

Monitoramento de Encosta por Sistema Tricomponente

*Celso Carvalho Magalhães, Cibele Cláuver de Aguiar, Alfredo Franco Lima, Brain Tecnologia Ltda, Brasil

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Resumo

Esse trabalho apresenta uma proposta de monitoramento de encosta por sistema tricomponente desenvolvido pela integração entre conceitos de geofísica/sismologia e geotecnia. Trata de uma visão inovadora dos métodos e equipamentos sismológicos com sua aplicação direta na detecção de eventos locais de magnitude muito menor que os classicamente considerados. A pesquisa contempla diagnóstico geológico/geotécnico, aplicação de GPR, desenvolvimentos de softwares especialistas e propõe um novo conceito de monitoramento de encostas. Possibilitando ainda o monitoramento em tempo real à longas distâncias.

Introdução

A pesquisa voltada à estabilidade de taludes e encostas naturais acumula extenso desenvolvimento técnico-científico envolvendo diferentes áreas do conhecimento. Os taludes e encostas naturais são definidos como superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solo e rocha), originados de processos geológicos e geomorfológicos diversos, podendo ainda apresentar modificações antrópicas como desmatamentos e cortes, entre outros.

Segundo Oliveira & Brito (1998) as mudanças de forma das encostas estão relacionadas aos processos dominantes de intemperismo, erosão e escorregamentos. De acordo com Bloom (1988) essas encostas mudam constantemente, tendendo porém para um estado central, em equilíbrio com os processos atuantes, para manter a configuração mais eficiente possível.

Nos empreendimentos e obras cujo ambiente de execução ou intervenção seja uma encosta, há que se considerar tanto sua característica de movimentação natural relacionada ao processo de dinâmica superficial quanto os movimentos decorrentes de intervenções antrópicas locais (cortes e aterros, entre outros).

Sabe-se impossível prever, com exatidão, a ocorrência de movimentos de massa e que as obras de contenção têm sua eficiência condicionada à escala considerada no projeto.

Ao analisar a dinâmica de uma encosta é preciso considerar mais que sua área de intervenção, deve-se expandir os estudos às regiões limítrofes

contextualizando-a em um ambiente geológico/geotécnico de dimensões suficientes à considerar todos os processos de movimentação passíveis de ocorrer.

Trabalha-se, nesta pesquisa, com o conceito de integração de métodos geológicos/geotécnicos/geofísicos tanto para o reconhecimento quanto para o monitoramento da encosta.

A proposta desse trabalho é implementar um sistema de monitoramento contínuo da encosta ampliando a percepção de seu comportamento. Para tanto se utilizam estações sismológicas tricomponentes adaptadas para percepção de movimentação de encostas, com processamento ágil dos dados e interpretação voltada à caracterização de movimentos de massa locais.

A encosta monitorada está localizada na Estrada da Anhaia, município de Morretes/PR/Brasil. A Figura 1 apresenta sua localização.

