

ANÁLISE DO DESLIZAMENTO TRANSLACIONAL DE 2022 NA ENSEADA DA PRAIA DE ITAGUAÇU EM ILHA GRANDE- RJ

ANALYSIS OF THE 2022 TRANSITIONAL SLIDE AT ITAGUAÇU BAY IN ILHA GRANDE, RJ

CAROLINA MARTINS LATGÉ KWAMME

Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, carolinakwamme@gmail.com

FRANCISCO DOURADO

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Centro de Pesquisas e Estudos sobre Desastres (CEPEDES), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, fdourado@cepedes.uerj.br

RESUMO ABSTRACT

Este artigo analisa o evento de movimento gravitacional de massa ocorrido na Praia de Itaguaçu em abril de 2022, após uma precipitação intensa. Trabalhos de campo e levantamentos aéreos utilizando drones foram conduzidos para caracterizar a morfologia da área afetada e obter dados geoespaciais de alta resolução. O estudo teve como objetivo estabelecer uma base empírica para compreender as características físicas e ambientais do deslizamento. A análise de fotografias aéreas e observações de campo revelou a presença de blocos de ortogneiss e charnockito ao longo de toda a cicatriz, além de um dique de diabásio no terço superior do movimento. Essas observações sugerem duas hipóteses para a origem do movimento: o rompimento do dique devido à saturação do solo ou a queda de blocos de ortogneisses que romperam o dique, causando o movimento. A região já enfrentou movimentos semelhantes no passado, incluindo tragédias como a da Enseada do Bananal em 2010. Reconhecer áreas potenciais para eventos semelhantes é desafiador, mas crucial para regiões a montante. Recomenda-se o mapeamento detalhado dessas áreas para prevenir futuras tragédias.

Palavras Chave: movimento de massa; Ilha Grande; Praia de Itaguaçu;

This article analyzes the gravitational mass movement event that occurred at Itaguaçu Beach in April 2022, following intense precipitation. Fieldwork and aerial surveys using drones were conducted to characterize the morphology of the affected area and obtain high-resolution geospatial data. The study aimed to establish an empirical basis for understanding the physical and environmental characteristics of the landslide. Analysis of aerial photographs and field observations revealed the presence of orthogneiss and charnockite blocks throughout the scar, as well as a diabase dike in the upper third of the movement. These observations suggest two hypotheses for the origin of the movement: dike breaching due to soil saturation or the falling of orthogneiss blocks that breached the dike, causing the movement. The region has experienced similar movements in the past, including tragedies such as the Bananal Cove in 2010. Recognizing potential areas for similar events is challenging but crucial for upstream regions. Detailed mapping of these areas is recommended to prevent future tragedies.

Keywords: mass movement; Ilha Grande; Itaguaçu Beach.

1. INTRODUÇÃO

Movimento de massa é um relevante processo natural que ocorre principalmente em regiões com relevo acentuado. Esses episódios envolvem um volume de rocha e/ou solo que se deslocam conjuntamente e, atuam na dinâmica das vertentes, sendo responsável pela evolução do relevo (SANTOS, 2007). Quando agravados pela falta de planejamento urbano são caracterizados como áreas de risco e podem vir a se tornar desastres.

Conforme dados do EM-DAT (2005), o século XX foi marcado pelo aumento substancial no número de eventos catastróficos, registrado em 56%, superando de forma considerável a taxa de crescimento populacional, que foi de apenas 15%. De acordo com Marcelino *et al.*, 2006, esse fato se deve em função do crescimento populacional, da segregação socioespacial, da acumulação de capital em zonas perigosas, do avanço das comunicações e das mudanças globais. No Brasil e em alguns países de clima tropical úmido, esse processo é resultado da combinação de eventos diversos com a vulnerabilidade física e/ou socioeconômica, onde destacam-se, a inevitabilidade de dominar espacialmente quais regiões são suscetíveis e quais possuem atributos potencializadores do risco (Furlan *et al.*, 2011).

O Estado do Rio de Janeiro ocupa a sexta posição entre os estados brasileiros a apresentar maiores riscos relacionados a desastres, segundo o Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2014). De acordo com dados do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED-UFSC, 2013), durante os anos de 1991 a 2012, o estado concentrou cerca de 79,8% dos movimentos de massa ocorridos no país, sendo também o estado com maior número de mortes causadas por deslizamentos, registrando 3,8 vezes mais mortes que o estado de São Paulo, que ocupa a segunda posição.

Nesse contexto, o município de Angra dos Reis, localizado no litoral sul do estado do Rio de Janeiro, sustenta uma história de cicatrizes oriundas de um contexto que favorece movimentos de massa, ocupando a 8ª posição entre os municípios brasileiros com maior número de fatalidades no

período entre 1988 e 2022 (Macedo *et al.*, 2022). Isso se deve a uma combinação de fatores, como o relevo íngreme, a planície costeira pouco extensa, solos propensos à erosão e instabilidade, ocupação irregular de encostas e um dos maiores índices pluviométricos do país. Tais condições, quase sempre, conduzem a danos territoriais, econômicos e de vidas.

Dentre os maiores desastres ocorridos nessa região, destacam-se os dos dias 09 de dezembro de 2002 e 01 de janeiro de 2010, quando a região da Costa Verde foi marcada por eventos de precipitação intensa de longa duração que culminou no deslizamento de encostas e enchentes em diversos pontos da cidade, o que acabou afetando intensamente áreas povoadas e não povoadas. Em abril de 2022, segundo o Boletim Oficial da Prefeitura de Angra dos Reis (2022) 592 mm de chuva foram registrados na Ilha Grande, sendo fator deflagrador para o deslizamento de grande proporção que encurtou a faixa de areia e provocou danos na praia de Itaguaçu, evento tema desta dissertação.

Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo principal analisar detalhadamente o evento de movimento de massa gravitacional que ocorreu na Praia de Itaguaçu em abril de 2022. Esta avaliação foi realizada por meio da aplicação de geotecnologias, mapeamento geológico, bem como pela utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para o processamento dos dados.

2. ÁREA DE ESTUDO

Localizada no litoral sul do Estado do Rio de Janeiro, a Ilha Grande faz parte do município de Angra dos Reis (Figura 1). Com uma extensão de 193,000,000 m², é a terceira maior ilha oceânica do Brasil, apresentando 155,000 m de litoral, 106 praias e abrigando um dos maiores remanescentes de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro (Sampaio, 2005). É separada a oeste pela Baía de Ilha Grande, a leste pela Baía de Sepetiba e norte pelo canal central, sendo este o mais próximo do continente.

