

**SALOMÃO MARTINS DE CARVALHO JÚNIOR**

**AUSCULTAÇÃO GEODÉSICA DE UMA ENCOSTA PARA  
QUANTIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de  
Viçosa, como parte das  
exigências do programa de  
Pós-Graduação em Engenharia  
Civil, para obtenção do título de  
*Magister Scientiae*.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2014**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C331a  
2014  
Carvalho Júnior, Salomão Martins de, 1982-  
Auscultação geodésica de uma encosta para quantificação  
de movimentos / Salomão Martins de Carvalho Júnior. – Viçosa,  
MG, 2014.  
xvii, 105f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Moises Ferreira Costa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.66-71.

1. Geodésia - Auscultação. 2. Levantamento geodésico.  
3. Deslizamento (Geologia). 4. Mecânica do solo.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.  
II. Título.

CDD 22. ed.526.1

***“Porque eu sei que o meu Redentor vive e por fim se levantará sobre a Terra”.***

(Thompson, 2010)

“A verdadeira educação não desconhece o valor dos conhecimentos científicos ou aquisições literárias; mas acima da instrução aprecia a capacidade, acima da capacidade, a bondade, e acima das aquisições intelectuais, o caráter”.

(White, 1903)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por conceder saúde, disposição e esperanças, não só ao desenvolvimento deste trabalho, mas à todas as conquistas da vida.

A família, que esteve sempre presente e serviu de apoio em todos os momentos.

Ao IFES – Itapina, que concedeu a liberação da carga horária para os estudos e ainda disponibilizou seu espaço e equipamentos.

Aos professores do setor de Engenharia de Agrimensura pelos ensinamentos, empenho e momentos de conversas informais.

Ao professor José Luíz Rangel e a professora Nilcilene das Graças Medeiros pelo empenho em pleitear o apoio financeiro em um momento crucial da pesquisa de campo.

Ao Laboratório de engenharia de agrimensura, principalmente nas pessoas do professor Antônio Santana Ferraz e do servidor Geraldo Candido Faria, que não se limitaram aos recursos da Universidade, disponibilizando recursos próprios para subsidiar o trabalho.

Ao CPT – CENTRO DE PRODUÇÕES TÉCNICAS, por ceder a área para o experimento, material para a montagem e ainda pessoal para cobrir a mão de obra.

Ao amigo Diego Rodriguez, que identificou o nicho de pesquisa, intermediou as negociações junto ao CPT, disponibilizou tempo e força de trabalho para o avanço das coletas de dados e ainda dispôs de recursos monetários para o custeio de alguns materiais necessários à pesquisa.

Ao professor Dalto Domingos Rodrigues, pelas instruções por meio de conversas informais.

Ao professor orientador Moisés Ferreira Costa.

Aos professores coorientadores Gérson Rodrigues dos Santos e Joel Gripp Júnior.

E aos amigos e colegas de trabalho Edilson José do Carmo, Marcony de Paulo Ramos e Éder Teixeira Marques, que juntos me ajudaram a cumprir o trabalho de campo.

## BIOGRAFIA

Salomão Martins de Carvalho Júnior, filho de Salomão Martins de Carvalho e Marly do Carmo Nascimento Carvalho, nascido em 17 de janeiro de 1982, na cidade de Colatina, estado do Espírito Santo.

Em 1997 iniciou o curso Técnico Industrial em Agrimensura pela ETFES – ESCOLA TÉCNICA FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – Vitória, ES, concluindo esta formação em 2000.

Ingressou no curso de graduação em Engenharia de Agrimensura pela UFV - UNIVERSIDADE FEDERAL VIÇOSA no ano 2001, tendo sua conclusão em 2006.

Ainda no ano de 2006 iniciou carreira profissional na empresa AEROMAPA S/A – CARTOGRAFIA, INFORMÁTICA E PROJETOS. Posteriormente, ainda em 2006, passou a integrar a equipe da empresa BLOKOS ENGENHARIA na capital do ES, Vitória.

Em janeiro de 2009, passou a compor o corpo docente da EAFCOL – ESCOLA AGROTÉCNICA FEDERAL DE COLATINA, na cidade de Colatina, ES. No ano de 2010 esta escola passou a integrar a rede IFES com o nome IFES – ITAPINA, INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DO ES CAMPUS ITAPINA.

No interstício 2011/2012 cursou especialização em Ensino Religioso pelo INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCACAO E CULTURA ULYSSES BOYD, dissertando sobre Temas Transversais e Ensino Religioso, tendo como orientadora a psicopedagoga Isabella Cristina da Costa Artilheiro.

Em 2012 casou-se com a senhorita Aline Cozer Penido.

Ainda em 2012 ingressou no programa de pós-graduação em Engenharia Civil – Área de concentração de Informações Espaciais e linha de pesquisa Instrumentação Geodésica, em nível de mestrado, na UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>xiv</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	2
1.2 HIPÓTESE .....	4
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1 OBJETIVO GERAL .....	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	5
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>6</b>
2.1 SISTEMAS DE REFERÊNCIA .....	7
2.1.1 ITRS - SISTEMA DE REFERÊNCIA TERRESTRE INTERNACIONAL.....	7
2.1.2 SISTEMA DE COORDENADAS.....	8
2.2 TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS.....	13
2.2.1 TRANSFORMAÇÃO DE GEODÉSICA PARA CARTESIANA GEOCÊNTRICA .....	13
2.2.2 TRANSFORMAÇÃO DE CARTESIANA GEOCÊNTRICA PARA GEODÉSICA.....	14
2.2.3 TRANSFORMAÇÃO DE CARTESIANA PARA SGL .....	14
2.3 TÉCNICAS DE POSICIONAMENTO GNSS .....	15
2.4 MÉTODOS DE AUSCULTAÇÃO GEODÉSICA.....	17
2.4.1 INTERSEÇÃO.....	17
2.4.2 REDE .....	18

2.4.3	NIVELAMENTO .....	20
2.5	ERROS NAS OBSERVAÇÕES.....	22
2.6	AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES .....	23
2.6.1	DETECÇÃO DE ERROS GROSSEIROS NAS OBSERVAÇÕES.....	24
2.7	GEOESTATÍSTICA .....	26
2.7.1	SEMIVARIOGRAMA.....	28
2.7.2	KRIGAGEM .....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>30</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	30
3.2	MATERIAL, EQUIPAMENTOS E PROGRAMAS.....	32
3.3	MONTAGEM DO EXPERIMENTO.....	33
3.3.1	IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA AFETADA .....	33
3.3.2	ARQUITETURA DOS MARCOS .....	34
3.3.3	INSTALAÇÃO DOS MARCOS E DOS PINOS DE CENTRALIZAÇÃO.....	36
3.3.4	REALIZAÇÃO DA REDE .....	38
3.4	PONTOS DE APOIO.....	39
3.5	ESTABELECIMENTO DO REFERENCIAL .....	40
3.6	PONTOS DE MONITORAMENTO .....	42
3.7	MONITORAMENTO POR GPS.....	43
3.8	MONITORAMENTO POR ESTAÇÃO TOTAL .....	44
3.9	PROCESSAMENTO DOS DADOS DE CAMPO .....	45
3.10	OBTENÇÃO DAS COORDENADAS FINAIS DOS PONTOS.....	46
3.11	OBTENÇÃO DOS DESLOCAMENTOS .....	48
3.12	CRIAÇÃO DO MDD – MODELO DIGITAL DE DESLOCAMENTO .....	49
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
4.1	COORDENADAS INICIAIS DOS PONTOS .....	51
4.2	COORDENADAS FINAIS DOS PONTOS .....	53
4.3	DESLOCAMENTOS ESTIMADOS .....	54
4.4	DEPENDÊNCIA ESPACIAL NOS MOVIMENTOS.....	57

4.5	MDD - MODELO DIGITAL DE DESLOCAMENTO .....	57
5	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>64</b>
6	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE 1 .....</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE 2 .....</b>	<b>73</b>
	<b>APÊNDICE 3 .....</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE 4 .....</b>	<b>75</b>
	<b>APÊNDICE 5 .....</b>	<b>76</b>
	<b>APÊNDICE 6 .....</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE 7 .....</b>	<b>78</b>
	<b>APÊNDICE 8 .....</b>	<b>79</b>
	<b>APÊNDICE 9 .....</b>	<b>80</b>
	<b>APÊNDICE 10 .....</b>	<b>85</b>
	<b>APÊNDICE 11 .....</b>	<b>91</b>
	<b>APÊNDICE 12 .....</b>	<b>96</b>
	<b>APÊNDICE 13 .....</b>	<b>101</b>
	<b>APÊNDICE 14 .....</b>	<b>103</b>
	<b>APÊNDICE 15 .....</b>	<b>105</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de Coordenadas Geodésicas.....	9
Figura 2: Sistema de Coordenadas Cartesianas Geocêntricas. ....	10
Figura 3: Sistema Topográfico Local. ....	11
Figura 4: Sistema Geodésico Local. ....	12
Figura 5: Rede de monitoramento. ....	19
Figura 6: Rede relativa.....	19
Figura 7: Rede absoluta.....	20
Figura 8: Representação de um semivariograma. ....	28
Figura 9: Formação de trinca no solo – estágio inicial. ....	31
Figura 10: Formação de trinca no solo – estágio avançado. ....	31
Figura 11: Vista aérea da área afetada – Fonte: Google Earth. ....	33
Figura 12: Marco em tubo de PVC.....	35
Figura 13: Marco local em processo de montagem. ....	35
Figura 14: Parafuso de centralização – vista de perfil. ....	36
Figura 15: Parafuso de centralização – vista de topo. ....	36
Figura 16: Realização de cava para implantação de marco. ....	37
Figura 17: Processo de instalação de marco. ....	37
Figura 18: Processo de instalação do pino de centralização – ajuste do pino no bastão. ....	38
Figura 19: Processo de instalação do pino de centralização - ajuste do pino no pilar. ....	38
Figura 20: Processo de instalação do pino de centralização – fixação do pino no marco. ....	38
Figura 21: Processo de instalação do pino de centralização. ....	38
Figura 22: Rede de Apoio - Fonte: Google Earth.....	40
Figura 23: Rede de monitoramento e zoneamento.....	43

Figura 24: Apresentação dos dados separados por classes em função do deslocamento. ....	60
Figura 25: Modelo global de deslocamento. ....	61
Figura 26: Movimentos detectados na zona de Baixio.....	62
Figura 27: Movimentos detectados Na zona Altio.....	62
Figura 28: Apresentação do variograma ajustado. ....	62
Figura 29: Modelo digital de deslocamento representado por escala de cores e por isolinhas.....	63
Figura 30: Movimento vertical amostral entre as campanhas 1 e 2.....	101
Figura 31: Movimento total amostral entre as campanhas 1 e 2.....	101
Figura 32: Movimento plano amostral entre as campanhas 2 e 3.....	101
Figura 33: Movimento vertical amostral entre as campanhas 2 e 3.....	101
Figura 34: Movimento total amostral entre as campanhas 2 e 3.....	102
Figura 35: Variograma do movimento vertical entre as campanhas 1 e 2. .	103
Figura 36: Variograma do movimento total entre as campanhas 1 e 2.....	103
Figura 37: Variograma do movimento plano entre as campanhas 2 e 3.....	103
Figura 38: Variograma do movimento vertical entre as campanhas 2 e 3. .	103
Figura 39: Variograma do movimento total entre as campanhas 2 e 3.....	104
Figura 40: MDD – Movimento vertical entre as campanhas 1 e 2.....	105
Figura 41: MDD – Movimento total entre as campanhas 1 e 2. ....	105
Figura 42: MDD – Movimento plano entre as campanhas 2 e 3. ....	105
Figura 43: MDD – Movimento vertical entre as campanhas 2 e 3.....	105
Figura 44: MDD – Movimento total entre as campanhas 2 e 3. ....	106

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetro de centralidade.....	25
Tabela 2: Coordenadas, em SGL, dos pontos da rede de apoio. ....	41
Tabela 3: Comparação de resultados por métodos – GPS x Estação Total. ....	52
Tabela 4: Erro médio. ....	53
Tabela 5: Resumo das coordenadas obtidas em cada campanha. ....	54
Tabela 6: Movimentos entre a campanha 1 e a campanha 2. ....	55
Tabela 7: Movimentos entre a campanha 2 e a campanha 3. ....	56
Tabela 8: Resumo dos dados da análise estatística.....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BIH:** Bureau International de l'Heure.
- CPT:** Centro de Produções Técnicas.
- GNSS:** Global Navigation Satellite System.
- GPS:** Global Positioning System.
- IAG:** International Association of Geodesy.
- IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- IERS:** International Earth Rotation and Reference Systems Service.
- IRM:** IERS Reference Meridian.
- IRP:** IERS Reference Pole.
- ITRF:** International Terrestrial Reference Frame.
- ITRS:** International Terrestrial Reference System.
- ITRS-PC:** IERS ITRS Product Center.
- Km:** Quilômetro.
- MDD:** Modelo Digital de Deslocamento.
- ML:** Máxima Verossimilhança
- MMQ:** Método dos mínimos quadrados.
- MVC:** Matriz Variância-Covariância.
- OLS:** Mínimos Quadrados Ordinários
- PA:** Posicionamento Absoluto.
- PD:** Posição Direta da Estação Total
- PI:** Posição Inversa da Estação Total
- PPM:** Partes Por Milhão.
- PPP:** Posicionamento por Ponto Preciso.
- RBMC:** Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.
- REML:** Máxima Verossimilhança Restrita
- RN:** Referência de Nível

**SAL:** Sistema Astronômico Local

**SIRGAS:** Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.

**SF:** Superfície física.

**SGL:** Sistema Geodésico Local.

**TCG:** Tempo Coordenado Geocêntrico.

**UFV:** Universidade Federal de Viçosa.

**UTM:** Universal Transverse Mercator map projection.

**VICO:** RBMC Viçosa

**WGS84:** World Geodetic System 1984.

**WLS:** Mínimos Quadrados Ponderados.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$L$	$L_b - L_0$ ; Distância Corrigida
$dp$	Desvio padrão
DH	Distância Horizontal
$A_{hor}$	Ângulo Horizontal
$A_{zen}$	Ângulo Zênital
$li$	Leitura da Trena
$Alt$	Altura da Estação
$H_0$	Hipótese básica
$\alpha, \beta$	Parâmetros para o teste de Baarda
$V_i$	Resíduo das Observações
$\sigma_{V_i}$	Desvio Padrão de $V_i$
$li$	$i$ -ésima observação
$\epsilon_i$	Outlier
$e_i$	Erros Aleatórios
$MVC_{La}$	MVC das observações ajustadas
$MVC_V$	MVC dos Resíduos
$ne$	Quantidade de equações de observação
$np$	Quantidade de parâmetros
$\sigma_o^2$	Variância <i>a priori</i>
$GL$	Graus de liberdade
$ka$	Constante atmosférica para distanciômetros
$P$	Pressão em mmHg; Matriz dos pesos.
$t$	Temperatura em graus célsius
$R$	Raio médio da Terra
$k$	Constante atmosférica

$k_0$	Fator de escala UTM
$k$	Fator de escala UTM
$N$	Coordenadas ao longo do eixo Norte-Sul
$E$	Coordenadas ao longo do eixo Leste-Oeste
$e^2$	Primeira excentricidade ao quadrado
$e'^2$	Segunda excentricidade ao quadrado
$GN$	Grande Normal
$\lambda_0$	Longitude do meridiano;
$a$	Semieixo maior do elipsóide
$\alpha$	Fator de achatamento
$X_a$	Vetor dos parâmetros ajustadas
$L_a$	Vetor das observações ajustadas
$X$	Vetor das correções
$(X, Y, Z)$	Coordenadas cartesianas geocêntricas
$(\lambda, \Phi)$	Coordenadas geodésicas Longitude e Latitude
$\Gamma$	Erro de refração medido sobre o ângulo zenital
$er$	Erro de refração medido sobre a diferença de nível
$(e, n, u)$	Coordenadas geodésicas locais
$E_{esf. vert.}$	Efeito vertical do erro de esfericidade
$E_{esf. hor.}$	Efeito horizontal do erro de esfericidade
$MVC_{L_b}$	Matriz Variância-Covariância das observações brutas
$\hat{\sigma}_0^2$	Sigma zero a <i>posteriori</i>
$A$	Matriz das derivadas parciais

## RESUMO

JÚNIOR, Salomão Martins de Carvalho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2014. **Auscultação geodésica de uma encosta para quantificação de movimentos.** Orientador: Moisés Ferreira Costa. Co-Orientadores: Joel Gripp Júnior e Gérson Rodrigues dos Santos.

O presente trabalho trata do monitoramento de uma encosta de terra na Serra de São Geraldo, região da Zona da Mata mineira, cujo terreno apresentava risco de instabilidade. Os primeiros indícios de instabilidade do terreno se deram durante um trabalho de terraplenagem para correção de deformações em um trecho de estrada que segue através da Serra. A partir de uma rede de pontos de apoio, instalados em área não afetada pelo pressuposto deslizamento, foi monitorada uma segunda rede de pontos implantada próximo às fissuras detectadas no solo em três diferentes épocas. Para a coleta dos dados, utilizou-se levantamento convencional associado ao nivelamento trigonométrico com estação total e levantamento por GPS. Após o processamento e ajustamento das observações em rede, foram identificados deslocamentos do solo. Por meio das análises foi possível identificar deslocamentos com valores entre 1 e 281 milímetros e com o auxílio da geoestatística ainda foi possível avaliar a dependência espacial dos movimentos para períodos de 50 e 61 dias. Finalmente, foram gerados, a partir de Krigagem, os mapas de deslocamento, que representaram a instabilidade detectada na área.

## ABSTRACT

JÚNIOR, Salomão Martins de Carvalho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2014. **Geodetic auscultation of a slope to quantify movements.** Adviser: Moisés Ferreira Costa. Co-Advisers: Joel Gripp Júnior and Gérson Rodrigues dos Santos.

This paper deals with the monitoring of a slope of land under landslide risk in the Serra de São Geraldo, in the Zona da Mata Mineira. Anterior indications were taken during earthmoving work to repair deformations on a stretch of road that runs through Serra. The work was monitored by a second network of points located near the cracks detected in the soil, at three different times; this was made using a network of support, installed in an area that was not affected by slip assumption. In order to collect data it was used conventional survey associated with trigonometric leveling with total station and GPS survey. After adjustment of observations and the processing of the network, the ground shifts were identified. Through the analysis it was possible to identify displacements with values between 1 and 281 mm and with the aid of geostatistics it was possible to assess the spatial dependence of movements for periods of 50 and 61 days. Finally, displacement maps were generated using Kriging.

## 1 INTRODUÇÃO

A falta de planejamento nas atividades de desenvolvimento humano tem criado muitos problemas e demandas principalmente no que tange a ocupação dos espaços físicos. Sendo assim, não são raros os eventos de desastres naturais em locais onde ocorreram ocupações irregulares, sejam para fins urbanos, industriais ou agrários.

Um grupo de 1.933 municípios brasileiros, aproximadamente 34% (trinta e quatro por cento) da totalidade, relatou ter em seu perímetro urbano áreas de risco. No Sudeste 56% (cinquenta e seis por cento) destes espaços se encontram em regiões de taludes (planos inclinados que limitam aterros) e encostas sujeitas a deslizamentos, configuração geomorfológica peculiar aos estados desta região (IBGE, 2008).

De maneira geral, pode-se dizer que a gênese dos riscos, bem como o aumento da capacidade de gerar danos e de sua escala de abrangência, acompanha a história da sociedade (Castro et al, 2005). Uma vez que qualquer corpo, natural ou artificial, sofra mudanças no espaço e no tempo, o comportamento de tais corpos deformáveis pode ser conhecido por meio do estudo e medidas de suas deformações (Chaves, 1994).

Segundo Heck (1985), o monitoramento de estruturas serve a dois propósitos. O propósito prático que é a predição de deformação e prevenção a danos e o propósito científico que é entendido como o estabelecimento de parâmetros que expliquem o fenômeno.

Ainda conforme Poletto (2010), a precisão no monitoramento de estruturas está diretamente relacionada ao tipo de equipamento utilizado para a realização das observações, a precisão que esse equipamento pode fornecer e à técnica de observação empregada.

Mesmo com o acompanhamento, geralmente inadequado, das ocupações das encostas, pelo poder público, e a frequente ocorrência de deslizamentos decorrentes da intensidade e duração das chuvas, lançamento de águas servidas, remoção da vegetação, cortes e aterros inadequados e deposição de lixo, pouco tem sido feito para prever e minimizar os efeitos dos fenômenos naturais principalmente em áreas de risco urbano (Pereira & Silva, 2012), sendo que os esforços de monitoramento preventivo tem se concentrado na área industrial e principalmente no setor de geração de energia.

Para minimizar os efeitos de acidentes é importante a identificação dos processos geradores de riscos e o acompanhamento de sua evolução. Neste campo, 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 (Pereira & Silva, 2012). Todas estas ciências incorporadas compõem o que é aqui chamado de auscultação, sendo que a auscultação geodésica tem como objetivo obter coordenadas cartesianas geodésicas de pontos topográficos por meio de técnicas de levantamentos geodésicos, tais como: Nivelamento geométrico de alta precisão, levantamento gravimétrico, posicionamento com GPS (Global Positioning System) e triangulações e trilaterações no monitoramento de determinados fenômenos (Soares, et al., 2004).

## **1.1 Justificativa**

Encostas de terra são estruturas associadas a elevado potencial de risco (IBGE, 2008) devido à possibilidade de deslizamentos que comprometam as três fases do risco, o risco à vida, a manutenção eficiente da sociedade e ao patrimônio.

Mediante o contínuo monitoramento de encostas, profissionais responsáveis por tomar decisões são informados sobre os agentes e variáveis que envolvem o comportamento da estrutura (Gonçalves et al, 2010). Por este motivo, diversos trabalhos têm sido publicados com o fim de divulgar técnicas geodésicas de monitoramento de estruturas.

Um dos nichos para trabalhos de monitoramento de estruturas é o campo da infraestrutura viária, que necessita romper obstáculos para ligar cidades e zonas de produção agrícola. Mas, que ao realizar este trabalho coloca diversas comunidades em situações de risco e de impacto ambiental, como é o caso da Serra de São Geraldo, onde foi realizada esta pesquisa.

Esta pesquisa propõe o monitoramento de encostas, naturais ou resultantes de obras de infraestrutura, por meio de uma rede geodésica de pontos implantados no solo, a ser acompanhada em subseqüentes épocas por meio de observações de ângulos, distâncias, posições e de observações GPS. Este monitoramento deve ainda ser apoiados ao nivelamento trigonométrico, que vem apontando bons resultados (Dias et al, 2010), com o fim de detectar movimentos verticais e horizontais nos pontos da rede e entre estes, por meio da Geoestatística.

A integração das técnicas de auscultação geodésica se faz necessária, uma vez que, mesmo com o avanço cada vez maior da tecnologia GPS, nem sempre é possível levantar pontos apenas com essa tecnologia, devido a eventuais obstruções, ao sinal GPS, que possam existir nos locais de interesse. Por isso, faz-se necessário o emprego de métodos terrestres de medição angular e linear com estação total, para a determinação de pontos intervisíveis, em áreas onde se torna inviável a aplicação do posicionamento GPS (Gama et al, 2012).

Promover trabalhos de auscultação geodésica culminará na produção de dados sobre os agentes condicionantes e desencadeadores de acidentes. O estudo e compreensão destes dados refletirão diretamente na segurança dos usuários e dos ocupantes de áreas de risco.

## **1.2 Hipótese**

A premissa básica deste trabalho é que uma vez implantados pontos de observação fixos ao solo e livres das ações de agentes externos, estes não sofrerão deslocamentos entre duas épocas de observações distintas a menos que ocorram deslocamentos no solo ou subsolo, onde estes estejam fixados.

Caso haja tais deslocamentos do solo ou subsolo, que venham a alterar a posição dos pontos de controle, tais movimentos serão detectados por meio de variações em observações de ângulos e distâncias realizadas em diferentes épocas.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Monitorar a encosta por meio de métodos geodésicos visando a detecção de possíveis deslocamentos da superfície.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Verificar a eficiência do nivelamento trigonométrico aplicado a redes de pontos;
- Comparar os resultados do monitoramento geodésico com dados de levantamentos GPS;
- Tratar os dados geodésicos por meio de programas não topográficos, como os programas de computador R-Project e Matlab;

- Analisar os deslocamentos com base na Geoestatística e realizar a krigagem dos dados.

