



Monitoramento geotécnico remoto e automatizado: um projeto piloto em áreas de risco em encostas

André Silva

Measurand, São Paulo, SP, Brasil, andre.silva@measurand.com

Denis Suzuki

MMF Projetos, São Paulo, SP, Brasil, denis.suzuki@mmfprojetos.com.br

Luciano Machado

MMF Projetos, São Paulo, SP, Brasil, luciano.machado@mmfprojetos.com.br

Ricardo Mirisola

MMF Projetos, São Paulo, SP, Brasil, ricardo.mirisola@mmfprojetos.com.br

RESUMO: Este artigo técnico apresenta os resultados de um projeto piloto de monitoramento geotécnico de áreas de risco em encostas. O objetivo principal foi desenvolver uma metodologia de monitoramento em tempo real capaz de identificar precocemente possíveis instabilidades geotécnicas em encostas e, assim, permitir a tomada de decisões preventivas para mitigar os riscos associados. O projeto piloto foi aplicado em uma área de risco de escorregamento de terra em uma encosta urbana localizada em uma cidade do estado de São Paulo, Brasil. Foram utilizados instrumentos de monitoramento geotécnico, incluindo inclinômetros automatizados do tipo ShapeArray, piezômetros, extensômetros, tiltmeters, crackmeters e Estação Total Robotizada (ETR), que foram conectados a uma plataforma de coleta e análise de dados em tempo real. A metodologia pode ser aplicada em outras áreas de risco em encostas, contribuindo para a redução dos riscos geotécnicos e para a segurança das comunidades.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento geotécnico, monitoramento automatizado, instrumentação geotécnica.

ABSTRACT: This technical article presents the results of a pilot project for geotechnical monitoring in risk-prone hillside areas. The main objective was to develop a real-time monitoring methodology capable of early identification of potential geotechnical instabilities on slopes, thus enabling proactive decision-making to mitigate associated risks. The pilot project was implemented in a landslide-prone area on an urban hillside located in a city in the state of São Paulo, Brazil. Geotechnical monitoring instruments were employed, including automated ShapeArray inclinometers, piezometers, extensometers, tiltmeters, crackmeters, and Robotic Total Station (RTS), all connected to a real-time data collection and analysis platform. The methodology can be applied in other risk-prone hillside areas, contributing to the reduction of geotechnical risks and the safety of communities.

KEYWORDS: Geotechnical monitoring, automated monitoring, geotechnical instrumentation.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





1. Introdução

Áreas de alta declividade (encostas) com risco de desmoronamento ou deslizamento de terra fazem parte do relevo brasileiro. Devido à falta de políticas habitacionais associado ao crescimento das cidades, tais áreas tornaram-se amplamente povoadas em todo o território nacional, com destaque para as regiões sul e sudeste do país. A cada verão as intensas chuvas somadas com ações antrópicas provocam deslizamentos de terra em todo o mundo, segundo dados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (2022), constatou-se que no Brasil, entre os anos de 1988 e 2021 ocorreram cerca de 4 mil mortes envolvendo deslizamento de terra.

Os padrões de chuva possuem influência significativa no desencadeamento de deslizamentos de terra, tanto grandes quanto pequenos. Se tratando de grandes deslizamentos, porém, o colapso tende a ocorrer em escalas de tempos mais longas do que a duração pontual do evento de chuva (McColl, 2015). Em contrapartida, os deslizamentos de terra pequenos e médios tendem a ocorrer com maior frequência. No entanto, felizmente, devido ao número relativamente pequeno de vítimas humanas, deslizamentos menores e seus efeitos são comumente ocultados de análises estatísticas e raramente aparecem em manchetes na mídia (Bowman E., 2015). Mesmo com a baixa repercussão, isso não significa que os impactos sociais gerados por deslizamentos de terra menores não sejam sentidos, Bowman E. (2015) destaca que os impactos sociais estão concentrados no setor da infraestrutura civil e urbana, onde os hábitos diários das pessoas e seus negócios são interrompidos pelo fechamento temporário de vias de transporte ou danos a serviços de energia e água.

Com os crescentes avanços tecnológicos, a engenharia civil, já dispõe de processos e métodos capazes de prevenir e mitigar tais acontecimentos. O monitoramento geotécnico remoto é uma ferramenta fundamental nos mais diversos processos analíticos, construtivos e preventivos, utilizando para isso instrumentos altamente tecnológicos que possibilitam monitorar os parâmetros de interesse. Tal tecnologia associada à uma estratégia de mitigação eficiente, juntamente com boas práticas de gerenciamento possibilitará maior conforto e segurança aos habitantes de áreas de risco de deslizamentos de terra.

