
MONITORAMENTO GEODÉSICO DE UMA ENCOSTA EM PROCESSO DE DESLIZAMENTO DE TERRA

ALESSANDRO RHADAMEK ALVES PEREIRA

TARCÍSIO FERREIRA SILVA

Universidade Federal do Piauí - UFPI
Centro de Tecnologia - CT
Departamento de Transportes, Teresina, PI
alessandro.rhadamek@ufpi.edu.br

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
tarcisiofs@yahoo.de

RESUMO - O presente trabalho demonstra o potencial da Geodésia por meio do estudo de uma área de risco natural, a partir de uma abordagem metodológica relacionada com o monitoramento da superfície de uma encosta em processo de deslizamento de terra, no município de Camaragibe, Pernambuco. Uma estrutura geodésica foi implantada com a finalidade de monitorar a encosta, através da detecção de deslocamentos de pontos, no qual se realiza uma comparação de dois conjuntos de coordenadas e desníveis oriundos dos dados ajustados de diferentes técnicas de levantamento, tais como: método polar, nivelamento geométrico e rastreamento estático GPS (Global Positioning System), cada uma delas com um propósito específico dentro do projeto de monitoramento da encosta. A análise geodésica espaço-temporal destes procedimentos demonstraram a movimentação representada pelos parâmetros de orientação e velocidade de blocos em deslizamento.

ABSTRACT - The present work demonstrates the potential of the Geodesy through the study of an area of natural risk using a methodological approach related with the monitoring of the surface of a hillside in landslide process, in Camaragibe, Pernambuco. A geodesic structure was implanted with the purpose of monitoring the hillside, through detection of displacements of points, in which was made a comparison of two groups of coordinates and gaps originating from the adjusted data of different techniques of survey, such as: polar method, geometric leveling and GPS static observations (Global Positioning System), each one of them with a specific purpose within the project of hillside monitoring. The spatial-temporal geodesic analysis of these procedures demonstrated the movement represented by the orientations parameters and displacement blocks speed.

1 INTRODUÇÃO

O processo de crescimento acelerado e desordenado das cidades, principalmente nas zonas periféricas, associado à falta de política habitacional adequada tem causado graves problemas sociais como a ocupação humana em encostas avaliadas como áreas de risco, expondo à população a diversos perigos destacando-se os riscos de deslizamentos. De acordo com Castro et al (2003), estes fenômenos são provocados pelo escorregamento de materiais sólidos, como solos, rochas, vegetação e/ou material de construção ao longo de terrenos inclinados denominados de encostas, pendentes ou escarpas. Os deslizamentos estão enquadrados de acordo com Castro et al (2005) na categoria risco natural, na qual está objetivamente relacionada a processos e eventos de origem natural ou induzida por ações antrópicas. A natureza destes processos é bastante diversa nas escalas temporal e espacial, por isso o risco natural pode apresentar-se com diferentes graus de perdas, em função da intensidade, da abrangência espacial e do tempo de atividade dos processos avaliados.

Mesmo com o acompanhamento, geralmente inadequado, das ocupações das encostas pelo Poder Público, é frequente a ocorrência de deslizamentos decorrentes da intensidade e duração das chuvas, lançamento de águas servidas, remoção da vegetação, cortes e aterros inadequados, deposição de lixo, entre outras causas. Para a convivência adequada em áreas sujeitas aos riscos de acidentes é importante a identificação dos processos geradores de riscos e as

caracterizações da sua dinâmica de evolução para posterior gerenciamento dessas áreas e riscos. No estudo deste contexto, destacam-se Ciências, tais como: Geologia, Geotecnia, Hidrologia, Geografia e Geodésia, as quais permitem identificar e entender os mecanismos e fatores condicionantes e desencadeadores dos deslizamentos de terra. Diversos trabalhos analisam a ocorrência de deslizamentos de terra confrontando os aspectos naturais como geologia, geomorfologia, clima e vegetação com fatores antrópicos provenientes do crescimento das cidades.

Um aspecto importante que pode explicitar a importância da Geodésia neste tema, diz respeito ao monitoramento de superfícies. Uma estrutura geodésica, também conhecida como campo de pontos, conforme Silva et al (2004), pode ser implantada em uma encosta onde se esperam ocorrer os deslizamentos de terra com a finalidade de monitorar a encosta, através da detecção de deslocamentos obtidos na comparação de conjuntos de coordenadas oriundos de dados ajustados de diferentes campanhas de levantamento.

O acompanhamento das medições geodésicas de campo, após a adoção de um Sistema de Referência de medição, pode ser realizado através de campanhas periódicas empregando técnicas planimétricas e/ou altimétricas, tais como: medições de ângulos e distâncias; nivelamento geométrico; posicionamento por satélite através do GPS, etc. Modelos de análises dos desenhos e testes estatísticos a certo nível de confiança podem ser aplicados, onde os dados são coletados e analisados após o devido ajustamento (GEMAEL, 1994; WOLF E GHILANI, 1997; TEIXEIRA, 2005).