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

O trabalho está organizado em capítulos que cobrem os seguintes assuntos:

- O primeiro capítulo apresenta ao leitor uma introdução e uma elucidação ao tema, além de apresentar os tipos de abordagens a serem encontradas nesta pesquisa.
- O segundo capítulo apresenta o embasamento teórico utilizado para o desenvolvimento do trabalho, de forma a auxiliar ao leitor na compreensão e esclarecimento do tema pesquisado.
- No terceiro capítulo, estão descritos a metodologia e o material empregado no desenvolvimento e realização deste trabalho.
- O capítulo quatro descreve os resultados obtidos por meio deste trabalho e apresenta a respectiva discussão e análises.
- No capítulo cinco são apresentadas as conclusões e recomendações concernentes à pesquisa.
- Neste trabalho foram incluídos ainda uma seção de apêndices, em que são apresentados os principais resultados obtidos e uma seção de anexos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Onde estamos? Eis uma questão que surgiu com o próprio homem. De fato, uma das primeiras preocupações do homem foi saber sua posição no Universo. É uma motivação semelhante à que leva o indivíduo a procurar se situar sucessivamente em sua rua, bairro, cidade, estado, país e etc. Tal interesse surgiu pela própria contemplação do céu, que se alternava em dias e noites (Mourão, 2010).

Existem diversas formas de responder a esta pergunta (Andrade, 2008), mas, em todas elas a resposta envolverá uma descrição de posição, afinal, os sistemas de referência têm importância quando se deseja determinar espacialmente a posição de pontos (MacCormac, 2011).

São muitas, e de grande importância nos dias atuais, as questões que envolvem soluções espaciais. As pessoas têm a necessidade de se deslocar, de encontrar um endereço, de estimar uma velocidade ou ainda de entender se uma viagem é longa ou curta.

Para quaisquer das necessidades apresentadas a resposta será satisfatória somente se houver uma fonte de comparação, uma referência que pode ser estática ou dinâmica a depender do caso.

A matemática propõe um conceito abstrato de referência para quantificar algo que é concreto. As atividades de mensuração adotam tais recursos matemáticos e físicos para subsidiar suas demandas, uma vez que esta ciência lida exclusivamente com informações espaciais.

## **2.1 Sistemas de Referência**

A geodésia se utiliza de sistemas de referência que podem ser de caráter celeste ou terrestre. Um sistema de referência a ser utilizado deve ser ao mesmo tempo apropriado, preciso e consistente tanto na sua definição quanto na sua realização (Monico, 2008). Para a maioria das atividades da topografia, importa que o referencial tenha como repouso o estado de sua origem.

Um sistema de referência pode ainda ser global ou local. O sistema é dito global quando sua origem é geocêntrica, e local ou regional quando sua origem não se encontra no geocentro (Gemael, 1994).

### **2.1.1 ITRS - Sistema de Referência Terrestre Internacional**

Segundo Monico (2008), o ITRS é um sistema de referência espacial que acompanha a Terra em seu movimento no espaço, ou seja, fixo na Terra, e deve ter as seguintes definições:

- É geocêntrico;
- A escala é consistente com o TCG (Tempo Coordenado Geocêntrico);
- Sua orientação inicial foi dada pelo BIH (Bureau International de l'Heure) na época 1984.0;
- Sua evolução temporal em orientação não deve permitir rotação residual global com a crosta terrestre.

As realizações do ITRS são produzidas pelo IERS ITRS-PC (ITRS Centro de produção do ITRS), que em 1988 substituiu o BIH. Estas realizações recebem o nome de ITRF (International Terrestrial Reference Frame).

## 2.1.2 Sistema de coordenadas

### 2.1.2.1 Geodésica

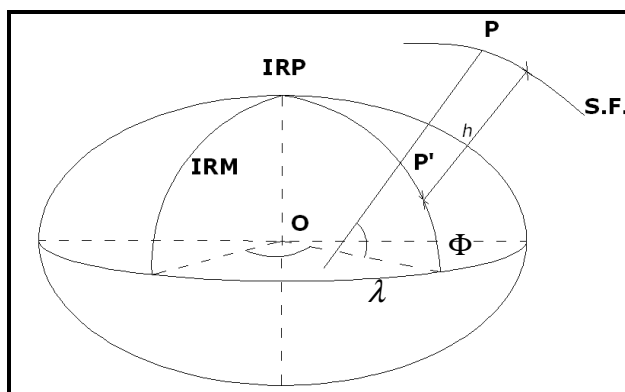
O sistema de coordenadas geodésicas é uma forma de representar um ponto sobre a superfície terrestre por meio de três informações, latitude ( $\Phi$ ), longitude ( $\lambda$ ) e altura geométrica ( $h$ ) (MacCormac, 2011), conforme ilustrado pela Figura 1.

Latitude: A latitude geodésica de um ponto P é o ângulo formado entre o plano do equador e o plano que contém a normal que passa pelo ponto P. Seu valor varia de 0° (Equador) à 90°, sendo positivo (+) no hemisfério norte e negativo (-) no hemisfério sul (Cintra, 2003).

Longitude: A longitude geodésica de um ponto P é o ângulo formado entre o meridiano zero (IRM) e o meridiano que contém o ponto P em questão. Seu valor varia de 0° (Greenwich) à 180°, sendo positivo (+) para leste e negativo (-) oeste (Cintra, 2003).

Diversas posições para a longitude zero (ou meridiano principal) foram adotadas ao longo do tempo, entretanto, em 1884, na International Meridian Conference, realizada em Washington, DC, decidiu-se que “o meridiano de longitude original seria o meridiano que passa pelo centro do teodolito de trânsito do Observatório de Greenwich”, e que “a partir deste meridiano, a longitude deveria ser contada em duas direções até 180°, sendo a longitude a leste positiva e a longitude a oeste negativa” (Cintra, 2003).

Altura Elipsoidal ou Geométrica ( $h$ ): É a distância entre o ponto P e a superfície do elipsóide, contada sobre a normal.



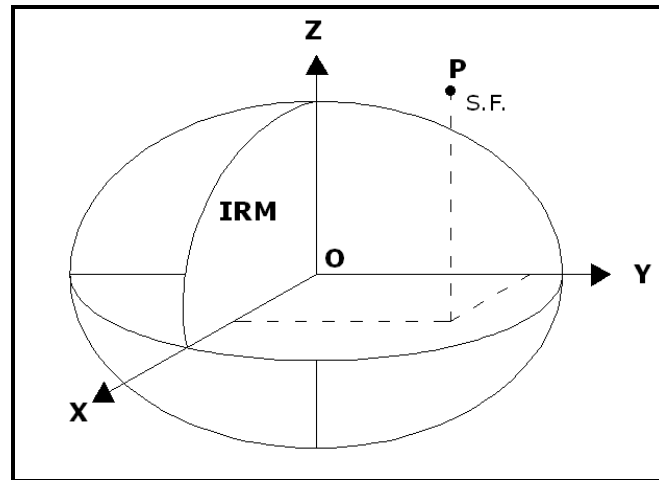
**Figura 1: Sistema de Coordenadas Geodésicas.**

### 2.1.2.2 Cartesiana Geocêntrica

Um sistema de coordenadas cartesianas tridimensional é caracterizado por um conjunto de três retas (X, Y e Z), mutuamente perpendiculares, denominadas de eixos coordenados, conforme ilustrado pela Figura 2. Este sistema, semelhantemente ao sistema geodésico, permite descrever a posição de um ponto (P) qualquer na superfície da terra a partir de coordenadas tridimensionais (Monico, 2008).

Quando esse sistema está associado a um Sistema de Referência Geodésico, ele recebe a denominação de Sistema Cartesiano Geodésico, de modo que:

- O eixo X coincide com o plano equatorial, positivo na direção de longitude  $0^{\circ}$  (IRM);
- O eixo Y coincide com o plano equatorial, positivo na direção de longitude  $90^{\circ}$ ;
- O eixo Z é paralelo ao eixo de rotação da Terra e positivo na direção norte (IRP);
- A origem do sistema está localizada no centro de massa da Terra (O), o chamado geocentro.

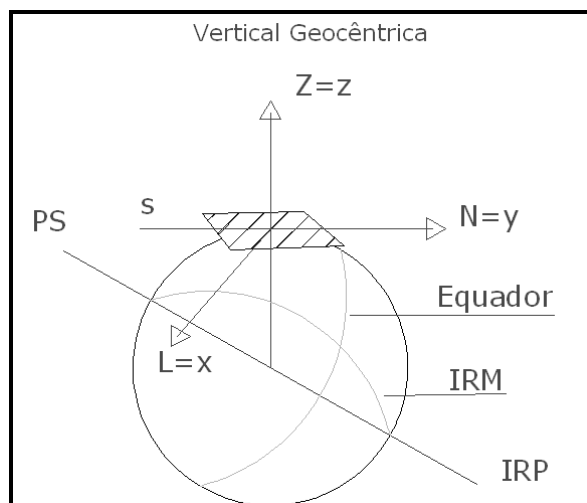


**Figura 2: Sistema de Coordenadas Cartesianas Geocêntricas.**

### **2.1.2.3 Sistema Topográfico Local (STL)**

O sistema cartesiano tridimensional, denominado Sistema Topográfico Local (STL), é o sistema das observações terrestres. É comumente tratado como Sistema Topográfico pelo fato de as observações da topografia clássica serem as próprias observações terrestres (Monico, 2008).

É comum adotar o sistema dextrógiro com o eixo y apontando para a direção norte astronômico e com o eixo x apontando para a direção leste conforme ilustra a Figura 3.



**Figura 3: Sistema Topográfico Local.**

A norma técnica (ABNT, 1998), que versa sobre a rede de referência cadastral municipal, assim define o Sistema Topográfico Local:

*“Sistema de representação, em planta, das posições relativas de pontos de um levantamento topográfico com origem em um ponto de coordenadas geodésicas conhecidas, onde todos os ângulos e distâncias de sua determinação são representados, em verdadeira grandeza, sobre o plano tangente à superfície de referência (elipsóide de referência) do sistema geodésico adotado, na origem do sistema, no pressuposto de que haja, na área de abrangência do sistema, a coincidência da superfície de referência com a do plano tangente, sem que os erros, decorrentes da abstração da curvatura terrestre ultrapassem os erros inerentes às operações topográficas de determinação dos pontos do levantamento.”*

*“[...] O plano topográfico é tangente ao elipsóide de referência no ponto de Origem do Sistema Topográfico, tendo sua dimensão máxima limitada a aproximadamente 70 km, a partir da origem do Sistema Topográfico Local.”*

*“[...] O plano topográfico deve ainda ser elevado ao nível médio do terreno da área, objeto de levantamento topográfico (ABNT, 1998).”*

#### 2.1.2.4 Sistema Geodésico Local (SGL)

É um sistema cartesiano tridimensional topocêntrico definido pelos eixos  $e$ ,  $n$ ,  $u$  ortogonais entre si conforme ilustra a Figura 4 (Monico, 2008).

A origem deste sistema é dada por meio das coordenadas geodésicas  $(\phi_0, \lambda_0, h_0)$ , onde a normal do ponto de origem coincide com o eixo  $u$ .

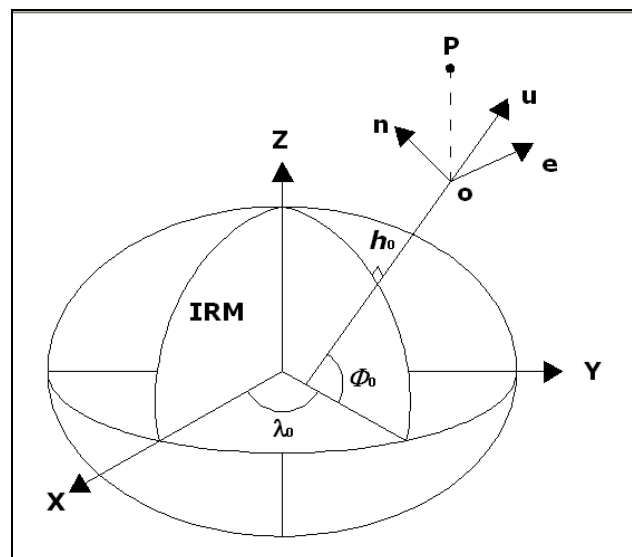
O eixo  $u$  coincide com o eixo da normal da origem do sistema apontando para um ponto próximo ao Zênite.

O eixo  $n$  aponta para o norte geodésico e faz ângulo reto com o eixo  $u$ .

O eixo  $e$  torna o sistema dextrógiro.

A posição de um ponto  $P$  neste sistema é representada pelas componentes do vetor  $OP$  sobre os eixos  $e$ ,  $n$ ,  $u$ .

Não está associado com as características físicas da Terra (Teixeira, 2005), adota-se o elipsóide de revolução, para a representação das coordenadas geodésicas (Monico, 2008).



**Figura 4: Sistema Geodésico Local.**

## 2.2 Transformação de Coordenadas

Em diversos trabalhos envolvendo informação espacial, principalmente quando há a junção da Topografia com a Geodésia, se faz necessária a mudança de referencial, com o fim de dar uniformidade e coesão ao trabalho, além de eliminar possíveis fontes de erros sistemáticos (Monico, 2008).

Embora haja uma gama de programas de computador profissionais que realizem eficientemente tais cálculos, apresentam-se a seguir as rotinas a serem aplicadas para a realização das transformações de referenciais mais usuais.

### 2.2.1 Transformação de Geodésica para Cartesiana Geocêntrica

Dadas às coordenadas geodésicas tridimensionais  $(\Phi, \lambda, h)$  de um Ponto qualquer na superfície terrestre e a grande normal GN a ele associada, pode-se obter as coordenadas cartesianas geocêntricas  $(X, Y, Z)$  a partir da Equação (Monico, 2008):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (GN + h) \cos(\Phi) \cos(\lambda) \\ (GN + h) \cos(\Phi) \sin(\lambda) \\ (GN(1 - e^2) + h) \sin(\lambda) \end{bmatrix} \quad (1)$$

onde,

$GN$ , é o raio da seção primeiro vertical, e  $e^2$  é a primeira excentricidade ao quadrado.

### 2.2.2 Transformação de Cartesiana Geocêntrica para Geodésica

Dadas às coordenadas cartesianas geocêntricas  $(X, Y, Z)$  de um ponto qualquer na superfície terrestre, pode-se obter as coordenadas geodésicas tridimensionais  $(\Phi, \lambda, h)$  do seguinte modo (Monico, 2008):

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (2)$$

$$\phi = \arctg\left(\frac{Z.a}{p.b}\right) \quad (3)$$

$$\lambda = \arctg\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (4)$$

$$\Phi = \arctg\left(\frac{Z + e^2.b.\text{sen}^3(\phi)}{p - e^2.a.\text{cos}^3(\phi)}\right) \quad (5)$$

$$h = \frac{p}{\cos(\Phi)} - GN \quad (6)$$

onde,

$a, b$  são os semieixos do elipsóide,  $GN$  é o raio da seção primeiro vertical, e  $e^2$  é a primeira excentricidade ao quadrado.

### 2.2.3 Transformação de Cartesiana para SGL

Dadas as coordenadas cartesianas geocêntricas  $(X_o, Y_o, Z_o)$  e geodésicas  $(\lambda_o, \Phi_o)$  do ponto de tangência adotado para o SGL e ainda as coordenadas cartesianas  $(X, Y, Z)$  de um ponto qualquer, pode-se obter as coordenadas  $(e, n, u)$  no SGL por (Monico, 2008):

$$\begin{bmatrix} e \\ n \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen}(\lambda_0) & \cos(\lambda_0) & 0 \\ -\text{sen}(\Phi_0).\cos(\lambda_0) & -\text{sen}(\Phi_0).\text{sen}(\lambda_0) & \cos(\Phi_0) \\ \cos(\Phi_0).\cos(\lambda_0) & \cos(\Phi_0).\text{sen}(\lambda_0) & \text{sen}(\Phi_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

### 2.3 Técnicas de posicionamento GNSS

A utilização de um sistema GNSS para fins de posicionamento e não puramente navegação, requer técnicas que podem ser classificadas em posicionamento absoluto, posicionamento diferencial e posicionamento relativo.

O posicionamento absoluto é utilizado tanto em navegação como em geodésia. É aquele em que o usuário obtém sua posição exclusivamente a partir dos dados de rastreamento de um único equipamento receptor. No caso da navegação a observável utilizada é o código C/A, o que não apresenta boa precisão para fins geodésicos.

Ainda no posicionamento absoluto existe o Posicionamento por Ponto Preciso – PPP – que consiste na coleta de dados de código C/A, e das fases portadoras L1 ou L1/L2 durante um intervalo de tempo, que dependerá da precisão que se deseja alcançar, e no pós-processamento dos dados obtidos, mas considerando não as órbitas transmitidas no momento da coleta dos dados, e sim, as órbitas precisas. Com esta técnica melhora-se a precisão alcançando-se o nível dos centímetros a depender do tempo de observação (Monico, 2008).

O posicionamento diferencial é realizado com dois receptores simultaneamente, onde um receptor, fixo em um ponto de posição conhecida, estima as correções a serem aplicadas no receptor móvel. Estas correções podem ser realizadas em tempo real ou podem ainda ser pós-

processadas e são aplicadas diretamente nas coordenadas ou nas pseudodistâncias obtidas pelo código C/A (IBGE, 2008).

O posicionamento relativo, que também necessita de dois equipamentos ligados simultaneamente. Após a coleta de dados, as informações são pós-processadas e obtêm-se então as posições dos pontos estimando-se as coordenadas do receptor móvel em função das coordenadas do receptor fixo e das diferenças de coordenadas registradas entre estes (IBGE, 2008).

Cita-se ainda um método específico de posicionamento relativo denominado de RTK – Cinemático em Tempo Real. Este é um método de posicionamento em que o receptor fixo envia as correções de posição para o receptor móvel que atualiza sua posição praticamente em tempo real. Este tem sido um método eficiente no balanço entre precisão e ganho de tempo, pois permite aprimorar os trabalhos sem perda de qualidade dos dados (Monico, 2008).

Monico (2008) apresenta o conceito de sistemas de aumento, que é composto por sistemas regionais de posicionamento como WAAS, EGNOS, MSAS, SNAS, GRAS, GAGAN, SCDM, StarFire e Omnistar. O GPS fornece um ponto de partida prático para o GNSS, no entanto O GPS não pode satisfazer todas as necessidades da aviação civil sem o sistema de aumento para melhorar sua precisão, integridade, continuidade e disponibilidade. Satellite Based Augmentation Sistema (SBAS) e terra Based Augmentation System (GBAS) são dois métodos de aumento para o GNSS que estão activamente prosseguidos pela comunidade internacional (Lawrence et al, 2007). Estes sistemas tem o objetivo de reunir dados de mais de um sistema de posicionamento e fornecer ao usuário a correção em tempo real. A precisão destes sistemas alça o nível nível sub-métrico, o que tem levado sua utilização à navegação, à auscultação sub-aquática, a auscultação via laser-scanner e à aplicações agrárias, dentre as quais se destaca a agricultura de precisão (Dixon, 2014).

## **2.4 Métodos de auscultação geodésica**

Os métodos auscultação geodésica, que incluem técnicas como nivelamento geométrico, nivelamento trigonométrico, poligonação, irradiação, triangulação, trilateração e interseção a ré ou a vante (MacCormac, 2011; Comastri, 1977), propiciam à detecção de movimentos horizontais e verticais da própria rede ou de elementos externos a rede (Soares, et al., 2004).

Mudanças da geometria interna, da rede alteram o tamanho e a forma da estrutura (Chaves, 1994), enquanto movimentos que atuem proporcionalmente em todo o conjunto podem não causar alterações na geometria, mas apenas mudanças na orientação e na posição do bloco. Sendo assim, os movimentos podem ser classificados em internos ou externos.

Os movimentos internos são aqueles onde há alteração da geometria e conseqüentemente da posição do objeto ou de partes dele. Os movimentos externos são aqueles em que há mudança de posição sem que haja, necessariamente, alteração na geometria.

Para descrever tais movimentos deve-se recorrer aos métodos clássicos e específicos de monitoramento, sendo que se destacam neste cenário, os métodos da interseção e do posicionamento em rede.

### **2.4.1 Interseção**

Neste método, os pontos topográficos a serem levantados serão definidos pelas interseções dos lados de ângulos horizontais medidos das extremidades de uma base, formada por dois pontos, estabelecida no terreno (MacCormac, 2011).

No método da interseção, a base é a única linha da qual se necessita medir a distância horizontal. Ainda na interseção devem-se evitar as formações de ângulos próximos a  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  ou  $180^\circ$ .

A resolução dos dados deste processo dar-se-á por processo trigonométrico (Comastri, 1977).

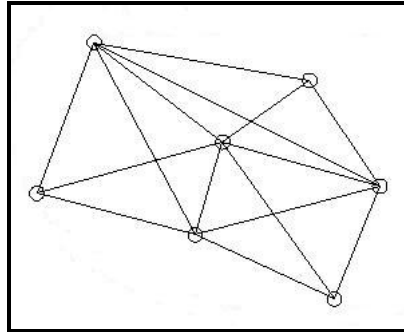
O método da interseção pode ainda ter uma vertente para a interseção a ré, onde, também por processo trigonométrico, é determinada a posição do ponto ocupado e uma direção. Esta determinação é possível quando são realizadas leituras de referência, observando-se ângulos e distâncias a três diferentes pontos conhecidos.

#### **2.4.2 Rede**

O monitoramento por rede é um método de monitoramento que envolve os métodos clássicos e avança no sentido de atender as necessidades da determinação de posições em corpos onde se supõe a suscetibilidade a deslocamentos (Moraes et al, 2010).

O levantamento em rede consiste na união da triangulação, trilateração, poligonação, interseção e irradiação, sendo que nele são realizadas visadas entre os pontos de modo que seja formado o maior número possível de vetores, possibilitando a melhora dos resultados alcançados, conforme ilustrado na Figura 5 (Moraes et al, 2012).

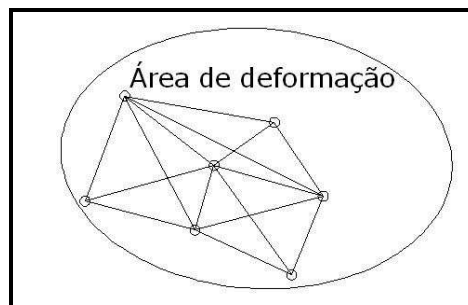
Este método compreende dois seguimentos, a rede relativa e a rede absoluta.



**Figura 5: Rede de monitoramento.**

#### 2.4.2.1 Rede Relativa

Uma rede relativa é determinada quando todos os pontos da rede estão localizados na área sujeita a movimentação, conforme Figura 6. Neste caso só é possível determinar movimentos internos, analisando um ponto em relação ao outro. Não é possível, para este tipo de rede, analisar os movimentos como a translação, rotação ou subsidência de todo o conjunto (Poletto, 2010; Soares, et al., 2009).

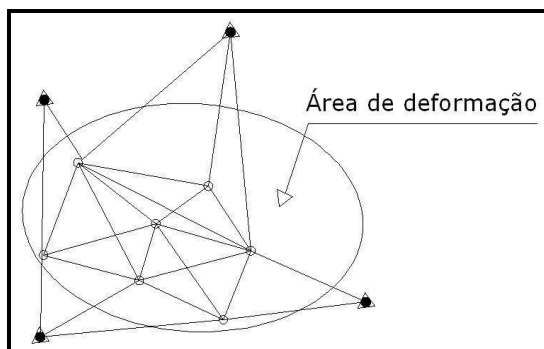


**Figura 6: Rede relativa.**

#### 2.4.2.2 Rede de Referência ou Absoluta

Este tipo de rede é determinado quando há pontos de controle fora da área de instabilidade, e estes pontos são utilizados para estabelecer a

translação e a orientação do sistema, conforme ilustra a Figura 7. Nestes casos é possível determinar movimentos internos e externos que venham a afetar a rede (Soares, et al., 2009).



**Figura 7: Rede absoluta.**

### **2.4.3 Nivelamento**

Chamam-se genericamente de nivelamento, as operações que se executam com instrumentos e métodos adequados, em uma determinada região na qual se coletam dados topográficos de altimetria com o objetivo de se determinar a diferença de nível entre pontos topográficos (Comastri & Tuler, 1999).

Estas operações podem ser realizadas com equipamentos denominados níveis, caso opte-se pela resolução direta, por goniômetros associados à distanciômetros, para soluções trigonométricas indiretas, ou até mesmo podem ser realizadas por barômetros, também para soluções indiretas.

