

ANÁLISE DAS MUDANÇAS GEOMÓRFICAS EM FALÉSIAS ATIVAS USANDO MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DE LIDAR E ARP.

Weslyane Braga Rodrigues¹
Melvin Moura Leisner²
Eduardo Lacerda Barros³
Yan Gurgel Vasconcelos⁴
Davis Pereira de Paula⁵

INTRODUÇÃO

Na última década, o emprego do LiDAR (Light Detection and Ranging) como método de sensoriamento remoto para captura de dados da superfície do terreno tridimensionalmente cresceu. A sua precisão topográfica permite extrair modelos digitais do terreno e da superfície de alta resolução, permitindo realizar estudos geomórficos em diferentes sistemas ambientais (Jaboyedoff et al., 2012). Contudo, apesar da exatidão dos produtos gerados, uma de suas desvantagens reside no método de obtenção dos dados, uma vez que se trata de instrumentos de elevado custo, o que dificulta a realização de pesquisas que exigem análises frequentes (Cook, 2017).

Os constantes avanços tecnológicos têm contribuído para o desenvolvimento de equipamentos de coleta de dados espaciais, impulsionando a evolução do sensoriamento remoto (De Magalhães, 2021). No mapeamento topográfico, as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) têm se destacado devido à capacidade de adquirir dados com boa precisão, a baixo custo e com facilidade de manuseio (Casella et al., 2020; Nwilag, Bariledum e Aniekan, 2023). Ademais, o uso das ARPs para a repetição de levantamentos

¹ Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Ceará-UECE, weslyane.braga@aluno.uece.br;

² Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, melvin.leisner@aluno.uece.br;

³ Professor visitante FUNCAP do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, eduardolacerdab@gmail.com

⁴ Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, yan.vasconcelos@aluno.uece.br

⁵ Professor do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, davis.paula@uece.br

topográficos tem viabilizado a análise das alterações geomórficas em diferentes escalas e com diferentes períodos (James et al., 2012; Andresen e Schultz-Fellenz, 2023).

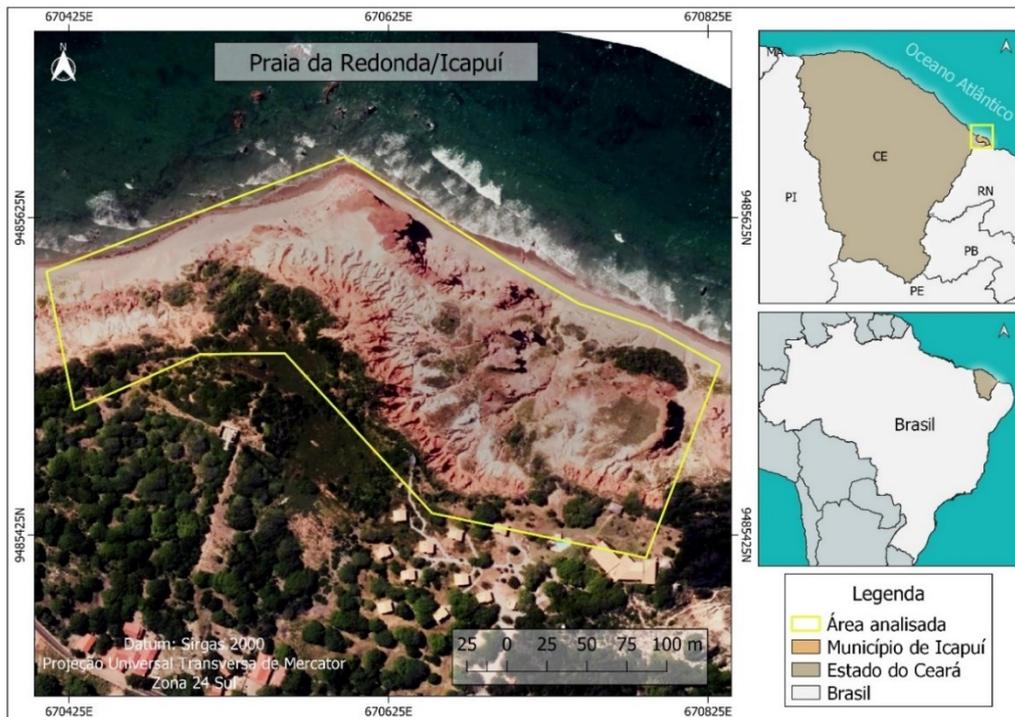
A análise das mudanças geomórficas em diferentes escalas espaciais é de suma importância para compreender a evolução e a dinâmica do relevo (Lim et al., 2005). Embora esses estudos sejam essenciais para o monitoramento e a compreensão geomórfica, as incertezas nos dados podem aumentar os erros de interpretação (Wheaton et al., 2010). Em virtude disso, é necessário utilizar produtos de alta precisão para que as análises reflitam com maior fidelidade as modificações reais. Este estudo tem por objetivo analisar as mudanças geomórficas em uma falésia marinha sedimentar no Ceará, utilizando Modelos Digitais de Elevação (MDEs) gerados por LiDAR e ARP,