Com a monumentalização e monitoramento dos campos de pontos inicialmente definidores dos deslocamentos de blocos da superfície, a Geodésia podem dar mais uma contribuição à solução do problema dos deslizamentos em encostas, a partir da definição de parâmetros preliminares de orientação e velocidade, oriundos do processamento dos dados das estruturas geodésicas monumentalizadas na área. A discretização destes eventos é muito importante para as instituições responsáveis em prestar auxílio às populações carentes das regiões de encostas, pois permitiria a antecipação das ações preventivas e estruturadoras, garantindo assim, um grande salto de qualidade dos seus serviços.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo caracterizar o potencial da Geodésia no estudo de uma área em risco natural, a partir de uma abordagem metodológica relacionada com o monitoramento campos de pontos planimétricos e altimétricos representativos de blocos da superfície de uma encosta em processo de deslizamento de terra, no município de Camaragibe - PE, Brasil, bem como, facilitar o estudo e a aplicabilidade deste tema em levantamentos geodésicos em áreas de risco, objetivando uma melhor concepção do ajustamento e qualidade final do empreendimento em relação à alta precisão e confiabilidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo, apresentada na Figura 1, está localizada no Bairro de Jardim Primavera, Rua Augusto dos Anjos, subida do Vale das Pedreiras no Município de Camaragibe, pertencente à Região Metropolitana do Recife (RMR), Estado de Pernambuco, Brasil. As coordenadas do centro da área de estudo no Sistema de Projeção UTM (Datum: SAD-69 e Elipsóide: UGGI 1967) são: N = 9.114.280,547 m; E = 283.502,925 m; Fuso: 25 Sul. No Sistema Geodésico Brasileiro (Datum: SAD-69 e Elipsóide: UGGI 1967) são: latitude 08°00'29,45"S; longitude 34°57'51,35"W.

A área encontra-se dentro da faixa de clima do tipo As', pela classificação de W. Köppen, caracterizado como clima tropical chuvoso com verão seco estação chuvosa que se adianta para o outono, antes do inverno. O modelo de ocupação da encosta em sua grande parte é formal, efetuada pelo poder público através do conjunto habitacional, mas também informal com a presença de invasões, principalmente nas laterais da antiga estrada de ferro que cortava a área que atualmente foi transformada na Rua da Linha, demarcada na Figura 1 com uma linha azul.

No tocante aos deslizamentos de terras ocorridos na área existe certa dificuldade em descrever o histórico dos mesmos. Devido à falta de registros nos locais competentes, esta descrição se limita a relatos dos pesquisadores do Grupo GEGEP - Grupo de Estudos Geotécnicos de Encostas e Planícies, citados a seguir, que examinaram a área.

A encosta é constituída por solo residual de granito, com um aparente comportamento de ruptura progressiva, esse movimento está ativo a alguns anos, agravando-se nos invernos de 2000 e 2002, quando uma linha de ruptura mais elevada atingiu diretamente 3 moradias, causando um abatimento de cerca de 3 m. A ruptura ocorrida propiciou a formação de diversos patamares e fendas no solo, distribuídas ao longo da encosta, apresentando assim, zonas preferenciais de infiltração, podendo-se caracterizar o movimento como um deslizamento rotacional múltiplo por apresentar a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas. No topo do trecho em que ocorreu o deslizamento observa-se que as invasões foram realizadas pela população de baixa renda, de forma desordenada, desconhecendo os critérios técnicos de construção. Foram verificados cortes, aterros, presença de fossas nas bordas do talude e principalmente lançamento de águas servidas na encosta como um todo, aumentando assim, a infiltração e a sobrecarga que contribuem para a instabilidade da encosta. O trecho da encosta em que ocorreu o deslizamento possui dimensões de 117,00 m x 130,00 m com cotas variando entre 51,50 m e 27,75 m. Com relação à topografia após a ruptura sua declividade é da ordem de 11°, com uma rampa bastante comprida, apresentando também cobertura vegetal, constituída por cultivo de macaxeira e pasto (BANDEIRA, 2003; SILVA et al, 2005; SILVA et al, 2006).

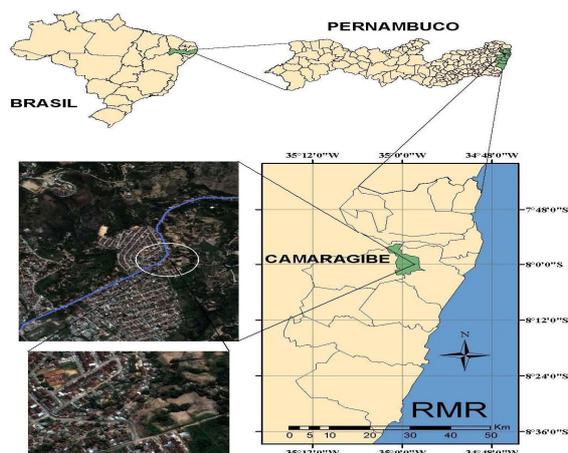


Figura 1 – Localização da área de estudo.

A Figura 2 mostra a vista aérea de toda a encosta, com detalhes sobre os deslizamentos ocorridos.

