INVENTÁRIO DE CICATRIZES DE DESLIZAMENTO E DADOS PLUVIOMÉTRICOS

O mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos foi realizado a partir de um modelo proposto por Silva, Mendonça e Avelar (2024), que contempla o inventário de cicatrizes e os parâmetros geoambientais aventados anteriormente. O processo de aprendizagem e predição foi realizada com o algoritmo Random Forest, calibrado para prever deslizamentos de acordo com o aprendizado em amostras de áreas de cicatrizes e de regiões planas. Por fim, foi aplicada uma krigagem ordinária para interpolação espacial do mapa de suscetibilidade a deslizamentos (Figura 3).

Figura 3: Mapa preliminar da suscetibilidade a deslizamentos na área de estudo. Em preto, as cicatrizes identificadas entre 2010 a 2021 e em roxo, as cicatrizes identificadas de 2021 a 2023



Para estabelecer a dependência estatística entre chuva e deslizamentos, evitando incertezas associadas a variação espacial da precipitação, foram considerados apenas os eventos ocorridos no setor correspondente à Estação Meteorológica São Bento, na parte oeste da área de estudo. A relação estatística entre precipitação acumulada e deslizamentos foi avaliada por meio do teste Qui-Quadrado, cuja metodologia foi proposta por Mendonça, Gonzalez e Coelho (2021). Esta abordagem permitindo validar o método já realizado para uma outra área de risco, porém desta vez, utilizando os dados predisponentes para a área de estudo.

A associação entre precipitação e deslizamentos por meio do Qui-Quadrado, teve o objetivo de avaliar a dependência estatística por meio da discrepância entre as frequências observadas e esperadas. Para isso, os valores esperados foram calculados a partir dos dados observados através do método (Figura 4) e os coeficientes de contingência foram determinados para avaliar a significância estatística dessa relação.

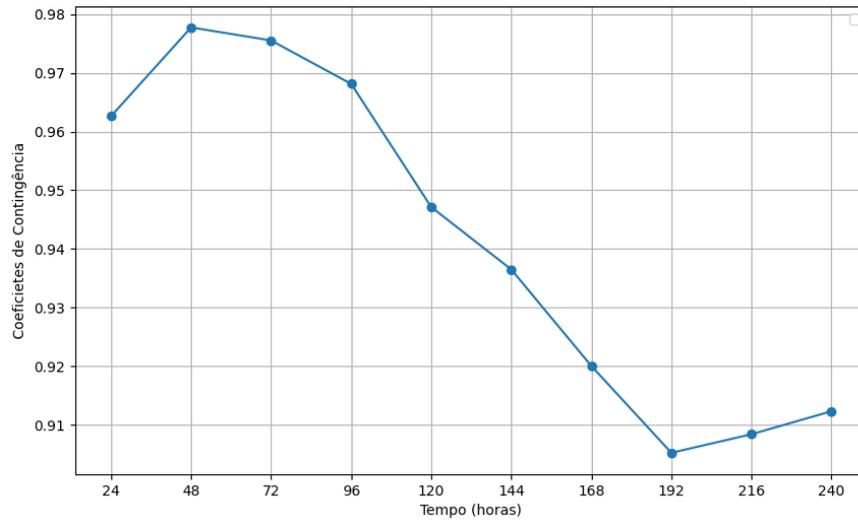
Figura 4: Dados Observados e Esperados de Deslizamentos em par Períodos Pluviométricos