2. Objetivo

O objetivo principal do projeto de monitoramento remoto com alertas de deslizamento de terra é estabelecer um sistema eficaz de previsão e alerta antecipado em áreas de vulnerabilidade, visando principalmente a preservação da vida da população. O projeto busca utilizar tecnologias de monitoramento em tempo real, incluindo inclinômetros automatizados do tipo ShapeArray, piezômetros, extensômetros, tiltmeters, crackmeters e Estação Total Robotizada (ETR), que foram conectados a uma plataforma de coleta e análise de dados em tempo real. Ao identificar essas condições críticas, o sistema emitirá alertas precisos e rápidos para as comunidades em risco, permitindo que medidas preventivas sejam tomadas a tempo. Com base nas informações obtidas por meio do monitoramento contínuo do solo, das condições meteorológicas e de outros fatores geotécnicos, o projeto fornecerá alertas confiáveis e antecipados, permitindo que as autoridades locais e a população tomem ações imediatas para garantir a segurança de todos os moradores em áreas vulneráveis a deslizamentos de terra. O objetivo final é reduzir os riscos associados a desastres naturais, minimizando o impacto de deslizamentos de terra e protegendo a infraestrutura civil e urbana e principalmente as vidas humanas.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



3. Projeto piloto

3.1. Localização do projeto

Campos do Jordão, município localizado no estado de São Paulo, Brasil, tem um histórico de deslizamentos de terra associados principalmente às suas características geológicas e climáticas. Devido à topografia acidentada da região e à predominância de solos argilosos e silto arenosos, a área está suscetível a movimentos de massa, especialmente durante períodos de chuvas intensas. Tendo isso estabelecido, o projeto piloto foi implantado na Vila Santo Antônio, localizada na região sudoeste de Campos do Jordão conforme visualizado na (Figura 1).

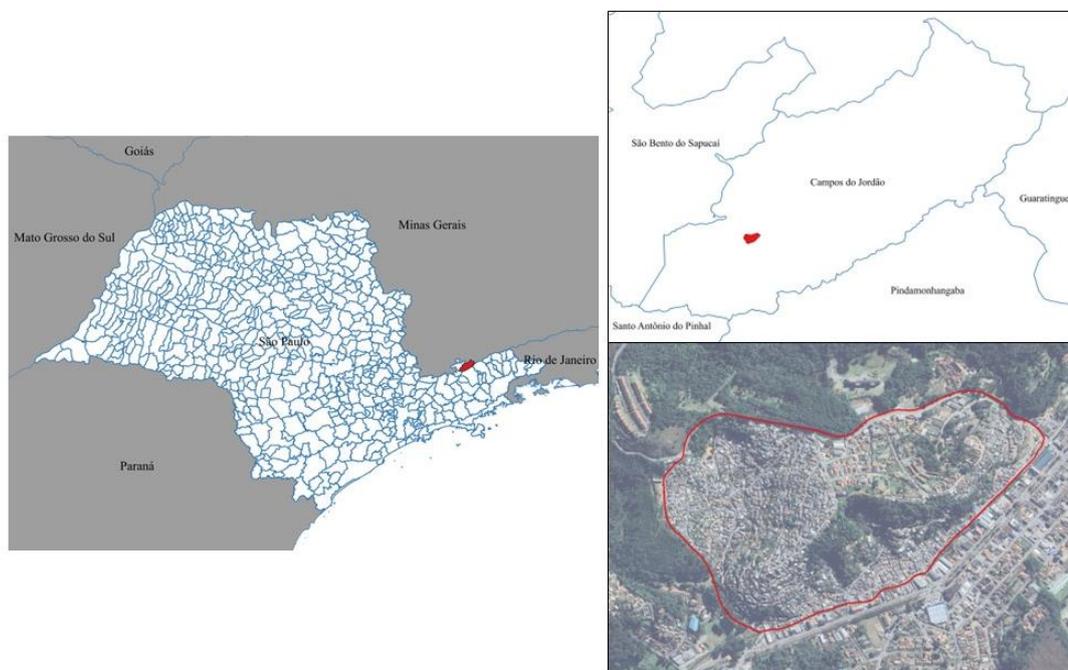


Figura 1. Localização Projeto Piloto – Fonte: Autor

3.2. Análise de risco

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) detalha o grau de suscetibilidade a movimentos de massa em áreas edificadas de Campos do Jordão, considerando características geológicas e geomorfológicas que influenciam a predisposição a deslizamentos, quedas de rocha e rastejos. A classificação em diferentes graus de suscetibilidade permite a identificação de áreas de maior preocupação e direciona as estratégias de monitoramento e mitigação, visando à preservação da segurança da população e da infraestrutura local.