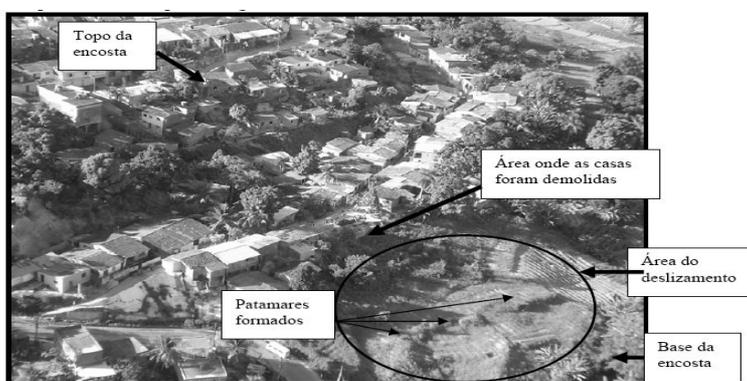


Figura 2 – Vista aérea da encosta estudada (Fonte: Silva et al, 2006).

2.2 Planejamento e monumentalização dos campos de pontos

Nesta fase foi realizado o projeto, locação e monumentalização dos campos de pontos referência e objeto na área de estudo. Vale ressaltar que a área de estudo possui características topográficas e geológicas que influenciaram na definição da quantidade e localização dos marcos e pontos, ou seja, uma relação direta com a configuração geométrica da estrutura a ser implantada. O planejamento das atividades de campo foi realizado através do reconhecimento da área de estudo, verificando a quantidade de pontos necessários à execução do campo de pontos de referência e objeto bem como a escolha do local de cada elemento na área de estudo.

A definição dos equipamentos geodésicos e topográficos necessários aos levantamentos de campo foi realizada de acordo com o instrumental disponível na UFPE, onde foram desenvolvidos ensaios metrológicos de verificação e calibração dos equipamentos, anteriormente e posteriormente a cada campanha. Os instrumentos utilizados foram: uma estação total Trimble 3305 DR, um teodolito Zeiss Theo 020-B, tripés Zeiss de madeira e materiais extras (balizas, piquetes, linha de náilon, pá, picareta, facão, furadeira, brocas, parafusos, pregos, martelo, massa epóxi, etc.).

Todos os elementos foram materializados antes do processo de medição sendo representados por monumentos artificiais implantados na área. Os marcos são tubos de PVC, 100 mm de diâmetro, 700 mm de comprimento, preenchido com concreto: traço 1:3:4 e brita, e devem aflorar cerca de 150 mm do solo natural. Os pontos são hastes metálicas de 10 mm de bitola, 700 mm de comprimento ou de 20 mm de bitola, 1000 mm de comprimento, e devem ficar no mesmo nível do solo natural.

No procedimento de monumentalização dos marcos, ver Figura 3, empregaram-se os métodos de locação por alinhamento de precisão e locação por interseção, ambos empregando observações angulares. O cruzamento dos eixos de visada dos instrumentos utilizados era materializado no solo com o emprego de linhas de referência presas em piquetes, facilitando a escavação do local desejado no terreno. O marco era colocado no buraco e fixado com uma mistura de solo cimento, sendo necessário um período de trinta dias para a completa estabilização do marco no terreno, evitando-se problemas de movimentação ocasionados pelo recalque do marco no solo durante o processo de medição. A etapa final a ser realizada consistia na fixação de um parafuso no topo do marco com o auxílio de uma furadeira e massa

epóxi. Em um furo no centro da cabeça do parafuso encaixava-se uma haste metálica que orientava a fixação do parafuso de acordo com o cruzamento dos alinhamentos definidos pelos instrumentos. No total foram instalados na encosta 35 marcos, 06 hastes metálicas e 10 fixações em massa epóxi para o prisma HP, totalizando 51 elementos.



Figura 3 – Procedimento de monumentalização dos marcos.

2.3 Monitoramento e obtenção dos parâmetros de movimentação

A seleção das metodologias geodésicas, citadas a seguir, envolvidas no monitoramento demandou uma análise minuciosa das possíveis tendências de movimentos na superfície da encosta. Os movimentos esperados para a superfície apresentam além da componente de deslocamento planimétrico (bidimensional), uma componente de deslocamento vertical (unidimensional). Esta componente vertical pode ser mais bem aferida por métodos de posicionamento geodésico altimétrico, por isso adicionalmente à rede geodésica bidimensional planimétrica, uma campanha de nivelamento geométrico de altíssima precisão foi medida a fim de se observar com elevada exatidão todos os possíveis movimentos verticais dos elementos que compõem os campos de pontos de referência e objeto.

No controle instrumental foram realizadas etapas de Pré-Medição e Pós-Medição, em rotinas do menu verificação e ajustamento dos instrumentos empregados. Com a estação total, realizaram-se observações no basímetro instalado ao lado do prédio do Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE, obtendo-se as constantes aditiva e multiplicativa, além da confirmação da classificação do instrumento por meio da aplicação da Norma ISO 8322-4 e Norma NBR 13.133 em laboratório, com as variáveis ambientais influentes monitoradas e controladas. No caso do nível, adotaram-se as rotinas do menu verificação e ajustamento do próprio instrumento, pelo método de Kukkamäki, adaptado de Kahmen e Faig (1988), evitando erros de colimação, tanto no sistema óptico, como no sistema eletrônico, tendo suas leituras automaticamente corrigidas, validando assim, as medições realizadas.