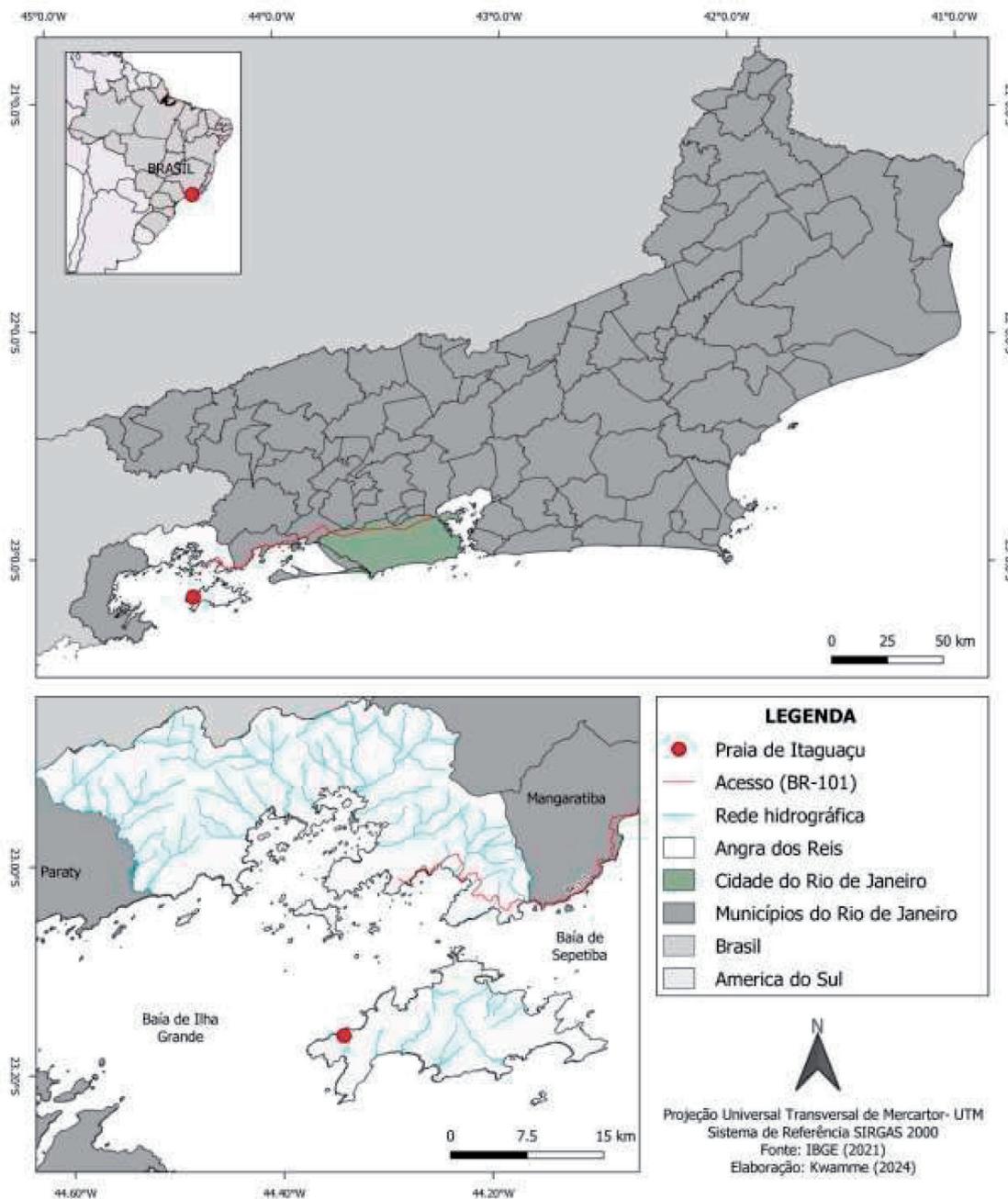


Figura 1 - Mapa da área de estudo e principais acessos.

A Ilha Grande constitui um fragmento do maciço litorâneo, caracterizado por um relevo bastante acidentado. Suas maiores elevações estão localizadas na região centro-leste, destacando-se a Serra do Papagaio, com altitude de 1031 m, e o Pico do Papagaio, com 959 m de altura. Ambos os picos fazem parte da formação Granito Vila Dois Rios, conforme observado por Dantas (2000). Segundo Gama *et al.* (2009), a evolução geomorfológica da região teve início associado à tectônica

Mesozóica/Cenozóica, que resultou no soerguimento das rochas do embasamento, compostas por gnaisses, granitos e charnockitos. Uma vez expostas às condições do clima tropical úmido presente na região, essas rochas sofrem um intenso processo de intemperismo superficial. Como consequência, a erosão atua no transporte e deposição do material intemperizado através dos rios, ondas, marés, fluxos gravitacionais e ventos, contribuindo para a formação das planícies cos-

teiras flúvio-marinha e praias arenosas. A Ilha é compartimentada em duas vertentes, no sentido leste-oeste: a escarpa sul, voltada ao

oceano aberto e a escarpa Norte, voltada ao continente, onde se encontra a área de estudo. Ambas as vertentes apresentam encostas íngremes com picos, costões, canais fluviais retilíneos bem encaixados e depósitos de tálus e colúvios, formados através da erosão e movimentos de massa (Heilbron *et al.*, 2007).

Por possuir relevo predominantemente escarpado e montanhoso, a Ilha Grande possui grande parte de seu território em domínio de Mata Atlântica, apresentando fitofisionomia de floresta ombrofíla densa, restinga, mangue, brejos, lagoas e florestas alagadas (Velooso *et al.*, 1991, Alho *et al.*, 2002, IBGE, 2013), em diferentes níveis de regeneração (Antonini e Nunes-Freitas, 2004). Devido ao seu significativo potencial ecológico, a Ilha Grande é protegida por Unidades de Conservação, são elas: Parque Estadual da Ilha Grande, Reserva Biológica da Praia do Sul, Área de Proteção Ambiental dos Tamoios e Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Aventureiro, todos sobre administração do INEA.

De acordo com a classificação climática de Köppen, 1948, a região apresenta clima tropical quente e úmido (Af), sem estação seca, com uma temperatura média anual variando entre 20° C a 26° C. Durante o verão, a temperatura pode atingir até 39°C, acompanhada por chuvas intensas na região. De acordo com Nimer (1979), os fatores que influenciam esse comportamento pluviométrico são principalmente estáticos, como a localização geográfica e topografia, e dinâmicos, como as massas de ar. Nesse sentido, a Serra do Mar desempenha um papel crucial como uma barreira orográfica, contribuindo significativamente para as elevadas precipitações na região. A combinação dos fatores

latitude e proximidade do mar favorece condições propícias para forte radiação solar, fornecimento de umidade e formação de núcleos de condensação. Esses elementos, aliados à posição da serra em relação à trajetória dos sistemas frontais e linhas de instabilidade, resultam em um dos maiores índices pluviométricos do país, geralmente superior a 2000 mm (Salgado & Vasquez, 2009). A abundante precipitação gera uma rede de

cursos d'água de diferentes tamanhos, agrupados em 79 pequenas bacias hidrográficas pertencentes à Região Hidrográfica da Baía de Ilha Grande (RH-1) (Rosa *et al.*, 2009, INEA, 2013). Inúmeros riachos de 1ª e 2ª ordem drenam as vertentes ocidental e oriental da ilha. Os sistemas fluviais são, em geral, caracterizados por pequeno percurso e declive acentuado, além de diversos trechos onde a drenagem é subterrânea (Mazzoni e Silva, 2006).

A classe de solo predominante na região é o cambissolo háplico típico distrófico, que se caracteriza por apresentar solos minerais pouco desenvolvidos, ainda em estágio incipiente de evolução pedogenética. Esses solos frequentemente demonstram perfis rasos e pouco profundos, especialmente em áreas de relevo montanhoso. A combinação desses fatores resulta em uma permeabilidade muito baixa, aumentando a suscetibilidade à erosão, formação de sulcos e escoamento superficial (EMBRAPA, 2006).