#### **2.4.3.1 Nivelamento geométrico**

Nivelamento geométrico, também chamado de nivelamento direto, é aquele em que as diferenças de nível são determinadas a partir do emprego

de instrumentos topográficos que formam planos horizontais (Comastri & Tuler, 1999).

Neste tipo de nivelamento, a diferença de nível é dada por meio da análise da distância vertical entre os pontos observados e o plano horizontal estabelecido. Estas distâncias são tomadas com o uso de uma mira vertical.

Quanto à forma de execução o nivelamento geométrico ser dividido em geométrico simples, aquele no qual se alcança todos os pontos a partir de uma única sede de observação, e geométrico composto, aquele em que se utiliza mais de uma sede de observação (Comastri & Tuler, 1999).

#### **2.4.3.2 Nivelamento trigonométrico**

O nivelamento trigonométrico é uma técnica que recorre à resolução de triângulos para determinar a diferença de nível entre dois pontos (Comastri & Tuler, 1999), suas observáveis são o ângulo zenital, a distância inclinada, a altura do goniômetro e a altura do alvo, sendo que, com o fim de corrigir erros de origem sistemática na distância e no ângulo zenital, podem ser tomados ainda dados de temperatura e de pressão atmosférica.

A norma técnica NBR 13133 assim versa sobre este método.

*“Nivelamento que realiza a medição da diferença de nível entre pontos do terreno, indiretamente, a partir da determinação do ângulo vertical da direção que os une e da distância entre estes, fundamentando-se na relação trigonométrica entre o ângulo e a distância medidos, levando em consideração a altura do centro do limbo vertical do teodolito ao terreno e a altura sobre o terreno do sinal visado”. (ABNT, 1994)*

Diferentemente do nivelamento geométrico, este método, que é executado com o auxílio de teodolitos, não se limita a necessidade de se

percorrer todo o percurso. Devido a sua capacidade de uso de longas visadas, pode inclusive combinar recursos de intersecção e triangulação. No entanto, neste método não há compensação automática de erros como ocorre no nivelamento geométrico. Erros como o de esfericidade da terra e o de refração atmosférica devem ser tratados individualmente caso o rigor destes se aplique a precisão do trabalho.

A precisão no nivelamento trigonométrico é influenciada pelos seguintes fatores: Refração atmosférica, medição da altura da estação e do alvo, estabilidade posicional do alvo e precisão dos instrumentos utilizados (Segantine & Moreira, 2003).

## **2.5 Erros nas observações**

Não há equipamento ou indivíduo com a capacidade de efetuar medições com total isenção de erro, o que leva a afirmativa de que toda observação, inclusive na topografia, está contaminada com algum tipo de erro. Entende-se por erro a diferença entre o valor real, nunca conhecido, e o valor obtido por observação (MacCormac, 2011).

A informação espacial tem a preocupação de fornecer dados confiáveis, portanto, tem a necessidade de classificar, identificar e tratar os erros. Dentro deste contexto os erros são classificados como erros grosseiros, erros sistemáticos ou erros aleatórios (Espartel, 1977).

O erro grosseiro pode ser causado por imperícia ou até mesmo falta de atenção (MacCormac, 2011). Este tipo de erro compromete todo um ciclo de trabalho e exige, na maioria dos casos, que o operador refaça suas observações.

Um erro sistemático, ou erro natural, é causado devido a imperfeições nos sentidos do operador, imperfeições nos equipamentos ou ainda devido a efeitos naturais como as condições atmosféricas. Uma das características

deste tipo de erro é a unilateralidade e a cumulatividade do mesmo, o que permite uma modelagem matemática, ou ainda a criação de rotinas de coleta de dados, para seu tratamento ou prevenção (MacCormac, 2011).

Os dois tipos de erro já citados devem ser devidamente tratados, pois uma observação não pode ser considerada satisfatória se estiver viciada com os tipos de erros acima citados. No entanto, encontra-se nas literaturas o erro acidental compensável, ou aleatório. Esta nomenclatura se reporta aquele erro cuja magnitude e direção é desconhecida e que está fora do controle do operador (MacCormac, 2011). Para este tipo de erro resta apenas o tratamento estatístico, dada a sua aleatoriedade (Yamamoto & Landim, 2013).

Em geodésia os erros são classificados segundo as três naturezas acima citadas, entretanto, os erros, nas medições de ângulo e de distância, podem ser identificados segundo suas fontes, de onde se podem enumerar alguns deles como sendo: Erro devido ao efeito da temperatura e pressão atmosférica na medição eletrônica de distâncias, dilatação da trena, dilatação da mira vertical em medições estadimétricas, erro de excentricidade do teodolito ou da estação total, erros de colimação do teodolito, erro de zênite instrumental, erro de verticalidade do alvo, erro de catenária da trena, erro de desvio do alvo, erro devido aos efeitos da curvatura da Terra entre outros (Espartel, 1977; Comastri & Tuler, 1999).

## **2.6 Ajustamento de Observações**

A partir de observações abundantes, relacionadas a uma posição, o ajustamento de observações visa estimar um valor e uma precisão para esta posição. O princípio utilizado para estabelecer um resultado é obter um valor que minimize a soma dos quadrados dos resíduos das observações, daí o

título de ajustamento de observações pelo método dos mínimos quadrados – MMQ (Dalmolin, 2004).

Dentre os métodos clássicos de ajustamento de observações, se destacam os Métodos paramétrico, correlatos e combinado (Gemael, 1994).

### 2.6.1 Detecção de erros grosseiros nas observações

As estratégias de detecção de outlier, ou erros grosseiros, têm suas raízes em (Baarda, 1968), cuja técnica é denominada “data snooping” (Gemael, 1994).

Pope, seguindo linhas similares às de (Baarda, 1968), apresentou outro método denominado “Tau” (Gemael, 1994).

A detecção de outlier após o ajustamento é sempre baseada na análise dos resíduos, cujo pré-requisito é a disponibilidade de um conjunto de observações redundantes (Kuang, 1996).

A teoria assume que somente um outlier pode ser detectado em cada teste envolvendo um conjunto de observações. Neste método todos os resíduos são testados individualmente (Gemael, 1994).

Suponha um conjunto de  $n$  observações em um ajustamento pelo MMQ, na qual  $li$  é a  $i$ -ésima observação. Todas as observações só podem conter erros normalmente distribuídos  $ei$  (erros aleatórios). Se há suspeita de que uma observação  $li$  contenha um outlier  $\epsilon_i$ , a hipótese a ser fornecida é:

Hipótese básica.

$$H_0 : li + ei = 0 \tag{8}$$

Hipótese alternativa

$$H_1 : li + ei + \epsilon_i = 0 \tag{9}$$

No caso de observações não correlacionadas, a estatística do teste pode ser computada pelos resíduos padronizados como:

$$T_i = \frac{|V_i|}{\sigma_{v_i}} \quad (10)$$

Se  $T_i$  for maior que um determinado critério ou nível de rejeição, a observação é tida como contendo um erro grosseiro, isto é, a hipótese básica  $H_0$  é rejeitada.

Estes critérios são estabelecidos a partir de tabelas (Baarda, 1968) que levam em consideração o nível de significância  $\alpha$  e o poder do teste  $\beta$  (Kuang, 1996).

Assim, se houver necessidade de testar se em um conjunto de observações há um erro grosseiro e este teste for com uma probabilidade de 5% de cometer o erro tipo I ( $\alpha$ ) e 5 % de cometer o erro tipo II ( $\beta$ ), o critério, segundo a Tabela 1 será 3,61 (Kuang, 1996).

**Tabela 1: Parâmetro de centralidade.**

$1 - \beta$	$\alpha = 0,10\%$	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
50%	3,29	2,58	1,96
70%	3,82	3,10	2,48
80%	4,13	3,42	2,80
90%	4,57	3,86	3,24
95%	4,94	4,22	3,61
99%	5,62	4,90	4,29

Fonte: (Kuang, 1996)

Desta maneira, se  $T_i$  for maior que 3,61, então a hipótese  $H_0$  é rejeitada e a correspondente observação é eliminada.

Neste caso, tem-se uma probabilidade de 5% de se cometer um erro tipo I, isto é, rejeitar uma observação quando de fato não há erro grosseiro e,

5% de probabilidade de se cometer um erro tipo II, ou seja, aceitar uma observação em que haja erro grosseiro.

## 2.7 Geoestatística

Geoestatística é o ramo da estatística aplicada que desenvolve e aplica modelos para representar fenômenos naturais cujas propriedades variam em função da localização espacial dos pontos de observação (Meirelles et al, 2007).

Georges Matheron é considerado o pai da Geoestatística por seus trabalhos nas bases teóricas de um método de interpolação espacial denominado de krigagem. Este nome deriva do engenheiro sul-africano D. Krige, pioneiro em aplicar o método empiricamente em previsões de reservas minerais. Em 1968, Matheron fundou o Centre de Géostatistique et de Morphologie Mathématique em Fontainebleau, na França (Machado et al, 2004).

Segundo Matheron, uma variável regionalizada é uma função  $f(x)$  do ponto  $x$ , mas também é uma função irregular na qual se tem dois aspectos contraditórios ou complementares: um aspecto aleatório, cuja irregularidade não permite prever as variações de um ponto a outro; e um aspecto estruturado, que reflete as características estruturais do fenômeno regionalizado. Para Matheron, a Teoria das Variáveis Regionalizadas tem dois objetivos: teoricamente, descrever a correlação espacial; na prática, resolver problemas de estimativa de uma variável regionalizada com base em uma amostra (Yamamoto & Landim, 2013).

O estimador para uma variável regionalizada deve levar em consideração as respectivas posições relativas e, portanto, a característica estrutural do fenômeno. Qualquer variável dependente do espaço, que apresente além do caráter aleatório, um caráter estrutural, pode ser tratada

como variável regionalizada e sofrer uma análise segundo o formalismo desenvolvido pela Geoestatística. O termo Geoestatística tem uma abrangência mais ampla do que a dada originalmente por Matheron e pode ser definido como uma subárea da Estatística que estuda as variáveis regionalizadas (Yamamoto & Landim, 2013).

Supondo que ocorra uma correlação espacial entre os dados, os valores serão muito próximos em dois pontos vizinhos e progressivamente mais diferentes à medida que os pontos ficarem mais distantes. Em outras palavras, amostras situadas próximas deverão apresentar valores altamente relacionados e, portanto, poderão ser utilizadas para estimar o seu valor médio, e, à medida que se aproximem, a sua similaridade diminuirá até se tornarem independentes. A influência de cada amostra é inversamente proporcional à distância (Yamamoto & Landim, 2013).

A Geoestatística tem por objetivo a caracterização espacial de uma variável por meio da análise de sua distribuição e variabilidade espaciais e da determinação das incertezas associadas (Meirelles et al, 2007)

Quando se estuda um fenômeno espacial do qual se tem pouco conhecimento sobre a variável de interesse, é necessária uma amostragem, pois é impossível analisar todo conjunto de valores (Yamamoto & Landim, 2013).

A amostra é um subconjunto de valores do fenômeno espacial que, se representativa, deve reproduzir a distribuição e variabilidade espaciais tanto em tamanho, isto é, número de pontos de dados, como em termos de distribuição dos pontos (Yamamoto & Landim, 2013).

O processo de reprodução das características do fenômeno espacial baseado em pontos amostrais é denominado interpolação ou estimativa. A interpolação ou estimativa de um ponto não amostrado é feita por meio do ajuste de funções matemáticas locais ou globais (Yamamoto & Landim, 2013).

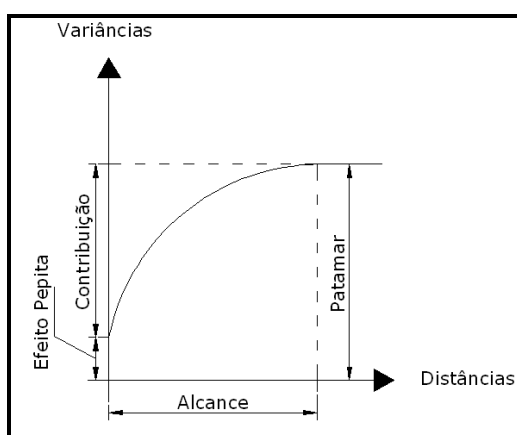
É preciso ressaltar que a interpolação ou estimativa em pontos não amostrados é sempre necessária, pois a amostragem não é feita em pontos próximos entre si, devido a impossibilidade física e econômica (Meirelles, Camara, & Almeida, 2007).

### 2.7.1 Semivariograma

O variograma ou semivariograma analisa o grau de dependência espacial das amostras e define os parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados (Meirelles et al, 2007).

Define-se variograma como a expressão da variabilidade entre duas variáveis que se relacionem por meio de uma distância. O variograma pode ser expresso por meio de gráficos ou tabelas e pode ser classificado como experimental, real ou teórico (Meirelles et al, 2007).

O variograma tem quatro componentes principais, patamar, alcance, contribuição e efeito pepita (Vieira, 2000), conforme ilustra Figura 8.



**Figura 8: Representação de um semivariograma.**

Efeito pepita é o valor de variância encontrado entre dois pontos que possuam a menor distância possível entre os pontos da área amostral. A

partir daí, aumenta-se a distância entre pontos e a variância tende a aumentar até atingir a máxima dissimilaridade, o patamar. A distância entre pontos, correspondente ao patamar é chamada de alcance, que é a maior distância para a qual se verifica a dependência espacial (Meirelles et al, 2007).

Um modelo de semivariograma é uma função que determina a variabilidade espacial para qualquer distância e direção. Unicamente uma função condicionalmente negativa definida pode ser considerada como modelo de semivariograma. Modelos de semivariograma que possuem patamar são denominados de Modelos de Transição (Machado et al, 2004). Os três modelos mais comuns são o esférico, o gaussiano, exponencial.

### **2.7.2 Krigagem**

Em Informações Espaciais e principalmente em geodésia é comum utilizar a interpolação linear por meio de triangulação. Este modelo é aplicável quando se tem abundância de pontos, ainda ele não considera ponderação entre os pontos (Meirelles et al, 2007).

A proposta da krigagem é oferecer um método que faça a interpolação de valores não amostrados, utilizando a correlação espacial entre os dados (Vieira, 2001).

Considera-se a Krigagem como o Melhor preditor Linear não viciado. O termo Linear é utilizado porque as suas estimativas são combinações lineares ponderadas dos dados existentes; é não tendencioso, pois procura que a média dos erros<sup>1</sup> seja nula; é a melhor porque os erros de estimação apresentam uma variância (variância de estimação) mínima (Meirelles, 2007).

---

<sup>1</sup> Ou Resíduo: Diferença entre o valor real e o valor estimado

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

O capítulo que segue trata da descrição de todos os métodos e processos empregados para alcançar os objetivos do trabalho de auscultação geodésica da encosta da Serra de São Geraldo – Fazenda experimental CPT – CENTRO DE PRODUÇÕES TÉCNICAS.

#### **3.1 Caracterização do problema**

A pesquisa foi desenvolvida na fazenda do Centro de Produções Técnicas (CPT), na Serra de São Geraldo, situada a aproximadamente 30 (trinta) km ao sul de Viçosa.

Em meio a um “mar de morros” e às margens da rodovia BR 120, a área de interesse conta com pelo menos três nascentes de água além de dois corpos de águas perenes.

A formação rochosa da região é basicamente composta por Gnaisse orientado e a pastagem, que é a cobertura vegetal predominante, sofre constantemente os efeitos de queimadas.

O trecho da estrada que corta a propriedade, especificamente na área experimental, tem sido alvo de constantes problemas estruturais. Como exemplo de tais recorrências podem-se citar escorregamentos e trincas, conforme apresentado nas Figura 9 e 10, subsidências na pista de rolamento, além do acúmulo de sedimentos carregados por meio de erosão pluvial.



**Figura 9: Formação de trinca no solo – estágio inicial.**



**Figura 10: Formação de trinca no solo – estágio avançado.**

Toda a região afetada e seus arredores tem como vegetação predominante a pastagem, que é sazonal e sofre efeitos anuais de queimadas que deixam exposto o solo, no entanto há esforços para modificação da flora local com a implantação do cultivo de florestas de eucaliptos fora das áreas que deveriam ser destinadas à preservação permanente e à reserva legal.

O tráfego na rodovia que corta a propriedade, embora não seja intenso, é considerado pesado, dado ao tipo de veículos que nela circulam.

No segundo semestre de 2012, quando se encerrava uma obra de reforma no referido trecho percebeu-se a formação de pequenas trincas no terreno. As trincas, que se localizavam em terreno logo abaixo da área de bota-fora da obra, desenvolveram-se a ponto de que, em um intervalo de tempo de aproximadamente quarenta dias o trânsito de animais no citado espaço começasse a ser ameaçado e tivesse que ser suspenso. Como a identificação dos sintomas de um possível problema coincidiu com a época de obras no trecho de estrada acima da encosta, levantou-se a possibilidade de que os eventos estivessem relacionados e que o problema ali identificado se tratasse de uma movimentação do solo.

Deu-se então início a este trabalho objetivando determinar a real natureza do problema, as suas dimensões de alcance e seus riscos.

### **3.2 Material, equipamentos e programas.**

O desenvolvimento do trabalho de auscultação demandou o emprego de equipamentos, programas de computador e de técnicas adequadas, os quais foram listados a seguir:

- Quarenta e nove marcos de concreto;
- Quatro Receptores de GPS Promark II L1: seriais 11655, 11666, 11679, 11717;
- Dois receptores de GPS GTR G2 L1L2 com RTK: seriais NEP 08410003 e NEP 08410014;
- Receptor GPS de navegação Garmin;
- Estação Total Topcon 102N serial 5643;
- Quatro prismas reflexivos de estação total;
- Um tripé de alumínio para estação total;
- Dois tripés alumínio para bastões GPS;
- Quatro bastões de alumínio para prismas e GPS, com 1,48 metros de comprimento com base e topo roscáveis;
- Uma trena de aço;
- Programa de computador Spectra precision – versão 1.13;
- Programa de computador R-Project – versão 3.0.2;
- Programa de computador MatLab – versão 2012b;
- Programa de computador Microsoft Excel – versão 2010;
- Programa de computador DataGeosis - versão Demo 7.5.10.0;
- Programa de computador GPS Track Maker – versão 3.8 pró;

### 3.3 Montagem do experimento

#### 3.3.1 Identificação da área afetada

A etapa inicial da montagem do experimento foi a identificação e demarcação da área afetada pelo fenômeno. Para esta identificação foi feito o cadastro das frestas por meio de geodésia celeste. Nesta etapa inicial não houve necessidade de equipamentos ou de técnicas de alta precisão, uma vez que este levantamento foi utilizado apenas para estimar a dimensão da área afetada e para identificar a possível posição dos pontos de controle. Portanto foi utilizada para esta primeira inspeção, o GPS de navegação, dado a sua praticidade de operação e ao seu custo reduzido, gerando a visualização apresentada na Figura 11.



**Figura 11: Vista aérea da área afetada – Fonte: Google Earth.**

A Figura 11 apresenta a posição das trincas, da estrada e permite a visualização da área onde foram realizadas obras de reparo da rodovia BR

120. Por meio deste levantamento inicial ainda foi possível mensurar a área afetada pelo fenômeno, que totalizava 4, 99 hectares.

Após a identificação da área afetada pelos movimentos, foram definidos os locais de implantação dos pontos de monitoramento e de apoio.

A nomenclatura da rede foi dividida em pontos de apoio e em pontos de monitoramento, sendo que os pontos de apoio são pontos de estabilidade confiável e de coordenadas pré-determinadas, conforme (Soares, et al., 2009), tais pontos são a referência de toda a rede. Os pontos de monitoramento foram os pontos implantados na área onde supostamente ocorreriam os deslizamentos. A descrição desta configuração encontra-se pormenorizada nos tópicos 3.4 e 3.6.

### **3.3.2 Arquitetura dos marcos**

Esta etapa constou da elaboração da arquitetura dos elementos que materializaram a rede. A engenharia destes elementos foi idealizada com vistas a atender o caso particular da área de estudos que tem entre suas necessidades específicas:

- Prever o efeito do trânsito de animais de pequeno e de grande porte na conservação da estrutura e estado dos elementos;
- Prever a ação de enxurradas que possam carrear os pontos e mascarar os resultados;
- Prever a estrutura dos elementos de modo que estes não influenciem no fenômeno estudado;
- Prever elementos de fácil instalação e transporte e que sejam resistentes ao tempo.

Os primeiros elementos planejados, fabricados e implantados foram compostos de pilares de concreto montados em tubos de PVC, conforme ilustra Figura 12, com 150 mm de diâmetro e 0,80 m de altura. Cada pilar

continha um furo (Figura 13) para receber o parafuso de centralização. No entanto, estes pilares, embora ofereçam facilidade na visualização e consequente identificação, apresentaram dificuldades de transporte e de instalação no solo, pois este apresentava muitos sedimentos rochosos.

Visando aperfeiçoar a implantação foi concebido o pilar de concreto moldado no local, ilustrado na Figura 13, a partir de um furo no terreno com dimensões de 60 cm de profundidade e 20 cm de diâmetro, ou engastado a uma rocha. Nestes marcos também foi moldado um furo de 8 cm de profundidade e 4,0 cm de diâmetro para receber o pino de centralização.



**Figura 12: Marco em tubo de PVC.**



**Figura 13: Marco local em processo de montagem.**

Os pinos de centralização foram fabricados em tornearia e posteriormente instalados nos marcos. Eles foram construídos tendo como base de seu corpo uma barra rosqueada de 12,5 mm de diâmetro e 90 mm de altura, tendo uma porca soldada a 15 mm de seu topo e um furo no centro da circunferência da barra, conforme Figura 14 e Figura 15.

A rosca que seguia por toda a barra, abaixo da porca, funcionou como estrutura de fixação da peça ao concreto em função das suas ranhuras, e, acima da porca, como estrutura de rosqueamento e sustentação para os bastões dos alvos e dos receptores de GPS.

A porca soldada no corpo da barra teve como funcionalidades o impedimento de movimentos de rotação da barra durante a fixação dos equipamentos de medição e, estrutura base para a tomada da altitude do ponto materializado pela peça.



**Figura 14: Parafuso de centralização – vista de perfil.**



**Figura 15: Parafuso de centralização – vista de topo.**

### **3.3.3 Instalação dos marcos e dos pinos de centralização**

A implantação dos elementos seguiu-se após a predeterminação dos locais que seriam investigados.

O primeiro passo para a instalação foi proceder a limpeza manual do espaço de instalação do ponto e do ambiente de operação dos equipamentos e, a realização da cava, conforme ilustra Figura 16, para a instalação do pilar.

Com a cava aberta, o pilar de concreto foi instalado no solo. No caso do pilar pré-moldado, este foi colocado no solo, nivelado e teve o solo a sua volta compactado. No caso do pilar moldado no local, o concreto foi despejado dentro da cava, conforme Figura 17. Com o concreto ainda fresco, foi introduzido um tubo de PVC de 100 mm de altura e 40 mm de diâmetro envolto em plástico filme. O tubo teve a funcionalidade de moldar o pilar para receber o pino de centralização, enquanto o plástico filme viabilizou a posterior retirada do tubo para a eficiente instalação do pino.



**Figura 16: Realização de cava para implantação de marco.**



**Figura 17: Processo de instalação de marco.**

Com o concreto seco fez-se a retirada do tubo de PVC, do plástico filme e procedeu-se a instalação do pino de centralização. Esta instalação foi cumprida nos seguintes passos:

- Encaixe do pino no bastão de nivelamento, Figura 18 e Figura 19;
- Encaixe do bastão de nivelamento no tripé para bastão;
- Colocação de massa plástica no furo. O furo é preenchido com massa plástica até um terço do seu volume. A funcionalidade da massa plástica é a rápida solidificação e consequente fixação do pino;
- Colocação do conjunto pino, bastão e tripé sobre o marco, com o pino imerso na massa plástica, Figura 20.
- Nivelamento do bastão, Figura 20 e Figura 21;
- Secagem da massa plástica;
- Retirada do bastão;
- Concretagem de acabamento no marco.



**Figura 18: Processo de instalação do pino de centralização – ajuste do pino no bastão.**



**Figura 20: Processo de instalação do pino de centralização – fixação do pino no marco.**



**Figura 19: Processo de instalação do pino de centralização - ajuste do pino no pilar.**



**Figura 21: Processo de instalação do pino de centralização.**

### 3.3.4 Realização da rede

Após a instalação do marco é feita a coleta das coordenadas aproximadas com o receptor de GPS de navegação. Este processo, dado a quantidade de pontos implantados, visa facilitar a localização do marco em ocasiões futuras, otimizando o processo de levantamento.