Todos os dados de campo oriundos de cada procedimento adotado foram anotados em caderneta de campo apropriada e armazenados na memória interna dos respectivos instrumentos, para posteriores conferências e detecção de erros. Os programas Adjust 4.1.0, Wolf e Ghilani (1997) e o Matlab 7.0, desenvolvido pela MathWorks Inc, foram empregados nas análises e ajustamentos dos levantamentos.

A fase de monitoramento é realizada através das três campanhas de medição citadas a seguir:

1. Campanha geodésica com observações GPS: campanhas com rastreamento simultâneo com a RBMC no qual cada receptor sempre ocupa o mesmo ponto. Estes dois conjuntos de dados obtidos serão utilizados na análise da estabilidade dos pontos de referência (IG, ZU e PI, representados por triângulos azuis na Figura 4a) e georreferenciamento dos mesmos e dos pontos-objeto. Os receptores mediram os dados brutos de acordo com os seguintes ajustes: Método de posicionamento relativo estático; Duração média de rastreamento de 6 horas; Taxa de coleta de dados de 15 segundos; Ângulo de elevação de 15°; Sistema de Referência WGS-84. Em cada ponto ocupado a antena GPS era devidamente centrada, nivelada e orientada para o norte magnético, visando assim minimizar o erro de deslocamento do centro de fase. Em cada um deles foram realizadas no mínimo três medidas de altura da antena em diferentes posições, tendo como altura final, a média aritmética destas medidas. Utilizaram-se os receptores GPS Trimble 4000 SST (acurácia horizontal de ± 10 mm + 2ppm e vertical de ± 20 mm + 2ppm) e o receptor GPS Rascal 8 (acurácia horizontal de ± 4 mm + 1 ppm e vertical de ± 8 mm + 1 ppm). Para o processamento e ajustamento das observações GPS foi utilizado o programa comercial Trimble Geomatics Office 1.63, do mesmo fabricante de dois dos receptores, como o programa principal. Para validação dos resultados obtidos, os dados brutos também foram processados e ajustados no programa GrafNav/GrafNet 7.0, com as mesmas configurações de processamento e ajustamento anteriormente usadas.

2. Campanha geodésica com estação total: para a detecção de movimentos horizontais planimétricos dos elementos dos campos de pontos foi empregado o método polar (irradiação), na qual a Figura 4a mostra todos os marcos e pontos envolvidos em cada uma das campanhas. Vale lembrar que os elementos foram monumentalizados na parte mais propícia aos movimentos e empiricamente alinhados no sentido transversal aos vetores do possível deslocamento da superfície (vetores marrons). O monitoramento dos marcos e dos pontos foram observados dos seguintes referenciais, todos mostrados na Figura 4a: Ponto de referência IG: marcos A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, B4, C4, D4 e E4; e pontos P1, P2, P3, P4, PI e ZU; Ponto de referência ZU: pontos P5, P6, P7, P8, P9, P10. O levantamento

foi realizado empregando-se uma estação total Trimble 3303 DR (acurácia angular de 3" e linear de $\pm 2\text{mm} + 2\text{ppm}$), um bastão dotado de nível esférico de bolha, uma base nivelante Trimble também dotada de nível esférico de bolha, bipés e tripés Trimble, um sistema de alvo tipo Zeiss Jena e um prisma HP, de altíssima precisão, acoplado ao sistema de alvo ou em suportes de massa epóxi nas laterais das construções monitoradas.

3. Campanha de nivelamento geométrico: para a detecção de deslocamentos verticais altimétricos. Visando um melhor rendimento no nivelamento duplo dos elementos, o trajeto foi dividido em dois circuitos, mostrados na Figura 4b, onde as setas pretas indicam o sentido do aclave no terreno. O Circuito 1 partia de um afloramento de rocha adotada como RN (ponto fixo), passava pelo ponto IG, seguia pela Rua Augusto dos Anjos e terminava na Rua da Linha, passando pelos pontos P11, P12, P13 até chegar ao ponto ZU, percorrendo um trecho de aproximadamente 378,69 m; O Circuito 2 partia do ponto IG (ponto fixo) e monitorava os elementos A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, B7, C7, D7, E4, D4, PI, D5, C4, B4 e B5, percorrendo um trecho de aproximadamente 274,09 m. As cotas dos pontos foram determinadas para cada época de medição utilizando os métodos empírico e dos parâmetros. Elas foram calculadas transportando os valores das diferenças de nível compensadas, a partir do sistema de referência altimétrico local. Partindo-se do ponto RN, com cota arbitrada igual a 100 m, seguiu-se para os demais pontos até completar um circuito fechando no mesmo ponto de partida. Utilizou-se o Nível Digital Leica DNA-03 (acurácia de $\pm 0,3$ mm por Km no duplo nivelamento) e uma mira de invar com código de barras da marca Nedo. O método de nivelamento adotado foi o das visadas iguais, sendo o comprimento das visadas inferior a 25 metros. Utilizou-se apenas uma mira de modo a eliminar o erro de índice, sendo a mesma apoiada em um tripé e verticalizada com o auxílio do nível esférico da mira.