Dados observados 24h x 48h					Dados esperados 24h x 48h				
Faixas acc. 24h (mm)	Faixas acc. 48h (mm)	períodos com deslizamentos	períodos sem deslizamentos	total de períodos	Faixas acc 24h	Faixas acc 48h	períodos com deslizamentos	períodos sem deslizamentos	total de períodos
0 a 10	0 a 20	2	213	215	0 a 10	0 a 20	20,31787	194,6821	215
10 a 20	0 a 20	5	39	44	10 a 20	0 a 20	4,158076	39,84192	44
0 a 10	20 a 40	14	119	133	0 a 10	20 a 40	12,56873	120,4313	133
10 a 20	20 a 40	6	30	36	10 a 20	20 a 40	3,402062	32,59794	36
20 a 40	20 a 40	7	20	27	20 a 40	20 a 40	2,551546	24,44845	27
0 a 10	40 a 60	5	42	47	0 a 10	40 a 60	4,441581	42,55842	47
10 a 20	40 a 60	1	10	11	10 a 20	40 a 60	1,039519	9,960481	11
20 a 40	40 a 60	1	8	9	20 a 40	40 a 60	0,850515	8,149485	9
40 a 60	40 a 60	0	6	6	40 a 60	40 a 60	0,56701	5,43299	6
0 a 10	60 a 80	4	14	18	0 a 10	60 a 80	1,701031	16,29897	18
10 a 20	60 a 80	1	4	5	10 a 20	60 a 80	0,472509	4,527491	5
20 a 40	60 a 80	0	3	3	20 a 40	60 a 80	0,283505	2,716495	3
40 a 60	60 a 80	2	1	3	40 a 60	60 a 80	0,283505	2,716495	3
60 a 80	60 a 80	0	0	0	60 a 80	60 a 80	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
240 a 260	240 a 280	0	0	0	240 a 260	240 a 280	0	0	0
260 a 280	240 a 280	0	0	0	260 a 280	240 a 280	0	0	0

Após calcular os valores observados e esperados para cada um dos três grupos de dados mencionados no item 2.3., foram calculados os coeficientes de contingência para cada um deles. No grupo (i) de dados pluviométricos que relacionam dias com e sem deslizamentos por período de chuva acumulada, os resultados indicaram que a maior dependência estatística entre os deslizamentos e a precipitação ocorreu nos acumulados entre 24h e 48h, enquanto o menor coeficiente foi registrado em 192h (Figura 5).

A divisão de períodos isolados de acumulados pluviométrico diários após à data de ocorrência de um evento de deslizamento se justifica pela estreita correlação entre a precipitação recente e as alterações nas propriedades geotécnicas do solo que predispoem à instabilidade de encostas. A saturação do solo, o aumento da pressão da água nos poros e as modificações na coesão são processos diretamente influenciados pelo volume e intensidade da chuva em um intervalo de tempo imediatamente anterior ao deslizamento. Dessa forma, a análise de períodos isolados, como as últimas 48 horas, permitiu determinar a precipitação que desencadeia a resposta hidrológica do solo em determinadas áreas, culminando na perda de estabilidade.

Figura 5: Valores de Coeficientes de Contingência para Períodos Isolados de Antecedentes Pluviométricos



A adoção de pares de períodos de acumulado pluviométrico possibilitou uma análise mais abrangente da relação entre chuva e deslizamentos. A combinação de períodos de curta e longa duração, como o acumulado das últimas 24 horas versus cada um dos últimos 10 dias, respectivamente, permitiu discriminar os efeitos de eventos de chuva intensa e de precipitação acumulada ao longo do tempo. Essa abordagem se mostra particularmente relevante em cenários onde a saturação do solo é um processo gradual, influenciado tanto por eventos de alta intensidade quanto por períodos de chuva moderada e contínua. Ao analisar a relação entre os deslizamentos e a precipitação acumulada para as diferentes combinações de pares no conjunto de dados (ii), verificou-se que a combinação da chuva das últimas 24h com os acumulados de 96h em diante apresentou os maiores coeficientes de contingência (Figura 6), que oscilaram de 0,93 a 0,94.

De maneira análoga, a análise da precipitação acumulada para grupo (iii) que considera chuva das últimas 72h combinada com os demais períodos antecedentes revelou bom grau de dependência entre os acumulados de 72h e 96h (Figura 7). Além disso, os resultados apontaram oscilações nos coeficientes de contingência em ciclos de 3 a 4 dias, sugerindo um padrão relacionado às envoltórias de precipitação de três dias, que conectam a chuva no dia do deslizamento com os três dias antecedentes como fatores determinantes na deflagração dos eventos.