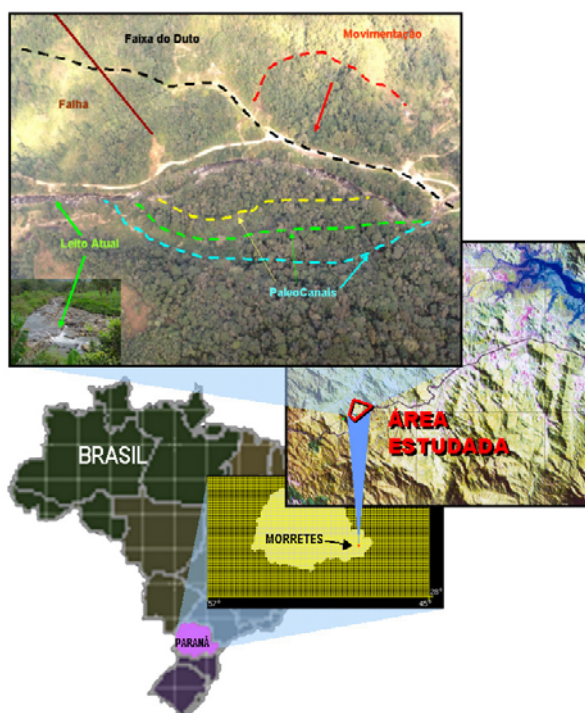


Figura 1: Localização da Área Estudada

A área de estudo está situada logo abaixo do Planalto Curitibaano que atinge cerca de 900 m de altitude e, abruptamente, desce a encosta maior da Serra do Mar em uma rampa íngreme chegando à uma altitude de 200 m, numa diferença de cota topográfica de cerca de 700 m, o que se dá em apenas 2 Km de extensão, Figura 2.

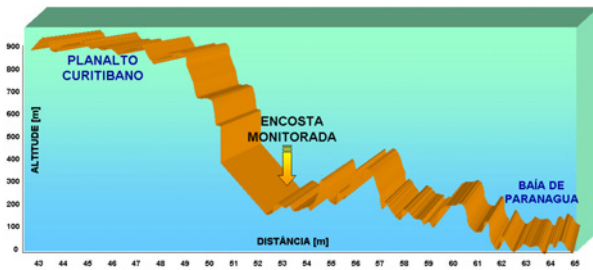


Figura 2 – Perfil Topográfico

Metodologia

A metodologia implementada nesse trabalho é inédita na pesquisa geotécnica por desenvolver um sistema tricomponente de monitoramento. Fundamenta-se na associação de técnicas de medição tridimensional de vibrações, gravação de sismos, processamento de sinal e interpretação de dados sismológicos. O desenvolvimento dessa metodologia pode ser apresentado em etapas.

-Etapa 1- Reconhecimento Geotécnico: constitui o diagnóstico geológico/geotécnico via imagens subterrâneas da encosta. O método geofísico empregado foi o Ground Penetrating Radar (GPR), nesse levantamento foi adquirido um total de 12km em seções lineares com antena de 100 MHz e espaçamento entre traços de 0,40m cuja penetração média foi de 30m. As seções foram interpretadas em software especialista com análise radar-estrutural-estratigráfica. A Figura 3 é um exemplo de uma dessas seções interpretada onde se distingue os seguintes refletores: Zona Estrutural 2, Topo do Solo Residual, Superfícies de Movimentação e Falhas/Fraturas.

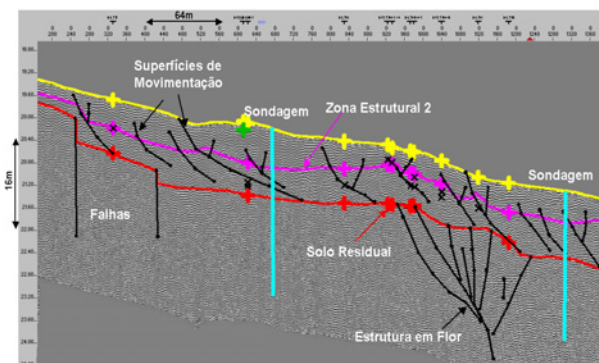


Figura 3 – Seção GPR 2D Interpretada

A Zona Estrutural 2 e o Topo do Solo Residual foram definidos por padrões texturais e de geometria interna, descrições de sondagens correlacionam a Zona Estrutural 2 à variações entre camadas de solo argiloso e arenoso. As Superfícies de Movimentação correspondem à superfícies interna no maciço indicativas de proto-movimentação, ou seja, para sua identificação foram atribuídos critérios geométricos como o entumescimento do material sobreposto à superfície e a ocorrência de *Drags*. O mapeamento das Superfícies de Movimentação permitiu estabelecer o Mapa Integrado de Descontinuidades (Figura 4), embora o universo de

superfícies e o posicionamento das seções interpretadas possam permitir diferentes interpretações para a distribuição espacial das descontinuidades, a quantidade, a multiplicidade e o detalhamento dos dados levantados resguardam a confiabilidade no mapa proposto.