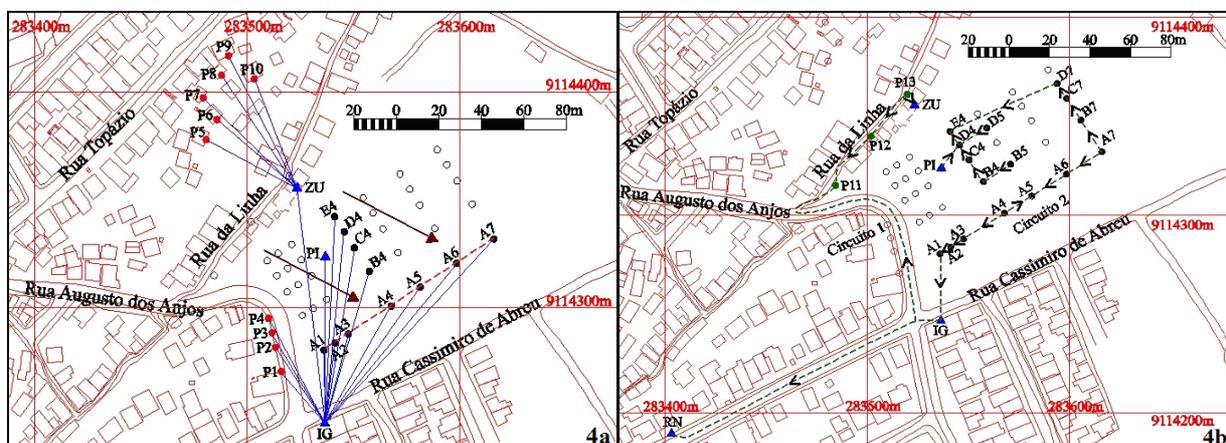


Figura 4 – Elementos envolvidos nesta campanha.

3 RESULTADOS

Os pressupostos desta metodologia são o monitoramento planimétrico e altimétrico de campos de pontos representativos da superfície de uma forma quantitativa com a preocupação de medir e qualificar os dados coletados, que discretizem a movimentação de possíveis blocos da encosta, com ênfase na definição dos parâmetros de orientação e de velocidade, oriundos das análises dos dados processados e ajustados dos levantamentos geodésicos.

A falta de sazonalidade nas campanhas de monitoramento dos campos de pontos foi ocasionada devido ao surgimento de problemas que tiveram de ser superados como a falta de pessoal qualificado para auxiliar no processo de medição, disponibilidade dos instrumentos e materiais extras na UFPE, transporte para o local da pesquisa, além do que diversos elementos dos campos de pontos foram removidos devido a atos de vandalismo por parte da população.

Devido à falta de Normas Brasileiras específicas para o monitoramento de estruturas e/ou superfícies, foram adotadas as recomendações estabelecidas pelas Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos (IBGE, 1983) e Execução de Levantamento Topográfico (ABNT, 1994) nos procedimentos de levantamento.

3.1 Campanha geodésica com observações GPS

Após o processamento das observações da primeira, realizada em 29/08/07 e segunda, realizada em 20/05/08, campanhas foram obtidos os valores das coordenadas dos pontos, no Sistema Geodésico de Referência WGS-84, e suas precisões. Os dados das campanhas ajustadas em diferentes programas mostram que os resultados são equivalentes, por isso somente as coordenadas geodésicas ajustadas no programa TGO foram convertidas para o Sistema de Projeção Plana UTM, Fuso: 25, Sistema Geodésico de Referência WGS-84, devido à maior facilidade de interpretação espacial dos resultados. Vale ressaltar que o ponto PI foi descartado da segunda campanha GPS, pois o local apresentou bastante alteração, possivelmente realizada por populares, ocasionando o deslocamento do mesmo.

Na Tabela 1 são exibidos, além destas coordenadas, os deslocamentos horizontais planimétricos.

Tabela 1 – Coordenadas ajustadas das estações obtidas nas campanhas.

Ponto	Primeira Campanha		Segunda Campanha		Deslocamento	
	E ₁ (m)	N ₁ (m)	E ₂ (m)	N ₂ (m)	Δ _E (m)	Δ _N (m)
RECF	284931,043	9109554,895	284931,043	9109554,895	0,000	0,000
ZU	283489,649	9114312,373	283489,645	9114312,378	0,005	-0,005
IG	283502,678	9114203,436	283502,675	9114203,444	0,003	-0,008

3.2 Campanha geodésica com estação total

A correção dos efeitos ambientais foi realizada em campo inserindo diretamente no instrumento os dados de pressão e temperatura que alterava o valor da correção em ppm (partes por milhão). A constante aditiva e o fator de escala não influenciaram a medida da distância, pois não ocorreu troca do prisma durante as campanhas realizadas. Os dados de saídas são as médias do ângulo horizontal, ângulo vertical zenital e distância horizontal, bem como seus desvios padrões, sendo possível realizar a análise das séries de observações. Na seqüência é efetuado o cálculo, por meio do método topográfico, das coordenadas dos elementos (pontos e marcos) monitorados. O término da análise do comportamento da superfície é realizado com a da comparação entre os dados dos levantamentos das duas campanhas distintas e cálculo do deslocamento resultante. De acordo com a USACE (2002) a magnitude do deslocamento é:

$$|d_h| = \sqrt{(\Delta_E)^2 + (\Delta_N)^2} \quad (1)$$

$$\Delta_E = E_{C1} - E_{C2} \quad (2)$$

$$\Delta_N = N_{C1} - N_{C2} \quad (3)$$

Onde: d_h → Deslocamento horizontal resultante; Δ_E e Δ_N → Deslocamento na coordenada Este e Norte, respectivamente; C_1 e C_2 → Primeira campanha e segunda campanha, respectivamente.