Figura 6: Valores de Coeficientes de Contingência entre Pares de Períodos (24h x Antecedentes Pluviométricos)

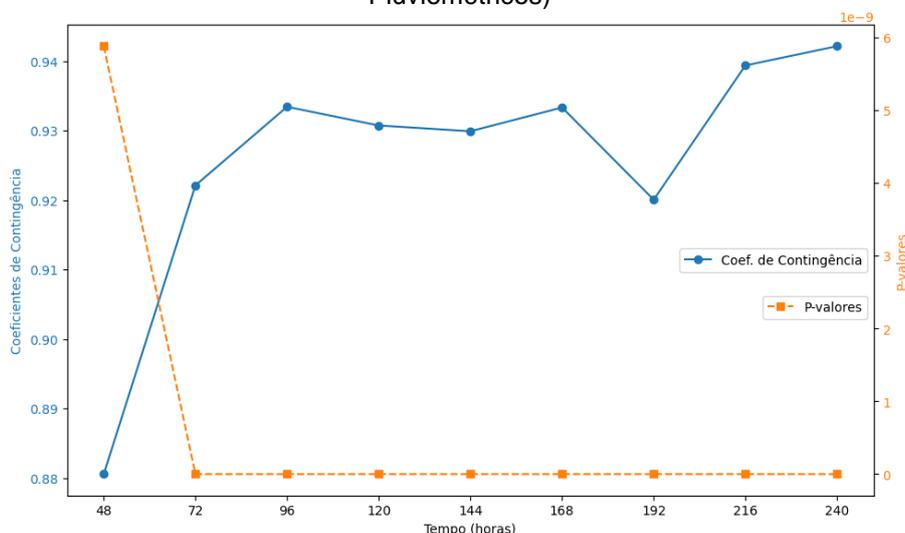
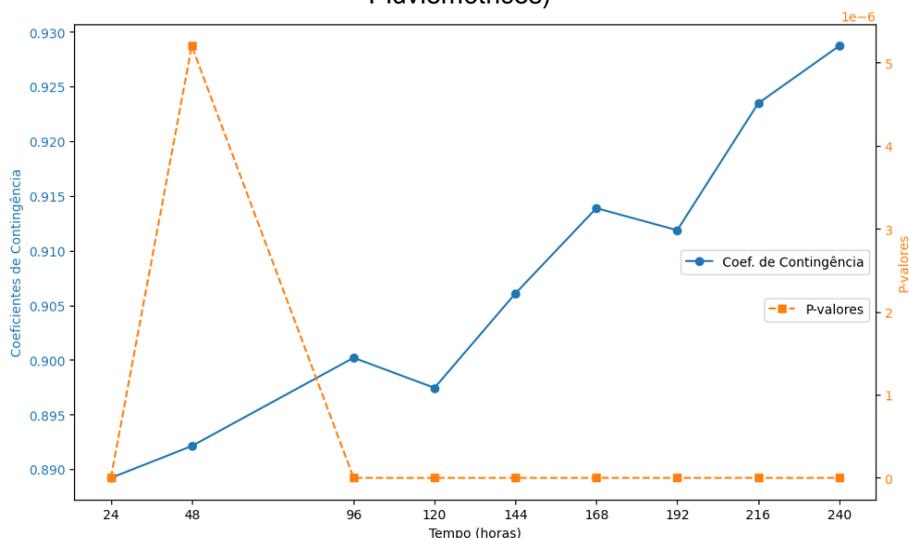
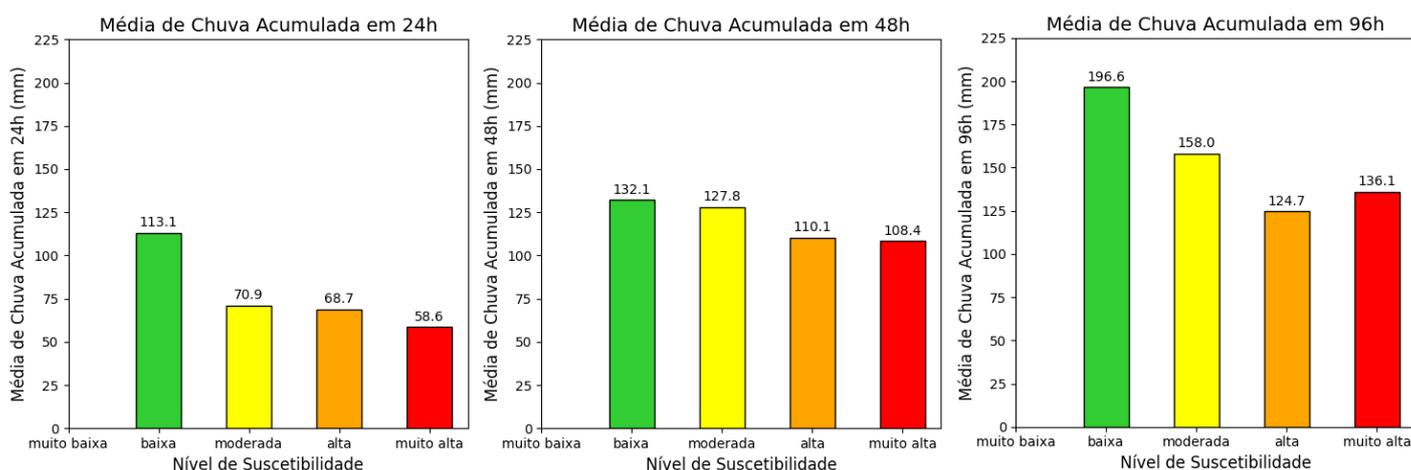