Quanto à sua geologia, a região está inserida no domínio costeiro do terreno oriental do Orógeno Ribeira, onde a colisão entre duas paleoplacas durante as etapas colisionais da Orogênese Brasileira entre o Neoproterozoico e o Ordoviciano originou gnaisses e granitos sin e pós-colisionais (Heilbron *et al.*, 2004; Eirado Silva *et al.*, 2006). Essas rochas são testemunhas da complexa evolução tectônica e magmática que moldou a região ao longo do tempo. A área afetada pelo escorregamento faz parte da Suíte Charnockítica Ilha Grande (NP3γ3ig), caracterizada por rochas plutônicas que se assemelham a granitos, com uma variação composicional que vai de granodiorítica a tonalítica. São encontradas em grande parte da cicatriz com aspecto maciço e granulometria de fina a média, sendo encontrados em menor quantidade com textura porfirítica, apresentando pórfiros de k-feldespato de 0,02 m de comprimento em matriz fina. Essas rochas são intrusivas ao Complexo Rio Negro (Np2γ1rn), que na região se apresenta como uma faixa alongada em direção NE/SW de ortognaisses, que se apresentam principalmente, como hornblenda-biotita gnaiss migmatítico de composição que varia de granodiorítica a tonalítica. Ainda, é possível encontrar enclaves máficos de dioritos e quartzo dioritos. Segundo Heilbron *et al.* (2007), os ortognaisses desta unidade são derivados de rochas granitóides metamorfizadas na

fácies anfibolito alto, com geração de anatexia local que conferiu este aspecto migmático presente. Logo abaixo da zona de ruptura, na porção superior da cicatriz, seguindo a mesma direção NE do embasamento pré-cambriano (Complexo Rio Negro), encontra-se exposto um dique de diabásio de espessura aproximada de 2 m, possuindo zoneamento textural marcante. Os diques de diabásio encontrados constituem a unidade litológica formada durante a Tectônica Mesozóica/Cenozóica. São da família dos basaltos, de granulação fina, escuros e compostos principalmente dos minerais plagioclásio, piroxênio e anfibólio (Guedes, 2007).

A praia de Itaguaçu (Ita- pedra, Guaçu- grande), local onde ocorreu o deslizamento, tema cen-

tral deste estudo, é uma praia semi deserta com cerca de 100 m de extensão localizada na porção oeste da ilha (Figura 2). O acesso à praia do Gaúcho, como também é conhecida, se dá por via marítima, através de embarcações que partem do porto de Angra dos Reis, Mangaratiba e Conceição de Jacaréi. Todos esses portos são acessíveis a partir da cidade do Rio de Janeiro, via Rodovia Rio Santos (BR-101). O desembarque é feito no cais da Praia Vermelha ou de Araçatiba, onde uma trilha costuma levar até o local. Após o deslizamento, entretanto, a trilha foi temporariamente interditada e o acesso à praia está limitado exclusivamente a via marítima por barcos privados.

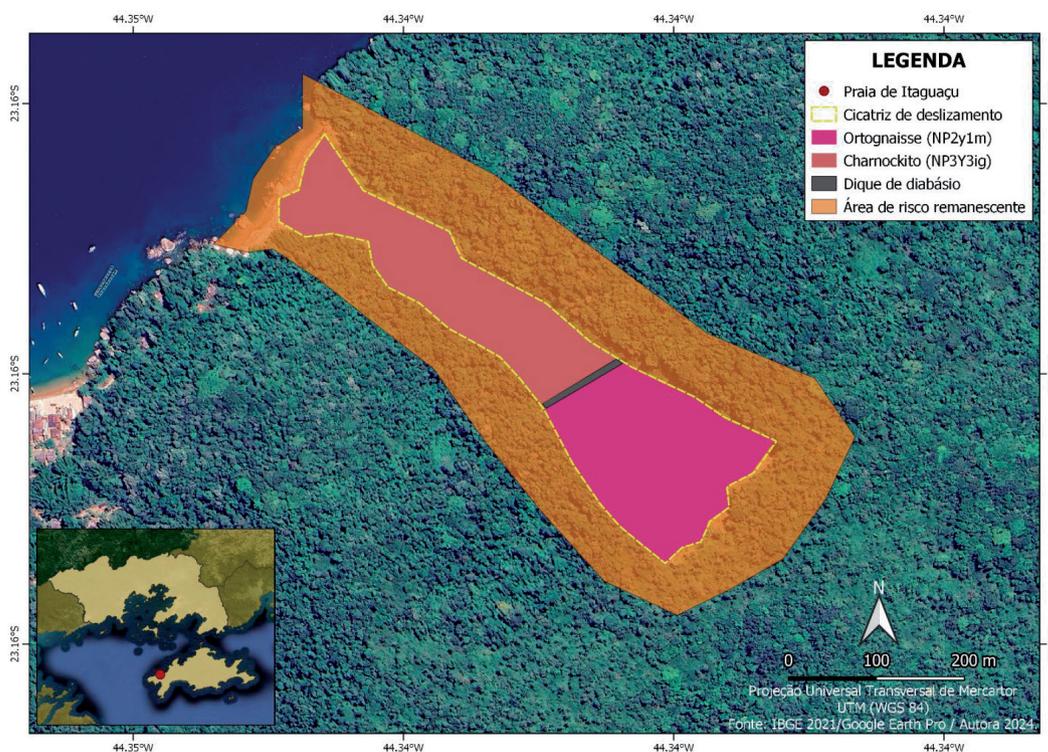


Figura 2 - Mapa da cicatriz de deslizamento presente na área de estudo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A análise de um evento de grande magnitude, como o ocorrido na Praia de Itaguaçu, requer uma investigação minuciosa e abrangente das características intrínsecas do local e dos fatores que contribuíram para a deflagração do movimento. Nesse contexto, o trabalho foi realizado em duas etapas distintas de campo: levantamento aerofotogramétrico com drone e mapeamento da área.

ETAPA 1: LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO COM DRONE

A primeira etapa, realizada em julho de 2022, envolveu o levantamento aéreo utilizando um drone, com o objetivo de adquirir dados geoespaciais de alta resolução da área de interesse. Esses dados possibilitaram uma análise precisa e detalhada da cicatriz de deslizamento.

O uso de drones foi empregado como uma ferramenta fundamental na obtenção de imagens de alta resolução da área de interesse, visando a geração de modelos digitais de elevação (MDE) e ortomosaicos. A Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) utilizado pelo estudo trata-se do Mavic Pro Platinum, da empresa chinesa DJI, sendo considerado um dos drones de baixo custo mais portátil atualmente, possuindo tempo de voo de até

30 minutos aliado a redução de ruídos de 60 %. Possui 5 sensores visuais e uma câmera de 12,35 megapixels acoplada, suportada por um estabilizador triaxial (inclinação, rotação, giro). Também conta com um alcance estimado de 7000 m (DJI, 2018). Além disso, para a execução da atividade foi necessário um tablet para o comando e envio do plano de voo para o RPA. O fluxo de trabalho está exemplificado na figura 3.