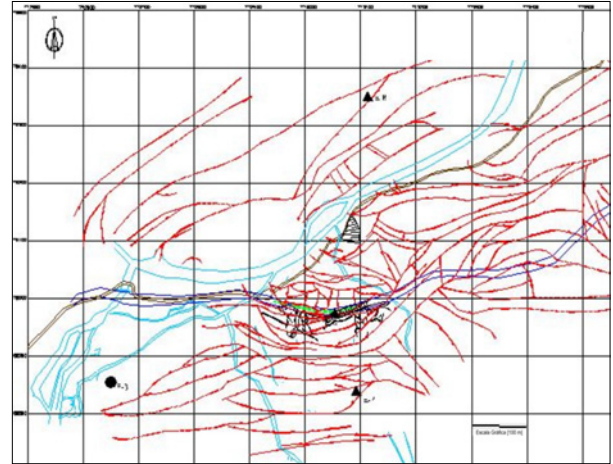


Figura 4 – Mapa Estrutural Integrado de Descontinuidades - Horizonte ZE 2 - 3m prof.

Uma peculiaridade é a proposição de um mapa estrutural em profundidade ($\approx 3m$) uma vez que os pontos mapeados são aqueles oriundos do intercepto de uma Superfície de Movimentação e a Zona Estrutural 2. Tal característica possibilita a identificação dessas estruturas em profundidade, algumas dessas descontinuidades podem ser mapeadas também em superfície, mas em sua maioria, encontram-se desenvolvidas apenas em profundidade, proto-movimentação, podendo, ou não, se propagar até a superfície. Tal mapa possibilita o diagnóstico preventivo das potenciais superfícies de ruptura fundamentando o monitoramento da encosta pelo Sistema Tricomponente.

-Etapa 2- Métodos e Equipamentos

Para detecção e registro dos movimentos na encosta optou-se pela associação de técnicas de medição de vibrações e gravação de sismos. A hipótese fundamental é que a movimentação da encosta gera sinais análogos aos "sismos locais" e que poderiam ser, portanto registrados pelas Estações Sismológicas. Foram instaladas oito estações de monitoramento na área em estudo, quatro de banda ampla e quatro de alta frequência, a disposição dessas estações no campo é apresentada no mapa da Figura 5.

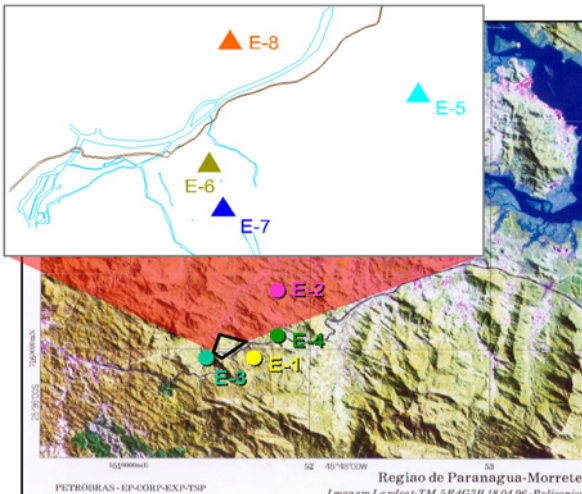


Figura 5 – Localização das Estações de Monitoramento Tricomponente.

Cada estação de banda larga é constituída por um sensor tricomponente com banda ampla de operação no espectro sísmico, GMG-40-T com frequência de operação entre 0,003 Hz e 40Hz, um digitalizador de alta resolução REF TEK 72 A-07/ND, um disco para gravação de dados e uma antena GPS. A instalação e a disposição desses itens no campo são apresentadas na Figura 5.

As estações de alta frequência apresentam componentes semelhantes: sensor tricomponente, um digitalizador de alta resolução, um disco para gravação de dados e uma antena GPS com o acréscimo da alimentação por energia solar. Os sensores dessas estações registram frequências acima de 2HZ. A Figura 6 exemplifica a instalação dessas estações no campo.

Um dos fatores desencadeadores de movimentações em encosta é o alto índice pluviométrico. Para registrar tais dados foi instalado um pluviômetro no local, próximo à estação 6 (Figura 6), cuja leitura foi realizada todos os dias no mesmo horário.