A Tabela 2 apresenta as coordenadas ajustadas e os deslocamentos em Este e Norte (Sistema SAD-69) e o deslocamento horizontal resultante, das irradiações que tem como origem o ponto IG. Observando a Tabela 2, percebe-se que os elementos A3, A4, A5, A6, A7, C4, D4, E4 e PI sofreram o maior deslocamento horizontal resultante, entretanto os elementos P1, P2, P3, P4, A1 e IG permaneceram praticamente estáveis de acordo com as certezas posicionais do método utilizado.

Tabela 2 – Coordenadas e deslocamentos obtidos entre as campanhas de irradiação.

Pto	Primeira Campanha (16/11/07)				Segunda Campanha (01/06/08)				Deslocamento		d_h (m)
	E (m)	σ_E (m)	N (m)	σ_N (m)	E (m)	σ_E (m)	N (m)	σ_N (m)	Δ _E (m)	Δ _N (m)	
P1	283515,881	0,000	9114270,577	0,000	283515,882	0,000	9114270,577	0,000	-0,001	0,000	0,001
P2	283513,208	0,000	9114281,793	0,000	283513,208	0,000	9114281,794	0,000	-0,000	-0,001	0,001
P3	283511,615	0,000	9114288,423	0,000	283511,616	0,001	9114288,422	0,000	-0,001	0,001	0,001
P4	283510,012	0,001	9114295,137	0,001	283510,013	0,001	9114295,136	0,001	-0,001	0,001	0,001
A1	283536,014	0,000	9114280,504	0,000	283536,015	0,000	9114280,503	0,000	-0,001	0,001	0,001
A2	283541,206	0,000	9114283,844	0,000	283541,214	0,000	9114283,846	0,000	-0,008	-0,002	0,008
A3	283547,508	0,000	9114287,907	0,000	283547,524	0,000	9114287,912	0,000	-0,016	-0,005	0,017
A4	283560,327	0,001	9114296,031	0,001	283560,346	0,001	9114296,031	0,001	-0,019	0,000	0,019
A5	283571,598	0,001	9114302,856	0,001	283571,623	0,001	9114302,853	0,001	-0,025	0,003	0,025
A6	283586,818	0,001	9114312,423	0,000	283586,833	0,001	9114312,407	0,000	-0,015	0,016	0,022
A7	283602,271	0,001	9114322,143	0,000	283602,282	0,001	9114322,133	0,000	-0,011	0,010	0,015
B4	283551,183	0,001	9114308,679	0,000	283551,190	0,001	9114308,676	0,000	-0,007	0,003	0,008
C4	283545,210	0,001	9114318,134	0,001	283545,221	0,001	9114318,139	0,001	-0,011	-0,005	0,012
D4	283537,282	0,001	9114330,729	0,001	283537,299	0,002	9114330,737	0,001	-0,017	-0,008	0,019
E4	283533,153	0,002	9114337,219	0,001	283533,166	0,002	9114337,220	0,001	-0,013	-0,001	0,013
PI	283536,669	0,001	9114323,640	0,000	283536,681	0,002	9114323,644	0,000	-0,012	-0,004	0,013
ZU	283523,394	0,003	9114355,460	0,000	283523,402	0,003	9114355,458	0,000	-0,008	0,002	0,008

Do referencial ZU adotou-se outro procedimento para o monitoramento da superfície. Os dados coletados pela estação total 3303 DR durante uma campanha consistiu em várias séries de ângulos verticais e distâncias inclinadas, medidos entre a estação e o sistema de alvo com o prisma. Os dados de saídas são: ângulo vertical zenital (médio) e distância horizontal (média).

A Tabela 3 apresenta, para cada ponto monitorado, a distância média reduzida ao horizonte, desvio padrão correspondente e o deslocamento horizontal sofrido entre as duas campanhas, sendo que a formulação para o deslocamento é a seguinte:

$$\Delta_D = H_{D1} - H_{D2}. \quad (4)$$

Tabela 3 - Coordenadas e deslocamentos obtidos entre as campanhas de distanciometria.

Ponto	1ª Campanha (16/11/07)		2ª Campanha (01/06/08)		Deslocamento
	H_{D1} (m)	σ_{D1} (m)	H_{D2} (m)	σ_{D2} (m)	Δ_D (m)
P5	51,999	0,000	52,005	0,001	-0,006
P6	52,567	0,001	52,569	0,001	-0,002
P7	53,733	0,001	53,737	0,001	-0,004
P8	63,414	0,001	63,419	0,001	-0,005
P9	68,642	0,001	68,649	0,001	-0,007
P10	66,819	0,001	66,827	0,001	-0,008

Ao analisar a Tabela 3, chegou-se a conclusão que os deslocamentos resultantes sofridos pelos elementos monitorados, são oriundos do deslocamento do ponto empregado como referência (ZU), mostrado na Tabela 2, e não da movimentação das estruturas monitoradas, pois as mesmas permaneceram estáveis e sem apresentar qualquer indício de aparente movimentação, como por exemplo, rachaduras nas paredes, abaixamento perceptível do solo.