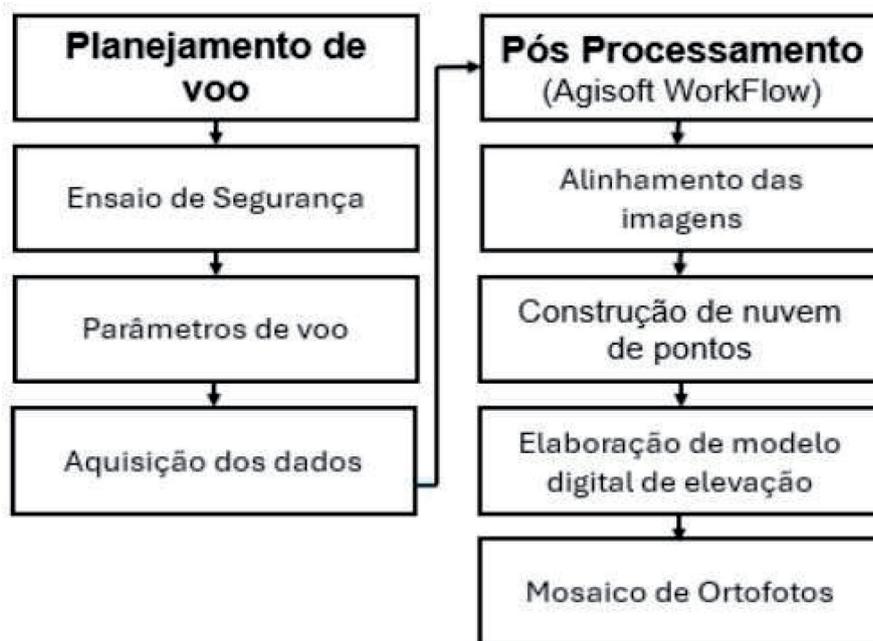


Figura 3 - Fluxo de Trabalho

O planejamento cuidadoso da coleta de dados é um passo fundamental para garantir a eficiência e a qualidade dos resultados obtidos. Após a delimitação da área de estudo, procedeu-se à avaliação da viabilidade operacional durante a fase de ensaio de segurança. Este ensaio consistiu em uma investigação de campo abrangente, na qual foram considerados diversos fatores, tais como: a proximidade com aeroportos, as condições climáticas locais, os locais adequados para decolagem e aterrissagem das aeronaves, a topografia do terreno e a presença de obstáculos urbanos. A avaliação de tais fatores se mostrou necessária para garantir a segurança de pessoas e equipamentos. Para tal, a utilização do aplicativo gratuito UAV forecast se revelou indispensável para um voo em condições ideais. O dispositivo forneceu uma descrição clara das velocidades do vento, chance de chuva, visi-

bilidade e temperatura local, cobertura de nuvens e monitor de índice KP, que calcula as chances de ocorrer interferência no GPS. Além disso, outro recurso oferecido foi a possibilidade de visualizar as previsões de hora em hora para a semana, o que permitiu planejar o voo com antecedência. O planejamento de voo pôde ser realizado através do aplicativo DroneDeploy, versão 4.10, onde os seguintes parâmetros foram considerados: resolução das imagens, altura de voo em rota e a quantidade de fotos tiradas. Após solicitar permissão e a verificação dos planos de voo ao Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPAS), órgão da entidade governamental Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), o RPA pôde ser implantado para aquisição dos dados. A aquisição das imagens ocorreu no dia 9 de julho de 2022 na região da praia de Itaguaçu.

O processamento das imagens coletadas em campo foi conduzido utilizando o software de fotogrametria *Agisoft Metashape*, versão 1.7.2, desenvolvido pela empresa russa *Agisoft*. O procedimento seguiu um *workflow* padrão para a construção de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Este processo incluiu as seguintes etapas: alinhamento das imagens, geração da nuvem esparsa, geração da nuvem densa e construção do modelo digital por meio da geração e texturização da malha triangulada.

Durante o *workflow*, foram adotados parâmetros baseados em estudos anteriores (Carrivick *et al.*, 2016; Cawood *et al.*, 2017). No alinhamento das imagens, foram definidos critérios como alta acurácia para estimativa precisa do posicionamento das câmeras, pré-seleção de pares de referência para correspondência de recursos detectados nas fotos, limitação de pontos-chave a 40.000 por imagem e um limite máximo de pontos correspondentes também de 40.000, além da exclusão de pontos de amarração estacionários. Além disso, foi empregada a técnica de Fototriangulação para determinar as coordenadas do terreno a partir de um referencial. O resultado esperado foi a geração de uma nuvem de pontos esparsa (Figura 4A).

Após a geração da nuvem de pontos esparsa, o segundo passo envolveu a densificação desses pontos (Figura 4B). Basicamente, o software aumentou a densidade da nuvem, preenchendo

espaços vazios para uma representação mais precisa da área mapeada. Os parâmetros utilizados para essa etapa incluíram a configuração de “Alta qualidade” para garantir uma alta resolução e o “Filtro de profundidade” em um nível moderado para classificar e remover pontos discrepantes. Essa etapa é crucial para a geração do Modelo Digital de Superfície (MDS) e do Modelo Digital de Terreno (MDT).

Com a nuvem densa gerada, prosseguiu-se para o terceiro passo, que consistiu na criação da malha triangulada. Nesta etapa, determinou-se o tipo de superfície como “arbitrária” (3D). Além disso, foi estabelecido um número máximo de polígonos na malha final, conhecido como contagem de faces, configurado como médio. Por fim, permitiu-se a interpolação, responsável por preencher áreas superficiais dentro de um raio específico em torno de cada ponto da nuvem densa.

O quarto e último passo diz respeito à construção do modelo digital, no qual foi aplicada texturização para melhorar a representação visual (Figura 4C). Os parâmetros definidos incluíram o tipo de textura “difusa”, o modo de mapeamento “Keep uv” e o modo de mesclagem “mosaico”, que determina como os valores de pixel de diferentes fotos serão combinados na textura final. Esse processo resultou na criação de superfícies tridimensionais que representam fielmente o terreno mapeado



Figura 4 - Modelos digitais de afloramento (A) Nuvem de pontos esparsa (B) Nuvem de pontos densa e (C) Nuvem de pontos densa texturizada

No estágio final do *workflow* do Agisoft, ocorre a criação do Modelo Digital de Elevação (MDE) e da ortofoto (Figura 5a, 5b). Utilizando a nuvem densa como base, o software processa os dados para gerar o MDE, oferecendo uma representação tridimensional precisa do terreno com detalhes como elevações e declives. Em seguida, a partir dessa mesma nuvem densa, é produzida a ortofoto-

to, uma imagem ortogonal retificada que oferece uma visualização aérea do terreno, corrigida para distorções de perspectiva e inclinação. Essas etapas finais do processo asseguram a obtenção de produtos cartográficos de alta qualidade, fundamentais para a análise de feições morfológicas, a estimativa de volume de material deslizado e o monitoramento contínuo da área.

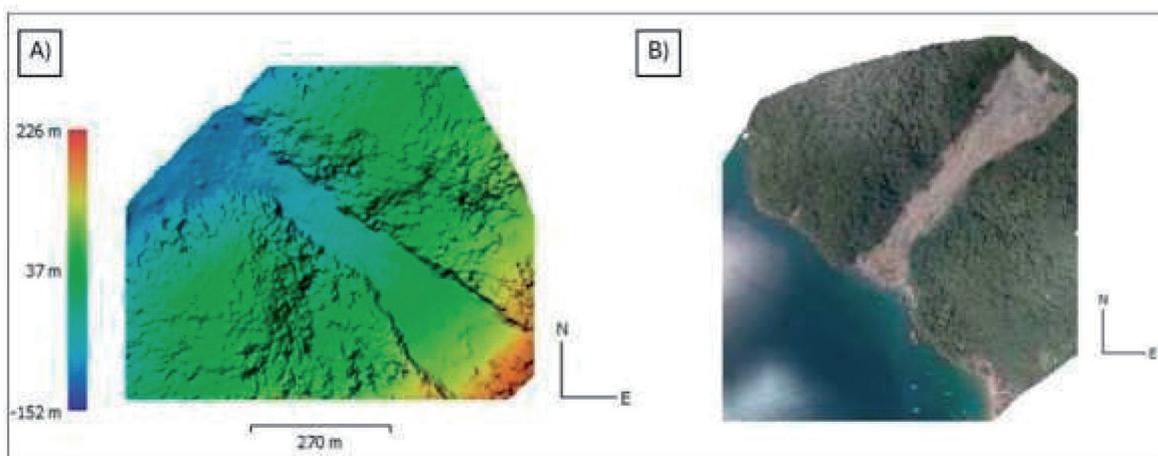


Figura 5 - (A) Modelo Digital de Elevação (MDE) e (B) Ortofoto

O tempo de processamento dessas etapas depende da quantidade de pontos presentes na nuvem, responsável também pela resolução do modelo. Assim, quanto maior a resolução do modelo, maior será o tempo de processamento e mais fácil será a identificação das feições. No trabalho em questão, a nuvem densa foi gerada em um tempo de 1 hora e 23 minutos com uma resolução centimétrica.