Após o processo de implantação de todos os pontos, foi executada a realização da rede, que consiste no rastreamento adequado de cada ponto, com o propósito de determinar a posição inicial de cada um. Esta primeira realização foi efetuada a partir da técnica de geodésia celeste por GPS relativo utilizando a portadora L1, conforme disponibilizado no Apêndice 2.

Este levantamento procedeu-se com o uso de quatro receptores simultaneamente, da seguinte forma:

Um receptor instalado no ponto denominado P02, origem do SGL, e três receptores ocupando os demais pontos. Os receptores utilizados para

os levantamentos GPS foram configurados para trabalhar com máscara de elevação de  $13^\circ$  e PDOP inferior a 5,5.

Além destes receptores, foi feita a correção destes dados com a estação RBMC VICO. O programa de computador utilizado para o processamento e ajustamento das observações GPS foi o Spectra Precision Survey Office.

### **3.4 Pontos de Apoio**

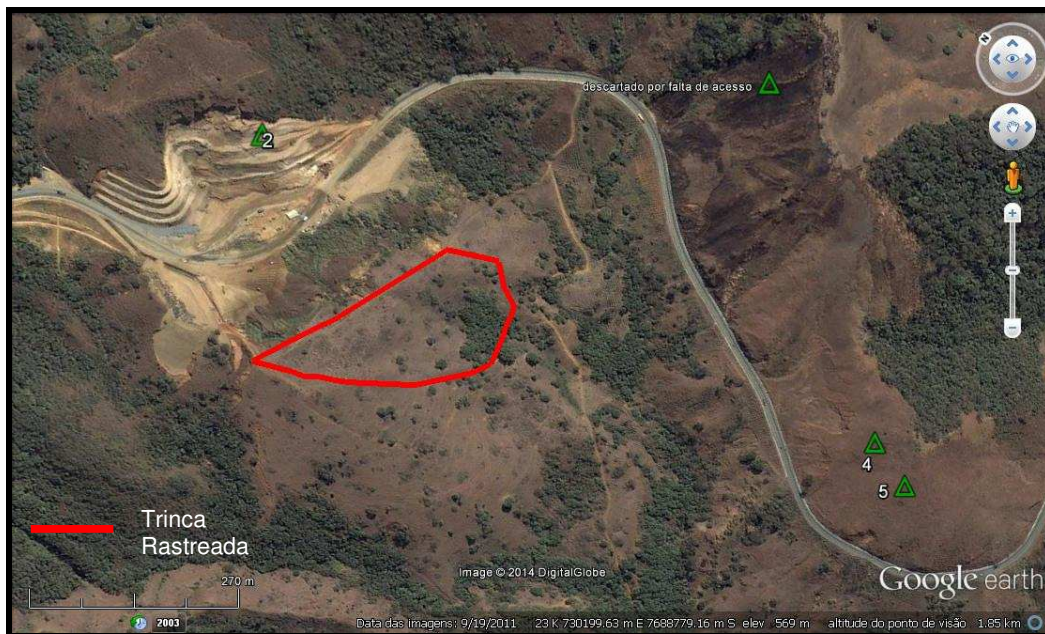
Para a definição dos pontos de apoio foi necessário adotar posições estáveis, fora da área afetada pelos movimentos (Chaves, 1994), preferencialmente equidistantes entre si e os pontos de monitoramento (Segantine & Moreira, 2005), e próximos, de forma a desconsiderar efeitos de curvatura da Terra, da rede de monitoramento.

A área está situada num relevo acidentado, com desníveis de até sessenta metros, circundada por uma autoestrada e por colinas com vegetação do tipo floresta. Toda esta caracterização dificulta a instalação de pontos de controle que sejam intervisíveis, equidistantes e próximos.

Portanto foi adotada a configuração da rede de referência composta inicialmente por quatro marcos, intervisíveis entre si, com distância mínima da rede de monitoramento de cento e vinte metros e distância máxima de mil metros, conforme ilustra a Figura 22.

Entretanto, antes do início da coleta de dados, e até mesmo do levantamento geodésico dos pontos de apoio, o acesso a um dos pontos da

rede de apoio tornou-se inviável devido às alterações físicas<sup>2</sup> e biológicas<sup>3</sup> da área, ficando a rede de apoio configurada com apenas três marcos.



**Figura 22: Rede de Apoio - Fonte: Google Earth.**

### 3.5 Estabelecimento do referencial

Tendo montado a rede de apoio e instalado seus elementos, marcos de concreto, foi iniciado o processo de predeterminação das coordenadas destes pontos. As primeiras coordenadas, aplicadas ao ponto P02, foram determinadas pela técnica de posicionamento relativo por GPS, utilizando equipamentos de portadoras L1/L2, tendo como referência a RBMC VICO. As coordenadas deste ponto foram determinadas no referencial SIRGAS2000.

---

<sup>2</sup> Erosões causadas por carreamento de materiais em período chuvoso que antecedeu a primeira campanha de medição. Estas erosões foram favorecidas pelos efeitos de uma queimada antecedente as chuvas.

<sup>3</sup> Crescimento de espécies vegetais de regime sazonal, tipo pastagem.

A partir do ponto P02, em SIRGAS2000, foram determinadas as coordenadas dos pontos P04 e P05 por meio da técnica GPS RTK.

Com as coordenadas predefinidas em SIRGAS2000, foi executada a transformação de referencial para o Sistema Geodésico Local (SGL) conforme equação (7). O ponto P02 foi adotado como ponto base para as transformações entre os sistemas geodésicos, portanto, suas coordenadas  $(e, n, u)$  foram arbitradas como  $(0,0,0)$ .

Paralelamente a este processo, foi feito o levantamento dos pontos via geodésia geométrica, com o auxílio de estação total utilizando o método de pontaria completa (PD e PI), e foram aplicadas a este às correções de distância vertical e horizontal.

Concluído o processo de levantamento de dados, foi realizado o ajustamento de observações pelo método dos mínimos quadrados, utilizando os dados de coordenadas obtidas por geodésia celeste como parâmetros iniciais de ajustamento.

O ponto P02 foi adotado como referência para a origem do sistema; O azimute de P02 para P04 foi considerado fixo e foi estimado pelas coordenadas obtidas por meio do posicionamento GPS RTK.

O desvio padrão das observações de ângulos (zenitais e horizontais) e distâncias foi definido, primariamente, conforme manual do fabricante do equipamento utilizado (Topcon, 2011).

Conforme Tabela 2, as coordenadas obtidas ao fim deste processo foram consideradas como coordenadas fixas para os pontos da rede de apoio.

***Tabela 2: Coordenadas, em SGL, dos pontos da rede de apoio.***

Ponto	e(m)	n(m)	u(m)
P02	0,0000	0,0000	0,0000
P04	156,7335	-892,6103	-43,1957
P05	133,9537	-961,1554	-42,9264

### 3.6 Pontos de Monitoramento

Os pontos de monitoramento são pontos instalados na área onde se supõe a ocorrência de algum tipo de movimento e onde se percebe a presença de trincas no solo, conforme ilustram as Figura 9 e Figura 10.

Estes pontos foram instalados de modo a cumprir a maioria dos seguintes requisitos:

- Permitir visibilidade a pelo menos dois pontos de monitoramento;
- Permitir visibilidade a pelo menos dois pontos de apoio;
- Ter distância aproximada de 25 metros a outro ponto da rede;
- Situar-se a uma margem da trinca e ter outro ponto à outra margem da mesma trinca.

Depois de instalados todos os pontos de monitoramento, a área de estudo foi dividida em quatro zonas individuais classificadas como Altio, Aterro, Baixio e Bambú, conforme ilustra a Figura 23.

A área da zona do altio esteve localizada na região aparentemente mais estável do terreno, com cotas maiores e sem a presença de mananciais de água.

A zona do aterro foi uma região localizada no foco da obra de manutenção da estrada, foi a área onde a antiga estrada apresentou subsidência e de onde a mesma foi deslocada. A zona de aterro foi utilizada como bota-fora de materiais da escavação da obra da estrada. Destaca-se que este bota-fora foi realizado no leito maior de um curso d'água perene, onde, após término da obra, era possível identificar áreas de solo mole.

A zona de baixio é uma região de cotas baixas, com a presença de áreas de inundação. Já a zona de Bambú é uma área onde, devido a presença de vegetação densa, boa parte dos pontos não pôde ser monitorada eficientemente via satélite e que a rede de monitoramento teve menos vetores ligando-a a rede de apoio, uma vez que apenas três pontos da zona do bambú tinham visibilidade aos pontos de apoio.



**Figura 23: Rede de monitoramento e zoneamento.**

### 3.7 Monitoramento por GPS

O monitoramento por GPS foi realizado por meio de duas técnicas distintas e em diferentes campanhas. Na primeira campanha de medição o monitoramento foi realizado pelo método relativo, utilizando quatro receptores promark II L1 e o ponto RBMC VICO, como base para o transporte de coordenadas.

Foi ocupado o ponto denominado P02, que pertence a rede de apoio e têm coordenadas conhecidas, com um dos receptores Promark II e

simultaneamente foram ocupados três pontos da rede de monitoramento por um intervalo de trinta minutos. Ao fim dos trinta minutos de ocupação um equipamento era retirado de um dos pontos e levado a outro ponto ainda não rastreado, passados mais quinze minutos mais um dos aparelhos, que ainda se encontrava na posição inicial, era mudado de posição. Este procedimento foi realizado no rastreamento de todos os pontos com o fim de obter o maior número possível de vetores para processamento e ajuste dos pontos.

Para o levantamento GPS, assim como para o levantamento com a estação total foram utilizados sempre os mesmos bastões, e estes foram calibrados com a altura de 1,48 m. Para a medição com os receptores promark II, as alturas totais foram consideradas até o centro de fase do receptor sendo compostas da distância vertical do centro de fase à base do receptor, somadas a altura do bastão.

A segunda e a terceira campanhas foram efetuadas na técnica RTK, onde foram utilizados dois receptores GTR G2 L1/L2. O ponto P02 foi ocupado pelo receptor base e os demais pontos foram rastreados de um a um com intervalo de tempo de dois minutos. Em todos os casos, a ocupação dos marcos se deu por centralização via roscagem do bastão.

### **3.8 Monitoramento por estação total**

O monitoramento por estação total que, assim como o levantamento GPS, foi realizado em todas as campanhas seguiu a rotina abaixo.

A altura da estação foi tomada com trena de aço por meio de leitura inclinada, e o valor final foi obtido utilizando a equação:

$$Alt = \sqrt{(li)^2 - (0,09m)^2} \quad (11)$$

onde

$Alt$  é a altura da estação,  $li$  é a leitura da trena,  $0,09$  é o afastamento do apoio da trena, na lateral da estação total, ao eixo vertical da estação.

As visadas foram realizadas nos prismas reflexivos fixados aos marcos de concreto por meio de bastões parafusados aos marcos. Foi utilizado o método de pontaria completa (PD, PI), com 4 repetições, tomando as leituras de ângulo horizontal, ângulo zenital e distância inclinada a cada visada.

A partir de cada marco ocupado, foram feitas visadas à todos os marcos intervisíveis, tanto os da rede de apoio quanto os da rede de monitoramento.

### 3.9 Processamento dos dados de campo

Uma vez coletados os dados de campo, eles foram transferidos para uma planilha eletrônica onde as informações são tabuladas:

Os ângulos, zenitais e horizontais, lidos em posição inversa são devidamente convertidos para os seus equivalentes na posição direta, respectivamente conforme as equações:

$$A_{zen(pd)} = 360^\circ - A_{zen(pi)} \quad (12)$$

$$A_{hor(pd)} = A_{hor(pi)} + 180^\circ \quad (13)$$

As medidas dos ângulos horizontais para cada direção são calculadas e também são calculadas as médias das distâncias horizontais e das diferenças de nível para cada direção.

Obtêm-se então a caderneta de campo, onde cada direção está associada a uma distância horizontal, uma diferença de nível e um ângulo

horizontal horário. Estes dados são armazenados de forma a potencializar a geração dos vetores de observação bruta a serem utilizados no ajustamento de observações.

Com a observação já registrada, é então obtida, manualmente, a equação de observação necessária ao método paramétrico. A obtenção da equação foi a única etapa do processo que não foi automatizada.

### 3.10 Obtenção das coordenadas finais dos pontos

As coordenadas iniciais dos pontos foram obtidas a partir do resultado da primeira campanha GPS. Deste momento em diante os valores iniciais para cada campanha eram assumidos como sendo os valores finais da campanha anterior.

O valor final das coordenadas foi obtido por meio do ajustamento de observações, pelo método paramétrico, aplicado ao levantamento por interseção e ao nivelamento trigonométrico, onde cada observação é descrita por uma equação que foi função dos parâmetros a serem determinados, conforme as Equações (14) e (15).

$$DH_{A-B} = (\sqrt{((e_A - e_B)^2 + (n_A - n_B)^2)}) \quad (14)$$

$$\hat{A}_{A-B-C} = (\text{atan}(\frac{(e_A - e_B)}{(n_A - n_B)}) + \text{pi} - \text{atan}(\frac{(e_C - e_B)}{(n_C - n_B)})) \quad (15)$$

O objetivo deste processo é minimizar o quadrado do resíduo das observações, alcançando-se assim o valor mais provável para os parâmetros (Gemael, 1994).

No entanto, era possível que houvesse entre as observações outliers que influenciassem nos resultados finais. Sendo assim, antes de determinar o resultado do ajustamento deveria-se fazer o processo iterativo de detecção e eliminação de outliers, conforme 2.6.1.

Todo o processo de ajustamento foi realizado com o auxílio do programa Matlab versão 2012b, por meio de algoritmo que automatiza o processo em três etapas supervisionadas.

A primeira etapa foi o ajustamento de observações propriamente dito, onde foram inseridas as observações brutas, as equações, os parâmetros iniciais e onde foram primariamente dosadas as observações por meio da adoção de variâncias para cada observação.

Ao fim desta etapa o sistema informava os resultados primários, coordenadas, suas respectivas precisões e o resultado do teste global, e dava ao analista a opção de prosseguir o processo verificando a existência de outliers ou fazendo nova ponderação às observações.

Caso o analista optasse por verificar a existência de outliers, o sistema aplicaria ao modelo em curso, o teste de Baarda, e retornaria o valor do maior resíduo padronizado encontrado, a observação a ele associada, o número de graus de liberdade e o resultado do teste global. Juntamente com estas informações o analista receberia da rotina a opção de eliminar ou não a observação apresentada. Esta foi a segunda etapa.

Nesta etapa não houve corte automático de observações. O analista era quem adotava o nível de confiança e conseqüente valor máximo para o resíduo padronizado. O sistema informava apenas o maior resíduo padronizado.

Concluída a fase de eliminação de outliers, o sistema refaria o ajustamento com as observações restantes e verificaria sua adequação ao teste global com 95% de confiança. Caso o analista desejasse alterar o nível de confiança do teste, bastaria alterar os critérios do teste no código fonte do algoritmo.

O analista teria então a opção de seguir à terceira etapa caso o ajustamento ainda não tivesse passado no teste global. Neste caso o sistema entraria num processo iterativo automático onde ele verificaria se o ajustamento seria reprovado por superar o limite inferior ou superior do teste. Caso o limite superior fosse superado, o sistema trabalharia com a precisão da observação que tivesse o maior resíduo padronizado, aumentando a esta precisão 50% do seu valor atual. Caso o limite inferior fosse superado, o sistema tomaria a precisão da observação que tivesse o menor resíduo padronizado, diminuindo esta de 20% do seu valor atual.

Realizada a alteração da precisão de uma única observação, o ajustamento seria reprocessado e caso fosse novamente reprovado no teste global, o processo se repetiria para a observação crítica, que poderia ser, inclusive, alguma já alterada anteriormente. O processo só pararia quando o ajustamento fosse aprovado no teste global.

Finalizadas as três etapas do ajustamento teriam-se as coordenadas finais da campanha e suas respectivas precisões.

### **3.11 Obtenção dos deslocamentos**

Os deslocamentos entre dois pontos foram determinados comparando-se as coordenadas obtidas em campanhas distintas (Granemann et al, 2008). De posse das coordenadas de cada campanha e de suas respectivas precisões foi possível comparar as coordenadas dos pontos em cada campanha com sua posição inicial e desta forma determinar o quanto este se deslocou a partir de sua posição anterior.

A fim de determinar se houve real deslocamento de um ponto, não se pôde considerar apenas o resultado da subtração simples dos valores das coordenadas em duas campanhas subsequentes, e sim, se o movimento matematicamente detectado era superior a precisão a ele associada. Caso o

movimento matematicamente detectado superasse a precisão a ele associada, era possível afirmar se houve deslocamento.

### **3.12 Criação do MDD – Modelo Digital de Deslocamento**

De posse dos dados de movimento, entre as campanhas de medição, referentes a cada ponto, foi possível conduzir a confecção dos mapas digitais de deslocamento.

Para este trabalho foi utilizado exclusivamente o sistema R-Project (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010) - pacote geoR (RIBEIRO JUNIOR & DIGGLE, 2001).

Inicialmente procedeu-se a análise exploratória dos dados. Dados como tamanho da amostra, tamanho do espaço amostrado, média e variância dos dados, distâncias mínimas e máximas entre os pontos amostrais foram avaliados.

Um dos recursos disponibilizados pelo sistema R foi a identificação de outliers nos dados, ou seja, o sistema acusaria caso existissem dados discrepantes dentro da amostra tratada. Caso o analista julgasse serem estes dados realmente outliers, o sistema dava-lhe a opção de eliminar tais dados. Houve casos durante este trabalho em que o sistema acusou tais erros, no entanto, devido a natureza da pesquisa e ao conhecimento de campo, estes dados não foram descartados por representarem a realidade.

Neste passo, foram feitos testes estatísticos para avaliar se havia dependência espacial dos dados, no entanto, os pontos amostrais desta pesquisa não foram tomados aleatoriamente, devido à característica do estudo, o que já inviabilizava o uso da estatística clássica, ou aleatória, e dispensava a aplicação de tais testes. Outra ferramenta importante na decisão quanto ao uso da estatística clássica, foi o variograma, pois ele,

uma vez ajustado, mostrava se havia dependência espacial e qual a sua abrangência.

A etapa seguinte foi obter o variograma experimental dos dados e ajustar a este um modelo teórico. A partir do variograma ajustado obtiveram-se informações de efeito pepita, patamar, contribuição e alcance, sendo que o alcance da dependência espacial foi importante resultado para avaliação de deslocamentos, além de ter sido uma variável determinante à krigagem.

Para os dados desta pesquisa, embora tenham sido testados os métodos WLS – Mínimos Quadrados Ponderados, ML - Máxima Verossimilhança e REML - Máxima Verossimilhança Restrita, o melhor ajuste do variograma se deu pelo método OLS – Mínimos Quadrados Ordinários, pois este método trouxe, em todos os casos, a menor soma de quadrados, a maior equivalência entre o patamar e variância e ainda um maior coeficiente de correlação, conforme indicadores de qualidade de ajuste de Vieira (2000).

Dando continuidade ao processo, os dados foram avaliados quanto à existência de tendência de primeira ou de segunda ordem, caso fosse identificada a tendência, a krigagem a ser utilizada seria a krigagem universal, caso não fosse identificada significativa tendência nos dados, seria utilizada a krigagem simples (Santos et al, 2011). Após a avaliação das tendências foi executada a krigagem dos dados.

Por fim foi plotado o mapa de deslocamentos obtido da krigagem e foi feita a avaliação da média, da variância e do desvio padrão da krigagem (Santos et al, 2011).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Coordenadas iniciais dos pontos**

As coordenadas iniciais dos pontos foram obtidas por levantamento GPS, sendo que a primeira campanha foi executada pelo método relativo com receptor promark II L1 e as duas últimas campanhas foram efetuadas pelo método RTK com receptor GTR G2 L1/L2.

Mesmo com o rigor adotado, percebiam-se limitações à aplicação dos métodos de posicionamento via GPS, uma vez que na área de estudo, encontravam-se as seguintes condições adversas:

- Vegetação com variação espacial de altura, volume e densidade. Em regiões com tais características é comum a ocorrência de erro de multicaminhamento nas observações.
- Obstruções do sinal dos satélites, por feições próprias do relevo e da vegetação, sugerem depreciação da geometria da constelação.

Pôde-se verificar por meio da Tabela 3, a discrepância entre os dados GPS, tomados com 45 minutos de rastreamento e posteriormente ajustados, e os dados provenientes do levantamento por estação total, já devidamente ajustados.

**Tabela 3: Comparação de resultados por métodos – GPS x Estação Total.**

CAMPANHA 1								
id	GPS RELATIVO L1			ESTAÇÃO TOTAL			DIFERENÇAS	
	e	n	u	e	n	u	$\Delta$ Plano	$\Delta$ u
20	-208,976	-238,910	-58,478	-208,968	-238,917	-58,435	0,011	0,043
21	-225,233	-243,674	-52,149	-225,222	-243,675	-52,099	0,011	0,050
22	-205,621	-250,755	-57,359	-205,606	-250,762	-57,319	0,017	0,040
23	-221,002	-256,168	-52,494	-220,994	-256,167	-52,446	0,008	0,048
24	-201,946	-266,293	-54,593	-201,929	-266,308	-54,541	0,023	0,052
25	-210,552	-265,468	-54,171	-210,509	-265,464	-54,118	0,043	0,053
26	-190,780	-280,633	-55,968	-190,791	-280,636	-55,911	0,011	0,057
27	-204,860	-285,823	-57,515	-204,862	-285,820	-57,455	0,004	0,060
CAMPANHA 2								
id	GPS RTK L1/L2			ESTAÇÃO TOTAL			DIFERENÇAS	
	e	n	u	e	n	u	$\Delta$ Plano	$\Delta$ u
20	-208,929	-239,004	-58,438	-208,961	-238,962	-58,438	0,053	0,000
21	-225,218	-243,666	-52,106	-225,231	-243,667	-52,103	0,013	0,003
22	-205,561	-250,837	-57,304	-205,593	-250,811	-57,315	0,041	0,011
23	-220,970	-256,153	-52,446	-221,002	-256,161	-52,447	0,033	0,001
24	-201,887	-266,382	-54,527	-201,904	-266,353	-54,535	0,034	0,008
25	-210,515	-265,449	-54,125	-210,526	-265,455	-54,118	0,013	0,007
26	-190,730	-280,709	-55,931	-190,762	-280,683	-55,914	0,041	0,017
27	-204,864	-285,817	-57,471	-204,863	-285,819	-57,457	0,002	0,014
CAMPANHA 3								
id	GPS RTK L1/L2			ESTAÇÃO TOTAL			DIFERENÇAS	
	e	n	u	e	n	u	$\Delta$ Plano	$\Delta$ u
20	-208,929	-239,004	-58,438	-208,937	-239,016	-58,436	0,014	0,002
21	-225,218	-243,666	-52,106	-225,231	-243,657	-52,098	0,016	0,008
22	-205,561	-250,837	-57,304	-205,574	-250,873	-57,314	0,038	0,010
23	-220,970	-256,153	-52,446	-221,019	-256,161	-52,446	0,050	0,000
24	-201,887	-266,382	-54,527	-201,872	-266,404	-54,528	0,027	0,001
25	-210,515	-265,449	-54,125	-210,525	-265,463	-54,079	0,017	0,046
26	-190,730	-280,709	-55,931	-190,704	-280,737	-55,912	0,038	0,019
27	-204,864	-285,817	-57,471	-204,865	-285,812	-57,455	0,005	0,016

Os resultados GPS utilizados diretamente como parâmetros iniciais no ajustamento de observações, embora não necessitassem apresentar alta precisão, devido à ordem de discrepância de algumas observações,

mostraram ser o método ineficiente para a investigação geométrica de encostas, a ponto de levar a uma não convergência do ajustamento, resultado que confronta com os dados obtidos por Poletto (2010). Este autor recomenda o uso de GPS L1/ L2 para detecção de deslocamentos em estruturas, no entanto considera estruturas onde não havia impedimentos a aplicação da técnica de posicionamento GPS. Resultado que se confronta ainda com os dados de Pereira (2012), que obteve a validação para dados tomados com os dois métodos citados, utilizando, no entanto, o tempo de rastreio de seis horas no levantamento GPS.