3.3 Campanha de nivelamento geométrico

As Tabelas 4 e 5, apresentam os resultados obtidos nos dois circuitos de nivelamento, denotados como C_1 , cotas da 1ª campanha (06/10/07), C_2 , cotas da 2ª campanha (06/06/08) e Δ_C , discrepâncias entre C_1 e C_2 .

$$\Delta_C = C_1 - C_2. \quad (5)$$

Tabela 4 – Cotas e discrepâncias obtidas no primeiro circuito de nivelamento.

Ponto	C_1 (m)	C_2 (m)	Δ_C (m)
RN	100,000	100,000	0,000
IG	98,250	98,250	0,000
P11	116,500	116,499	0,001
P12	115,928	115,927	0,001
P13	114,549	114,548	0,001
ZU	115,194	115,193	0,001

Tabela 5 – Cotas e discrepâncias obtidas no segundo circuito de nivelamento.

Ponto	C_1 (m)	C_2 (m)	Δ_C (m)	Ponto	C_1 (m)	C_2 (m)	Δ_C (m)
IG	98,250	98,250	0,000	C7	98,852	98,850	0,002
A1	99,508	99,507	0,002	D7	100,681	100,679	0,002
A2	98,604	98,599	0,005	E4	106,128	106,125	0,003
A3	98,035	98,029	0,006	D4	105,286	105,284	0,002
A4	96,448	96,440	0,008	PI	105,211	105,209	0,002
A5	97,241	97,230	0,010	D5	103,591	103,588	0,004
A6	95,446	95,442	0,004	C4	103,759	103,757	0,002
A7	94,899	94,895	0,004	B4	100,711	100,709	0,002
B7	97,219	97,213	0,005	B5	98,928	98,918	0,010

Observando as variações apresentadas na Tabela 4, percebe-se que todos os pontos, com exceção do ponto P12, apresentam variações menores que 1 mm. Tais resultados mostram um indicativo de ausência de movimento vertical significativo para este experimento entre as duas épocas de medição. Na Tabela 5, fica evidente que os pontos A2, A3, A4, A5, A6, A7, B4, B5, B7, C4, C7, E4, D4, D5 e PI apresentam as maiores variações de cotas.

3.4 Parâmetros de orientação e velocidade do movimento superficial

Os parâmetros de orientação são representados pelos valores da magnitude de deslocamento horizontal planimétrico. Uma melhor apreciação da movimentação dos blocos na superfície estudada pode ser visualizada na

Figura 5 que mostra os parâmetros de orientação de acordo com a disposição dos pontos monitorados, suas respectivas nomenclaturas e a magnitude do deslocamento, em milímetros, evidenciada em um recorte da Tabela 2.

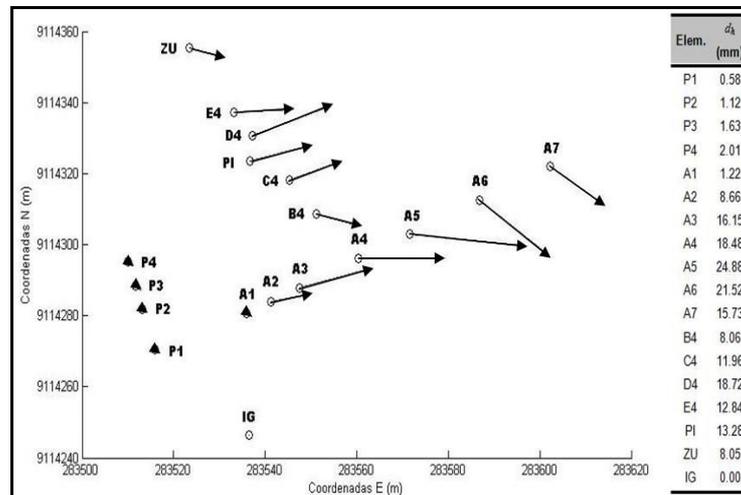


Figura 5 – Vetores de deslocamento na área de estudo.

Os parâmetros de velocidade são representados pela velocidade de deslocamento na horizontal e na vertical, em milímetros/mês. A Tabela 6 apresenta o comportamento da superfície em relação à velocidade de movimento planimétrico, oriundo das campanhas de irradiação, e movimento altimétrico, oriundo das campanhas de nivelamento geométrico, em pontos que foram monitorados pelas respectivas campanhas. Observando os dados desta tabela, compreende-se que os elementos sofrem uma maior velocidade de deslocamento planimétrico (V_P), que em relação à velocidade de deslocamento altimétrico (V_A).

Tabela 6 – Velocidades dos elementos na área de estudo.