A partir do produto obtido nas etapas anteriores, foi realizada a integração da base de dados: i) medidas realizadas pelo RPA e as informações de terreno (fotos e dados de alta resolução e ii) Base de dados referente ao SIG (mapas, plantas, fotos, dados georreferenciados e informações locais da área. Os softwares de apoio para essa etapa do trabalho foram: Agisoft Metashape (versão 1.7.2), para a geração do MDE e do ortomosaico, Adobe Illustrator (versão 25.2.1), para produção do perfil topográfico e Qgis (versão 3.4.12), para produção dos mapas temáticos.

A base de dados espaciais, informações cartográficas, essenciais para a geração dos mapas temáticos, foi fornecido pelo Sistema Integrado

de Bases Georreferenciadas do Rio de Janeiro – Geobases, envolvendo banco de dados e uma base cartográfica digital sendo os seguintes planos de informação utilizados no formato “shape-file” (.shp): curva de nível de 20 m; hidrografia; localidades; municípios; pedologia. Os dados utilizados para a confecção do mapa de declividade foram obtidos por meio do conjunto de dados de Altitude SRTM, com resolução de 30 m, fornecido pela NASA (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>)

A integração correspondeu uma etapa fundamental na análise e interpretação a fim de se obter os resultados desejados para o estudo. Vale ressaltar a importância do mapeamento aéreo em regiões como a da praia de Itaguaçu, onde o acesso é extremamente limitado e o drone se faz fundamental diante da impossibilidade de outros tipos de análise.

ETAPA 2: MAPEAMENTO DA CICATRIZ

O mapeamento da área onde se encontra a cicatriz de deslizamento foi realizado em duas

fases. A primeira ocorreu em julho de 2022, apenas alguns meses após o evento, onde foram realizados o levantamento aéreo e o reconhecimento preliminar da área. A segunda etapa de campo foi realizada mais de um ano após o evento, em novembro de 2023, durante a qual uma investigação mais detalhada da

área foi conduzida, onde foi possível obter dados importantes sobre a geometria da cicatriz, a composição do solo e da rocha, os padrões de drenagem, a distribuição da vegetação e a topografia local (Figura 6a, b,c,d).

O objetivo primário ao realizar o mapeamento em dois períodos distintos foi obter uma base de dados empírica sólida e objetiva para entender as características do deslizamento, bem como para observar as mudanças ocorridas na área afetada. Isso incluiu a avaliação de possíveis riscos residuais e, mais importante, uma compreensão mais aprofundada dos processos pós-deslizamento. Essa abordagem permitiu a formulação de hipóteses, teorias e modelos sobre o evento que afetou a praia de Itaguaçu.

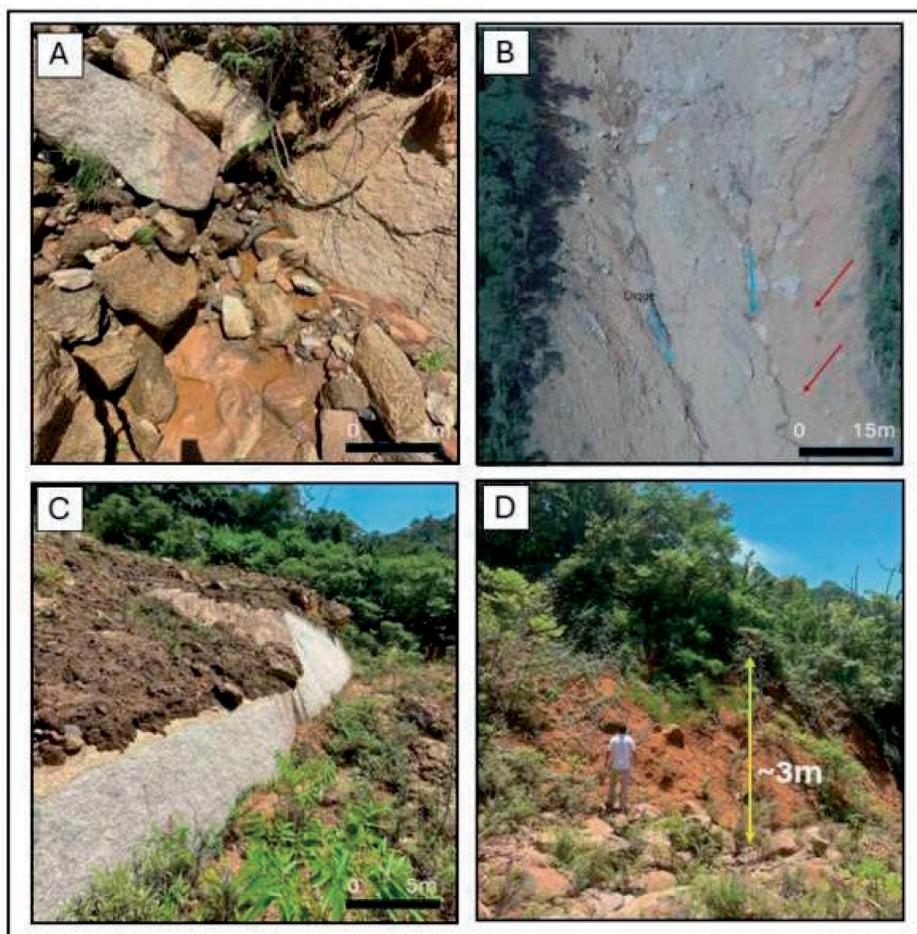


Figura 6 - Imagens coletadas em campo na cicatriz de deslizamento; em A) drenagem bloqueada B) drenagem vista através de levantamento aéreo, C) Bloco de charnockito na parte central do deslizamento e D) espessura da cicatriz. Sendo o maior volume registrado para o mês de abril

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos dias 1 e 2 de abril, conforme registrado no Boletim Oficial da Prefeitura de Angra dos Reis (2022), ocorreram intensas precipitações, sendo o maior volume registrado para o mês de abril desde 1913, totalizando 655 mm de chuva

no continente e 592 mm na Ilha grande. A ocorrência desencadeou uma série de desastres, como inundações, deslizamentos de terra, enxurradas e alagamentos, resultando em uma significativa comoção social, com pessoas deslocadas de suas residências, desabrigadas, comunidades isoladas, e uma série de danos e prejuízos econômicos, so-

ciais e ambientais. Na ocasião, quatro residências foram atingidas e 11 pessoas ficaram soterradas no bairro de Monsuaba, na parte continental. Nas comunidades da Ilha Grande, como Araçatiba, Vermelha, Provetá, Abraão e Aventureiro, os danos foram consideráveis, com a praia de Itaguaçu sendo a mais afetada.