A Vila Santo Antônio abrange uma área total de aproximadamente 59 hectares. Em relação à suscetibilidade a deslizamentos de terra, essa área apresenta a presença dos três distintos graus de suscetibilidade já descritos anteriormente, a saber, suscetibilidade alta, média e baixa.

Contudo, destaca-se que a suscetibilidade alta e média merece especial atenção devido à sua significativa importância em termos de potencial risco. Isso se deve ao fato de que a porção da região classificada com suscetibilidade alta e média abranger uma grande parte da população

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





vulnerável (Figura 2). Essa concentração populacional em uma área considerada altamente suscetível a deslizamentos torna-se motivo de séria preocupação em relação à segurança e à preservação da vida e propriedades dos residentes.



Figura 2. Grau de suscetibilidade Vila Santo Antônio – Fonte: Autor

3.3. Estudos geotécnicos

Os estudos geotécnicos e de implantação foram conduzidos na área identificada como possuindo o maior potencial de risco em relação aos movimentos de massa. Essa área foi caracterizada com grau de risco alto e submetida a uma análise detalhada para compreender suas condições geotécnicas e determinar as características críticas do terreno. Contendo variações altimétricas significativas ao longo de seu percurso, a seção de estudos possui cota mínima registrada de 1611,58 metros, enquanto a cota máxima atinge 1707,24 metros (Figura 3).

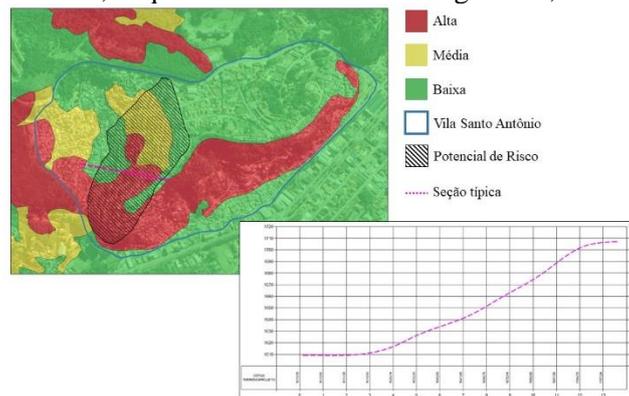


Figura 3. Seção Típica – Fonte: Autor

Foram conduzidas cinco investigações do solo utilizando o método de sondagem a percussão (SPT) conforme a Tabela 1. Posteriormente, como parte dos estudos geotécnicos, foram realizados três ensaios de permeabilidade do solo, cujo resultados indicaram alta capacidade de passagem de água.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



SONDAGEM	PROFUNDIDADE (m)
SP-01	12,03
SP-02	11,05
SP-03	8,45
SP-04	10,30
SP-05	9,95

Tabela 1. Profundidade das sondagens a percussão – Fonte: Autor

3.4. Programa de monitoramento

Com base nos resultados dos estudos e ensaios realizados, foi implantado um programa de monitoramento geotécnico remoto altamente tecnológico. O programa de monitoramento inclui a instalação de 27 instrumentos (Figura 4), sendo:

- dois inclinômetros automatizados do tipo Shape Array
- sete piezômetros elétricos corda vibrante
- dois extensômetros in-line
- dois tiltmeters biaxiais
- quatro crackmeters, e
- dez prismas refletivos.

Uma Estação Total Robotizada (ETR) foi estrategicamente implantada a fim de monitorar os prismas refletivos. Todos os dados coletados pelos instrumentos são transmitidos para uma plataforma de coleta e análise de dados em tempo real. Essa plataforma permite o monitoramento contínuo das condições geotécnica da área, a detecção precoce de tendências anormais e a geração de alertar em caso de situações críticas.