METODOLOGIA

A área experimental está localizada no município de Icapuí, no litoral leste do estado do Ceará, na divisa com o estado do Rio Grande do Norte, estando situada a 210 km de Fortaleza. Trata-se de um trecho de falésia sedimentar ativa localizada na praia de Redonda (Figura 1), com 2.82 km de extensão e altura máxima de 30m (Silva, 2020).

A composição litológica da falésia estudada é representada pela Formação Barreiras, seu material é associado a sedimentos pouco ou não consolidados, no qual varia entre argila e arenito conglomerados. Na camada superior, a litoestratigrafia é descrita como areia argilosa mal selecionada de coloração amarelada, avermelhada e esbranquiçada oriundas de paleoduna, no qual associam-se aos depósitos do Pós-Barreira.

Figura 1 – Localização da área de estudo. Falésia ativa da praia da Redonda, Icapuí/CE.



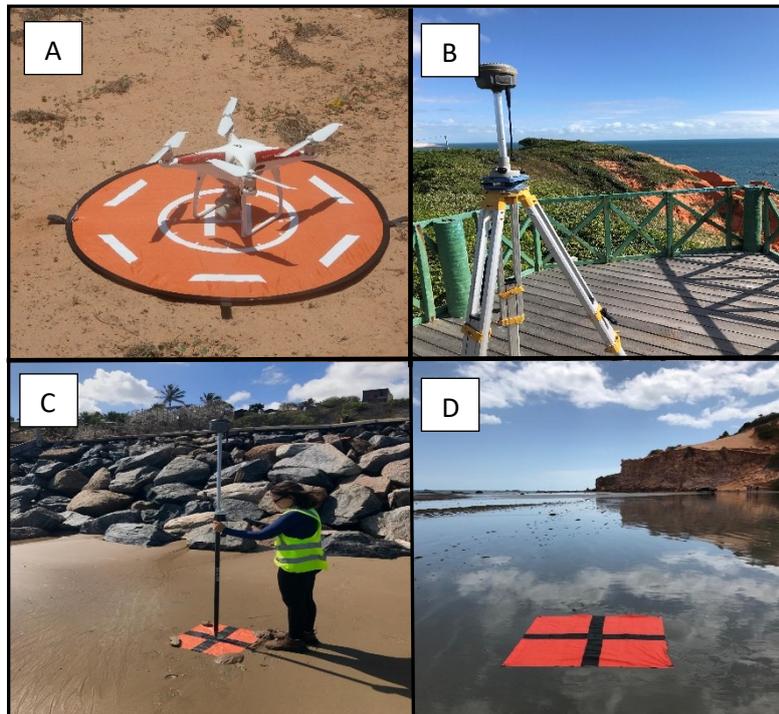
Fonte: Autoria própria

Obtenção do Modelo Digital de Superfície (LiDAR e ARP)

Foi realizada uma comparação entre dois Modelos Digitais de Superfície (MDS), sendo um obtido em 2014, com uso de LiDAR e outro, em 2022, com uso de ARP. O método com emprego de LiDAR baseia-se na emissão de múltiplos feixes de laser no espectro infravermelho, cujo sensor capta os feixes refletidos pela superfície. O MDS derivado do LiDAR foi adquirido pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), que realizou o voo ao longo do litoral leste do Ceará, em 2014. O mapeamento foi realizado em escala de 1:10.000, resultando em um MDS com resolução espacial de 50cm.