O fenômeno ocorrido na praia de Itaguaçu envolveu a movimentação estimada de cerca de 70.368 m³ de solo, impactando uma área total de 70.551 m² que se estende de 630 m por uma largura média de 115 m. Antes do evento, a encosta estava recoberta por vegetação nativa preservada e segundo dados da Defesa Civil, três residências localizadas na base da encosta, foram completamente destruídas durante o evento, resultando em três vítimas. Nesse contexto, os fatores determinantes para a ocorrência do movimento foram as características climáticas, pedológicas, geológicas e geomorfológicas inerentes à região.

A partir da análise dos dados coletados, duas hipóteses são levantadas para explicar o movimento ocorrido na encosta da Praia de Itaguaçu. Em ambos os cenários, o deslocamento mani-

festou-se como planar translacional com queda de blocos, sendo o perfil de intemperismo constituído por rocha alterada e solo residual pouco espesso, seguindo o curso da drenagem em duas vertentes (Figura 7). O fator deflagrador foram as chuvas intensas que impactaram a localidade nas horas anteriores ao evento, resultando na saturação do solo e rompimento no contato solo-rocha.

Na primeira hipótese, sugere-se que o movimento teve início no topo da crista (Figura 8A), onde o ortognaisse altamente fraturado foi sujeito a um processo de pressão hidráulica nas paredes das fraturas, resultando no descolamento nas trincas de tração e, conseqüentemente, a queda do bloco (Figura 8B). Devido à ação da gravidade, esse material deslizou para jusante, chocando-se em um dique de diabásio, entre os terços superior e médio da encosta (Figura 8C). O material depositado, ainda sujeito à poropressão positiva e à sobrecarga da vegetação, desencadeou um segundo movimento (Figura 8D), quase concomitante. Esse material remobilizado depositou-se na porção baixa da encosta, formando depósito de tálus na base.

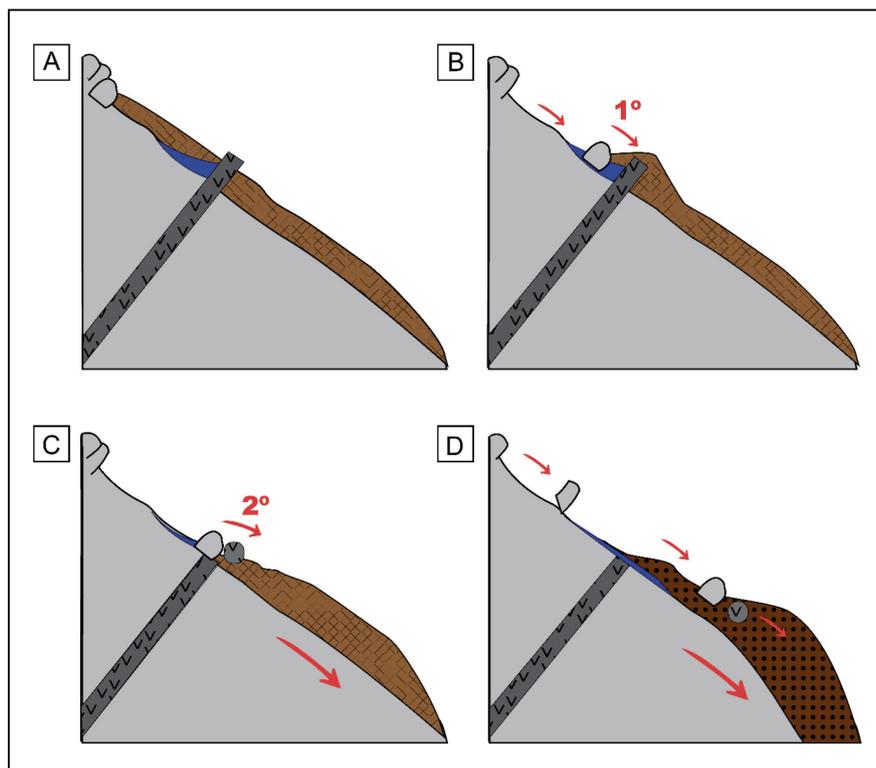


Figura 7 - Perfil esquemático da Hipótese 1 do deslizamento ocorrido na praia de Itaguaçu. A) Ortognaisse sofrendo pressão hidroestática sobre paredes das fraturas B) Descolamento das trincas de tração e conseqüente queda do bloco C) Bloco de ortognaisse choca-se contra dique de diabásio D) ruptura do bloco de diabásio juntamente ao deslocamento do solo a jusante formando o depósito de tálus.

A segunda hipótese propõe que o movimento teve início na porção central da encosta, no contato do dique com o ortognaisse (Figura 9A). Nesse cenário, a saturação do solo depositado acima do dique resultou no aumento da poropressão que culminou na ruptura e deslocamento do bloco de diabásio a jusante (Figura 9B). Esse movimento

fez com que os blocos de ortognaisse do topo da encosta perdessem o suporte da base, o que provocou uma instabilidade repentina, resultando em um segundo deslizamento, quase simultâneo ao inicial, onde houve a ruptura e queda deste bloco. O material mobilizado depositou-se na base (Figura 9 C).

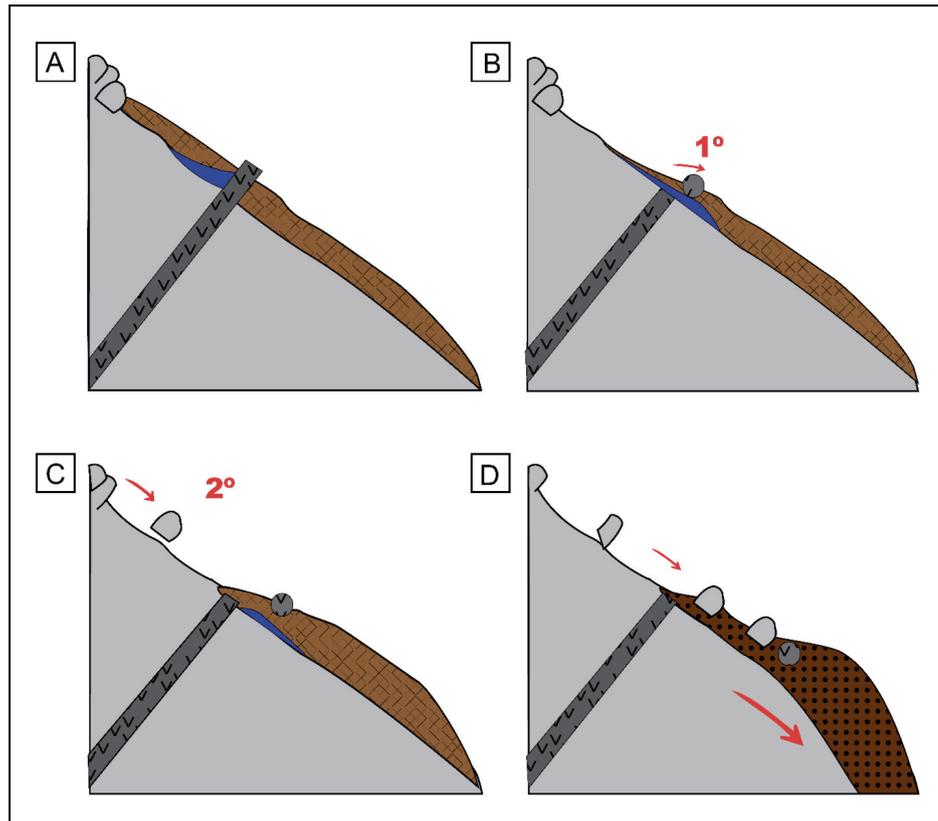


Figura 8 - Perfil esquemático da Hipótese 2 do deslizamento ocorrido na praia de Itaguaçu. A) Saturação do solo depositado sobre o dique B) Ruptura e deslocamento do bloco de diabásio C) Descalçamento do bloco de Ortognaisse a montante e D) Queda do Bloco de ortognaisse e junto com solo e formação do depósito de tálus.

