



Monitoramento Crítico Para Apoio em Buscas e Gestão de Tráfego em Rodovia Estadual em Bento Gonçalves/RS

Miessa Ferreira de Souza

Eng. Geotécnica, Vale S.A., Nova Lima, Brasil, miessa.souza@vale.com

Vitor Almeida Santos

Eng. Geotécnico, GroundProbe, Belo Horizonte, Brasil, vitor.almeida@groundprobe.com

Maria Clara Ribeiro Sodré

Eng. Geotécnico, GroundProbe, Belo Horizonte, Brasil, maria.clara@groundprobe.com

Juliana Ester Martins Moura

Eng. Geotécnica, Vale S.A., Nova Lima, Brasil, juliana.moura3@vale.com

Mônica Alvarez Pires

Geóloga, Vale S.A., Nova Lima, Brasil, monica.pires@vale.com

RESUMO: Em maio de 2024, o Brasil vivenciou uma das maiores tragédias climáticas da história. O acumulado das chuvas em eventos extremos desencadeou inúmeros movimentos de massa nas encostas da região serrana do Rio Grande do Sul. Quinze voluntários da área de geotecnia se deslocaram para o RS para oferecer suporte técnico, contribuindo com os desafios da cidade e arredores de Bento Gonçalves. Empresas parceiras, fornecedoras de serviços geotécnicos também se voluntariaram a apoiar a cidade, enviando técnicos e disponibilizando equipamento e tecnologia. Foram mobilizados radares terrestres e outros instrumentos para monitorar a movimentação do terreno e apoiar na avaliação do risco geológico-geotécnico. Este trabalho apresenta um estudo de caso específico de aplicação de um radar terrestre para o monitoramento crítico de uma área em Faria Lemos, susceptível à movimentação de massa, com o objetivo de assegurar a integridade da equipe de bombeiros nas buscas de desaparecidos, assim como permitir o tráfego de veículos na estrada de acesso ERS- 431.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento crítico, radar terrestre, controle de acesso

ABSTRACT: In May 2024, Brazil experienced one of the most severe climate-related disasters in its history. The accumulation of rainfall from extreme weather events triggered numerous failures on the slopes of the region of Rio Grande do Sul. Fifteen geotechnical volunteers traveled to the state to provide technical support, assisting with the challenges faced by the city and surrounding areas of Bento Gonçalves. Partners, providers of geotechnical services, also volunteered to support the city by sending technicians and providing equipment and technology. Ground-based radars and other instruments were deployed to monitor ground movement and assist in assessing geological and geotechnical risks.

This paper presents a case study on the application of ground-based radar for critical monitoring of an area in Faria Lemos, which is susceptible to mass movement. The objective was to ensure the safety of the rescue teams searching for missing people, as well as to control traffic on the ERS-431 access road.

KEYWORDS: Critical geotechnical monitoring, ground-based radar, trigger action response plan



1 INTRODUÇÃO

Em maio de 2024, o Brasil vivenciou uma das maiores tragédias climáticas da história. O acumulado das chuvas em eventos extremos desencadeou inúmeros movimentos de massa nas encostas da região serrana do Rio Grande do Sul. Quinze voluntários da área de geotecnia se deslocaram para o RS para oferecer suporte técnico, contribuindo com os desafios da cidade e arredores de Bento Gonçalves. De forma remota, outros profissionais também se revezaram para ajudar os empregados que estavam em campo. A equipe técnica atuou nos trabalhos de identificação de áreas de risco, remoção de pessoas, desobstrução de acessos principais e apoio à equipe de buscas dos bombeiros. Três outras empresas fornecedoras de serviços geotécnicos também se voluntariaram a apoiar a cidade, enviando técnicos e disponibilizando equipamento e tecnologia. Foram mobilizados radares terrestres e outros instrumentos para monitorar a movimentação do terreno e apoiar na avaliação do risco geológico-geotécnico.