Para a obtenção dos dados da ARP, foi realizada uma campanha de campo em outubro de 2022, durante o período de estiagem no Nordeste brasileiro, o que permite maior exposição do relevo, com menor influência da vegetação. A aeronave utilizada foi do tipo Phantom 4 – Pro V2 (Figura 2- A), auxiliada por um GPS geodésico em modo RTK (Figura 2 – B e C), que possui uma taxa de erro milimétrica. Para georreferenciamento, foram coletados pontos de controle no solo (Figura 2 - D), marcados com lona e distribuídos ao longo da área de estudo, para posterior correção das imagens. Como resultado, foi gerado um MDS com resolução de aproximadamente 0,06 cm.

Figura 2 – Metodologia de campo. A – ARP. B – Antena base GNSS – RTK. C – Coleta de Pontos Com Rover. D – Pontos de Controles fixados no solo.



Fonte: Autoria própria

A comparação entre os MDEs foi realizada utilizando o *software Geomorphic Change Detection* (GCD), vinculado ao ArcGIS 10.8. O GCD é uma ferramenta que identifica e quantifica alterações topográficas entre dois MDEs de períodos distintos (Wheaton et al., 2010). A partir da técnica *Dem of Difference* (DoD), foi possível calcular as mudanças de relevo em termos de volume, subtraindo o MDS mais antigo (2014) do MDS mais recente (2022), resultando em um terceiro MDE que apresenta os valores das diferenças. Além disso, considerando que os dois modelos foram adquiridos e processados de maneiras distintas (LiDAR e ARP), a resolução do produto oriundo da ARP foi ajustada no momento da exportação da imagem TIFF, para que fosse compatível com a resolução do MDS do LiDAR.

Devido à distribuição dos valores de mudança de elevação apresentarem pequenas variações próximas a zero, a ferramenta GCD permite estabelecer um intervalo de confiança para a detecção de alterações, conhecido como Limite de Detecção (LoD) (Abellán et al., 2014). Neste estudo, foi definido um limiar de 0,80 m. As alterações

detectadas no DoD que estiverem abaixo desse valor são desconsideradas, pois podem representar possíveis erros de detecção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da aplicação do GCD podem ser observados na Tabela 1, onde se constatou uma perda de volume em 86,95% da área analisada, enquanto 13,05% apresentou acumulação. Em termos de perda de volume vertical, ao longo de 8 anos, foi registrado um valor de 1.080.640,28 m³ com erro de +/- 27.514,80 m³. Embora a análise de volume não consiga capturar completamente a evolução do relevo, os resultados apontam para uma alta suscetibilidade erosiva na área estudada. Os elevados índices de perda de volume de material são atribuídos à presença de diversos patamares litológicos na falésia, combinados com a variação sazonal das condições climáticas e hidrodinâmicas. Esses fatores, conforme detalhado por Leisner (2023), explicam a dinâmica erosiva significativa observada.

Tabela 1 – Resultados da detecção das mudanças geomórficas.

