

USO DE CÂMERAS DE VÍDEO NO MONITORAMENTO DE ENCOSTAS NO GUARUJÁ (SERRA DO MAR): AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE E RESULTADOS PARCIAIS

Mateus Hcristos LEPTOKARYDIS¹; Ana Elisa Silva de ABREU ²

Resumo – Este trabalho aborda a utilização de câmeras de vídeo de baixo custo, em conjunto com algoritmos de visão computacional, para monitoramento de encostas em região costeira de relevo acentuado no município do Guarujá (SP). A área em estudo apresenta histórico de deslizamentos e conta, além das câmeras, com instrumentação geotécnica convencional (TDRs, tensiômetros e inclinômetros). A proposta de inclusão de alvos visuais (bolinhas de tênis de mesa em hastes plásticas) visa possibilitar a identificação de deslocamentos sutis na superfície do solo, fornecendo pontos de referência claros para análise das imagens. Apesar de os testes iniciais terem evidenciado limitações na captura de dados sob chuva intensa ou iluminação insuficiente/excessiva, observa-se que, em condições adequadas de luminosidade, o contraste das cores escolhidas favorece a detecção dos marcadores. A extração manual das gravações e a falta de um monitoramento remoto imediato ainda dificultam uma resposta rápida em situações de risco, mas a abordagem proposta demonstra potencial para aprimorar o acompanhamento das etapas iniciais de movimentação da encosta.

Abstract – This work addresses the use of low-cost video cameras, combined with computer vision algorithms, to monitor slopes in a coastal region with steep terrain in the city of Guarujá (SP). The study area has a history of landslides and, in addition to the cameras, is equipped with conventional geotechnical instrumentation (TDRs, tensiometers, and inclinometers). The proposal to include visual targets (table tennis balls on plastic rods) aims to enable the identification of subtle displacements on the soil surface, providing clear reference points for image analysis. Although initial tests have revealed limitations in data capture under heavy rainfall or insufficient/excessive lighting, it was observed that, under suitable illumination conditions, the chosen color contrast favors marker detection. Manual retrieval of recordings and the lack of immediate remote monitoring still impede a rapid response in risk situations, but the proposed approach shows potential for enhancing the tracking of the early stages of slope instability.

Palavras-Chave – Monitoramento de encostas; Serra do Mar; Câmeras de Vídeo

¹ Geól., Universidade Estadual de Campinas, (11) 9.9779-4539, hcristosm@gmail.com

² Eng. Geól. PhD, Universidade Estadual de Campinas, aeabreu@unicamp.br

1. INTRODUÇÃO

Deslizamentos de encostas figuram entre os processos geomorfológicos mais relevantes quando se trata de riscos naturais em regiões tropicais e subtropicais, como o litoral brasileiro (Fernandes et al., 2001). Caracterizam-se pela movimentação de massas de solo e/ou rocha, podendo causar prejuízos econômicos, danos ambientais e sociais. Fatores como clima úmido, relevo íngreme e intervenções antrópicas intensificam a suscetibilidade das encostas, tornando a prevenção e o monitoramento temas centrais em estudos voltados para a gestão de riscos (Wang et al., 2023).

No estado de São Paulo, em especial na Serra do Mar, episódios de deslizamento são frequentes, justificando iniciativas de pesquisa e monitoramento em diversas encostas. Uma dessas encostas situa-se em um condomínio no município do Guarujá, onde há histórico de escorregamentos anteriores, fato que motivou a instalação de diferentes instrumentos em um projeto encabeçado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Atualmente, a área encontra-se em processo de recuperação de mata atlântica e apresenta relevo íngreme, com clima úmido típico da região costeira do Sudeste brasileiro.