Ambas as hipóteses foram formuladas a partir dos dados coletados em campo juntamente a estudos de bibliografias sobre a área. Não é possível determinar com certeza qual hipótese corresponde com mais precisão ao deslizamento ocorrido em 2022, objeto deste estudo; No entanto, alguns pontos devem ser levados em consideração.

A região é caracterizada pela presença de um dique de diabásio orientado no sentido NE, alinhado de forma concordante com a foliação do embasamento. Esta mesma orientação é predominantemente observada no sistema de fraturas e falhas da área. A presença desta intrusão pode ter causado fraturamento e enfraquecimento das

rochas circundantes (charnockito e ortognaisse), criando zonas de fraqueza propensas a falhas e instabilidades. Além disso, ao gerar discontinuidades geométricas na encosta, o dique pode ter contribuído para o acúmulo de água, facilitando a infiltração e o enfraquecimento do solo. Ainda, existe uma diferença na resistência à erosão entre o dique de diabásio e as rocha encaixantes (ortognaisse e charnockito). Isso se deve ao fato que o aspecto migmatítico do ortognaisse presente na área apresenta zonas de fraqueza devido a diferenciação mineral ocorrida durante processos metamórficos enquanto o charnockito apresenta uma foliação incipiente atribuída a processos magmá-

ticos, tornando-o mais propenso à ocorrência de fraturas em comparação ao diabásio. Este último, dentro do contexto da região, exibe uma textura mais homogênea e menos zonas de fraqueza. Essa diferença contribui para a erosão diferencial, na qual a água da chuva erode mais

rapidamente o solo adjacente ao dique, criando uma diferença de altura entre as áreas erodidas e as áreas adjacentes. Essa variação de altura pode resultar no colapso e deslizamento do solo.

A cicatriz de deslizamento apresenta sinais evidentes de influência hidrológica, evidenciada pela

presença de drenagem ativa e sinais de fluxo de água recente. Ao examinar a área afetada, observa-se a presença de canais de drenagem naturalmente formados ao longo das margens da cica-

triz. Esses canais exibem características de erosão, indicando um fluxo significativo de água durante ou após o evento de deslizamento, que pode ter contribuído significativamente para a saturação do solo.

A encosta da praia de Itaguaçu exibe um perfil morfológico com um declive predominantemente abrupto ($>45\%$) em seu topo e moderado a íngreme em seu corpo ($15-45\%$), sem apresentar nenhuma área de relevo suave (Figura 10). O contato solo-rocha em declividades elevadas como estas, costuma ser raso. Nesse contexto, quando associado com os altos índices pluviométricos que afetam a região, esses fatores tornam a encosta propensa a deslizamentos como o ocorrido recentemente.

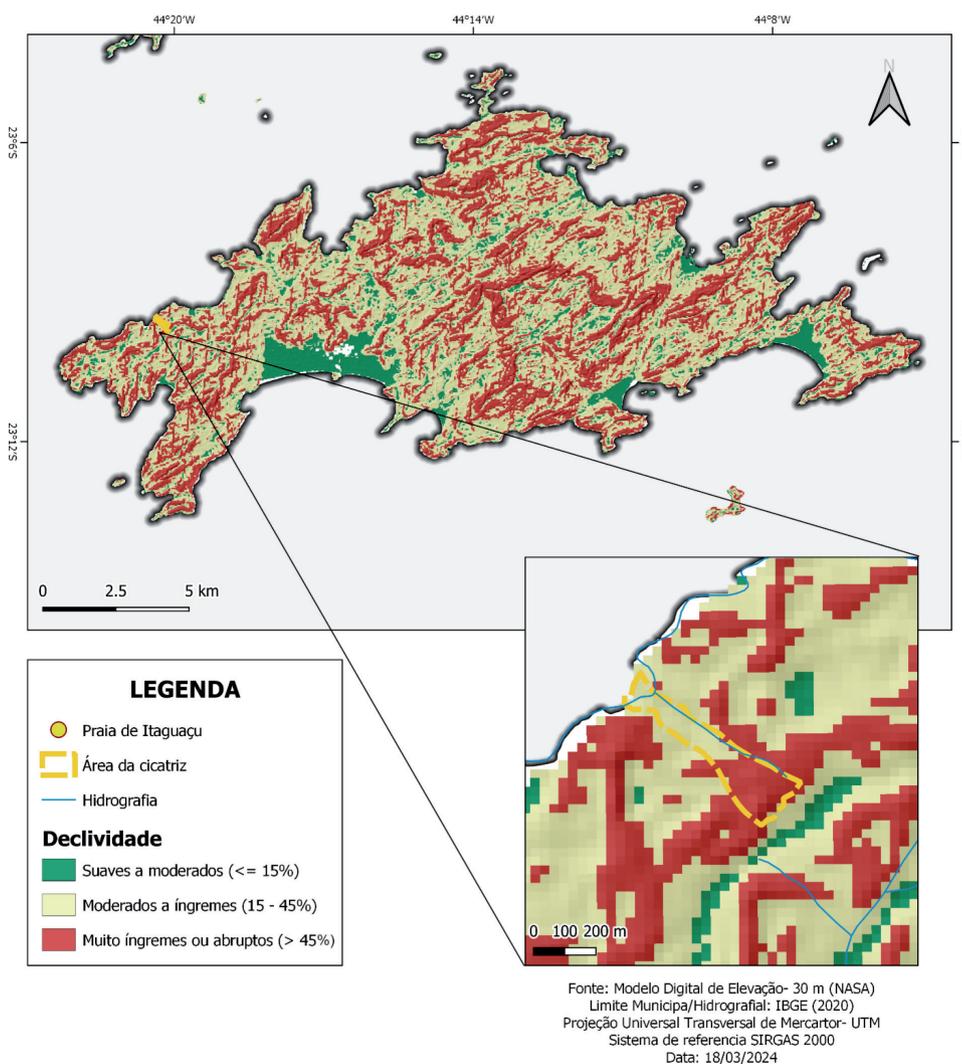


Figura 9 - Mapa de declividade da área de estudo

Por fim, analisando as imagens coletadas no período de um ano após o evento (Figura 11), é evidente que a área da cicatriz de deslizamento está passando por um processo de regeneração, indicando uma resposta positiva do ambiente

após o deslizamento. Uma característica notável é a progressiva regeneração natural, com a presença de arbustos com altura de até 5 m, sobretudo no sopé da encosta, onde uma grande parte do material proveniente do deslizamento foi depositada.



Figura 10 - Área da cicatriz de deslizamento em 2022, logo após o deslizamento e em 2023, um ano após o evento.

O solo na área está atravessando um processo de regeneração, caracterizado por uma progressiva consolidação e restauração da sua estrutura. Os sinais de erosão superficial estão diminuindo gradualmente, ao passo que a reintegração de nutrientes e a formação de horizontes distintos indicam um retorno à fertilidade do solo. É provável que as drenagens pré-existentes na região tenham sido alteradas devido a obstrução ou desvio pelo deslocamento do material durante o deslizamento. Os novos canais agora fornecem uma rota para

a drenagem pluvial, contribuindo para a estabilidade hidrológica e a resiliência do sistema.