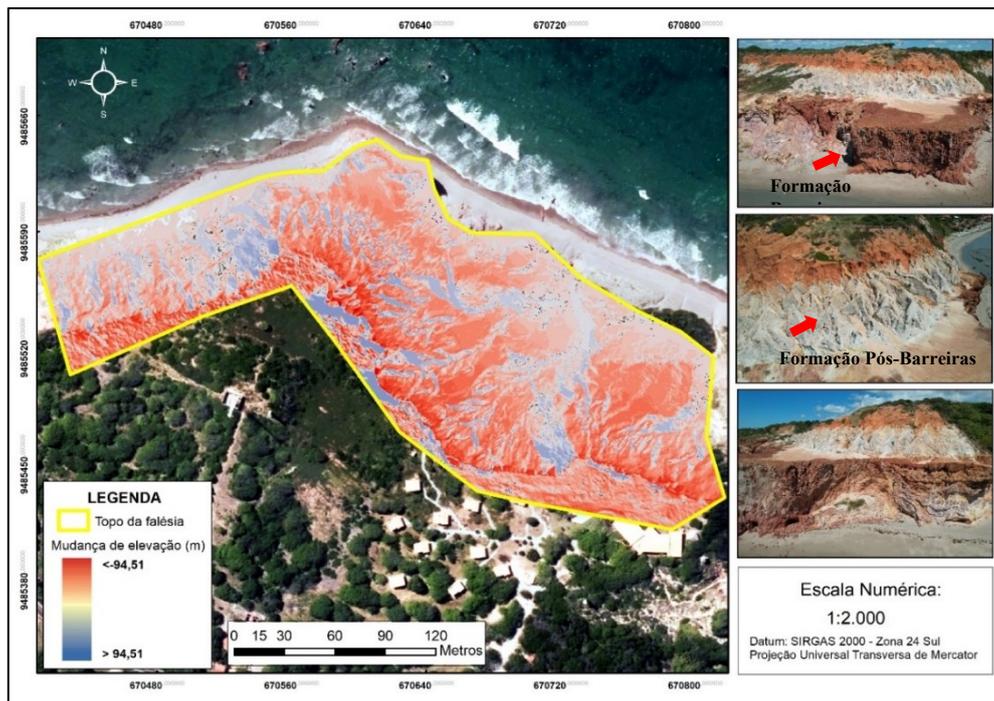
Resultados em Volume (m³)		Erro (±)
Volume total de descida da superfície (erosão)	1.080.640,28	27.514,80
Volume total de elevação da superfície (deposição)	162.240,97	7.420,60
Diferença de volume líquido total	-918.399,31	
Resultado da Variação vertical (m)		Erro (±)
Profundidade média da descida da superfície (erosão)	31,42	±0,80 (2,55%)
Profundidade média da elevação da superfície (deposição)	17,49	±0,80 (4,57%)

Fonte: Elaboração própria.

Além dos dados numéricos, a técnica aplicada criou o terceiro MDE simplificando visualmente os resultados (Figura 3), em que é perceptível o nível de erosão desse relevo. O gradiente de cores da figura representa níveis de erosão na cor vermelha e níveis de deposição na cor azul. O alto grau de erodibilidade do topo é justificado devido a ocorrência da Formação Pós-barreira, que possui material mais friável e suscetível à erosão (Silva, 2022). É importante destacar que a presente análise compara dois MDS, o

que leva em consideração os obstáculos presentes na superfície. Por exemplo, a presença de vegetação pode explicar os resultados de “deposição” no topo, devido ao seu crescimento, em 2022, conforme também é destacado por Fullin et al. (2023). Além disso, nesse setor da falésia tem se observado adoção de depósitos tecnogênicos para acréscimo de área útil para construção de edificações.

Figura 3 – Resultado do Dem of Difference e fotografias aéreas da falésia em análise.



Fonte: Autoria própria.

De forma similar, os mesmos autores (Fullin et al., 2023) utilizaram a técnica DoD para comparar Modelos Digitais de Terreno (MDT) obtidos por LiDAR e Modelos Digitais de Superfície (MDS) obtidos por ARP, calculando a incerteza a partir da propagação de erros dos dois MDEs, resultando em uma incerteza de 21,98 para a coordenada z. Como mencionado, o *software* oferece diferentes técnicas para determinar o valor de erro (Abellán et al., 2014). Duo et al. (2021) utilizaram dois MDS obtidos por ARP, e a incerteza do DoD foi calculada também com base no Limite de Detecção (LoD), variando o limiar para comparação. Os resultados mostraram que, quanto maior o limiar, algumas informações sobre o relevo podem ser perdidas. No entanto, é destacado que o