A instrumentação na encosta inclui seis TDRs, seis tensiômetros, dois inclinômetros e dois poços de monitoramento do nível d'água montados em pontos estratégicos para avaliar parâmetros-chave, como teor de umidade do solo, variações de sucção e deslocamentos em profundidade. Embora tais instrumentos tragam informações valiosas, sua instalação e manutenção em campo são onerosas e complexas, exigindo mão de obra especializada e logística robusta, sobretudo em ambientes de mata densa e relevo acidentado. Nesse cenário, surge a proposta de empregar câmeras de vídeo de baixo custo, em conjunto com algoritmos de visão computacional, como alternativa ou complemento a métodos tradicionais (Akca, 2013).

Diante desse contexto, o objetivo central da pesquisa é avaliar a viabilidade do uso de câmeras de baixo custo e algoritmos de visão computacional no monitoramento de encostas íngremes e úmidas, típicas do litoral sudeste brasileiro. Busca-se, assim, contribuir para o desenvolvimento de metodologias mais acessíveis e funcionais, que possam ser replicadas em outras áreas suscetíveis a movimentos de massa, auxiliando na compreensão dos fatores de desencadeamento e na elaboração de medidas de mitigação e alerta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Localização da área de estudo

A área em análise encontra-se dentro de um condomínio no bairro Cidade Jardim Tom, no município do Guarujá. Trata-se de uma vertente de um relevo típico da Serra do Mar. O histórico de escorregamentos superficiais nesse local é reconhecido pelos órgãos de defesa civil, sobretudo em períodos de chuvas concentradas no verão, quando o solo atinge elevados níveis de saturação. As coordenadas aproximadas são UTM, Z23S: 376.722E e 7.353.271S. A Figura 1 apresenta o mapa de localização, evidenciando a posição dentro do condomínio e em relação às residências.