Figura 7: Valores de Coeficientes de Contingência entre Pares de Períodos (72h x Antecedentes Pluviométricos)



Por fim, considerando a relação entre precipitação e deslizamentos, cada uma das cicatrizes de deslizamentos do inventário, teve sua informação pluviométrica a respeito das últimas 24h, 48h e 96h alocadas conforme suas datas de ocorrência. Nesse contexto, foi possível compatibilizar estas informações com o mapa de suscetibilidade gerado pelo modelo baseado em Random Forest, permitindo ainda, calcular as médias de precipitação acumulada nos períodos de chuva antecedente e por classe de suscetibilidade. A análise revelou que, no intervalo de 24h, a média da precipitação deflagradora variou entre 58,6 mm e 113,6 mm; em 48h, entre 108,4 mm e 132,1 mm; e em 96h, entre 136,6 mm e 196,6 mm. Além disso, constatou-se que deslizamentos ocorridos em áreas classificadas com baixa e moderada suscetibilidade exigiram volumes pluviométricos superiores para serem deflagrados, em comparação às classes de suscetibilidade alta e muito alta (Figura 8).

Figura 8: Média da Chuva Acumulada Deflagradora de Deslizamentos para Cada Uma das Classes de Suscetibilidade



#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo confirmam a relevância da precipitação antecedente na deflagração de deslizamentos na região central de Angra dos Reis, destacado pela relação estatística entre dados de deslizamentos e os acumulados pluviométricos nos intervalos de 24h, 48h e 96h antecedentes.

A análise estatística considerando os períodos pluviométricos isolados revelou que o maior coeficiente de dependência estatística entre deslizamentos e precipitação ocorreu no período de 48 horas, indicando que a infiltração da água da chuva neste intervalo tem um impacto significativo na redução de sua resistência ao cisalhamento. Em solos residuais ou coluvionares, comuns na área de estudo, essa redução de resistência pode levar à ruptura de superfícies de fraqueza preexistentes, desencadeando deslizamentos translacionais ou rotacionais.

A análise considerando os pares de períodos pluviométricos permitiu estabelecer uma dependência mais clara entre a precipitação das últimas 24h e 96h, corroborando os critérios adotados pela Defesa Civil Municipal de Angra dos Reis para sistemas de alerta e alarme. A combinação desses dois períodos cria um cenário crítico, no qual a chuva recente interage com a saturação prévia do solo, potencializando o risco de deslizamentos em áreas suscetíveis. Além disso, o estudo revelou que as áreas com baixa e moderada suscetibilidade demandam volumes pluviométricos maiores para a ocorrência de deslizamentos, sugerindo que fatores geomorfológicos e geotécnicos influenciam de forma significativa na estabilidade das encostas.