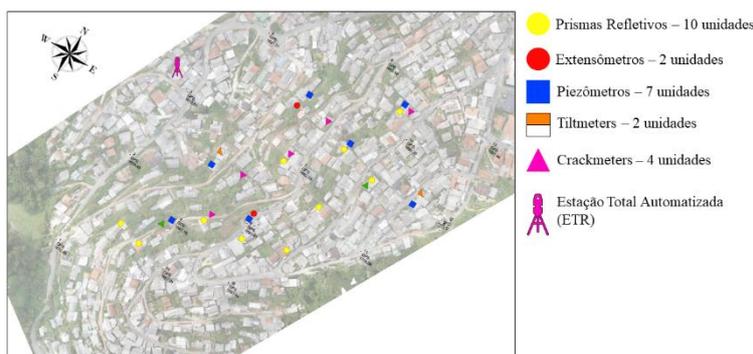


Figura 4. Localização da instrumentação geotécnica implantada – Fonte: Autor

4. Caracterização da instrumentação geotécnica aplicada

Toda a instrumentação implantada no projeto piloto, inclinômetros automatizados tipo Shape Array, piezômetros, extensômetros, tiltmeters, crackmeters e prismas refletivos, estão conectados a uma plataforma de monitoramento remoto. Essa plataforma foi desenvolvida para possibilitar o acompanhamento contínuo e em tempo real das informações coletadas pelos diversos sensores. Através dessa abordagem tecnológica integrada, os dados provenientes dos

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



instrumentos de medição são transmitidos de forma instantânea para a plataforma, onde são processados e apresentados de maneira compreensível e acessível.

4.1. Shape Accel Array (SAA)

Trata-se de um equipamento eletrônico giroscópico e gravimétrico com tecnologia MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) para medição de deformações de estruturas podendo ser aplicados para detecção de deformações na vertical (recalque), horizontal (inclinações) e em arco (convergência), adequados para monitoramento em mineração, barragens, estradas, túneis, hidrelétricas e encostas. Composto por uma cadeia de segmentos de 250 e 500 milímetros de tubos rígidos unidos por juntas flexíveis que podem se deslocar em qualquer direção, cada segmento possui sensores do tipo MEMS (Figura 5).



Figura 5. Shape Accel Array – Fonte: Autor

A aplicação do Shape Array é essencial para o programa de monitoramento geotécnico remoto, permitindo a identificação antecipada de movimentações ou deformações que possam indicar o risco iminente de deslizamentos de terra, contribuindo significativamente para a segurança da população e a preservação das propriedades na área de estudo.

4.2. Piezômetro de corda vibrante

A utilização de piezômetros de corda vibrante (Figura 6) é de grande importância para o monitoramento da estabilidade das encostas pois fornece medidas de pressão de água e temperatura do solo. Os piezômetros foram instalados em diferentes profundidades fornecendo leituras de pressão de água e temperatura do solo a cada uma hora.

4.3. Extensômetro em linha de corda vibrante

Trata-se de um instrumento utilizado para determinar a estabilidade e o comportamento dos deslocamentos do solo em diferentes profundidades no furo.

A frequência de vibração do fio vibratório é proporcional à tensão no fio, que por sua vez está relacionada ao deslocamento do terreno. A variação na frequência é convertida em valores de deslocamento, proporcionando informações detalhadas sobre as mudanças na estabilidade do terreno ao longo do tempo.

4.4. Tiltmeters biaxiais

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



A utilização de tiltmeters biaxiais (Figura 6) foi adotada como uma ferramenta adicional para a avaliação contínua da estabilidade da encosta. Os tiltmeters são instrumentos geotécnicos sensíveis que medem pequenas inclinações ou mudanças angulares em dois eixos na superfície do solo ou em estruturas. No presente projeto os tiltmeters foram instalados em pontos críticos onde existem maior concentração populacional fornecendo leituras a cada uma hora.

4.5. Crackmeters

Os crackmeters (Figura 6) são dispositivos projetados para medir com precisão as aberturas ou fechamentos de fissuras ou rachaduras em estruturas e terrenos. No presente cenário, eles desempenham um papel crucial na detecção de movimentos sutis no solo, indicando a presença de tensões ou deformações que podem anteceder deslizamentos. Os crackmeters foram estrategicamente instalados em edificações críticas e fornecem leituras a cada uma hora. Sua presença permitirá monitorar continuamente quaisquer alterações nas fissuras, indicando possíveis movimentos ou instabilidades.