valor para o LoD deve ser superior à propagação de erros do DEM, o que justifica a relevância dos resultados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho propôs uma abordagem para a quantificação das modificações geomórficas. As limitações surgiram devido à comparação entre Modelos Digitais de Elevação com diferentes resoluções, o que tende a aumentar a margem de erro se não for analisado de maneira criteriosa. No entanto, isso não impediu a obtenção de dados precisos e relevantes. Portanto, a metodologia utilizada foi bem-sucedida na análise proposta para estudos geomórficos em falésias. Espera-se que futuras pesquisas estabeleçam critérios mais rigorosos, tornando os dados cada vez mais próximos da realidade. Por fim, ressalta-se a importância da análise de detecção geomórfica para uma melhor gestão das falésias marinhas, considerando que os movimentos de massa podem criar áreas de risco para os turistas e moradores.

Palavras-chave: Difference of Detection; Modelo Digital de Elevação, Erosão costeira, Sensoriamento remoto, Drone.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO/UECE) pelo apoio de infraestrutura. A Fundação Cearense de Apoio e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo financiamento dos projetos nº: PS1-00186-00333.01.00/21 e PVS-0215-00011.01.00/23. E agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão das bolsas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

ABELLÁN, Antonio et al. Terrestrial laser scanning of rock slope instabilities. **Earth surface processes and landforms**, v. 39, n. 1, p. 80-97, 2014.

ANDRESEN, Christian G.; SCHULTZ-FELLENZ, Emily S. Change Detection Applications in the Earth Sciences Using UAS-Based Sensing: A Review and Future Opportunities. **Drones**, v. 7, n. 4, p. 258, 2023.

CASELLA, Elisa et al. Accuracy of sand beach topography surveying by drones and photogrammetry. **Geo-Marine Letters**, v. 40, p. 255-268, 2020.

COOK, Kristen L. An evaluation of the effectiveness of low-cost UAVs and structure from motion for geomorphic change detection. **Geomorphology**, v. 278, p. 195-208, 2017.

DE MAGALHÃES, Danilo Marques et al. Uso de drones como suporte ao planejamento territorial: da coleta de dados à geovisualização. 2021.

DUO, Enrico et al. Uncertainty of drone-derived dems and significance of detected morphodynamics in artificially scraped dunes. **Remote Sensing**, v. 13, n. 9, p. 1823, 2021.

JABOYEDOFF, Michel et al. Use of LIDAR in landslide investigations: a review. **Natural hazards**, v. 61, p. 5-28, 2012.

JAMES, L. Allan et al. Geomorphic change detection using historic maps and DEM differencing: The temporal dimension of geospatial analysis. **Geomorphology**, v. 137, n. 1, p. 181-198, 2012.

Leisner, Melvin Moura. Morfodinâmica de falésias ativas e riscos costeiros no litoral de Caucaia-Ce. 2023. 141 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico ou Profissional em 2023) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <http://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=109238> Acesso em: 6 de agosto de 2024

LIM, Michael et al. Combined digital photogrammetry and time-of-flight laser scanning for monitoring cliff evolution. **The Photogrammetric Record**, v. 20, n. 110, p. 109-129, 2005.

NWILAG, Bariledum D.; EYOH, Aniekan E.; NDEHEDEHE, Christopher E. Digital topographic mapping and modelling using low altitude unmanned aerial vehicle. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 9, n. 2, p. 1463-1476, 2023.

SILVA, Rhaiane Rodrigues da. Evolução e vulnerabilidade das falésias na costa leste do Ceará-Nordeste do Brasil. 2021. 159 f. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Reestruturação e Atualização do Mapeamento do Projeto Zoneamento Ecológico-Econômico do Ceará – Zona Costeira e Unidades de Conservação Costeiras: Relatório Final de Caracterização Ambiental e dos Mapeamentos. Fortaleza: Semace, 2016. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/46/2016/12/RELAT%C3%93RIO-CARACTERIZA%C3%87%C3%83O-AMBIENTAL-E-DOS-MAPEAMENTOS.pdf>

WHEATON, Joseph M. et al. Accounting for uncertainty in DEMs from repeat topographic surveys: improved sediment budgets. **Earth surface processes and landforms: the journal of the British Geomorphological Research Group**, v. 35, n. 2, p. 136-156, 2010.