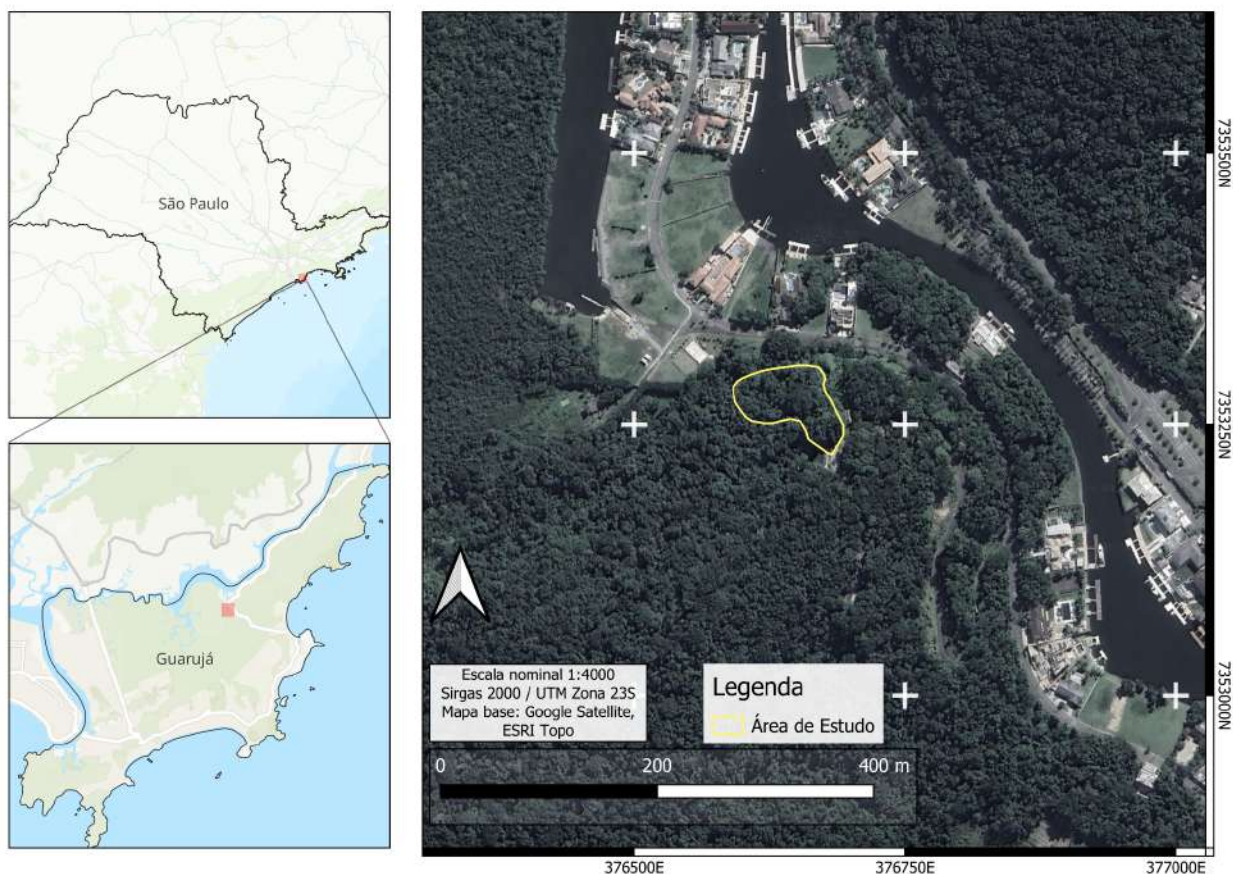


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo

2.2. Caracterização geológica da encosta estudada

Estudos geofísicos realizados na encosta onde é realizado o presente trabalho, destacam o predomínio de rochas de caráter ígneo e metamórfico na porção subsuperficial, recobertas por um solo residual espesso e heterogêneo (SANTOS et al., 2024). Esses litotipos, tipicamente relacionados à Faixa Ribeira, exibem alto grau de fraturamento e intenso intemperismo, refletindo-se em um regolito silto-argiloso com variações significativas de granulometria. As investigações de resistividade elétrica e sísmica de refração sugerem a presença de zonas de baixa velocidade sísmica e baixa resistividade em setores críticos, provavelmente associadas a altos teores de umidade e a camadas de solo pouco consolidadas (SANTOS et al., 2024).

Tais características tornam a encosta particularmente suscetível a processos de instabilização, uma vez que a combinação de elevadas taxas pluviométricas, relevo acentuado e forte intemperismo tende a produzir perfis de morros suscetíveis a movimentos de massa. Durante períodos de precipitação intensa, o acúmulo de água em camadas mais argilosas ou mesmo em bolsões entre blocos de rocha pode induzir a redução da resistência ao cisalhamento, favorecendo movimentos translacionais nas encostas localizadas sob estas condições.

2.3. Videomonitoramento

No presente estudo, estão sendo utilizadas quatro câmeras Intelbras modelo “*Bullet*” (VHD 1120 B Full Color, resolução 720p, sensor 1/3" e lente de 2,8mm), conectadas a um DVR (MHDX 1204 AM, compressão de vídeo H.265+). Essas câmeras estão distribuídas em duas regiões da encosta, uma parte superior e outra inferior, aproximadamente 30 metros distantes entre si. Elas distam cerca de 3 metros da encosta monitorada. A instalação priorizou a maior cobertura visual possível das áreas da encosta em que se espera que ocorra movimentação, com ângulos inclinados para baixo, a fim de capturar potenciais movimentações na maior abrangência espacial

possível. A coleta de dados ocorre de forma contínua, armazenada em um HDD dedicado ao sistema de CFTV, e a extração para análise é feita manualmente acessando o DVR localizado instalado junto com os sensores, conforme ilustram as figuras 2a e 2b. O método de identificação e rastreamento dos alvos ainda está em aperfeiçoamento, sobretudo no que diz respeito à aplicação de algoritmos de visão computacional para detecção automática de marcadores.



Figura 2 - Equipamento DVR em operação, a) Organização e DVR operacional após instalação, inserido em uma caixa de proteção localizada na encosta; b) visualização da operação dos quatro sensores.