Esta evolução da encosta é uma demonstração da capacidade do ambiente de se adaptar a perturbações e de se recuperar ao longo do tempo. No entanto, é importante reconhecer que o processo de regeneração completa da área da cicatriz de deslizamento pode ser prolongado e dinâmico, sujeito a influências climáticas e geológicas variáveis. Os avanços observados até o momento destacam a resiliência intrínseca dos ecossistemas

diante de perturbações naturais, enfatizando a importância da conservação e da gestão responsável dos recursos naturais em ambientes propensos a deslizamentos.

5. CONCLUSÕES FINAIS

Ilha Grande, localizada em Angra dos Reis - RJ, é considerada um dos principais patrimônios naturais do Estado do Rio de Janeiro, sendo a terceira maior ilha oceânica do Brasil e abrigando um vasto remanescente de Mata Atlântica. Devido às suas características geográficas, geológicas e, especialmente climáticas particulares, a região apresenta uma história marcada por cicatrizes resultantes de movimentos de massa.

O deslizamento ocorrido na encosta da Praia de Itaguaçu, em abril de 2022, foi um desses eventos significativos que deixaram marcas na história da região. Desencadeado por chuvas intensas, esse episódio resultou em um movimento de massa que afetou uma área considerável, envolvendo aproximadamente 70.368 m³ de solo e abrangendo uma extensão total de 70.551 m². Como consequência, três residências situadas na base da encosta foram completamente destruídas, resultando em três vítimas fatais.

O objetivo deste estudo foi estabelecer uma base empírica para ajudar a compreender as causas, mecanismos e fatores que levaram ao deslizamento. Nas fotografias aéreas observou-se a presença de blocos de ortognaisse na coroa da cicatriz do movimento ligeiramente deslocados para jusante do seu lugar de origem. No trabalho de campo também foi observada a presença destes blocos na zona de transporte do movimento. Entre o terço superior e o terço médio da cicatriz foi observada a presença de um dique de diabásio. Associando estas duas observações, propôs-se duas hipóteses para a origem do movimento: o rompimento do dique causado pela sobrecarga devido a saturação do solo confinado a montante ou a queda de um ou mais blocos de ortognaisse a partir do topo da cicatriz que romperam o dique causando o movimento. A metodologia proposta demonstrou sua eficácia em áreas de difícil acesso, como a enseada da região de estudo, localiza-

da em uma região insular com encostas íngremes (>45%) e acesso limitado.

Este mecanismo de movimento já foi observado várias vezes na região, em algumas vezes causando tragédias como a da enseada do Bananal em 2010. Apesar da dificuldade no reconhecimento de áreas potenciais para a ocorrência de novos eventos controlados por este mecanismo, é de grande importância a atenção das áreas a montante de regiões habitadas ou de uso regular. Se identificadas as mesmas condições, sugere-se o mapeamento detalhado destas áreas a fim de evitar tragédias como as citadas se repetam.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alho, C.J.R.; Schneider, M. & Vasconcellos, L.A. 2002. Degree of threat to the biological diversity in the Ilha Grande State Park (RJ) and guidelines for conservation. *Brazilian Journal of Biology*, 62: 375- 385.
- Antonini, R. D.; Nunes-Freitas, A. F. 2004. Estrutura populacional e distribuição espacial de *Miconia prasina* D.C. (Melastomataceae) em duas áreas de Floresta Atlântica na Ilha Grande, RJ, Sudeste do Brasil. *Acta bot. bras.* 18(3): 671-676.
- Carrivick, J. L.; Smith, M. W.; Quincey, D. J. 2016. *Structure from Motion in the Geosciences*. Londres, Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd.
- Cawood, A. J. 2017. LiDAR, UAV or compass-clinometer? Accuracy, coverage and the effects on structural models. Ed. 98. *Journal of Structural Geology*. P67-82.
- CEPED UFSC. (2. ed) 2013. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012*. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis. 126 p.
- Dantas, M. E.; Shinzato, E.; Medina, A. I. M.; Silva, C. R.; Pimentel, J.; Lumbreras, J. F.; Calderano, S. B.; Carvalho Filho, A.; Oliveira, R. P.; Mansur, K.; Ferreira, C. E. O. (2000). "Dignóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro". Brasília: CPRM. (CD-ROM).

- Eirado Silva, L. G.; Heilbron, M. & Almeida, J. 2006. Os terrenos Tectônicos da Faixa Ribeira na Serra da Bocaina e na Baía da Ilha Grande, Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. 36: 426- 436.
- EMPRESA CHINESA – DJI. Disponível em: <<https://www.dji.com/br/mavic-pro-platinum>>, Acessado em: 20 de setembro, 2023.
- EM-DAT – Emergency Events Database. The OFDA/CRED International Disaster Database. Disponível em: <<https://www.emdat.be/>>. Acessado em: 13 de junho de 2023.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro-RJ). Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- Furlan, M. C.; Lacruz, M. S. P.; Sausen, T. M. 2011. Vulnerabilidade socioeconômica à ocorrência de eventos extremos: proposta metodológica. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Curitiba. São José dos Campos: INPE. p. 4540-4546
- Gama, S. V. G.; Silva, L. G. A. E.; Salgado, C. M. 2009. "Geologia, Relevo e Solos." In: Bastos, M. P.; Callado, C. H. (eds.). *O ambiente da Ilha Grande*. Rio de Janeiro/Centro de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Sustentável. p. 21-59.
- Guedes, E. 2007. *O enxame de diques da Serra do Mar na região entre Resende e a Baía de Ilha Grande, RJ*. Tese de Doutorado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Heilbron M., Pedrosa-Soares A.C., Campos Neto M., Silva L.C., Trouw R.A.J., Janasi V.C. 2004. A Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (eds.) *O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Ed. Beca, cap. XIII, p. 203-234.
- INEA. Instituto Estadual do Ambiente. 2013. *Parque Estadual da Ilha Grande: plano de manejo (fase 2)/resumo executivo*./Instituto Estadual do Ambiente. Rio de Janeiro: INEA. 98p. il. Mapas
- Instituto Estadual do Ambiente (INEA). 2014. *Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: INEA. v.2, 120p.
- Koppen, W. 1948. *Climatologia: com um estudio de los climas de la tierra*. Publications In: *Climatology*. Laboratory of Climatology, New Gesey. 104p.
- Macedo, E. S.; SAandre, L. H. 2022. Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022. *Rev. Bra. de Geol. de Eng. e Amb.*, v.12, n.1, p.110-117.
- Marcelino, E. V.; Nunes, L. H.; Kobiyama, M. 2006. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. *Caminhos de Geografia*, v.6, n.19, p. 130-149.
- Mazzoni, R. & A.P.F. Silva. 2006. Aspectos da história de vida de *Bryconamericus microcephalus* (Miranda Ribeiro) (Characiformes, Characidae) de um riacho costeiro de Mata Atlântica, Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 23: 228-233
- Nimer, E. 1979. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 422 p. (Recursos naturais e meio ambiente).
- Rosa, R. 2011. *Geotecnologias na Geografia aplicada*. Revista do Departamento de Geografia, v. 16, p. 81-90.
- Santos, R. F. (2.ed) 2007. *Vulnerabilidade Ambiental: Desastres Naturais Ou Fenômenos Induzidos?*. Ministério do Meio Ambiente: [s. n.]. ISBN 978-85-7738