As médias de precipitação observadas para cada uma das classes de deslizamentos contribuíram para a definição de critérios pluviométricos deflagradores. No caso da precipitação acumulada em 48h, os valores variaram entre 108,4 mm e 132,1 mm, sendo considerado como um critério pluviométrico aplicável quando é correlacionado a ocorrência do deslizamento e a chuva mais recente. Por outro lado, a análise dos pares de períodos pluviométricos, que considera a combinação de chuvas a curto e longo prazo em diferentes janelas de tempo, revelou padrões de precipitação deflagradora distintos, mais adequados à observação de chuvas a curto e médio prazo. Especificamente, observou-se que a precipitação nas últimas 24 horas variou entre 58,6 mm e 113,6 mm, enquanto a precipitação acumulada em 96 horas apresentou valores entre 136,6 mm e 196,6 mm. Vale ressaltar que o valor máximo de precipitação acumulada nas últimas 24h é consideravelmente alto, especialmente quando comparado aos valores encontrados para o período de 96h. Isso sugere que os deslizamentos observados nas últimas 24h estão mais diretamente relacionados a chuvas intensas ocorridas no mesmo dia, enquanto a precipitação acumulada em chuvas regulares chega em seu ápice nas 96 horas antecedentes ao deslizamento.

Apesar da relevância dos resultados obtidos, o estudo apresenta limitações inerentes à variabilidade espaço-temporal dos parâmetros analisados, como atrasos nos registros de deslizamentos e lacunas nos dados pluviométricos. Essas restrições podem afetar a precisão das correlações estabelecidas, exigindo análises complementares para maior robustez dos resultados. Além disso, a definição da precipitação deflagradora por classe de suscetibilidade requer uma abordagem setORIZADA, integrando informações de pluviômetros adicionais na área de estudo.

Para pesquisas futuras, é importante investigar a influência de outras variáveis hidrológicas, como a umidade do solo e a sua capacidade de infiltração, para refinar a compreensão dos processos que levam à desestabilização das encostas. Por isso, a integração de técnicas de aprendizado de máquina com modelos estatísticos de instabilidade pode representar um avanço importante, tornando os sistemas de alerta precoce mais precisos e adaptáveis a diferentes contextos geológicos e climáticos regionais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à CAPES/Brasil - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Brasil pelo financiamento desta pesquisa (código de financiamento 001), CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio à pesquisa e à toda a equipe responsável por executar o Plano Municipal de Redução de Riscos da Cidade de Angra dos Reis, que forneceu dados substanciais para execução deste estudo.

## REFERÊNCIAS

CANAVESI, Vanessa et al. Diferentes abordagens para uso de atributos morfométricos no mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos com base em unidades espaciais de mesoescala: Um estudo de caso no Rio de Janeiro (Brasil). *Sensoriamento Remoto*, v. 12, n. 11, p. 1826, 2020.

LEAL, P. J. V.; SILVA, P. O.; PIRES, F. J. , S.; OLIVEIRA, M. S. . Relação entre declividade e forma de encostas e ocorrência de deslizamentos no município de Angra dos Reis, RJ.. In: XIX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2022, Rio de Janeiro. *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 2022.

MENDONÇA, Marcos Barreto de; GONZALEZ, Fernanda Cristina Gonçalves; COELHO, Glauco Valle da Silva. Likelihood of landslide occurrences for definition of rainfall thresholds applied to the Quitandinha river basin, Petrópolis, Brazil. *Landslides*, 1 v. 18, p. 583-593, 2021.

NÚCLEO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO ESTADUAL (NADE); DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS (DRM). Carta Geotécnica de Aptidão Urbana - CGU. Rio de Janeiro: DRM/RJ, 2015.

SILVA, Amanda Alves da; MEDONÇA, Marcos Barreto de; AVELAR, André de Souza. Investigação da deflagração e previsibilidade de deslizamentos em Angra dos Reis (RJ): uma abordagem utilizando redes neurais profundas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 51., 2024, Rio de Janeiro. *Anais do 51º Congresso Brasileiro de Geologia*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2024. p. 258.

SILVA, Amanda Alves da; MEDONÇA, Marcos Barreto de; AVELAR, André de Souza. Suscetibilidade a deslizamentos utilizando machine learning: um estudo de caso em Angra dos Reis - RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, Anais do COBRAMSEG 2024, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 2024.

COPPE/UFRJ E GEOHECO/LABORATÓRIO DE GEO-HIDROECOLOGIA. Carta de Risco e de Suscetibilidade a Movimentos de Massa 1:5.000. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2014.