2.4. Tratamento das imagens

A rotina de tratamento das imagens provenientes das quatro câmeras instaladas inicia-se pela transferência manual dos arquivos em formato .mp4 para um computador local, em intervalos que variam de duas a quatro semanas. Após essa etapa, os arquivos são enviados para o serviço de armazenamento em nuvem *Google Drive* e, em seguida, processados na plataforma *Google Colab*, onde se executam rotinas em *Python 3* que manipulam os quadros (frames) extraídos dos vídeos.

2.4.1. Lógica de programação

Num primeiro momento, foram testados algoritmos de identificação de geometrias de cantos, como Shi-Tomasi e Harris Corner Detector (BRADSKI, 2000). Ambos (HARRIS e STEPHENS, 1988; SHI e TOMASI, 1994) são métodos amplamente utilizados em visão computacional para identificar pontos de interesse em imagens. Neste trabalho, tais algoritmos foram empregados por meio das implementações disponíveis na biblioteca OpenCV (cv2), uma biblioteca de código aberto amplamente utilizada para aplicações de visão computacional. O objetivo era identificar automaticamente pontos de referência na encosta e acompanhar mudanças graduais ao longo do tempo. A estratégia consistia em executar uma rotina feita com base na

biblioteca cv2, que tinha a capacidade de identificar e rastrear sua posição ao longo do tempo em capturas de vídeo, assim, gerando uma estimativa de deslocamento superficial.

No entanto, durante a fase inicial de operação, observou-se que o ambiente real de uma encosta vegetada impõe desafios significativos a esse tipo de abordagem automatizada. Além de variações bruscas de iluminação (devido a períodos de sol direto, sombra ou mesmo passagem de nuvens), notou-se que elementos como movimentos de vegetação (arbustos, troncos e folhas ao chão) sob influência de ventos fortes frequentemente geram falsos positivos ou confusões para o algoritmo de corner detection. Em certos casos, a mudança de ângulo de incidência da luz ao longo do dia também altera o contraste e obscurece potenciais pontos de interesse no solo, extinguindo a possibilidade de rastreamento de geometrias da superfície de forma independente e semi-automatizada.

Em resposta a esses problemas, optou-se por instalar alvos físicos (bolinhas de tênis de mesa em hastes plásticas) para fornecer marcadores claros em termos de cor, contraste e posição. A adoção desses alvos físicos visa fornecer referências visuais mais nítidas e controladas, facilitando a aplicação de algoritmos de rastreamento.

2.5. Instalação de Alvos para Referência Visual

Visando facilitar a identificação e a quantificação de possíveis deslocamentos na superfície do solo, foram instalados, alvos compostos por bolinhas de tênis de mesa presas em hastes plásticas (normalmente utilizadas para sustentar balões em festas). As bolinhas apresentam duas cores distintas (laranja e branca), de forma a melhorar a visibilidade em diferentes condições de luminosidade (figuras 3a e 3b). A escolha das bolinhas de tênis de mesa se deu em função de seu custo reduzido, leveza e uniformidade de formato, o que facilita o reconhecimento por algoritmos de visão computacional. Cada haste foi fincada manualmente no solo em um formato de grade em dois pontos da encosta, mantendo-se um espaçamento de aproximadamente 10 cm entre cada uma. O objetivo é que esses alvos sirvam como marcadores fixos nas imagens capturadas pelas câmeras, fornecendo um padrão de referência para medir deslocamentos horizontais ou mudanças de profundidade aparentes.



Figura 3 - Posicionamento dos alvos em formato de grade, a) alvos localizados na parte inferior do talude próximo a um tubo de inclinômetro; b) alvos localizados na parte superior do talude, próximo à base de um poço.

Como a instalação ocorreu recentemente, não há ainda uma série histórica extensa de observações dos alvos. Entretanto, a expectativa é que a presença desses pontos de referência melhore a confiabilidade das medições visuais, especialmente em setores onde a vegetação ou as variações de iluminação dificultam a identificação de feições naturais do terreno.