De acordo com Sharon e Eberhardt (2020), o monitoramento geotécnico pode ser classificado em dois tipos principais: tático e estratégico. O monitoramento tático é direcionado a áreas específicas e de menor extensão/abrangência, com o objetivo principal de garantir a segurança de equipes operacionais e equipamentos em zonas críticas. Essas áreas geralmente apresentam mecanismos de deformação já identificados e ativos. Neste contexto, o radar terrestre é amplamente utilizado devido à sua alta precisão, curto tempo de resposta e à capacidade de detectar movimentos rápidos. Além disso, os radares terrestres permitem identificar com facilidade a geometria e a extensão das deformações, bem como mudanças na tendência das séries temporais de deslocamento (progressão), o que pode indicar uma condição de pré-ruptura. Por isso, é comum que esses equipamentos estejam integrados a um Plano de Resposta à Emergência (comunicação e evacuação), conhecidos como *Trigger Action Response Plans* (TARPs). Em situações de calamidade pública associadas aos eventos geotécnicos, é imprescindível que haja estratégias de atuação e previsão de eventos futuros, objetivando a evacuação de áreas suscetíveis aos movimentos de massa que exponham pessoas ao risco. No caso de Bento Gonçalves, a atuação de campo foi direcionada às localidades em áreas urbanas e rurais, ou seja, com grandes consequências.

Este trabalho apresenta um estudo de caso específico de aplicação de um radar terrestre para o monitoramento crítico de uma área em Faria Lemos, susceptível à movimentação de massa, com o objetivo de assegurar a integridade da equipe de bombeiros nas buscas de desaparecidos, assim como permitir o tráfego de veículos na estrada de acesso ERS- 431.

2 ESTUDO DE CASO – FARIA LEMOS

Após as intensas chuvas ocorridas no início de maio, a equipe de resposta a emergências de Faria Lemos identificou uma área crítica nas proximidades da estrada de acesso ERS-431. No dia 1º de maio, houve a ruptura de um talude natural, resultando no deslizamento de uma massa de grande extensão, da crista ao pé da encosta. Esse evento interrompeu o tráfego na rodovia estadual e deixou moradores da zona rural desaparecidos. Diante da necessidade de garantir o acesso à parte inferior da região, e considerando a possibilidade de novas movimentações da massa rompida, foi instalado emergencialmente um radar terrestre para o monitoramento da área de interesse.

O radar terrestre utilizado neste caso foi um equipamento de abertura sintética, SSR-SARx. Este equipamento é o mesmo utilizado nas estruturas geotécnicas de mineração, para o monitoramento de taludes de cavas e barragens em tempo quase-real. O funcionamento do radar terrestre baseia-se na emissão de ondas eletromagnéticas que incidem sobre um alvo e retornam ao sistema. A onda senoidal gerada pelo radar possui parâmetros constantes, como amplitude, fase e comprimento de onda. Quando essa onda retorna — fenômeno conhecido como retroespalhamento — ela é captada pela antena receptora, que registra o ângulo de fase, converte-o em sinal e o submete a processamento e análise por interferometria. Essa análise consiste na comparação entre duas varreduras sucessivas do radar e as respectivas fases das ondas retroespalhadas. A partir dessa comparação, é possível extrair uma medida de deslocamento, permitindo identificar eventuais movimentos no talude.

O radar, SSR436 SARx, foi locado a uma distância aproximada de 2km da área de interesse, em 18 maio de 2024. A área de varredura do equipamento foi limitada à região do talude próximo à estrada ERS-431 — região de interesse para permitir o acesso seguro dos bombeiros próximo ao curso do rio (Arroio Pedrinho). A Figura 1 mostra a imagem da instalação do radar em campo, com vista para a área de monitoramento, assim como, a ortofoto da região monitorada (com delimitação da massa rompida).



Figura 1. Instalação do radar SSR-SARx e indicação da massa rompida em ortofoto, maio 2024.
(fonte: *autores*).

A Figura 2 apresenta o mapa de planta da região, contendo: o posicionamento do radar, área de cobertura de monitoramento do equipamento, delimitação da área de interesse principal (denominada “Neco”), trecho rodoviário (ERS-431) e o trecho de drenagem (curso do rio Arroio Pedrinho).