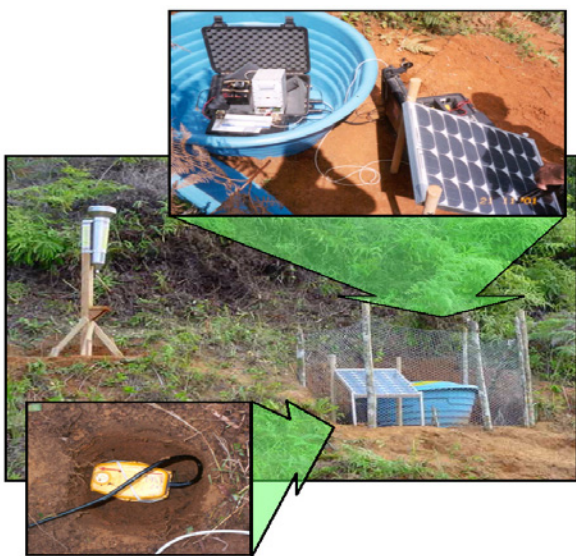


Figura 6 – Pluviômetro e Estação de Monitoramento 6

-Etapa 3- Processamento dos Dados

Com o intuito de dinamizar e padronizar o processamento e a interpretação dos sinais a Brain Tecnologia desenvolveu um software especialista que permite o processamento e a interpretação dos dados registrados por qualquer tipo de estação de registro. Esse software disponibiliza filtros como: média, mediana, envelope e outros atributos de traço complexo, filtros de frequências, além de STA e LTA, assim como *picking* automático de eventos. A Figura 7 apresenta um sinal registrado por três estações e correlacionado à movimentação da encosta.

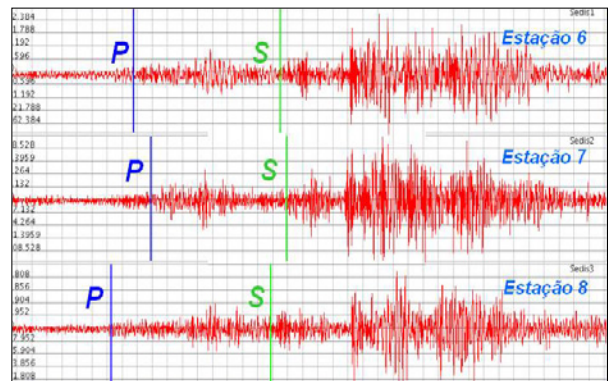


Figura 7 – Registro de Evento Local

Para localização dos eventos registrados e interpretados com a ajuda dos software supracitado foi desenvolvido um outro software tridimensional para localização dos eventos, em decorrência das especificidades do projeto. No caso de movimentação da encosta gerando “sismos”, o ponto correlacionável ao Hipocentro é muito próximo à superfície podendo ser considerado nos parâmetros da sismologia clássica superficial. Sendo assim havia a necessidade de adequação das equações e considerações para o cálculo do hipocentro à realidade do projeto. A Figura 8 mostra uma tela do GEOLOC com a localização de um dos eventos locais cujo hipocentro estava a 39m de profundidade.

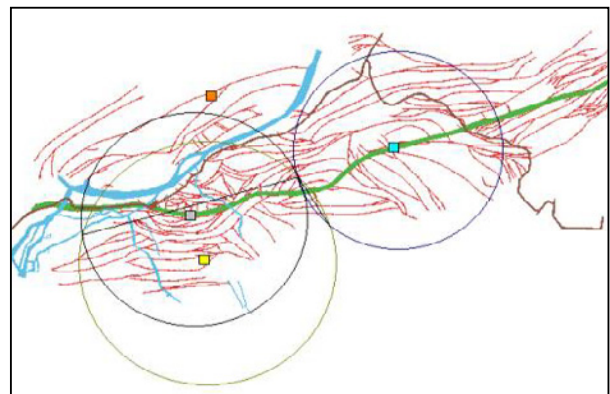


Figura 8 – Evento Local

Resultados

Foram coletados dados entre os meses de setembro de 2001 e maio de 2002. O Gráfico da Figura 9 constitui um dos primeiros resultados da pesquisa com bons resultados de correlação entre picos no índice de pluviosidade e ocorrência de eventos locais.