Piezômetro de Corda Vibrante



Crackmeter



Tiltmeter biaxial



Extensômetro in-line

Figura 6. Instrumentação geotécnica implantada – Fonte: Autor

4.6. Estação Total Automatizada (ETR)

Essa Estação Total Robotizada é projetada para realizar medições precisas de deslocamentos utilizando alvos (prismas) que são cadastrados previamente e monitorados em intervalos regulares. A estação total é programada com as coordenadas e características dos prismas a serem monitorados. Uma vez configurada, a estação total opera autonomamente, executando leituras automáticas dos prismas a cada dez minutos (Figura 7).

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





Figura 7. Implantação ETR e prismas – Fonte: Autor

A estação total robotizada captura as leituras dos prismas, registrando com alta precisão qualquer variação nas posições. A aplicação dessa tecnologia no projeto piloto da Vila Santo Antônio permite uma vigilância contínua e precisa das condições do terreno e das estruturas, identificando qualquer movimento ou deslocamento que possa indicar potenciais riscos de deslizamentos.

5. Plano de trabalho

Um plano de implantação abrangente foi desenvolvido a fim de atender todas as necessidades do projeto o que inclui estudos geotécnicos de campo e escritório, instalação da instrumentação e desenvolvimento da plataforma de monitoramento.

A análise de riscos é conduzida para identificar e avaliar qualitativamente e quantitativamente os riscos presentes nas áreas monitoradas. Isso envolve a avaliação de fatores geológicos, hidrogeológicos e ambientais que podem contribuir para a ocorrência de deslizamentos. Estudos geotécnicos detalhados são conduzidos para determinar as condições críticas do terreno. Essas informações fornecem parâmetros valiosos para o monitoramento e gerenciamento dos riscos. Sondagens a percussão (SPT) e ensaios são realizados para caracterizar o solo e suas propriedades geotécnicas.

Com base nas informações obtidas, as áreas monitoradas são reclassificadas de acordo com o grau de risco. São utilizadas categorias como urgente, alto, médio, baixo e muito baixo para priorizar as ações de monitoramento e mitigação. A partir da classificação das áreas, são identificados os locais onde as ações de monitoramento e mitigação devem ser aplicadas. Essa segmentação permite direcionar estratégias específicas para cada setor, maximizando a eficácia das medidas adotadas.

Conforme no fluxograma apresentado na Figura 9, o plano de trabalho demonstra a importância de uma abordagem abrangente para o monitoramento e gestão de riscos em áreas vulneráveis. Ao combinar análise de riscos, estudos geotécnicos, classificação de áreas e uso de tecnologias como a plataforma de monitoramento, é possível mitigar os riscos associados a deslizamentos de terra e preservar a segurança da população em locais vulneráveis.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



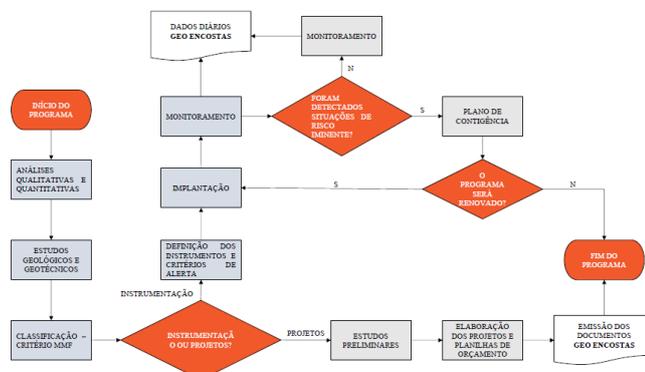


Figura 8. Fluxograma Programa de Mitigação – Fonte: Autor

6. Sistema de integração e visualização dos dados

A plataforma de monitoramento desempenha um papel fundamental na gestão da estabilidade da Vila Santo Antônio. Através da integração dos diversos instrumentos instalados no projeto piloto, a plataforma oferece um ambiente centralizado para coleta, processamento e análise de dados em tempo real (Figura 9).