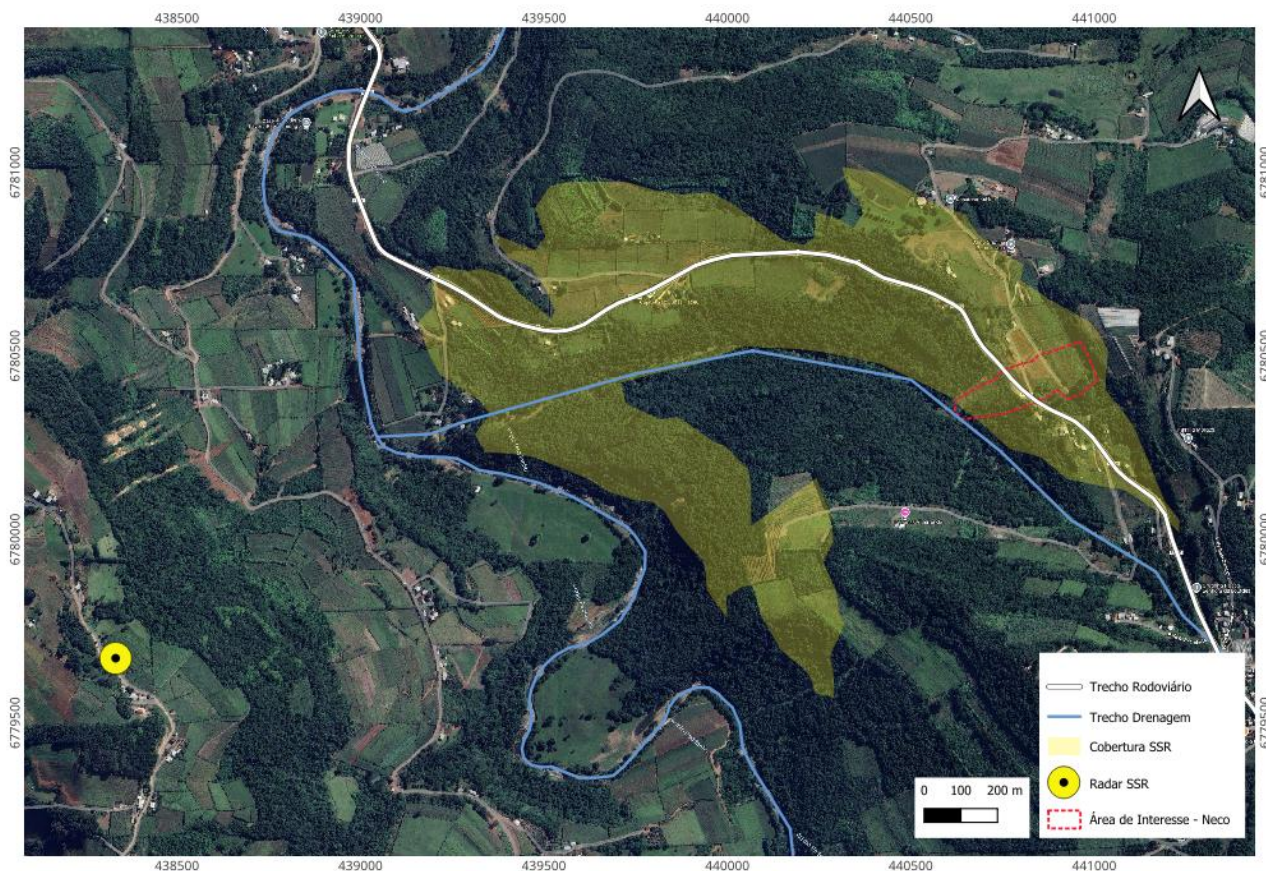


Figura 2. Mapa em planta da área de monitoramento, posição do radar terrestre e delimitação da área principal de monitoramento (fonte: *autores*).

3 DISCUSSÃO DO PLANO DE AÇÃO

A instalação do radar terrestre possibilitou a aquisição de dados de precipitação acumulada, pela estação meteorológica do equipamento, além de dados de deslocamento por interferometria da área de interesse. O parâmetro de precipitação foi essencial para tomada de decisão diária da equipe de resposta às emergências, já que a saturação do solo/rocha foi identificada como principal gatilho para os deslizamentos da região. Anterior à instalação do equipamento, coletou-se as informações de precipitação local através da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Com base no histórico de chuva acumulada, definiu-se inicialmente três parâmetros limites de precipitação acumulada diária para ativação dos níveis de Alerta, Atenção e Emergência, respectivamente, 20, 40 e 60 mm/dia. A Figura 3, apresenta o histórico da precipitação diária acumulada, entre maio a junho de 2024.