3. RESULTADOS PARCIAIS E DISCUSSÕES

3.1. Sistema de videomonitoramento

Durante a fase inicial de operação do sistema, observou-se que o ambiente real de uma encosta vegetada impõe desafios significativos a esse tipo de abordagem automatizada. Além de variações bruscas de iluminação (devido a períodos de sol direto, sombra ou mesmo passagem de nuvens), notou-se que elementos como movimentos de vegetação (arbustos, troncos e folhas ao chão) sob influência de ventos fortes frequentemente geram falsos positivos ou confusões para o algoritmo de corner detection. Em certos casos, a mudança de ângulo de incidência da luz ao longo do dia também altera o contraste e obscurece potenciais pontos de interesse no solo, extinguindo a possibilidade de rastreamento de geometrias da superfície de forma independente e semi-automatizada.

Em resposta a esses problemas, optou-se por instalar alvos físicos (bolinhas de tênis de mesa em hastes plásticas) para fornecer marcadores claros em termos de cor, contraste e posição. A ideia é que, com esses alvos, os algoritmos de visão computacional disponham de referências mais nítidas, tornando possível a detecção e o rastreamento de deslocamentos de forma mais robusta.

A fase atual do estudo concentra-se na consolidação de uma rotina de coleta de imagens com base nos marcadores de referência. Ainda não se realizou o processamento minucioso das imagens por novas rotinas de visão computacional, mas a observação das imagens sugere que:

- chuvas prejudicam radicalmente a nitidez e inviabilizam a identificação de deformações de pequena ou mesmo grande magnitude;
- ao fim de períodos de precipitação, as imagens retomam melhor qualidade, e há indícios de que alterações graduais na vegetação ou na coloração do solo podem ser registradas, especialmente em trechos de solo nu;
- a frequência semanal de coleta de vídeos aparece como uma escolha mais favorável para se detectar variações lentas, evitando o excesso de registros irrelevantes em intervalos curtos;
- a adoção das bolinhas de tênis de mesa como alvos de referência já demonstrou aspectos práticos relevantes. Em dias de boa luminosidade, as cores contrastantes (laranja e branca) são facilmente reconhecidas. Contudo, em períodos de chuva intensa ou em condições de iluminação muito reduzida (como chuvas noturnas) ou muito intensa (períodos de luz direta do sol nos alvos), a visibilidade dos alvos ainda fica comprometida, exigindo posterior correção de brilho e contraste nas imagens, o que afeta o funcionamento automatizado de uma rotina de identificação e rastreamento dos alvos.

3.2. Limitações enfrentadas e Perspectivas Futuras

A alimentação elétrica do sistema é fornecida por uma conexão convencional, e o armazenamento ocorre em um DVR (Digital Video Recorder) próximo às encostas. Como não há acesso remoto, o registro é contínuo, mas a extração de dados depende da presença física do responsável pela pesquisa, que visita o local periodicamente para fazer o download das

gravações. Outra limitação é a dificuldade em se estabelecer um algoritmo que funcione do mesmo modo em todas as condições climáticas observadas nas gravações.

Em paralelo ao uso dos alvos físicos, pretende-se aprimorar as rotinas de processamento de imagem. Entre as possíveis melhorias, incluem-se a implementação de técnicas de subtração de fundo (background subtraction) para filtrar a vegetação em movimento, e/ou redução do campo de visão das imagens, estabelecendo a área de visada apenas nos alvos. Também está sendo levado em consideração a aplicação de métodos de correção de brilho/contraste para verificação se perda de informação em condições de chuva intensa ou forte insolação ainda são notadas. A expectativa é que a combinação de marcadores físicos e rotinas mais adaptadas às variações de condições climáticas em campo possa fornecer uma análise sistemática dos deslocamentos superficiais ao longo do tempo, com vistas à detecção precoce de indícios de instabilização.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados que estão sendo obtidos no presente estudo demonstram que a adoção de câmeras de vídeo em conjunto com alvos visuais (bolinhas de tênis de mesa) podem ser um método alternativo para se monitorar pontos fixos em uma encosta. A adoção do uso de alvos foi, dentre outros fatores, fomentada pela dificuldade de se automatizar processos de monitoramento de imagens com base em algoritmos