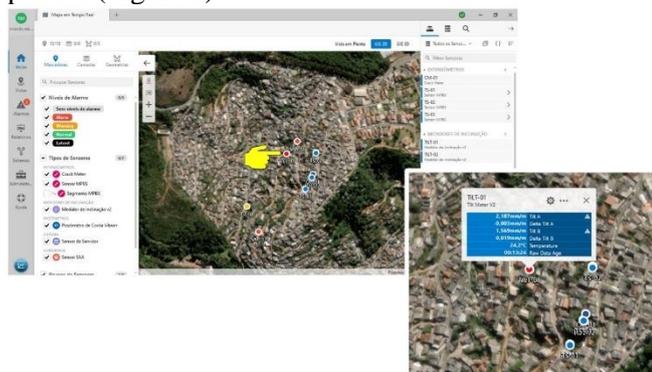


Figura 9. Interface Plataforma de monitoramento – Fonte: Autor

Os sensores capturam informações essenciais sobre a movimentação do solo, pressões hidrostáticas, deformações e outras variáveis críticas, que são transmitidas – conforme subtópico 4 – para a plataforma. Isso permite o acompanhamento contínuo das condições do terreno, detecção de tendências preocupantes, identificação de potenciais riscos e tomada de decisões proativas de mitigação. Além disso, a plataforma oferece ferramentas de visualização intuitivas, relatórios automatizados (Figura 10) e alertas em tempo real, permitindo uma abordagem preventiva e eficaz para garantir a segurança da população e das edificações na área.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



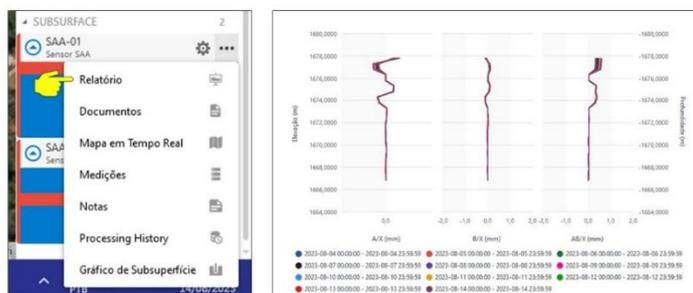


Figura 10. Plataforma de monitoramento, relatório Shape Array – Fonte: Autor

A integração dos diversos instrumentos de monitoramento apresenta uma vantagem significativa ao fornecer uma visão abrangente das condições geotécnicas na Vila Santo Antônio. Ao conectar múltiplos instrumentos em uma única plataforma de monitoramento, os dados coletados são combinados e analisados de maneira integrada. Isso permite uma compreensão mais completa das interações entre diferentes variáveis, oferecendo parâmetros valiosos sobre padrões de movimento, variações de pressão e deformações do solo.

7. Conclusão

O projeto piloto de monitoramento remoto e automatizado de encostas implantado na Vila Santo Antônio, Campos do Jordão, São Paulo, Brasil, demonstrou a capacidade de proporcionar maior segurança e conforto para a população que vive em áreas suscetíveis a deslizamentos de terra. A implantação de diversos instrumentos que são integrados a uma plataforma de monitoramento em tempo real permite o acompanhamento contínuo das condições do terreno, detecção de tendências preocupantes, identificação de potenciais riscos e tomada de decisões proativas de mitigação.

No entanto, a implementação desse sistema de monitoramento não está isenta de desafios. Um dos principais desafios é a complexidade da integração de múltiplos instrumentos, cada um com suas especificidades técnicas e características operacionais. A garantia da conectividade e transmissão de dados em tempo real também é um aspecto crítico, considerando a infraestrutura de comunicação na área. Além disso, como abordado anteriormente, a chuva é o principal agente deflagrador de deslizamentos de terra, logo, em períodos de estiagem, os dados coletados têm pouca ou nenhuma variação, dificultando a análise técnica.

Embora a implementação de um sistema de monitoramento geotécnico remoto proporcione inúmeras vantagens para a população em vulnerabilidade, enfrentar os desafios técnicos, operacionais e interpretativos é crucial para o sucesso e eficácia contínua desse sistema e assim criar um ambiente seguro e resiliente em áreas suscetíveis a deslizamentos de terra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MACEDO, Eduardo Soares de; SANDRE, Lucas Henrique. Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v.12, n.1, p.110-117, 2022.
- McCull, S. T. (2015). Landslide Hazard, Risks, and Disasters – Chapter 2: Landslide Causes and Triggers.
- Bowman, E.T., 2014. Small Landslides: Frequent, Costly, and Manageable. In: Davies, T.R.H.(Ed.), Landslide Hazard and Disasters. Elsevier, pp. 405 – 439.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.