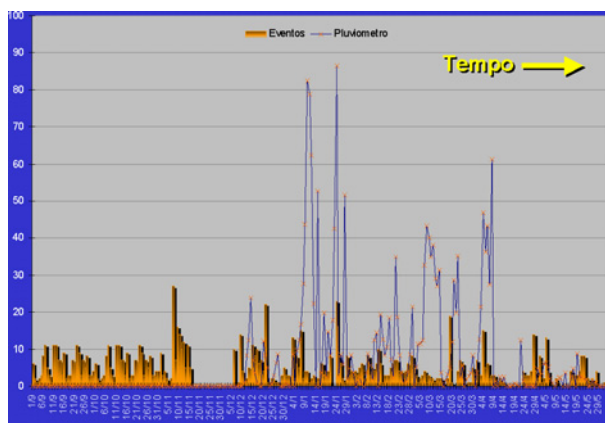
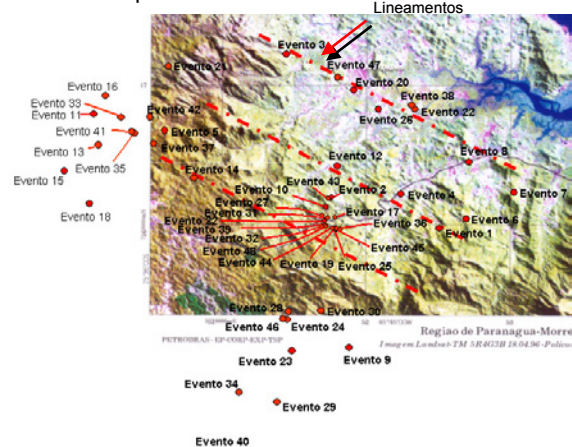


Figura 9 – Gráfico de Eventos Locais Detectados e Pluviosidade

Um dos desafios do projeto foi não apenas registrar a movimentação da encosta, mas reconhecer seu registro, ou seja, separar os eventos relacionados à movimentação da encosta denominados, eventos locais, dos demais registros. Isso só foi possível com a análise de recorrência dos eventos, ou retro-análise, que teve como um dos critérios de identificação a coerência do registro com o Mapa Integrado de Descontinuidades.

Todos os eventos registrados e localizados foram georeferenciados e apresentam coerência tanto com os lineamentos regionais (Figura 10) quanto com as descontinuidades em sub-superfície apresentadas no Mapa Integrado de Descontinuidades (Figura 11).

A imagem de satélite da Figura 10 indica lineamentos NW/SE com perfeita sintonia com os eventos registrados, indicando a possibilidade de tais eventos se relacionarem



a movimentações ou acomodações dessas estruturas.

Figura 10 – Imagem de Satélite e Eventos Registrados

Para a área de estudo, a encosta, a associação entre os eventos registrados e as superfícies de descontinuidades é ainda mais clara. Notar que os epicentros ocorrem, em sua maioria, nas descontinuidades mapeadas, Figura 11.

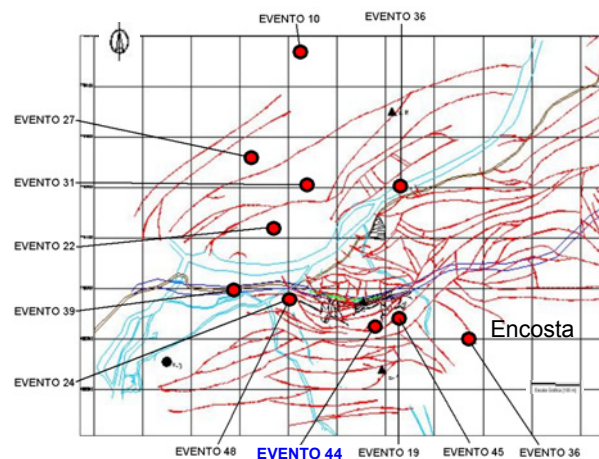


Figura 11 – Mapa Integrado de Descontinuidades e Eventos Locais Registrados

Uma outra evidência da eficiência do monitoramento foi observada em campo. O Evento Local 44, Figura 11, foi registrado e posteriormente comprovado um escorregamento no mesmo local da encosta ocorrido na mesma data e apresentado na Figura 12.