Contudo, os resultados obtidos pelos levantamentos RTK, sugerem ser este método mais eficiente do que o posicionamento relativo, conforme análise da Tabela 4, que apresenta a diferença média dos valores obtidos pelo posicionamento por GPS e pelo posicionamento por estação total.

**Tabela 4: Erro médio.**

EQUIPAMENTO	ERRO MÉDIO (m)
GPS RELATIVO CAMP. 1	0,1355
GPS RTK CAMP.2	0,0339
GPS RTK. CAMP. 3	0,0334

## 4.2 Coordenadas finais dos pontos

As coordenadas planas dos pontos foram obtidas a partir do levantamento realizado por estação total, por meio do método das interseções, e pelo método do nivelamento trigonométrico para a determinação das cotas dos pontos observados.

Cada ponto foi determinado por meio de suas componentes no SGL  $(e, n, u)$  e suas respectivas precisões. A Tabela 5 ilustra resumidamente as coordenadas finais ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

**Tabela 5: Resumo das coordenadas obtidas em cada campanha.**

CAMPANHA. 1			CAMPANHA. 2			CAMPANHA. 3		
PT	VALOR(m)	$\sigma$ (m)	PT	VALOR(m)	$\sigma$ (m)	PT	VALOR(m)	$\sigma$ (m)
e15	-231,486	0,0061	e15	-231,449	0,0019	e15	-231,498	0,0015
n15	-186,487	0,0068	n15	-186,481	0,0044	n15	-186,533	0,0021
e25	-210,509	0,0018	e25	-210,526	0,0018	e25	-210,525	0,0013
n25	-265,464	0,0012	n25	-265,455	0,0013	n25	-265,463	0,0012
u15	-53,546	0,0021	u15	-53,552	0,0017	u15	-53,549	0,0014
u25	-54,118	0,0018	u25	-54,118	0,0018	u25	-54,079	0,0018
e36	20,101	0,0372	e36	20,381	0,0389	e36	20,419	0,0241
n36	-276,189	0,0078	n36	-276,172	0,008	n36	-276,214	0,0051
e45	39,142	0,0353	e45	39,344	0,0369	e45	39,357	0,026
n45	-336,229	0,0063	n45	-336,206	0,0067	n45	-336,221	0,0046
u36	-77,203	0,0015	u36	-77,195	0,0017	u36	-77,194	0,0016
u45	-92,910	0,0015	u45	-92,894	0,0015	u45	-92,902	0,0015
e6	-155,466	0,0018	e6	-155,490	0,0014	e6	-155,488	0,0014
n6	-90,729	0,0016	n6	-90,914	0,0011	n6	-90,977	0,0012
e7	-185,536	0,002	e7	-185,538	0,0013	e7	-185,538	0,0013
n7	-51,395	0,0018	n7	-51,397	0,0011	n7	-51,394	0,0013
u6	-32,402	0,002	u6	-32,531	0,0011	u6	-32,576	0,0011
u7	-29,821	0,0019	u7	-29,830	0,0011	u7	-29,828	0,0011
e50	-79,632	0,0302	e50	-79,723	0,0242	e50	-79,560	0,0264
n50	-406,223	0,0127	n50	-406,305	0,0106	n50	-406,303	0,0116
e54	-64,411	0,0304	e54	-64,523	0,0244	e54	-64,376	0,0264
n54	-403,774	0,0119	n54	-403,817	0,0099	n54	-403,802	0,0107
u50	-109,329	0,0014	u50	-109,331	0,0014	u50	-109,331	0,0014
u54	-115,262	0,0019	u54	-115,274	0,002	u54	-115,278	0,002

### 4.3 Deslocamentos Estimados

Um dos objetivos finais deste trabalho foi verificar se houve efetivo deslocamento do solo na área de estudo. Embora matematicamente tenha se verificado deslocamentos em todos os pontos analisados, houve movimentos detectados que foram menores que a precisão de sua determinação e por este motivo, conforme exposto em 3.11, não foram considerados movimentos detectados.

A Tabela 6 apresenta os deslocamentos detectados nos pontos, individualizados por eixos, entre a primeira campanha de medição realizada nos dias 16 a 21 de abril de 2013, e entre a segunda campanha de medição

realizada nos dias 11, 12 e 13 de junho de 2013, contabilizando um intervalo de cinquenta dias entre as duas medições.

A Tabela 7 apresenta os deslocamentos detectados nos pontos, individualizados por eixos, entre a segunda campanha de medição realizada nos dias 11, 12 e 13 de junho de 2013, e entre a terceira campanha de medição realizada nos dias 14 a 20 de agosto de 2013, contabilizando um intervalo de sessenta e um dias entre as duas medições.

**Tabela 6: Movimentos entre a campanha 1 e a campanha 2.**

MOVIMENTO - Campanhas 1 e 2			
PONTO	DESLOCAMENTO(m)	$\sigma$ (m)	SITUAÇÃO
e15	0,0370	0,0064	Houve Movimento
n15	0,0064	0,0081	Não Houve Movimento
e17	0,0050	0,0024	Houve Movimento
n17	0,0135	0,0038	Houve Movimento
e18	0,0038	0,0026	Houve Movimento
n18	0,0057	0,0029	Houve Movimento
e19	0,0112	0,0025	Houve Movimento
n19	0,0348	0,0028	Houve Movimento
e20	0,0076	0,0026	Houve Movimento
n20	0,0451	0,0026	Houve Movimento
e21	0,0090	0,0028	Houve Movimento
n21	0,0083	0,0028	Houve Movimento
e22	0,0137	0,0022	Houve Movimento
n22	0,0485	0,0021	Houve Movimento
e23	0,0078	0,0027	Houve Movimento
n23	0,0067	0,0021	Houve Movimento
e24	0,0251	0,0023	Houve Movimento
n24	0,0452	0,0018	Houve Movimento
e25	0,0165	0,0025	Houve Movimento
n25	0,0092	0,0018	Houve Movimento
e26	0,0281	0,0021	Houve Movimento
n26	0,0472	0,0017	Houve Movimento
e27	0,0012	0,0023	Não Houve Movimento
n27	0,0003	0,0020	Não Houve Movimento
e28	0,0039	0,0027	Houve Movimento
n28	0,0019	0,0023	Não Houve Movimento
e29	0,0389	0,0029	Houve Movimento
n29	0,0607	0,0026	Houve Movimento

**Tabela 7: Movimentos entre a campanha 2 e a campanha 3.**

MOVIMENTO – Campanha 2 e 3			
PONTO	DESLOCAMENTO(m)	$\sigma$ (m)	SITUAÇÃO
e15	0,0486	0,0024	Houve Movimento
n15	0,0524	0,0049	Houve Movimento
e17	0,0396	0,0023	Houve Movimento
n17	0,0002	0,0036	Não Houve Movimento
e18	0,0198	0,0025	Houve Movimento
n18	0,0104	0,0029	Houve Movimento
e19	0,0119	0,0025	Houve Movimento
n19	0,0483	0,0028	Houve Movimento
e20	0,0238	0,0027	Houve Movimento
n20	0,0537	0,0027	Houve Movimento
e21	0,0006	0,0027	Não Houve Movimento
n21	0,0103	0,0029	Houve Movimento
e22	0,0191	0,0024	Houve Movimento
n22	0,0629	0,0024	Houve Movimento
e23	0,0164	0,0026	Houve Movimento
n23	0,0006	0,0023	Não Houve Movimento
e24	0,0315	0,0019	Houve Movimento
n24	0,0507	0,0017	Houve Movimento
e25	0,0010	0,0022	Não Houve Movimento
n25	0,0076	0,0018	Houve Movimento
e26	0,0587	0,0019	Houve Movimento
n26	0,0533	0,0017	Houve Movimento
e27	0,0011	0,0019	Não Houve Movimento
n27	0,0072	0,0018	Houve Movimento
e28	0,0125	0,0020	Houve Movimento
n28	0,0001	0,0019	Não Houve Movimento
e29	0,0209	0,0023	Houve Movimento
n29	0,0469	0,0022	Houve Movimento

Dado a natureza e magnitude do fenômeno estudado, foram detectados, nos pontos, movimentos da ordem de centímetros e decímetros, ver Apêndice 10.

Relativo a avaliação do deslocamento na encosta de terra da fazenda CPT, observou-se que a magnitude dos deslocamentos foi significativamente atenuada da primeira para a segunda auscultação. Observou-se ainda, que

deslocamentos da ordem de decímetros detectados inicialmente em alguns pontos, como o ponto 39, reduziram-se a centímetros na segunda auscultação. Este foi o caso da maioria dos pontos da zona Baixio. Se fosse considerada a evolução visual das trincas até a data do início das medições, verificar-se-ia que as medições foram iniciadas após os maiores deslocamentos.

Embora matematicamente tenham sido percebidos deslocamentos para todos os pontos em todos os intervalos de campanhas, determinou-se que entre as duas primeiras campanhas 78,26% e entre as duas últimas campanhas 73,18% dos pontos registraram efetivo deslocamento.

#### **4.4 Dependência espacial nos movimentos**

A dependência espacial, que diz respeito ao nível de similaridade entre eventos em dois ou mais pontos distintos, foi retratada na Tabela 8 e trouxe indicações quanto à fonte dos eventos, permitindo prever o comportamento dos fenômenos relacionados.

Através dos resultados da Tabela 8, verificou-se que a dependência espacial do fenômeno identificado na encosta de terra da fazenda CPT sofreu alterações em diferentes épocas de observação, o que indicou que houve variáveis sazonais que interferiram diretamente na dinâmica da geometria da área. Uma das variáveis que apresentaram sazonalidade na região foi o regime hídrico, que foi fortemente alterado devido a obras na estrada.

#### **4.5 MDD - Modelo digital de deslocamento**

A interpolação qualitativa dos dados de movimento foi parte fundamental no processo de análise espacial. Os resultados obtidos com a

interpolação do atributo movimento permitiram a visualização e a representação da variação dessa propriedade no domínio espacial da região de estudo.

Embora a configuração do terreno da área experimental não favorecesse a densificação dos pontos, foi possível gerar o MDD consistente a partir do conjunto amostrado. Um conjunto amostral suficiente é aquele que, segundo (Santos et al, 2011) é representado por um valor baixo da variância da krigagem. Conforme Tabela 8, verifica-se que tal variância é apresentada três vezes maior que a variância amostral, o que ainda segundo (Santos et al, 2011) não torna o modelo inconsistente.

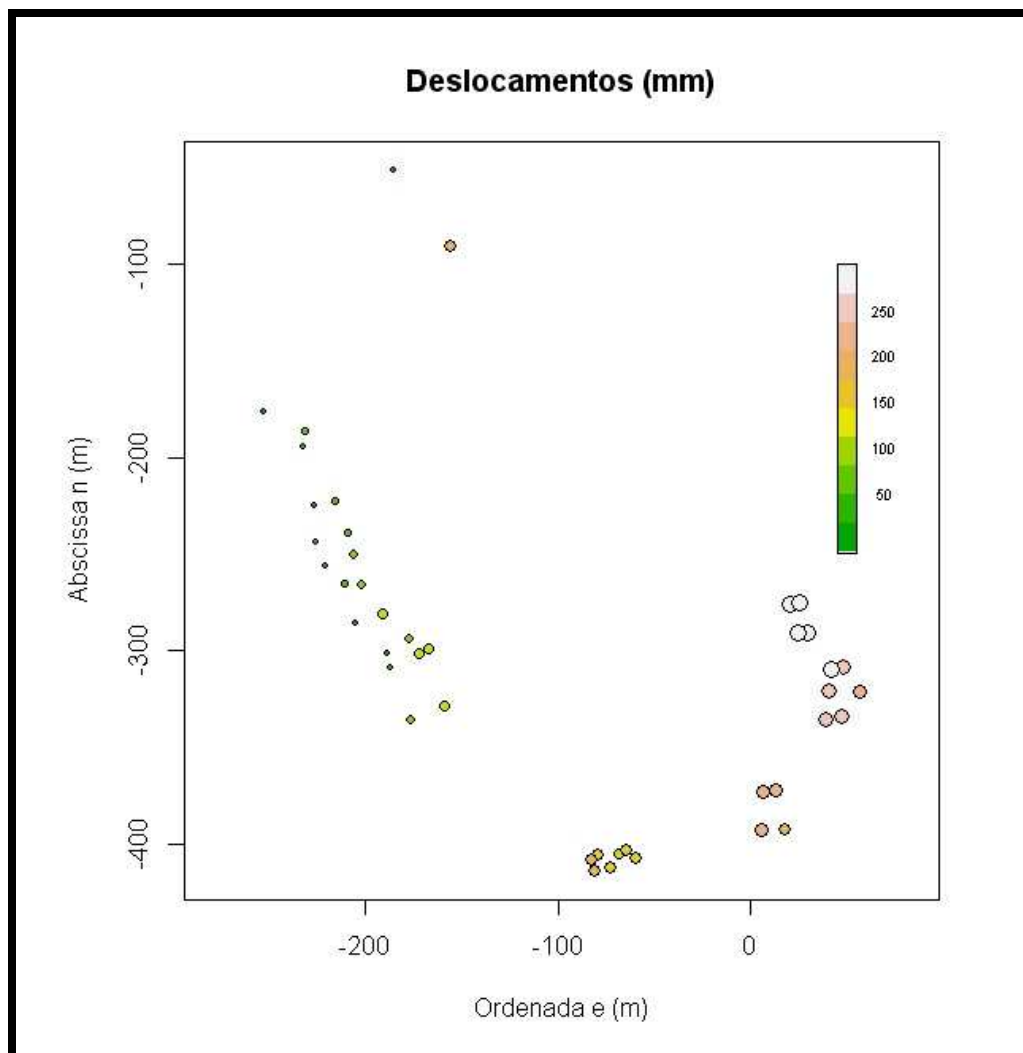
A Tabela 8 ilustra o resumo da análise exploratória, do ajuste do variograma e da krigagem para todas as análises.

**Tabela 8: Resumo dos dados da análise estatística.**

Tipo de Dado	Intervalo					
	Camp. 1 para Camp. 2			Camp. 2 para Camp.3		
	plano	vert	total	plano	vert	total
<b>Análise exploratória</b>						
Nº de pontos	43	43	43	46	46	46
e mínimo(m)	-252,982	-252,982	-252,982	-252,982	-252,982	-252,982
e máximo(m)	56,247	56,247	56,247	56,247	56,247	56,247
n mínimo(m)	-414,064	-414,064	-414,064	-414,064	-414,064	-414,064
n máximo(m)	-51,39381	-51,39381	-51,3938	-51,3938	-51,3938	-51,3938
Dist. Mín.(m)	3,614	3,614	3,614	3,614	3,614	3,614
Dist. Máx.(m)	397,311	397,311	397,311	397,311	397,311	397,311
Média amostral (mm)	107,071	3,969	108,459	57,788	4,04	62,129
Var. Amostral (mm <sup>2</sup> )	7312,547	220,177	7242,463	1981,524	351,727	1817,887
<b>Variograma</b>						
Método de ajuste do variograma	OLS	OLS	OLS	OLS	OLS	OLS
Modelo de ajuste	Esférico	Gaussiano	Esférico	Gaussiano	Esférico	Gaussiano
Contribuição (mm <sup>2</sup> )	826,68	72,9	896,41622	2039,62	337,693	2439,11
Alcance teórico(m)	66,03	31,9	93,89253	105,80	84,092	116,55
Alcance prático(m)	66,03	55,21	93,89253	183,12	84,092	201,74
Pepita (mm <sup>2</sup> )	250	10,29	226,571	614,57	20	553,53
Soma de quadrados (mm <sup>2</sup> )	2170204	15278,77	1000571	2954340	337207,1	1975147
<b>Krigagem</b>						
Média (mm)	366,74	51,82	298,72	568,9971	112,7416	623,92
Variância (mm <sup>2</sup> )	32974,62	441,71	24289,27	90697,9	3274,66	110870,6
Desvio padrão(mm)	181,5892	21,01	155,85	301,16	57,22	332,97
Des./Méd.	0,49	0,4	0,52	0,52	0,50	0,53

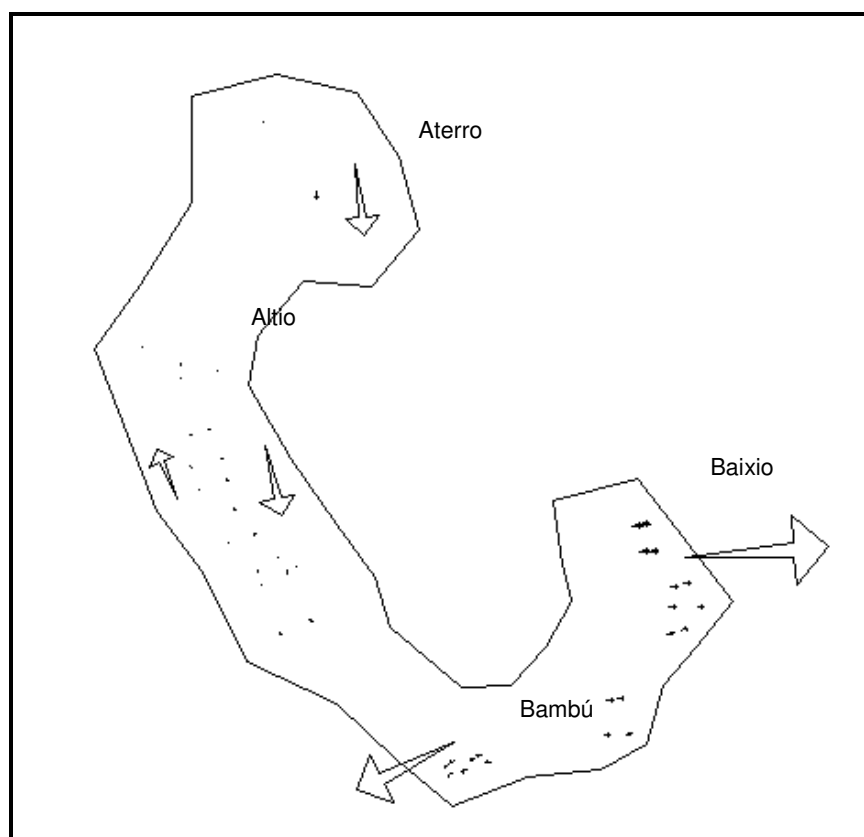
A seguir é apresentada a análise da avaliação do movimento plano detectado entre a campanha um e a campanha dois. A análise exploratória dos dados, conforme Figura 24, confirma a inexistência de outlier e apresenta os dados sob a forma de granulação.

Pela Figura 24 percebeu-se que houve um zoneamento na magnitude do evento, ou seja, cada área da imagem, individualizada por uma zona, apresentou movimentos de magnitude similar.



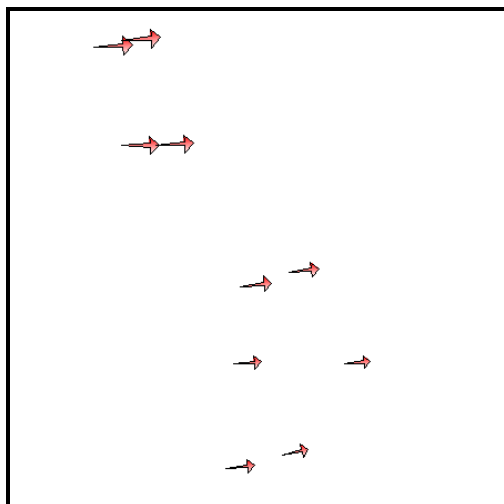
**Figura 24: Apresentação dos dados separados por classes em função do deslocamento.**

Verificou-se ainda que a similaridade dos movimentos manteve-se na direção e no sentido, dentro de uma mesma zona, conforme ilustra a Figura 25 que apresenta de maneira global, por meio de vetores, a direção, sentido e a magnitude do deslocamento.

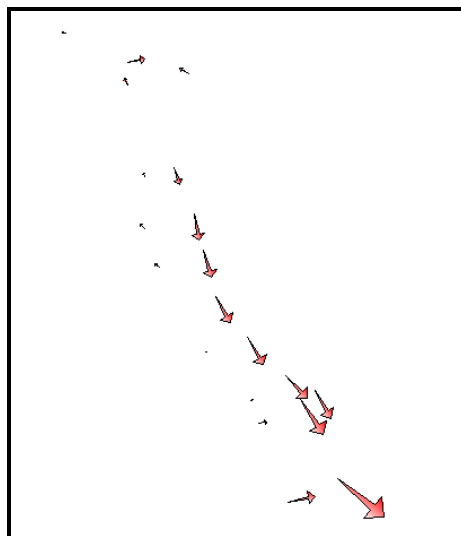


**Figura 25: Modelo global de deslocamento.**

A Figura 26 ilustra o movimento detectado na zona de baixio. Verificou-se, portanto, que os movimentos na zona do Baixio, Aterro e Bambú mantiveram-se uniformes e constantes dentro de uma mesma zona. A Figura 27 ilustra a excessão ocorrida na zona de altio, onde os movimentos variaram tanto no sentido como no módulo. Essa diferença demonstrou que a zona de Altio encontrava-se entre duas áreas diferentes estabilidades.

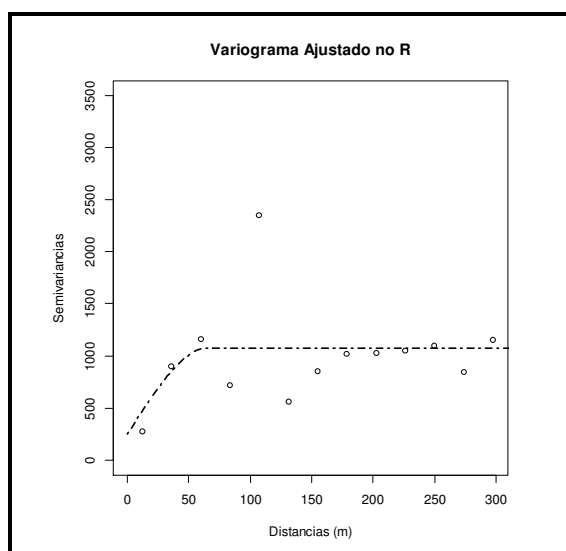


**Figura 26: Movimentos detectados na zona de Baixo.**



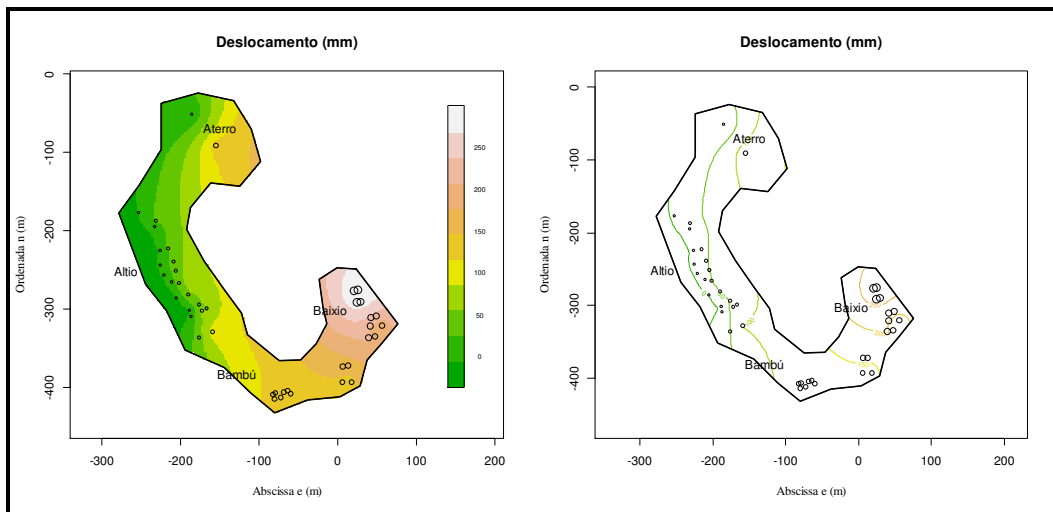
**Figura 27: Movimentos detectados Na zona Altio.**

Por meio do variograma, Figura 28, se verificou que houve dependência espacial nos dados até um limite de 60.03 metros, que comprovou, mais uma vez, o zoneamento do evento para a época em que foram realizadas as observações.



**Figura 28: Apresentação do variograma ajustado.**

Por fim o modelo digital de deslocamento, que foi o resultado final da Krigagem foi apresentado na Figura 29. É importante notar que todos os níveis de magnitude do evento tiveram reflexo direto na zona denominada Aterro, que foi a área onde foram feitos depósitos de material de bota-fora da obra de restauração da rodovia.