Entre os principais desafios observados, destacam-se a manutenção dos equipamentos em campo, a garantia de alimentação elétrica constante, a proteção contra intempéries e a gestão do grande volume de dados gerados. Esses fatores evidenciam que o uso de técnicas de monitoramento por vídeo, ainda que de baixo custo em comparação a outros métodos, não está isento de dificuldades práticas. Não obstante, o potencial de captura visual dos estágios iniciais de uma movimentação na encosta, aliado à possibilidade de correlação com medições de TDR e tensiômetros, reforça a utilidade de sistemas de vídeo como uma abordagem híbrida.

Ainda assim, os desafios são numerosos, indo desde a perda de visibilidade em chuvas fortes e períodos noturnos até a dificuldade de manter equipamentos em um ambiente hostil, com umidade elevada e relevo acidentado. A ausência de acesso remoto ao sistema de gravação prolonga o intervalo necessário para analisar situações críticas, e a extração manual de grandes volumes de dados impõe uma rotina de trabalho exigente e suscetível a falhas operacionais.

As experiências registradas até agora sugerem a necessidade de aperfeiçoar a iluminação em períodos críticos e de adotar rotinas de processamento de imagem mais robustas, especialmente sob chuva forte ou luminosidade excessiva. Espera-se que, ao refinar esses pontos e correlacionar as observações visuais com parâmetros de umidade, sucção e deslocamentos em profundidade, o monitoramento por câmeras venha a oferecer um quadro mais abrangente e acessível do risco de deslizamentos, contribuindo para ações preventivas mais eficazes em regiões semelhantes.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são direcionados à equipe do IPT pelo suporte técnico e científico no projeto de instrumentação da encosta. Aos órgãos de fomento que viabilizaram a aquisição dos equipamentos de videomonitoramento, a instalação dos instrumentos tradicionais e a investigação da encosta, a saber: Fundo de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão da Unicamp (Faepex Convênio 519.287 correntista 2457/23). Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (chamada CNPq/MCTI/FNDCT Nº 18/2021 – universal faixa a - 405565/2021-6), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (processo número: 2017/50343-2). MHL agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível

Superior pelo apoio financeiro concedido para o desenvolvimento de seu mestrado. Reconhece-se ainda a colaboração dos responsáveis pelo condomínio, que permitem o acesso contínuo e instalação dos dispositivos, e de todos os profissionais que trabalham na manutenção dos sensores e na coleta periódica de dados em campo.

REFERÊNCIAS

AKCA, D. Photogrammetry and computer vision: an integral approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 76, p. 2–10, 2013.

BRADSKI, G. The OpenCV Library. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, 2000. Disponível em: <https://opencv.org/about/>. Acesso em: 9 abr. 2025.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.

HARRIS, C.; STEPHENS, M. A combined corner and edge detector. In: *ALVEY VISION CONFERENCE*, 4., 1988, Manchester, Reino Unido. Anais. Manchester: Alvey Vision Club, 1988. p. 147–151.

SANTOS, C. J.; PICANÇO, J. de L.; GANDOLFO, O. C. B.; STANGARI, M. C.; SANTO, J. V.; LÄMMLE, L. Tomografia de resistividade elétrica e sísmica de refração na avaliação de encostas: o caso da Encosta do Mirante, Guarujá-São Paulo. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 10, n. 1, p. 178–196, 2024.

SHI, J.; TOMASI, C. Good features to track. In: *IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR)*, 1994, Seattle, EUA. Anais. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 1994. p. 593–600.

WANG, H.; LI, J.; CHEN, X.; ZHANG, T. Slope stability monitoring using automated digital imaging: recent advances and future directions. *Landslides & Geotechnics*, v. 17, n. 1, p. 45–62, 2023.