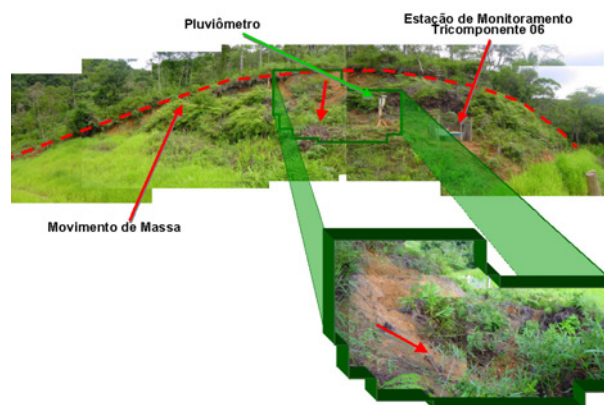


Figura 12 – Movimento de Massa na Encosta

Conclusões

Com o andamento das pesquisas constata-se a viabilidade do monitoramento de encostas pelo sistema tricomponente. A eficácia do monitoramento é comprovada tanto pelas análises dos eventos regionais, em coincidência aos lineamentos estruturais observados, quanto no mapa de descontinuidades e ainda nas evidências superficiais vistas em campo (caso dos movimentos de massa).

O projeto vem sendo aperfeiçoado com o envio de dados por canais de dados dedicados, possibilitando o monitoramento remoto contínuo. Quanto ao

processamento dos sinais e à identificação dos eventos tem-se avançado em direção à automação.

Em uma próxima etapa pretende-se, com a continuidade no monitoramento, estabelecer níveis de alerta para as movimentações. Tais procedimentos permitirão a intervenção em níveis preditivos de movimentos de massa em áreas de encosta.

O campo de aplicação para o Monitoramento Tri-componente desde já é vasto e compreende: encostas ocupadas, margens de rodovias, faixa de dutos, e quaisquer outras situações em que seja necessário o monitoramento da dinâmica de uma encosta, garantindo recursos e preservação da vida..

Adradecimentos

À Brain Tecnologia pelo incentivo e apoio.

Ao Prof. Marcelo Assumpção pelas preciosas críticas e colaborações.

Ao Técnico José Roberto pela colaboração com as técnicas de campo.

Referências

- BLOOM, A.L. (1988). *Superfície da Terra*. Trad. De S. Petri e R. Ellert. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP. 184p. (Série Textos Básicos de Geociências).
- BRAIN Consultoria e Tecnologia Ltda (200/2001) Relatórios Técnicos.
- DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. (1989) *Ground Penetrating Radar for High Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy*. *Geophysical Prospecting*, V.37. pp 531-551
- FISHER, E.; McMechan. G.A. & ANNAN, A.P. (1992). *Acquisition and Processing of Wide-Aperture Ground Penetrating Radar Data*. *Geophysics*, V.57, N3. pp. 495-508
- MAGALHÃES, C.C. (1998) *O Ground Penetrating Radar e seu Uso na Avaliação Geológica de Sítios para Implantação de Barragens*. Comitê Brasileiro de Grandes Barragens.
- MAGALHÃES, C.C., CLÁUVER DE AGUIAR, C. SAURBRONN, J.L.B. (2002) *Métodos Geofísicos Como Base Para o Diagnóstico Geotécnico na Movimentação de encostas da Serra do Mar – Paraná/Brasil*. 10º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, Ouro Preto, MG
- OLIVEIRA, AM.S. & BRITO, S.N.A.B. (1998). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 586p.