**Figura 29: Modelo digital de deslocamento representado por escala de cores e por isolinhas.**

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Por meio da auscultação geodésica foi possível estudar geometricamente uma encosta de terra, situada na BR120, no município de São Geraldo, e verificar a existência de deslocamentos nos pontos estudados. Além disto, foi possível, com o auxílio da Geoestatística, perceber relação espacial entre os movimentos nos pontos amostrais e generalizar uma solução sob a forma de um mapa digital de deslocamento.

Percebeu-se ainda que a dependência espacial do fenômeno variou no decorrer das épocas de medição e ainda que os deslocamentos variaram em grandeza em prazos curtos de tempo. Este resultado denota a urgência de se iniciar um estudo de auscultação tão logo se verifique indícios de movimentação do solo, dado ao risco de se perderem a detecção de evidentes sinais de tragédias e ainda, perder evidências das fontes primárias do evento.

Durante o processo de investigação, aplicando-se corretamente as técnicas geodésicas, aferiu-se a viabilidade do uso de equipamentos e de observações topográficas para a auscultação de encostas, desde que se apliquem os modelos rigorosos de tratamento dos erros sistemáticos e que seja adotado um modelo de detecção e eliminação de outliers.

É possível ainda concluir que a aplicação do posicionamento por GNSS, embora possa ser utilizado para controle de estruturas, não é ideal para investigar geometricamente encostas onde haja vegetação ou relevo acentuado.

Apresentam-se como opção aos programas de topografia e geodésia comerciais o sistema R-Project, que é livre e eficientemente realiza cálculos geodésicos inclusive com a possibilidade de automação do processo, e o Matlab, que embora seja um sistema comercial, tem potencialidade para

automação e controle do processo de ajustamento de observações, detecção de outliers e tratamento de erros sistemáticos.

Dentro da linha de pesquisa de estudos de encostas, sugere-se que sejam realizadas pesquisas que envolvam outras variáveis além das geométricas, como o sistema hidrológico superficial e subterrâneo, a influência direta do regime de chuvas, variações devido ao tipo de solo e a formação geológica.

Visando melhores resultados para a análise estatística, sugere-se que a implantação dos pontos amostrais, dentro das possibilidades, seja realizada cumprindo uma malha regular que alcance toda a extensão da área estudada e que contenha o maior número de pontos amostrais possível, dentro das condições financeiras e de tempo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1994). NBR 13133: Execução de levantamento topográfico. *Norma Técnica*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABNT (1998). Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento. *NBR 14166*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ANDRADE, R. J. (2008). Determinação do desvio da vertical empregando observáveis da topografia clássica e do posicionamento por satélites. *Dissertação de mestrado*. Viçosa, MG, Brasil.

Baarda, W. A Testing procedure for use in geodetic networks (VOL.2). Netherlands: New Series, 1968.

CASTRO, C. M., Peixoto, M. N., & Rio, G. P. (2005). Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ* (p. 20). Rio de Janeiro: UFRJ.

CHAVES, J. C. (1994). Controle de deformações em barragens: Métodos de monitoramento e viabilidade da utilização GPS. *Dissertação de mestrado*. São Paulo, SP, Brasil: USP.

CINTRA, J. P. (2003). *Sistema UTM*. São Paulo: USP.

COMASTRI, J. A. (1977). *Topografia Planimetria*. Viçosa: UFV.

COMASTRI, J. A., & Tuler, J. C. (1999). *Topografia: Altimetria*. Viçosa: UFV.

DALMOLIN, Q. (2004). *Ajustamento Por Mínimos Quadrados*. Curitiba: UFPR.

DIAS, A. d., Saraiva, A. G., Gadelha, A. G., Souza, R. F., & Guimarães, C. L. (2010). Utilização de estação total para a execução de levantamentos altimétricos compatíveis com a classe IIN da NBR 13133. *III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, (pp. 1-6). Recife - PE.

Dixon, Kevin. "StarFire: A Global SBAS for Sub-Decimeter Precise Point Positioning." 14 de 09 de 2014. <http://www.navcomtech.com/>. 14 de 09 de 2014

<[http://www.navcomtech.com/navcom\\_en\\_US/docs/download\\_center/white\\_papers/current/starfire\\_global\\_sbas\\_for\\_sub\\_decimeter\\_precise\\_point\\_positioning.pdf](http://www.navcomtech.com/navcom_en_US/docs/download_center/white_papers/current/starfire_global_sbas_for_sub_decimeter_precise_point_positioning.pdf)>.

ESPARTEL, L. (1977). *Curso de Topografia*. Porto Alegre: Globo S.A.

GAMA, L. F., Seixas, A. d., & Souza, A. M. (2012). Implantação e análise de estruturas geodésicas planimétricas obtidas por GPS e estação total: Aplicações em levantamentos cadastrais urbanos. *Revista Brasileira de Cartografia*, 227-247.

GEMAEL, C. (1994). *Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas*. Curitiba: UFPR.

GONÇALVES, R. M., Krueger, C. P., Coelho, L. d., & Heck, B. (2010). Monitoramento Geodésico da Linha de Costa Com o Emprego do GNSS . *III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e tecnologias da Informação*, (pp. 001 - 005). Recife.

GRANEMANN, D. C., Faggion, P. L., Nadal, C. A., Veiga, L. A., & Freitas, S. R. (2008). Estabelecimento de uma rede geodésica para o monitoramento de estruturas: estudo de caso na usina hidrelétrica salto caxias. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 200 - 220.

HECK, B. (1985). Monitoring Dam Deformations by Means of Geodetic Control Networks. *Safety of Dams. Proc. of the Int. Conference on Safety of Dams* (pp. 455-466). Rotterdam: A. A. Balkema Publishers.

IBGE, (2008). *Pesquisa nacional de saneamento básico*. Acesso em 25 de 11 de 2013, disponível em IBGE:

[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1691&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1691&id_pagina=1)

IBGE, (2008). Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS. *Manual*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: IBGE.

KUANG, S. (1996). *Geodetic network analysis and optimal design : concepts and applications*. Chelsea, Michigan: INC.

LAWRENCE, Deborah, et al. "Wide Area Augmentation System (WAAS) - Status do Programa." Anais da 20 Reunião Técnica Internacional da Divisão de Satélites do Instituto de Navegação (ION GNSS 2007) 28 de 9 de 2007: 892-899.

MACHADO, P. L., Bernardi, A. C., & Silva, C. A. (2004). *Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto*. Rio de Janeiro - RJ: Embrapa solos.

MACCORMAC, J. (2011). *Topografia*. Rio de Janeiro: LTC.

MEIRELLES, M. S., Camara, G., & Almeida, C. M. (2007). *Geomática - Modelos e aplicações ambientais*. Brasília - DF: Embrapa.

MONICO, J. F. (2008). *Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e aplicações*. São Paulo: UNESP.

MORAES, J. N., Cavalheri, E. P., Melo, É. R., & Chaves, J. (2010). Deformação da rede GNSS SP: Parâmetros e teste. *III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, (pp. 1-4). Recife.

MORAES, J. N., Chaves, J. C., & Cavalheri, E. P. (2012). Análise geodésica de deformação com base em teste de congruência global. *III Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente - SP* (pp. 321-324). Presidente Prudente - SP: UNESP.

MOURÃO, R. R. (2010). *O Livro de Ouro do Universo*. Rio de Janeiro - RJ: Ediouro.

PEREIRA, A. R., & Silva, T. F. (2012). Monitoramento geodésico de uma encosta em processo de deslizamento de terra. *IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, (pp. 001 - 009). Recife.

POLETO, L. J. (2010). Estudo da aplicação do GPS no monitoramento de estruturas. *Dissertação de mestrado*. Viçosa, MG, Brasil: UFV.

SANTOS, G. R., Oliveira, M. S., Louzada, J. M., & Santos, A. M. (2011). Krigagem simples versus krigagem universal: Qual o preditor mais preciso? *Revista Energia na Agricultura*, 49-55.

SEGANTINE, P. C., & Moreira, A. S. (2003). Nivelamento trigonométrico e nivelamento geométrico classe IIN da NBR 13.133: limites e condições de compatibilidade. *Revista Brasileira de Cartografia*.

SEGANTINE, P. C., & Moreira, A. S. (2005). Nivelamento trigonométrico X nivelamento geométrico: limites e condições de compatibilidade. *IV Conf Nacional de Cartografia e Geodesia*, (pp. 505-520). Lisboa.

SOARES, M. A., Ferreira, E. S., Faggion, P. L., Veiga, L. A., Nadal, C. A., Freitas, S. R., et al. (2004). Novas Metodologias Aplicadas ao Monitoramento da Barragem de Salto Caxias. *Espaço e Energia*, 1 - 3.

SOARES, M. A., Ferreira, E. S., Faggion, P. L., Veiga, L. A., Nadal, C. A., Freitas, S. R., et al. (2009). Evolução da auscultação geodésica no monitoramento das usinas: Foz do Areia, Segredo e Salto Caxias. *Espaço e Energia*, 1 - 9.

TEIXEIRA, N. N. (2005). Tese de Doutorado. *Análise geodésica de deformações da crosta em regiões de grandes barragens a partir de deslocamentos tridimensionais obtidos pelo sistema de posicionamento global*. Curitiba: UFPR.

THOMPSON, F. C. (2010). *Bíblia Sagrada*. São Paulo: Vida.

TOPCON. (2011). Manual de instruções da estação total eletrônica série GTS - 100N. *Manual de operações*. Japão: Topcon.

VIEIRA, S. R. (2000). Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: R. f. Novaes, V. H. V., & C. E. Schaefer, *Tópicos em Ciência do Solo* (pp. 1-54). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

VIEIRA, S. R. (2001). *Avaliação e Comparação de Estimadores de Krigagem para Variáveis Agronômicas – Uma Proposta*. Campinas - SP: Embrapa.

WHITE, E. G. (1903). *Educação*. Tatuí: Casa Publicadora Brasileira.

YAMAMOTO, J. K., & Landim, P. B. (2013). *Geoestatística: Conceitos + Aplicações*. São Paulo: Oficina dos Textos.

## **Apêndice 1**

### **Coordenadas UTM dos pontos componentes da rede.**

id	Este(m)	Norte(m)	H(m)	id	Este(m)	Norte(m)	H(m)
1	729939,189	7689028,525	629,46	34	730031,149	7688875,146	603,106
6	730008,395	7689152,987	645,926	35	730013,418	7688868,189	602,789
7	730037,899	7689113,048	643,232	36	730211,226	7688925,348	598,587
8	729990,202	7689142,909	646,002	37	730215,752	7688926,348	596,657
9	729996,471	7689131,786	644,903	38	730219,924	7688910,927	593,003
10	730036,194	7689144,912	644,112	39	730215,214	7688910,554	594,521
15	729960,575	7689018,486	622,22	40	730238,826	7688892,637	583,725
16	729959,943	7689010,188	620,969	41	730231,847	7688891,173	586,151
18	729965,51	7688979,671	621,174	42	730231,122	7688879,931	585,425
19	729975,809	7688982,548	618,376	43	730246,499	7688880,054	583,485
20	729982,397	7688965,693	617,334	44	730237,484	7688866,45	581,852
21	729966,044	7688961,256	623,667	45	730229,396	7688865,066	582,874
22	729985,603	7688953,813	618,468	46	730195,79	7688828,481	572,814
23	729970,12	7688948,709	623,327	47	730202,464	7688829,167	572,975
24	729989,063	7688938,217	621,246	48	730194,527	7688808,979	568,574
25	729980,447	7688939,269	621,648	49	730206,928	7688808,789	567,431
26	730000,023	7688923,735	619,842	52	730108,184	7688788,77	562,828
27	729985,818	7688918,821	618,303	54	730120,213	7688797,561	561,893
28	730002,143	7688902,644	615,407	55	730116,207	7688790,61	560,675
29	730017,971	7688902,559	615,388	56	730128,77	7688794,766	557,823
30	730023,504	7688905,272	614,623	2	730194,632	7689201,834	675,764
32	730013,534	7688910,296	617,037	4	730339,08	7688307,023	632,529
33	730003,526	7688895,113	612,941	5	730315,38	7688238,797	632,795

## Apêndice 2

### Coordenadas geodésicas dos pontos componentes da rede.

id	Latitude	Longitude	H(m)	id	Latitude	Longitude	H(m)
1	S 20°53'05,0056"	W 42°47'22,6919"	629,46	34	S 20°53'09,9500"	W 42°47'19,4383"	603,106
6	S 20°53'00,9291"	W 42°47'20,3575"	645,926	35	S 20°53'10,1841"	W 42°47'20,0482"	602,789
7	S 20°53'02,2141"	W 42°47'19,3181"	643,232	36	S 20°53'08,2376"	W 42°47'13,2339"	598,587
8	S 20°53'01,2648"	W 42°47'20,9820"	646,002	37	S 20°53'08,2031"	W 42°47'13,0778"	596,657
9	S 20°53'01,6236"	W 42°47'20,7599"	644,903	38	S 20°53'08,7024"	W 42°47'12,9262"	593,003
10	S 20°53'01,1791"	W 42°47'19,3922"	644,112	39	S 20°53'08,7167"	W 42°47'13,0889"	594,521
15	S 20°53'05,3224"	W 42°47'21,9474"	622,22	40	S 20°53'09,2885"	W 42°47'12,2637"	583,725
16	S 20°53'05,5924"	W 42°47'21,9653"	620,969	41	S 20°53'09,3392"	W 42°47'12,5044"	586,151
18	S 20°53'06,5818"	W 42°47'21,7583"	621,174	42	S 20°53'09,7049"	W 42°47'12,5241"	585,425
19	S 20°53'06,4837"	W 42°47'21,4035"	618,376	43	S 20°53'09,6941"	W 42°47'11,9923"	583,485
20	S 20°53'07,0286"	W 42°47'21,1676"	617,334	44	S 20°53'10,1403"	W 42°47'12,2976"	581,852
21	S 20°53'07,1802"	W 42°47'21,7311"	623,667	45	S 20°53'10,1889"	W 42°47'12,5767"	582,874
22	S 20°53'07,4133"	W 42°47'21,0510"	618,468	46	S 20°53'11,3931"	W 42°47'13,7216"	572,814
23	S 20°53'07,5862"	W 42°47'21,5841"	623,327	47	S 20°53'11,3678"	W 42°47'13,4911"	572,975
24	S 20°53'07,9187"	W 42°47'20,9239"	621,246	48	S 20°53'12,0276"	W 42°47'13,7560"	568,574
25	S 20°53'07,8884"	W 42°47'21,2224"	621,648	49	S 20°53'12,0282"	W 42°47'13,3270"	567,431
26	S 20°53'08,3846"	W 42°47'20,5380"	619,842	52	S 20°53'12,7231"	W 42°47'16,7327"	562,828
27	S 20°53'08,5506"	W 42°47'21,0269"	618,303	54	S 20°53'12,4320"	W 42°47'16,3209"	561,893
28	S 20°53'09,0692"	W 42°47'20,4546"	615,407	55	S 20°53'12,6597"	W 42°47'16,4561"	560,675
29	S 20°53'09,0648"	W 42°47'19,9071"	615,388	56	S 20°53'12,5190"	W 42°47'16,0236"	557,823
30	S 20°53'08,9742"	W 42°47'19,7170"	614,623	2	S 20°52'59,2580"	W 42°47'13,9395"	675,764
32	S 20°53'08,8153"	W 42°47'20,0643"	617,037	4	S 20°53'28,2786"	W 42°47'08,5170"	632,529
33	S 20°53'09,3134"	W 42°47'20,4032"	612,941	5	S 20°53'30,5068"	W 42°47'09,3042"	632,795

### **Apêndice 3**

**Coordenadas, no SGL, obtidas da primeira campanha de medição com GPS – Posicionamento relativo.**

Id	e(m)	n(m)	u(m)	id	e(m)	n(m)	u(m)
15	-231,489	-186,542	-53,5889	40	48,43701	-308,469	-92,1307
17	-232,011	-194,847	-54,8482	41	41,44794	-310,025	-89,7157
18	-226,015	-225,288	-54,64	42	40,86391	-321,271	-90,4173
19	-215,805	-222,156	-57,4295	43	56,29215	-321,004	-92,3084
20	-208,976	-238,91	-58,4779	44	47,45801	-334,741	-93,956
21	-225,233	-243,674	-52,1487	45	39,34959	-336,194	-92,944
22	-205,621	-250,755	-57,3593	46	6,293447	-373,183	-102,964
23	-221,002	-256,168	-52,494	47	12,96819	-372,473	-102,797
24	-201,946	-266,293	-54,5928	48	5,301086	-392,677	-107,235
25	-210,552	-265,468	-54,171	49	17,69417	-392,748	-108,387
26	-190,78	-280,633	-55,9681	50	-79,643	-406,173	-109,225
27	-204,86	-285,823	-57,5147	51	-82,4037	-408,067	-109,377
28	-188,33	-301,755	-60,397	52	-80,4164	-414,337	-113,205
29	-172,51	-301,552	-60,4315	55	-72,8274	-412,269	-115,205
30	-167,041	-298,739	-61,1882	54	-65,8421	-403,761	-114,288
32	-177,072	-293,883	-58,7803	53	-68,9901	-405,201	-114,102
33	-186,829	-309,28	-62,8803	56	-60,2389	-407,869	-117,954
34	-158,868	-328,773	-72,7535	6	-155,45	-90,693	-32,4285
35	-176,474	-336,059	-73,1043	7	-185,532	-51,4057	-29,8419
36	20,34152	-276,134	-77,238	1	-252,998	-176,792	-46,3325
37	24,85261	-275,073	-79,162	2	0	0	0
38	29,23616	-290,452	-82,7927	4	156,7341	-892,613	-43,3377
39	24,52218	-290,866	-81,2827	5	133,9589	-961,148	-43,0812

### **Apêndice 4**

#### **Coordenadas, no SGL, obtidas da segunda campanha de medição com GPS – Posicionamento RTK.**

id	e(m)	n(m)	u(m)	id	e(m)	n(m)	u(m)
1	-252,993	-176,783	-46,3115	33	-186,834	-309,275	-62,8333
7	-185,518	-51,3995	-29,8409	34	-158,943	-328,856	-72,6685
6	-155,472	-90,9223	-32,5345	35	-176,573	-336,056	-72,9863
8	-203,567	-61,7255	-29,7655	36	20,39745	-276,187	-77,183
9	-197,147	-72,7594	-30,8645	37	24,90801	-275,125	-79,113
10	-157,615	-59,0897	-31,6542	38	29,2912	-290,484	-82,7677
15	-231,473	-186,525	-53,5509	39	24,58785	-290,922	-81,2497
17	-231,991	-194,83	-54,8022	40	48,44056	-308,509	-92,0467
18	-226,005	-225,262	-54,598	41	41,48384	-310,069	-89,6207
19	-215,748	-222,244	-57,3955	42	40,91344	-321,318	-90,3473
20	-208,929	-239,004	-58,4379	43	56,28496	-320,983	-92,2874
21	-225,218	-243,666	-52,1057	44	47,45914	-334,707	-93,921
22	-205,561	-250,837	-57,3043	45	39,3925	-336,202	-92,899
23	-220,97	-256,153	-52,446	46	6,299534	-373,24	-102,961
24	-201,887	-266,382	-54,5268	47	12,96175	-372,462	-102,8
25	-210,515	-265,449	-54,125	48	5,305249	-392,754	-107,202
26	-190,73	-280,709	-55,9311	49	17,70543	-392,773	-108,345
27	-204,864	-285,817	-57,4707	52	-80,7371	-414,147	-112,95
28	-188,32	-301,765	-60,367	54	-68,8327	-405,192	-113,884
29	-172,495	-301,632	-60,3855	55	-72,7413	-412,197	-115,103
30	-167,001	-298,844	-61,1502	2	0	0	0
32	-177,037	-293,958	-58,7363	4	156,7357	-892,597	-43,2997
				5	133,9817	-961,133	-43,0432

### **Apêndice 5**

#### **Coordenadas, no SGL, obtidas da terceira campanha de medição com GPS – Posicionamento RTK.**

id	e(m)	n(m)	u(m)	id	e(m)	n(m)	u(m)
1	-252,993	-176,783	-46,3115	30	-167,001	-298,844	-61,1502
7	-185,518	-51,3995	-29,8409	32	-177,037	-293,958	-58,7363
6	-155,472	-90,9223	-32,5345	33	-186,834	-309,275	-62,8333
8	-203,567	-61,7255	-29,7655	34	-158,943	-328,856	-72,6685
9	-197,147	-72,7594	-30,8645	35	-176,573	-336,056	-72,9863
10	-157,615	-59,0897	-31,6542	36	20,39745	-276,187	-77,183
15	-231,473	-186,525	-53,5509	37	24,90801	-275,125	-79,113
17	-231,991	-194,83	-54,8022	38	29,2912	-290,484	-82,7677
18	-226,005	-225,262	-54,598	39	24,58785	-290,922	-81,2497
19	-215,748	-222,244	-57,3955	40	48,44056	-308,509	-92,0467
20	-208,929	-239,004	-58,4379	41	41,48384	-310,069	-89,6207
21	-225,218	-243,666	-52,1057	42	40,91344	-321,318	-90,3473
22	-205,561	-250,837	-57,3043	43	56,28496	-320,983	-92,2874
23	-220,97	-256,153	-52,446	44	47,45914	-334,707	-93,921
24	-201,887	-266,382	-54,5268	45	39,3925	-336,202	-92,899
25	-210,515	-265,449	-54,125	46	6,299534	-373,24	-102,961
26	-190,73	-280,709	-55,9311	47	12,96175	-372,462	-102,8
27	-204,864	-285,817	-57,4707	48	5,305249	-392,754	-107,202
28	-188,32	-301,765	-60,367	49	17,70543	-392,773	-108,345
29	-172,495	-301,632	-60,3855	2	0	0	0

### **Apêndice 6**

**Coordenadas, no SGL, obtidas da primeira campanha de medição  
com observações de estação total.**

id	e(m)	n(m)	u(m)	id	e(m)	n(m)	u(m)
15	-231,486	-186,487	-53,546	39	24,28908	-290,909	-81,2498
17	-231,992	-194,854	-54,817	40	48,2019	-308,508	-92,0898
18	-225,999	-225,289	-54,597	41	41,21463	-310,068	-89,6735
19	-215,784	-222,201	-57,389	42	40,62271	-321,314	-90,369
20	-208,968	-238,917	-58,435	43	56,04895	-321,031	-92,2882
21	-225,222	-243,675	-52,099	44	47,26115	-334,759	-93,9131
22	-205,606	-250,762	-57,319	45	39,1415	-336,229	-92,9103
23	-220,994	-256,167	-52,446	46	6,100542	-373,224	-102,934
24	-201,929	-266,308	-54,541	47	12,78125	-372,5	-102,78
25	-210,509	-265,464	-54,118	48	5,139256	-392,721	-107,179
26	-190,791	-280,636	-55,911	49	17,52788	-392,788	-108,327
27	-204,862	-285,820	-57,455	6	-155,466	-90,7288	-32,4017
28	-220,994	-301,766	-60,342	7	-185,536	-51,3945	-29,8207
29	-172,561	-301,547	-60,351	8	-	-	-
30	-167,076	-298,755	-61,123	9	-	-	-
32	-177,099	-293,896	-58,714	10	-	-	-
33	-186,870	-309,285	-62,826	50	-79,6323	-406,223	-109,329
34	-159,005	-328,739	-72,630	51	-82,6108	-408,208	-109,236
35	-176,614	-336,033	-72,989	52	-80,595	-414,075	-112,928
1	-252,980	-176,757	-46,292	53	-68,7353	-405,053	-113,934
36	20,101	-276,189	-77,203	54	-64,4106	-403,774	-115,262
37	24,611	-275,117	-79,131	55	-72,6026	-412,148	-115,109
38	29,011	-290,483	-82,755	56	-59,7121	-407,897	-118,593