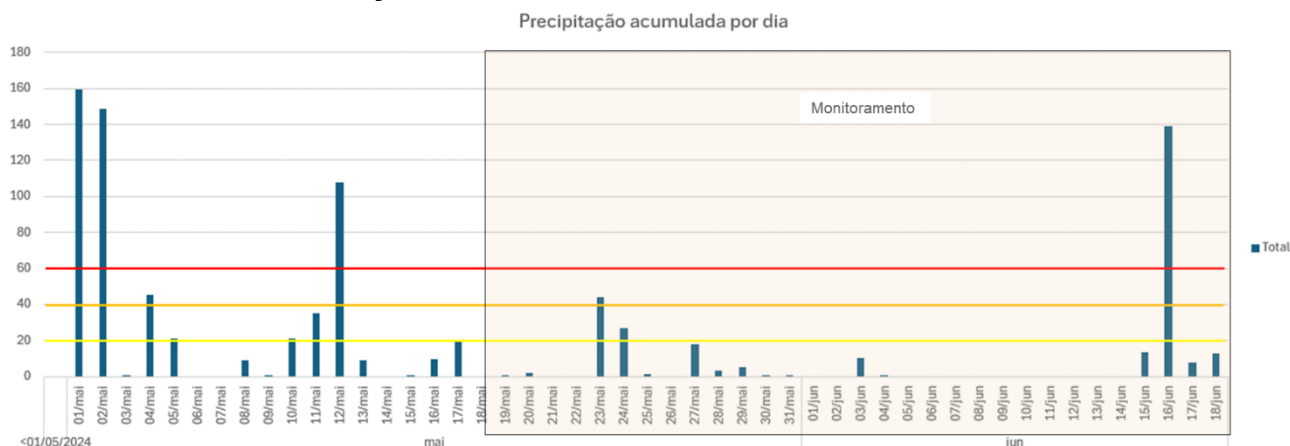


Figura 3. Precipitação acumulada por dia, em mm. Dados das estações meteorológicas do INMET e radar interferométrico (fonte: adaptado pelos *autores*).

Os demais parâmetros limites definidos no Plano de Resposta à Emergência foram estabelecidos com base no comportamento das séries temporais de deslocamento da região monitorada, considerando padrões lineares ou progressivos, conforme detalhado na Tabela 1, a seguir. Para referência quanto aos comportamentos típicos observados em séries temporais de deslocamento, velocidade e aceleração, utilize Sharon e Eberhardt (2020). O intervalo entre a detecção de movimentos e o colapso de uma estrutura depende não apenas das propriedades geotécnicas do local, mas também do tipo e da sensibilidade dos instrumentos de monitoramento utilizados. Em muitos casos, é possível identificar sinais de ruptura com antecedência de várias horas, semanas e até meses.

Adicionalmente ao protocolo estabelecido, foi desenvolvido um relatório diário com o objetivo de permitir uma análise contínua e precisa dos dados. Esse relatório incluía, principalmente, um resumo executivo e informações específicas das áreas principais em acompanhamento – mapa de deformação, tendências, alarmes, precipitação acumulada em 24h e 7 dias, qualidade de sinal da área de varredura, dados de correção atmosférica e disponibilidade física do equipamento.

A equipe de monitoramento atuava em regime contínuo, com escala 24 horas por dia, 7 dias por semana, garantindo a vigilância ininterrupta das áreas críticas. Analistas especializados estavam dedicados em tempo integral à interpretação dos dados de monitoramento, assegurando respostas rápidas a qualquer anormalidade detectada. Paralelamente, a equipe de engenharia geotécnica mantinha uma atuação ativa e coordenada, realizando análises específicas e aprofundadas sempre que identificados desvios em relação ao comportamento esperado. Essa integração entre monitoramento e engenharia permitiu uma abordagem ágil e técnica na tomada de decisões, reforçando a eficácia do protocolo de resposta à emergência,

Durante o período de monitoramento com o radar terrestre, ocorreram alguns acionamentos de níveis de referência, tanto em função do atingimento dos gatilhos relacionados à precipitação quanto pela identificação de progressões de deslocamento. Em todos os casos, o protocolo previamente definido foi rigorosamente seguido, com a adoção das medidas correspondentes e a realização de inspeções de campo para validação das deformações identificadas pelo equipamento. A depender da percepção de campo, outras tratativas foram tomadas em consequência dos gatilhos acionados na TARP, tais quais, a paralisação da circulação de tráfego na estrada ERS-431, e a evacuação da área das buscas dos desaparecidos, na proximidade do curso do rio.