Elemento	Velocidade Planimétrica V_P (m/mês)	Velocidade Altimétrica V_A (m/mês)	Elemento	Velocidade Planimétrica V_P (m/mês)	Velocidade Altimétrica V_A (m/mês)
A1	0,000	0,000	B4	0,001	0,000
A2	0,001	0,001	C4	0,002	0,000
A3	0,002	0,001	D4	0,003	0,000
A4	0,003	0,001	E4	0,002	0,000
A5	0,004	0,001	PI	0,002	0,000
A6	0,003	0,001	ZU	0,001	0,000
A7	0,002	0,001	IG	0,000	0,000

4 CONCLUSÕES

A Geodésia é uma ferramenta útil na caracterização de uma área em risco natural, como a superfície de uma encosta em processo de deslizamento. Esta abordagem metodológica sobre a área estudada apresentou a indicação das regiões com possíveis tendências às movimentações futuras acompanhadas da sua respectiva orientação e velocidade de deslocamento, desta forma, é perfeitamente viável e justificável a adoção desta metodologia para a detecção de deslocamentos superficiais em encostas, como sendo um meio com garantias metrológicas capaz de gerar resultados absolutos com alta precisão e confiabilidade.

Os pontos de referência e pontos-objeto projetados para a área atenderam aos requisitos necessários à realização das campanhas de medição empreendidas, além de possuírem baixo custo de construção e implantação, bem como, baixo tempo de execução do monitoramento, quando comparados a outros métodos de monitoramento pesquisados.

Analisando as campanhas realizadas com a estação total, nível digital e receptor GPS, verificou-se a total compatibilidade dos resultados obtidos em cada procedimento adotado, validando assim, os valores encontrados para os parâmetros de orientação e velocidade, discretizadores da movimentação de blocos na superfície da encosta estudada, como por exemplo, os parâmetros: $d_i=24,88\text{mm}$; $V_P=3,55\text{ mm/mês}$; $V_A=1,27\text{ mm/mês}$, do ponto A5. Estes parâmetros estão relacionados diretamente a diversos fatores influentes no mecanismo do deslizamento, no qual o período de medição empreendido retrata apenas esta época de medição. Ao realizar outras campanhas de medição pode-se assegurar com maior garantia a tendência de movimentação superficial da encosta estudada.

Mesmo com o número reduzido de campanhas de observação, apenas duas para cada metodologia escolhida, a partir de tais parâmetros observam-se a existência de áreas com maior tendência à ocorrência de deslizamentos, tanto nos locais monitorados onde já aconteceram os escorregamentos, quanto em locais geodesicamente não acompanhados onde, aparentemente, não houve deslocamentos. Tais parâmetros talvez tenham sido influenciados pela presença de um fluxo contínuo de águas servidas e/ou pluviais, cujo sentido de escoamento quase que coincide com os parâmetros de orientação da movimentação superficial da encosta.

Recomenda-se que sejam efetuadas novas campanhas de monitoramento por meio do nivelamento geométrico, devido ao baixo custo de execução, para que seja possível a comparação dos novos desníveis aos anteriores e verificar se as tendências de deslocamento em função do tempo ainda persistem, respeitando assim o critério da sazonalidade. Além disso, recomenda-se também que sejam efetuados testes estatísticos sobre os resultados obtidos, como testes para a detecção da congruência das observações, teste global para avaliar a qualidade do ajustamento, teste de sensibilidade via componentes principais para a análise da estabilidade dos pontos de monitoramento.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994, 35p.
- BANDEIRA, A. P. N. **Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no município de Camaragibe – PE**. Dissertação de Mestrado, Recife: Universidade Federal de Pernambuco - Engenharia Civil, 2003, 209p.
- CASTRO, A. L. C. de.; CALHEIROS, L. B.; CUNHA, M. I. R.; BRINGEL, M. L. N. da C. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003, 174p.
- CASTRO, C. M. de.; PEIXOTO, M. N. DE O.; Rio, G. A. P. do. **Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Vol. 28-2 / 2005, Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.
- GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Ed. UFPR, 1994, 319p.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos - RPR 07/1983**. Rio de Janeiro, 1983.
- KAHMEN, H. e FAIG, W. **Surveying**. Berlin: De Gruyter, 1988, 577p.
- SILVA, M. M.; COUTINHO, R. Q.; ALHEIROS, M. M. **Caracterização geológico-geotécnica de um deslizamento numa encosta em Camaragibe, Pernambuco**. IV COBRAE – Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Salvador, Bahia, Brasil, 2005, Vol.1. pp. 345-360.
- SILVA, M. M.; COUTINHO, R. Q.; LACERDA, W. A. **Caracterização geotécnica de uma encosta em processo de movimento de massa em solo residual de granito e formação barreiras no município de Camaragibe – PE**. XIII COBRAMSEG – Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Curitiba, Paraná. Brasil, 2006, Vol. 4. pp. 2267-2272.
- SILVA, T. F.; DE SEIXAS, A.; ROMÃO, V. M. C. **Conceituação de campos de pontos na medição de deformação de objetos**. I SIMGEO – Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Anais. Recife, 2004, 7p.
- TEIXEIRA, N. N. e FERREIRA, L. D. D. **Análise da confiabilidade de redes geodésicas**. Boletim de Ciências Geodésicas. Curitiba, 2003, v. 9, n. 2, p.199-216.
- USACE. UNITED STATE ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Structural deformation surveying**. Engineer Manual, Washington: Department of the Army, 2002, 292p.
- WOLF, P. R. e GHILANI, C. D. **Adjustment computations: statistics and least squares in surveying and GIS**. New York: John Wiley & Sons Inc. 3ª Ed, 1997, 564p.