### **Apêndice 7**

#### **Coordenadas, no SGL, obtidas da segunda campanha de medição com observações de estação total.**

id	e(m)	n(m)	u(m)	id	e(m)	n(m)	u(m)
15	-231,449	-186,481	-53,552	39	24,56074	-290,905	-81,2515
17	-231,997	-194,840	-54,823	40	48,41371	-308,489	-92,0832
18	-226,003	-225,283	-54,602	41	41,4398	-310,047	-89,6531
19	-215,773	-222,235	-57,395	42	40,8245	-321,306	-90,3519
20	-208,961	-238,962	-58,438	43	56,22768	-321,02	-92,2814
21	-225,231	-243,667	-52,103	44	47,44703	-334,721	-93,9082
22	-205,593	-250,811	-57,315	45	39,34383	-336,206	-92,8944
23	-221,002	-256,161	-52,447	46	6,259764	-373,227	-102,943
24	-201,904	-266,353	-54,535	47	12,93569	-372,481	-102,786
25	-210,526	-265,455	-54,118	48	5,276979	-392,727	-107,187
26	-190,762	-280,683	-55,914	49	17,66106	-392,769	-108,336
27	-204,863	-285,819	-57,457	6	-155,49	-90,9138	-32,5305
28	-221,002	-301,768	-60,346	7	-185,538	-51,3972	-29,8304
29	-172,522	-301,608	-60,365	8	-203,589	-61,726	-29,763
30	-167,049	-298,803	-61,128	9	-197,169	-72,7618	-30,8581
32	-177,062	-293,935	-58,721	10	-157,64	-59,087	-31,6491
33	-186,856	-309,283	-62,827	50	-79,7231	-406,305	-109,331
34	-158,927	-328,806	-72,643	51	-82,6974	-408,306	-109,245
35	-176,569	-336,023	-72,990	52	-80,7156	-414,122	-112,932
1	-252,988	-176,757	-46,307	53	-68,8277	-405,129	-113,945
36	20,381	-276,172	-77,195	54	-64,5235	-403,817	-115,274
37	24,893	-275,098	-79,122	55	-72,7234	-412,186	-115,112
38	29,278	-290,467	-82,754	56	-59,8351	-407,912	-118,593

### **Apêndice 8**

**Coordenadas, no SGL, obtidas da terceira campanha de medição  
com observações de estação total.**

id	e(m)	n(m)	u(m)	id	e(m)	n(m)	u(m)
15	-231,498	-186,533	-53,549	39	24,62659	-290,942	-81,2624
17	-232,037	-194,840	-54,816	40	48,42299	-308,493	-92,0903
18	-226,023	-225,273	-54,599	41	41,47556	-310,066	-89,648
19	-215,761	-222,284	-57,391	42	40,85766	-321,335	-90,3482
20	-208,937	-239,016	-58,436	43	56,2473	-321,021	-92,2889
21	-225,231	-243,657	-52,098	44	47,44422	-334,73	-93,9147
22	-205,574	-250,873	-57,314	45	39,35703	-336,221	-92,902
23	-221,019	-256,161	-52,446	46	6,309217	-373,271	-102,946
24	-201,872	-266,404	-54,528	47	12,98716	-372,497	-102,783
25	-210,525	-265,463	-54,079	48	5,309597	-392,771	-107,184
26	-190,704	-280,737	-55,912	49	17,69367	-392,793	-108,329
27	-204,865	-285,812	-57,455	6	-155,488	-90,9768	-32,5763
28	-221,019	-301,768	-60,346	7	-185,538	-51,3938	-29,8277
29	-172,502	-301,655	-60,372	8	-203,565	-61,7243	-29,7683
30	-166,995	-298,887	-61,134	9	-197,157	-72,7923	-30,9158
32	-177,026	-294,015	-58,723	10	-157,635	-59,0942	-31,6979
33	-186,843	-309,278	-62,830	50	-79,5602	-406,303	-109,331
34	-158,832	-328,817	-72,655	51	-82,5732	-408,3	-109,246
35	-176,587	-336,039	-72,993	52	-80,6052	-414,064	-112,931
1	-252,983	-176,760	-46,300	53	-68,678	-405,112	-113,948
36	20,419	-276,214	-77,194	54	-64,3759	-403,802	-115,278
37	24,948	-275,143	-79,122	55	-72,6107	-412,142	-115,107
38	29,329	-290,501	-82,764	56	-59,7153	-407,861	-118,593

### **Apêndice 9**

#### **Coordenadas dos pontos, por campanha realizada com estação total, com desvio padrão.**

CAMPANHA. 1			CAMPANHA. 2			CAMPANHA. 3		
PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )	PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )	PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )
e15	-231,486	0,0061	e15	-231,449	0,0019	e15	-231,498	0,0015
n15	-186,487	0,0068	n15	-186,481	0,0044	n15	-186,533	0,0021
e17	-231,992	0,0017	e17	-231,997	0,0017	e17	-232,037	0,0015
n17	-194,854	0,0026	n17	-194,840	0,0028	n17	-194,840	0,0022
e18	-225,999	0,0019	e18	-226,003	0,0018	e18	-226,023	0,0017
n18	-225,289	0,0019	n18	-225,283	0,0022	n18	-225,273	0,0019
e19	-215,784	0,0017	e19	-215,773	0,0018	e19	-215,761	0,0018
n19	-222,201	0,0019	n19	-222,235	0,0021	n19	-222,284	0,0019
e20	-208,968	0,0018	e20	-208,961	0,0019	e20	-208,937	0,0019
n20	-238,917	0,0017	n20	-238,962	0,002	n20	-239,016	0,0018
e21	-225,222	0,002	e21	-225,231	0,0019	e21	-225,231	0,0019
n21	-243,675	0,0018	n21	-243,667	0,0021	n21	-243,657	0,002
e22	-205,606	0,0017	e22	-205,593	0,0014	e22	-205,574	0,0019
n22	-250,762	0,0014	n22	-250,811	0,0016	n22	-250,873	0,0018
e23	-220,994	0,002	e23	-221,002	0,0018	e23	-221,019	0,0019
n23	-256,167	0,0014	n23	-256,161	0,0015	n23	-256,161	0,0018
e24	-201,929	0,0017	e24	-201,904	0,0015	e24	-201,872	0,0011
n24	-266,308	0,0012	n24	-266,353	0,0013	n24	-266,404	0,0011
e25	-210,509	0,0018	e25	-210,526	0,0018	e25	-210,525	0,0013
n25	-265,464	0,0012	n25	-265,455	0,0013	n25	-265,463	0,0012
e26	-190,791	0,0016	e26	-190,762	0,0013	e26	-190,704	0,0014
n26	-280,636	0,0012	n26	-280,683	0,0012	n26	-280,737	0,0012
e27	-204,862	0,0017	e27	-204,863	0,0015	e27	-204,865	0,0012
n27	-285,820	0,0014	n27	-285,819	0,0014	n27	-285,812	0,0011
e28	-188,344	0,0022	e28	-188,348	0,0015	e28	-188,336	0,0013
n28	-301,766	0,0017	n28	-301,768	0,0015	n28	-301,768	0,0011
e29	-172,561	0,0023	e29	-172,522	0,0017	e29	-172,502	0,0015
n29	-301,547	0,0018	n29	-301,608	0,0019	n29	-301,655	0,0011
e30	-167,076	0,0025	e30	-167,049	0,0021	e30	-166,995	0,0017

**Continuação - Coordenadas dos pontos, por campanha realizada  
com estação total, com desvio padrão.**

CAMPANHA. 1			CAMPANHA. 2			CAMPANHA. 3		
PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )	PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )	PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )
n30	-298,755	0,0016	n30	-298,803	0,0015	n30	-298,887	0,0011
e32	-177,099	0,0018	e32	-177,062	0,0013	e32	-177,026	0,0015
n32	-293,896	0,0014	n32	-293,935	0,0012	n32	-294,015	0,0012
e33	-186,870	0,0022	e33	-186,856	0,0014	e33	-186,843	0,0023
n33	-309,285	0,0018	n33	-309,283	0,0019	n33	-309,278	0,0014
e34	-159,005	0,0028	e34	-158,927	0,0024	e34	-158,832	0,0212
n34	-328,739	0,0021	n34	-328,806	0,0021	n34	-328,817	0,0091
e35	-176,614	0,0021	e35	-176,569	0,0015	e35	-176,587	0,0022
n35	-336,033	0,002	n35	-336,023	0,0019	n35	-336,039	0,0019
e1	-252,980	0,0022	e1	-252,988	0,002	e1	-252,983	0,003
n1	-176,757	0,0023	n1	-176,757	0,0022	n1	-176,760	0,0028
u15	-53,546	0,0021	u15	-53,552	0,0017	u15	-53,549	0,0014
u17	-54,817	0,0018	u17	-54,823	0,0014	u17	-54,816	0,0014
u18	-54,597	0,0014	u18	-54,602	0,0012	u18	-54,599	0,0012
u19	-57,389	0,0014	u19	-57,395	0,0013	u19	-57,391	0,0013
u20	-58,435	0,0013	u20	-58,438	0,0013	u20	-58,436	0,0013
u21	-52,099	0,0013	u21	-52,103	0,0013	u21	-52,098	0,0014
u22	-57,319	0,0014	u22	-57,315	0,0013	u22	-57,314	0,0013
u23	-52,446	0,0014	u23	-52,447	0,0014	u23	-52,446	0,0014
u24	-54,541	0,0014	u24	-54,535	0,0013	u24	-54,528	0,0011
u25	-54,118	0,0018	u25	-54,118	0,0018	u25	-54,079	0,0018
u26	-55,911	0,0014	u26	-55,914	0,0012	u26	-55,912	0,0012
u27	-57,455	0,0019	u27	-57,457	0,0014	u27	-57,455	0,0013
u28	-60,342	0,0019	u28	-60,346	0,0015	u28	-60,346	0,0015
u29	-60,351	0,0019	u29	-60,365	0,0013	u29	-60,372	0,0013
u30	-61,123	0,0025	u30	-61,128	0,0018	u30	-61,134	0,0018
u32	-58,714	0,0014	u32	-58,721	0,0012	u32	-58,723	0,0013
u33	-62,826	0,0016	u33	-62,827	0,0013	u33	-62,830	0,0016
u34	-72,630	0,0019	u34	-72,643	0,0018	u34	-72,655	0,0021
u35	-72,989	0,002	u35	-72,990	0,0015	u35	-72,993	0,0016
u1	-46,292	0,0021	u1	-46,307	0,0018	u1	-46,300	0,0021

**Continuação - Coordenadas dos pontos, por campanha realizada  
com estação total, com desvio padrão.**

CAMPANHA. 1			CAMPANHA. 2			CAMPANHA. 3		
PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )	PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )	PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )
e36	20,101	0,0372	e36	20,381	0,0389	e36	20,419	0,0241
n36	-276,189	0,0078	n36	-276,172	0,008	n36	-276,214	0,0051
e37	24,611	0,0373	e37	24,893	0,0391	e37	24,948	0,0243
n37	-275,117	0,0072	n37	-275,098	0,0072	n37	-275,143	0,0051
e38	29,011	0,0362	e38	29,278	0,0386	e38	29,329	0,0227
n38	-290,483	0,0072	n38	-290,467	0,0075	n38	-290,501	0,0048
e39	24,289	0,0362	e39	24,561	0,0387	e39	24,627	0,0227
n39	-290,909	0,0075	n39	-290,905	0,0079	n39	-290,942	0,0038
e40	48,202	0,0339	e40	48,414	0,0369	e40	48,423	0,0225
n40	-308,508	0,0102	n40	-308,489	0,0082	n40	-308,493	0,0073
e41	41,215	0,0339	e41	41,440	0,0369	e41	41,476	0,0227
n41	-310,068	0,0062	n41	-310,047	0,0066	n41	-310,066	0,0046
e42	40,623	0,0349	e42	40,824	0,0367	e42	40,858	0,0242
n42	-321,314	0,0063	n42	-321,306	0,0066	n42	-321,335	0,0046
e43	56,049	0,0349	e43	56,228	0,0367	e43	56,247	0,0242
n43	-321,031	0,0148	n43	-321,020	0,0125	n43	-321,021	0,0122
e44	47,261	0,0352	e44	47,447	0,0368	e44	47,444	0,0258
n44	-334,759	0,0074	n44	-334,721	0,0076	n44	-334,730	0,0063
e45	39,142	0,0353	e45	39,344	0,0369	e45	39,357	0,026
n45	-336,229	0,0063	n45	-336,206	0,0067	n45	-336,221	0,0046
e46	6,101	0,0364	e46	6,260	0,0365	e46	6,309	0,0365
n46	-373,224	0,0094	n46	-373,227	0,0094	n46	-373,271	0,0094
e47	12,781	0,0365	e47	12,936	0,0366	e47	12,987	0,0365
n47	-372,500	0,009	n47	-372,481	0,009	n47	-372,497	0,009
e48	5,139	0,0353	e48	5,277	0,0354	e48	5,310	0,0353
n48	-392,721	0,0095	n48	-392,727	0,0095	n48	-392,771	0,0095
e49	17,528	0,0353	e49	17,661	0,0354	e49	17,694	0,0353
n49	-392,788	0,0091	n49	-392,769	0,0092	n49	-392,793	0,0091
u36	-77,203	0,0015	u36	-77,195	0,0017	u36	-77,194	0,0016
u37	-79,131	0,0015	u37	-79,122	0,0018	u37	-79,122	0,0019
u38	-82,755	0,0014	u38	-82,754	0,0014	u38	-82,764	0,0013

**Continuação - Coordenadas dos pontos, por campanha realizada  
com estação total, com desvio padrão.**

CAMPANHA. 1			CAMPANHA. 2			CAMPANHA. 3		
PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )	PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )	PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )
u39	-81,250	0,0019	u39	-81,252	0,0018	u39	-81,262	0,0015
u40	-92,090	0,0016	u40	-92,083	0,0017	u40	-92,090	0,0016
u41	-89,674	0,0014	u41	-89,653	0,0014	u41	-89,648	0,0013
u42	-90,369	0,0014	u42	-90,352	0,0016	u42	-90,348	0,0014
u43	-92,288	0,0019	u43	-92,281	0,002	u43	-92,289	0,0019
u44	-93,913	0,0017	u44	-93,908	0,0018	u44	-93,915	0,0017
u45	-92,910	0,0015	u45	-92,894	0,0015	u45	-92,902	0,0015
u46	-102,934	0,0015	u46	-102,943	0,0016	u46	-102,946	0,0016
u47	-102,780	0,0015	u47	-102,786	0,0016	u47	-102,783	0,0017
u48	-107,179	0,0015	u48	-107,187	0,0017	u48	-107,184	0,0016
u49	-108,327	0,0017	u49	-108,336	0,0018	u49	-108,329	0,0018
e6	-155,466	0,0018	e6	-155,490	0,0014	e6	-155,488	0,0014
n6	-90,729	0,0016	n6	-90,914	0,0011	n6	-90,977	0,0012
e7	-185,536	0,002	e7	-185,538	0,0013	e7	-185,538	0,0013
n7	-51,395	0,0018	n7	-51,397	0,0011	n7	-51,394	0,0013
e8			e8	-203,589	0,0014	e8	-203,565	0,002
n8			n8	-61,726	0,0012	n8	-61,724	0,0025
e9			e9	-197,169	0,0013	e9	-197,157	0,0014
n9			n9	-72,762	0,0011	n9	-72,792	0,0012
e10			e10	-157,640	0,0014	e10	-157,635	0,0015
n10			n10	-59,087	0,001	n10	-59,094	0,0012
u6	-32,402	0,002	u6	-32,531	0,0011	u6	-32,576	0,0011
u7	-29,821	0,0019	u7	-29,830	0,0011	u7	-29,828	0,0011
u8			u8	-29,763	0,0011	u8	-29,768	0,0011
u9			u9	-30,858	0,0011	u9	-30,916	0,0011
u10			u10	-31,649	0,0011	u10	-31,698	0,0012
e50	-79,632	0,0302	e50	-79,723	0,0242	e50	-79,560	0,0264
n50	-406,223	0,0127	n50	-406,305	0,0106	n50	-406,303	0,0116
e51	-82,611	0,0301	e51	-82,697	0,0241	e51	-82,573	0,0261
n51	-408,208	0,0129	n51	-408,306	0,0108	n51	-408,300	0,0117
e52	-80,595	0,0297	e52	-80,716	0,0239	e52	-80,605	0,0258

**Continuação - Coordenadas dos pontos, por campanha realizada  
com estação total, com desvio padrão.**

CAMPANHA. 1			CAMPANHA. 2			CAMPANHA. 3		
PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )	PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )	PT	VALOR (m)	D. PADRÃO (m <sup>2</sup> )
n52	-414,075	0,0129	n52	-414,122	0,0107	n52	-414,064	0,0116
e53	-68,735	0,0303	e53	-68,828	0,0243	e53	-68,678	0,0264
n53	-405,053	0,0121	n53	-405,129	0,0101	n53	-405,112	0,011
e54	-64,411	0,0304	e54	-64,523	0,0244	e54	-64,376	0,0264
n54	-403,774	0,0119	n54	-403,817	0,0099	n54	-403,802	0,0107
e55	-72,603	0,0299	e55	-72,723	0,024	e55	-72,611	0,026
n55	-412,148	0,0123	n55	-412,186	0,0103	n55	-412,142	0,0112
e56	-59,712	0,0301	e56	-59,835	0,0242	e56	-59,715	0,0262
n56	-407,897	0,0116	n56	-407,912	0,0097	n56	-407,861	0,0105
u50	-109,329	0,0014	u50	-109,331	0,0014	u50	-109,331	0,0014
u51	-109,236	0,0013	u51	-109,245	0,0014	u51	-109,246	0,0014
u52	-112,928	0,0012	u52	-112,932	0,0016	u52	-112,931	0,0016
u53	-113,934	0,0014	u53	-113,945	0,0016	u53	-113,948	0,0016
u54	-115,262	0,0019	u54	-115,274	0,002	u54	-115,278	0,002
u55	-115,109	0,0012	u55	-115,112	0,0014	u55	-115,107	0,0014
u56	-118,593	0,0013	u56	-118,593	0,0016	u56	-118,593	0,0016

### **Apêndice 10**

#### **Deslocamentos detectados nos pontos de controle entre as campanhas de medição.**

PONTO	CAMPANHA 1 - CAMPANHA 2				
NOME	DELTA e(m)	DELTA n(m)	DELTA PLAN(m)	DELTA u(m)	DELTA TOTAL(m)
1	0,0079	0,0000	0,0079	0,0153	0,0173
6	0,0092	0,1268	0,1272	0,0839	0,1524
7	-0,0002	0,0050	0,0050	0,0106	0,0117
8	---	---	---	---	---
9	---	---	---	---	---
10	---	---	---	---	---
15	-0,0370	-0,0064	0,0375	0,0053	0,0379
17	0,0050	-0,0135	0,0144	0,0057	0,0155
18	0,0038	-0,0057	0,0068	0,0053	0,0087
19	-0,0112	0,0348	0,0365	0,0063	0,0371
20	-0,0076	0,0451	0,0457	0,0029	0,0458
21	0,0090	-0,0083	0,0123	0,0041	0,0129
22	-0,0137	0,0485	0,0504	-0,0040	0,0506
23	0,0078	-0,0067	0,0102	0,0013	0,0103
24	-0,0251	0,0452	0,0517	-0,0062	0,0521
25	0,0165	-0,0092	0,0189	0,0000	0,0189
26	-0,0281	0,0472	0,0549	0,0027	0,0550
27	0,0012	-0,0003	0,0013	0,0021	0,0025
28	0,0039	0,0019	0,0043	0,0041	0,0059
29	-0,0389	0,0607	0,0720	0,0139	0,0734
30	-0,0274	0,0483	0,0555	0,0053	0,0558
32	-0,0370	0,0386	0,0535	0,0066	0,0539
33	-0,0135	-0,0016	0,0136	0,0013	0,0137

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição.**

PONTO NOME	CAMPANHA 1 - CAMPANHA 2				
	DELTA e(m)	DELTA n(m)	DELTA PLAN(m)	DELTA u(m)	DELTA TOTAL(m)
34	-0,0778	0,0663	0,1022	0,0123	0,1030
35	-0,0457	-0,0095	0,0467	0,0006	0,0467
36	-0,2798	-0,0167	0,2803	-0,0079	0,2804
37	-0,2814	-0,0191	0,2820	-0,0086	0,2822
38	-0,2670	-0,0152	0,2674	-0,0010	0,2674
39	-0,2717	-0,0039	0,2717	0,0017	0,2717
40	-0,2118	-0,0192	0,2127	-0,0066	0,2128
41	-0,2252	-0,0209	0,2261	-0,0204	0,2271
42	-0,2018	-0,0082	0,2019	-0,0170	0,2027
43	-0,1787	-0,0117	0,1791	-0,0068	0,1792
44	-0,1859	-0,0379	0,1897	-0,0049	0,1898
45	-0,2023	-0,0227	0,2036	-0,0159	0,2042
46	-0,1592	0,0028	0,1592	0,0088	0,1595
47	-0,1544	-0,0189	0,1556	0,0064	0,1557
48	-0,1377	0,0060	0,1379	0,0078	0,1381
49	-0,1332	-0,0185	0,1345	0,0088	0,1347
50	0,0908	0,0818	0,1222	0,0013	0,1222
51	0,0865	0,0986	0,1312	0,0084	0,1315
52	0,1207	0,0463	0,1293	0,0042	0,1293
53	0,0924	0,0757	0,1194	0,0113	0,1200
54	0,1129	0,0430	0,1208	0,0120	0,1214
55	0,1208	0,0382	0,1267	0,0025	0,1267
56	0,1229	0,0155	0,1239	0,0004	0,1239

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição.**

PONTO NOME	CAMPANHA 1 - CAMPANHA 3				
	DELTA e(m)	DELTA n(m)	DELTA PLAN(m)	DELTA u(m)	DELTA TOTAL(m)
1	0,0026	0,0031	0,0041	0,0085	0,0095
6	0,0221	0,2480	0,2490	0,1746	0,3041
7	0,0014	-0,0007	0,0016	0,0070	0,0072
8	---	---	---	---	---
9	---	---	---	---	---
10	---	---	---	---	---
15	0,0116	0,0459	0,0474	0,0028	0,0474
17	0,0446	-0,0137	0,0467	-0,0012	0,0467
18	0,0235	-0,0161	0,0285	0,0020	0,0286
19	-0,0231	0,0830	0,0862	0,0022	0,0862
20	-0,0315	0,0988	0,1037	0,0016	0,1037
21	0,0084	-0,0186	0,0204	-0,0004	0,0204
22	-0,0328	0,1115	0,1162	-0,0053	0,1163
23	0,0242	-0,0061	0,0249	0,0001	0,0249
24	-0,0566	0,0959	0,1114	-0,0127	0,1121
25	0,0155	-0,0016	0,0155	-0,0394	0,0423
26	-0,0869	0,1004	0,1328	0,0007	0,1328
27	0,0023	-0,0074	0,0078	0,0006	0,0078
28	-0,0086	0,0017	0,0088	0,0041	0,0097
29	-0,0597	0,1076	0,1231	0,0204	0,1248
30	-0,0819	0,1321	0,1554	0,0115	0,1558
32	-0,0729	0,1185	0,1392	0,0088	0,1395
33	-0,0272	-0,0069	0,0281	0,0047	0,0285

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição.**

PONTO NOME	CAMPANHA 1 - CAMPANHA 3				
	DELTA e(m)	DELTA n(m)	DELTA PLAN(m)	DELTA u(m)	DELTA TOTAL(m)
34	-0,1729	0,0780	0,1897	0,0250	0,1913
35	-0,0276	0,0061	0,0283	0,0036	0,0286
36	-0,3180	0,0245	0,3189	-0,0084	0,3190
37	-0,3371	0,0255	0,3380	-0,0083	0,3381
38	-0,3180	0,0185	0,3185	0,0098	0,3186
39	-0,3375	0,0332	0,3391	0,0126	0,3394
40	-0,2211	-0,0149	0,2216	0,0005	0,2216
41	-0,2609	-0,0023	0,2609	-0,0255	0,2622
42	-0,2349	0,0210	0,2359	-0,0208	0,2368
43	-0,1984	-0,0106	0,1986	0,0007	0,1986
44	-0,1831	-0,0285	0,1853	0,0015	0,1853
45	-0,2155	-0,0085	0,2157	-0,0083	0,2159
46	-0,2087	0,0467	0,2138	0,0121	0,2142
47	-0,2059	-0,0036	0,2059	0,0031	0,2060
48	-0,1703	0,0499	0,1775	0,0050	0,1776
49	-0,1658	0,0052	0,1659	0,0021	0,1659
50	-0,0721	0,0803	0,1079	0,0012	0,1079
51	-0,0376	0,0919	0,0993	0,0099	0,0998
52	-0,0376	-0,0113	0,0393	0,0031	0,0394
53	-0,0573	0,0585	0,0819	0,0137	0,0830
54	-0,0347	0,0273	0,0441	0,0157	0,0468
55	0,0081	-0,0057	0,0099	-0,0016	0,0100
56	0,0031	-0,0359	0,0360	0,0003	0,0360