Tabela 1. Descrição do Plano de Resposta à Emergência (TARP) aplicado em Faria Lemos.

Status	Turno Diurno 07:00 - 19:00h	Turno Noturno 19:00 - 07:00h	Monitoramento remoto
Alarme cinza (Falta de Conexão)	1. Mensagem via WhatsApp Grupo de suporte; 2. Mensagem para lista de e-mail;	1. Mensagem via WhatsApp Grupo de suporte; 2. Mensagem para lista de e-mail;	1. Validar alarme; 2. Verificar a conectividade através do desktop remoto e realizar o Troubleshooting; 3. Acionar a equipe de Especialistas Técnicos de monitoramento, caso necessário; 4. Continuar monitorando via área de trabalho remota.
Estável	Nenhuma Notificação	Nenhuma Notificação	1. Avaliação dos parâmetros de qualidade de dados; 2. Verificar alterações nas tendências; 3. Ficar atento às informações de campo.
TARP 1 Precipitação 20mm/d	1. Mensagem via WhatsApp Grupo de suporte;	1. Mensagem via WhatsApp Grupo de suporte;	1. Realizar validação do alarme; 2. Estabelecer comunicação direta com geotecnia operacional.
TARP 2 Deformação Linear Precipitação 40mm/d	1 Mensagem via WhatsApp Grupo de suporte; 2. Mensagem para lista de e-mail;	1 Mensagem via WhatsApp Grupo de suporte; 2. Mensagem para lista de e-mail;	1. Intensificar o monitoramento; 2. Verificar a mudança na tendência de deformação; 3. Estabelecer comunicação direta com geotecnia operacional.
TARP 3 Deformação Progressiva Precipitação 60mm/d	1. Chamada telefônica por WhatsApp; 2. Mensagem via WhatsApp - Grupo de suporte; 3. Mensagem para lista de e-mail	1. Chamada telefônica por WhatsApp; 2. Mensagem via WhatsApp - Grupo de suporte; 3. Mensagem para lista de e-mail	1. Intensificar o monitoramento; 2. Ligar para o contato da lista telefônica (via WhatsApp); 3. Estabelecer comunicação direta com geotecnia operacional. 4. Verificar regressão na tendência de deformação.

O equipamento foi desmobilizado em campo no dia 19 de agosto de 2024, após três meses de monitoramento contínuo na região de Faria Lemos, considerando-se que o nível de risco na área de interesse havia sido suficientemente reduzido, assim como o volume das chuvas.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atuação emergencial em Faria Lemos, no contexto da tragédia climática de maio de 2024, evidenciou a importância da integração entre tecnologia, conhecimento técnico e resposta rápida em situações de risco geológico-geotécnico. A instalação do radar terrestre foi fundamental para garantir a segurança das equipes de resgate e permitir o acesso controlado à área crítica, especialmente nas proximidades da ERS-431.

O monitoramento contínuo por interferometria, aliado à análise de dados de precipitação, permitiu a definição de parâmetros objetivos para tomada de decisão, contribuindo para a mitigação de riscos e gerenciamento de consequências de novos deslizamentos. A experiência reforça a relevância do monitoramento tático em cenários de emergência, bem como a necessidade de protocolos bem definidos, como os Planos de Resposta à Emergência (TARPs), para orientar ações em campo.

A mobilização voluntária de profissionais e empresas do setor geotécnico demonstrou o potencial de colaboração técnica em situações de calamidade pública, promovendo respostas mais eficazes e seguras. O caso de Faria Lemos serve como referência para futuras ações em áreas suscetíveis a movimentos de massa, destacando a importância da preparação, da tecnologia e da atuação coordenada entre diferentes empresas e setores industriais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que contribuíram com conhecimento técnico, recursos e dedicação – aos voluntários da área de geotecnia que se mobilizaram para atuar em campo no Rio Grande do Sul e aos parceiros da indústria, demonstrando solidariedade em um momento de necessidade; às equipes de defesa civil, bombeiros e demais órgãos públicos envolvidos, cuja atuação integrada foi fundamental para a resposta emergencial e para a proteção da comunidade afetada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Sharon, R., Eberhardt, E. (2020) *Guidelines for Slope Performance Monitoring*. CRC Press/Balkema, Netherlands.