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição.**

PONTO NOME	CAMPANHA 2 - CAMPANHA 3				
	DELTA e(m)	DELTA n(m)	DELTA PLAN(m)	DELTA u(m)	DELTA TOTAL(m)
1	-0,0053	0,0032	0,0062	0,0906	0,0908
6	0,0129	0,1212	0,1219	-0,0036	0,1219
7	0,0016	-0,0057	0,0059	0,0053	0,0080
8	-0,0237	-0,0017	0,0237	0,0576	0,0623
9	-0,0118	0,0305	0,0327	0,0488	0,0588
10	-0,0052	0,0072	0,0089	0,0000	0,0089
15	0,0486	0,0524	0,0714	-0,0025	0,0715
17	0,0396	-0,0002	0,0396	-0,0068	0,0402
18	0,0198	-0,0104	0,0223	-0,0034	0,0226
19	-0,0119	0,0483	0,0497	-0,0041	0,0499
20	-0,0238	0,0537	0,0588	-0,0013	0,0588
21	-0,0006	-0,0103	0,0103	-0,0045	0,0112
22	-0,0191	0,0629	0,0658	-0,0012	0,0658
23	0,0164	0,0006	0,0164	-0,0013	0,0164
24	-0,0315	0,0507	0,0597	-0,0065	0,0601
25	-0,0010	0,0076	0,0077	-0,0394	0,0402
26	-0,0587	0,0533	0,0793	-0,0020	0,0793
27	0,0011	-0,0072	0,0073	-0,0015	0,0074
28	-0,0125	-0,0001	0,0125	0,0000	0,0125
29	-0,0209	0,0469	0,0514	0,0065	0,0518
30	-0,0544	0,0838	0,0999	0,0062	0,1001
32	-0,0360	0,0799	0,0876	0,0022	0,0876
33	-0,0137	-0,0053	0,0147	0,0035	0,0151

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição.**

PONTO NOME	CAMPANHA 2 - CAMPANHA 3				
	DELTA e(m)	DELTA n(m)	DELTA PLAN(m)	DELTA u(m)	DELTA TOTAL(m)
34	-0,0951	0,0117	0,0958	0,0127	0,0966
35	0,0180	0,0157	0,0239	0,0030	0,0241
36	-0,0381	0,0412	0,0561	-0,0005	0,0562
37	-0,0557	0,0445	0,0713	0,0002	0,0713
38	-0,0509	0,0338	0,0611	0,0108	0,0621
39	-0,0658	0,0371	0,0756	0,0109	0,0764
40	-0,0093	0,0043	0,0102	0,0071	0,0124
41	-0,0358	0,0185	0,0403	-0,0051	0,0406
42	-0,0332	0,0291	0,0442	-0,0038	0,0443
43	-0,0196	0,0012	0,0196	0,0075	0,0210
44	0,0028	0,0095	0,0099	0,0065	0,0118
45	-0,0132	0,0142	0,0194	0,0077	0,0209
46	-0,0495	0,0439	0,0661	0,0033	0,0662
47	-0,0515	0,0153	0,0537	-0,0033	0,0538
48	-0,0326	0,0439	0,0547	-0,0028	0,0548
49	-0,0326	0,0238	0,0404	-0,0066	0,0409
50	-0,1629	-0,0016	0,1629	-0,0001	0,1629
51	-0,1242	-0,0067	0,1244	0,0015	0,1244
52	-0,1105	-0,0576	0,1246	-0,0012	0,1246
53	-0,1497	-0,0172	0,1507	0,0024	0,1507
54	-0,1476	-0,0158	0,1484	0,0037	0,1485
55	-0,1127	-0,0439	0,1209	-0,0041	0,1210
56	-0,1198	-0,0514	0,1304	-0,0002	0,1304

### **Apêndice 11**

**Deslocamentos detectados nos pontos de controle entre as campanhas de medição um e dois e seus respectivos desvios padrão.**

PONTO	MOVIMENTO 1 2		SITUAÇÃO
	DESLOCAMENTO (m)	DESVIO PADRÃO (m <sup>2</sup> )	
e15	0,0370	0,0064	Houve Movimento
n15	0,0064	0,0081	
e17	0,0050	0,0024	Houve Movimento
n17	0,0135	0,0038	Houve Movimento
e18	0,0038	0,0026	Houve Movimento
n18	0,0057	0,0029	Houve Movimento
e19	0,0112	0,0025	Houve Movimento
n19	0,0348	0,0028	Houve Movimento
e20	0,0076	0,0026	Houve Movimento
n20	0,0451	0,0026	Houve Movimento
e21	0,0090	0,0028	Houve Movimento
n21	0,0083	0,0028	Houve Movimento
e22	0,0137	0,0022	Houve Movimento
n22	0,0485	0,0021	Houve Movimento
e23	0,0078	0,0027	Houve Movimento
n23	0,0067	0,0021	Houve Movimento
e24	0,0251	0,0023	Houve Movimento
n24	0,0452	0,0018	Houve Movimento
e25	0,0165	0,0025	Houve Movimento
n25	0,0092	0,0018	Houve Movimento
e26	0,0281	0,0021	Houve Movimento
n26	0,0472	0,0017	Houve Movimento
e27	0,0012	0,0023	
n27	0,0003	0,0020	
e28	0,0039	0,0027	Houve Movimento
n28	0,0019	0,0023	
e29	0,0389	0,0029	Houve Movimento
n29	0,0607	0,0026	Houve Movimento
e30	0,0274	0,0033	Houve Movimento

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição um e dois e seus respectivos desvios  
padrão.**

MOVIMENTO 1 2			
PONTO	DESLOCAMENTO (m)	DESVIO PADRÃO (m <sup>2</sup> )	SITUAÇÃO
n30	0,0483	0,0022	Houve Movimento
e32	0,0370	0,0022	Houve Movimento
n32	0,0386	0,0018	Houve Movimento
e33	0,0135	0,0026	Houve Movimento
n33	0,0016	0,0026	
e34	0,0778	0,0037	Houve Movimento
n34	0,0663	0,0030	Houve Movimento
e35	0,0457	0,0026	Houve Movimento
n35	0,0095	0,0028	Houve Movimento
e1	0,0079	0,0030	Houve Movimento
n1	0,0000	0,0032	
u15	0,0053	0,0027	Houve Movimento
u17	0,0057	0,0023	Houve Movimento
u18	0,0053	0,0018	Houve Movimento
u19	0,0063	0,0019	Houve Movimento
u20	0,0029	0,0018	Houve Movimento
u21	0,0041	0,0018	Houve Movimento
u22	0,0040	0,0019	Houve Movimento
u23	0,0013	0,0020	
u24	0,0062	0,0019	Houve Movimento
u25	0,0000	0,0025	
u26	0,0027	0,0018	Houve Movimento
u27	0,0021	0,0024	
u28	0,0041	0,0024	Houve Movimento
u29	0,0139	0,0023	Houve Movimento
u30	0,0053	0,0031	Houve Movimento
u32	0,0066	0,0018	Houve Movimento
u33	0,0013	0,0021	
u34	0,0123	0,0026	Houve Movimento
u35	0,0006	0,0025	
u1	0,0153	0,0028	Houve Movimento

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição um e dois e seus respectivos desvios  
padrão.**

MOVIMENTO 1 2			
PONTO	DESLOCAMENTO (m)	DESVIO PADRÃO (m <sup>2</sup> )	SITUAÇÃO
e36	0,2798	0,0538	Houve Movimento
n36	0,0167	0,0112	Houve Movimento
e37	0,2814	0,0540	Houve Movimento
n37	0,0191	0,0102	Houve Movimento
e38	0,2670	0,0529	Houve Movimento
n38	0,0152	0,0104	Houve Movimento
e39	0,2717	0,0530	Houve Movimento
n39	0,0039	0,0109	
e40	0,2118	0,0501	Houve Movimento
n40	0,0192	0,0131	Houve Movimento
e41	0,2252	0,0501	Houve Movimento
n41	0,0209	0,0091	Houve Movimento
e42	0,2018	0,0506	Houve Movimento
n42	0,0082	0,0091	
e43	0,1787	0,0506	Houve Movimento
n43	0,0117	0,0194	
e44	0,1859	0,0509	Houve Movimento
n44	0,0379	0,0106	Houve Movimento
e45	0,2023	0,0511	Houve Movimento
n45	0,0227	0,0092	Houve Movimento
e46	0,1592	0,0515	Houve Movimento
n46	0,0028	0,0133	
e47	0,1544	0,0517	Houve Movimento
n47	0,0189	0,0127	Houve Movimento
e48	0,1377	0,0500	Houve Movimento
n48	0,0060	0,0134	
e49	0,1332	0,0500	Houve Movimento
n49	0,0185	0,0129	Houve Movimento
u36	0,0079	0,0023	Houve Movimento
u37	0,0086	0,0023	Houve Movimento
u38	0,0010	0,0020	

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição um e dois e seus respectivos desvios  
padrão.**

MOVIMENTO 1 2			
PONTO	DESLOCAMENTO (m)	DESVIO PADRÃO (m <sup>2</sup> )	SITUAÇÃO
u39	0,0017	0,0026	
u40	0,0066	0,0023	Houve Movimento
u41	0,0204	0,0020	Houve Movimento
u42	0,0170	0,0021	Houve Movimento
u43	0,0068	0,0028	Houve Movimento
u44	0,0049	0,0025	Houve Movimento
u45	0,0159	0,0021	Houve Movimento
u46	0,0088	0,0022	Houve Movimento
u47	0,0064	0,0022	Houve Movimento
u48	0,0078	0,0023	Houve Movimento
u49	0,0088	0,0025	Houve Movimento
e6	0,0233	0,0023	Houve Movimento
n6	0,1850	0,0019	Houve Movimento
e7	0,0021	0,0024	
n7	0,0027	0,0021	Houve Movimento
u6	0,1288	0,0023	Houve Movimento
u7	0,0097	0,0022	Houve Movimento
e50	0,0908	0,0387	Houve Movimento
n50	0,0818	0,0165	Houve Movimento
e51	0,0865	0,0386	Houve Movimento
n51	0,0986	0,0168	Houve Movimento
e52	0,1207	0,0381	Houve Movimento

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição um e dois e seus respectivos desvios  
padrão.**

MOVIMENTO 1 2			
PONTO	DESLOCAMENTO (m)	DESVIO PADRÃO (m <sup>2</sup> )	SITUAÇÃO
n52	0,0463	0,0168	Houve Movimento
e53	0,0924	0,0388	Houve Movimento
n53	0,0757	0,0158	Houve Movimento
e54	0,1129	0,0390	Houve Movimento
n54	0,0430	0,0155	Houve Movimento
e55	0,1208	0,0383	Houve Movimento
n55	0,0382	0,0160	Houve Movimento
e56	0,1229	0,0386	Houve Movimento
n56	0,0155	0,0151	Houve Movimento
u50	0,0013	0,0020	
u51	0,0084	0,0019	Houve Movimento
u52	0,0042	0,0020	Houve Movimento
u53	0,0113	0,0021	Houve Movimento
u54	0,0120	0,0028	Houve Movimento
u55	0,0025	0,0018	Houve Movimento
u56	0,0004	0,0021	

## **Apêndice 12**

**Deslocamentos detectados nos pontos de controle entre as campanhas de medição dois e três e seus respectivos desvios padrão.**

MOVIMENTO 2 3			
PONTO	DESLOCAMENTO (m)	DESVIO PADRÃO (m <sup>2</sup> )	SITUAÇÃO
e15	0,0486	0,0024	Houve Movimento
n15	0,0524	0,0049	Houve Movimento
e17	0,0396	0,0023	Houve Movimento
n17	0,0002	0,0036	
e18	0,0198	0,0025	Houve Movimento
n18	0,0104	0,0029	Houve Movimento
e19	0,0119	0,0025	Houve Movimento
n19	0,0483	0,0028	Houve Movimento
e20	0,0238	0,0027	Houve Movimento
n20	0,0537	0,0027	Houve Movimento
e21	0,0006	0,0027	
n21	0,0103	0,0029	Houve Movimento
e22	0,0191	0,0024	Houve Movimento
n22	0,0629	0,0024	Houve Movimento
e23	0,0164	0,0026	Houve Movimento
n23	0,0006	0,0023	
e24	0,0315	0,0019	Houve Movimento
n24	0,0507	0,0017	Houve Movimento
e25	0,0010	0,0022	
n25	0,0076	0,0018	Houve Movimento
e26	0,0587	0,0019	Houve Movimento
n26	0,0533	0,0017	Houve Movimento
e27	0,0011	0,0019	
n27	0,0072	0,0018	Houve Movimento
e28	0,0125	0,0020	Houve Movimento
n28	0,0001	0,0019	
e29	0,0209	0,0023	Houve Movimento
n29	0,0469	0,0022	Houve Movimento
e30	0,0544	0,0027	Houve Movimento
n30	0,0838	0,0019	Houve Movimento
e32	0,0360	0,0020	Houve Movimento

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição dois e três e seus respectivos desvios  
padrão.**

MOVIMENTO 2 3			
PONTO	DESLOCAMENTO (m)	DESVIO PADRÃO (m <sup>2</sup> )	SITUAÇÃO
n32	0,0799	0,0017	Houve Movimento
e33	0,0137	0,0027	Houve Movimento
n33	0,0053	0,0024	Houve Movimento
e34	0,0951	0,0213	Houve Movimento
n34	0,0117	0,0093	Houve Movimento
e35	0,0180	0,0027	Houve Movimento
n35	0,0157	0,0027	Houve Movimento
e1	0,0053	0,0036	Houve Movimento
n1	0,0032	0,0036	
u15	0,0025	0,0022	Houve Movimento
u17	0,0068	0,0020	Houve Movimento
u18	0,0034	0,0017	Houve Movimento
u19	0,0041	0,0018	Houve Movimento
u20	0,0013	0,0018	
u21	0,0045	0,0019	Houve Movimento
u22	0,0012	0,0018	
u23	0,0013	0,0020	
u24	0,0065	0,0017	Houve Movimento
u25	0,0394	0,0025	Houve Movimento
u26	0,0020	0,0017	Houve Movimento
u27	0,0015	0,0019	
u28	0,0000	0,0021	
u29	0,0065	0,0018	Houve Movimento
u30	0,0062	0,0025	Houve Movimento
u32	0,0022	0,0018	Houve Movimento
u33	0,0035	0,0021	Houve Movimento
u34	0,0127	0,0028	Houve Movimento
u35	0,0030	0,0022	Houve Movimento
u1	0,0068	0,0028	Houve Movimento

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição dois e três e seus respectivos desvios  
padrão.**

MOVIMENTO 2 3			
PONTO	DESLOCAMENTO (m)	DESVIO PADRÃO (m <sup>2</sup> )	SITUAÇÃO
e36	0,0381	0,0458	
n36	0,0412	0,0095	Houve Movimento
e37	0,0557	0,0460	Houve Movimento
n37	0,0445	0,0088	Houve Movimento
e38	0,0509	0,0448	Houve Movimento
n38	0,0338	0,0089	Houve Movimento
e39	0,0658	0,0449	Houve Movimento
n39	0,0371	0,0088	Houve Movimento
e40	0,0093	0,0432	
n40	0,0043	0,0110	
e41	0,0358	0,0433	
n41	0,0185	0,0080	Houve Movimento
e42	0,0332	0,0440	
n42	0,0291	0,0080	Houve Movimento
e43	0,0196	0,0440	
n43	0,0012	0,0175	
e44	0,0028	0,0449	
n44	0,0095	0,0099	
e45	0,0132	0,0451	
n45	0,0142	0,0081	Houve Movimento
e46	0,0495	0,0516	
n46	0,0439	0,0133	Houve Movimento
e47	0,0515	0,0517	
n47	0,0153	0,0127	Houve Movimento
e48	0,0326	0,0500	
n48	0,0439	0,0134	Houve Movimento
e49	0,0326	0,0500	
n49	0,0238	0,0129	Houve Movimento
u36	0,0005	0,0023	
u37	0,0002	0,0026	
u38	0,0108	0,0019	Houve Movimento

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição dois e três e seus respectivos desvios  
padrão.**

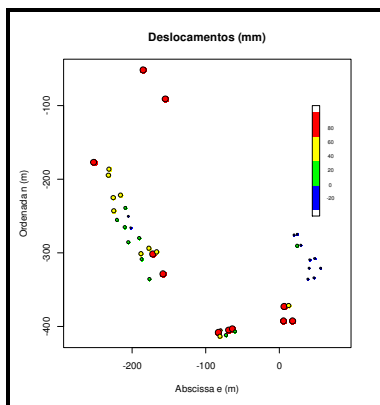
MOVIMENTO 2 3			
PONTO	DESLOCAMENTO (m)	DESVIO PADRÃO (m <sup>2</sup> )	SITUAÇÃO
u39	0,0109	0,0023	Houve Movimento
u40	0,0071	0,0023	Houve Movimento
u41	0,0051	0,0019	Houve Movimento
u42	0,0038	0,0021	Houve Movimento
u43	0,0075	0,0028	Houve Movimento
u44	0,0065	0,0025	Houve Movimento
u45	0,0077	0,0021	Houve Movimento
u46	0,0033	0,0023	Houve Movimento
u47	0,0033	0,0023	Houve Movimento
u48	0,0028	0,0023	Houve Movimento
u49	0,0066	0,0025	Houve Movimento
e6	0,0013	0,0020	
n6	0,0630	0,0016	Houve Movimento
e7	0,0007	0,0018	
n7	0,0034	0,0017	Houve Movimento
e8	0,0237	0,0024	Houve Movimento
n8	0,0017	0,0028	
e9	0,0118	0,0019	Houve Movimento
n9	0,0305	0,0016	Houve Movimento
e10	0,0052	0,0021	Houve Movimento
n10	0,0072	0,0016	Houve Movimento
u6	0,0457	0,0016	Houve Movimento
u7	0,0027	0,0016	Houve Movimento
u8	0,0053	0,0016	Houve Movimento
u9	0,0576	0,0016	Houve Movimento
u10	0,0488	0,0016	Houve Movimento
e50	0,1629	0,0358	Houve Movimento
n50	0,0016	0,0157	
e51	0,1242	0,0355	Houve Movimento
n51	0,0067	0,0159	
e52	0,1105	0,0352	Houve Movimento

**Continuação - Deslocamentos detectados nos pontos de controle  
entre as campanhas de medição dois e três e seus respectivos desvios  
padrão.**

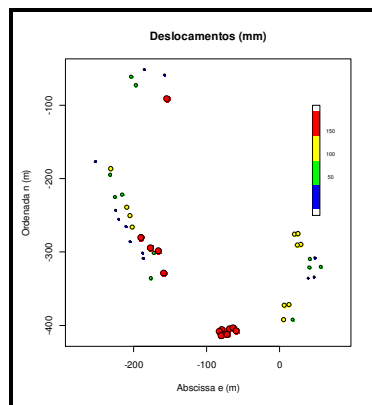
MOVIMENTO 2 3			
PONTO	DESLOCAMENTO (m)	DESVIO PADRÃO (m <sup>2</sup> )	SITUAÇÃO
n52	0,0576	0,0158	Houve Movimento
e53	0,1497	0,0359	Houve Movimento
n53	0,0172	0,0149	Houve Movimento
e54	0,1476	0,0359	Houve Movimento
n54	0,0158	0,0146	Houve Movimento
e55	0,1127	0,0354	Houve Movimento
n55	0,0439	0,0152	Houve Movimento
e56	0,1198	0,0357	Houve Movimento
n56	0,0514	0,0143	Houve Movimento
u50	0,0001	0,0020	
u51	0,0015	0,0020	
u52	0,0012	0,0023	
u53	0,0024	0,0023	Houve Movimento
u54	0,0037	0,0028	Houve Movimento
u55	0,0041	0,0020	Houve Movimento
u56	0,0002	0,0023	

### Apêndice 13

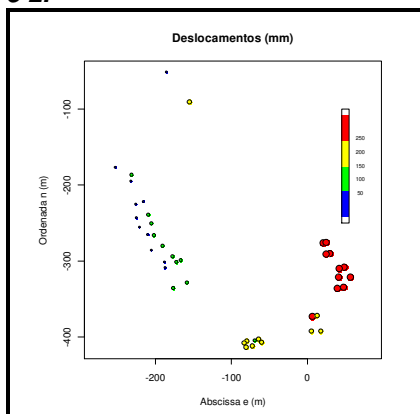
#### VISUALIZAÇÃO DA MAGNITUDE DOS DESLOCAMENTOS.



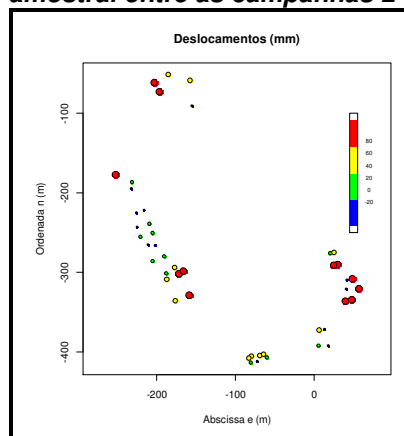
**Figura 30:** Movimento vertical amostral entre as campanhas 1 e 2.



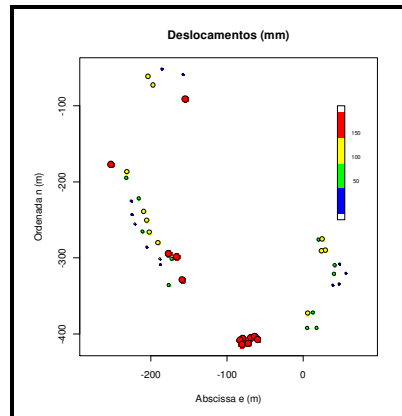
**Figura 32:** Movimento plano amostral entre as campanhas 2 e 3.



**Figura 31:** Movimento total amostral entre as campanhas 1 e 2.



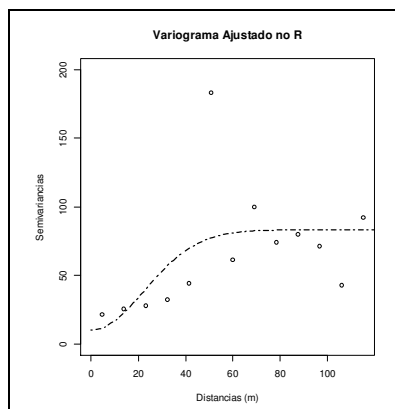
**Figura 33:** Movimento vertical amostral entre as campanhas 2 e 3.



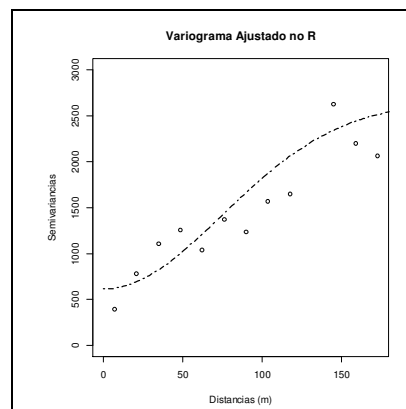
**Figura 34: Movimento total amostral entre as campanhas 2 e 3.**

## Apêndice 14

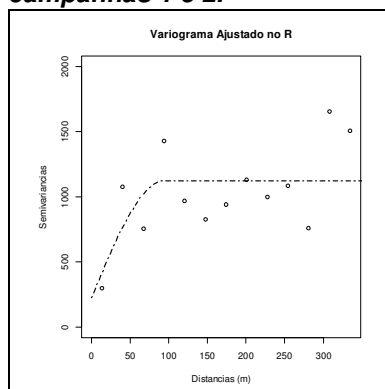
### VISUALIZAÇÃO DOS VARIOGRAMAS AJUSTADOS.



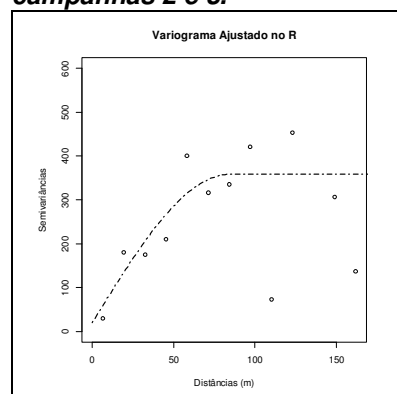
**Figura 35:** Variograma do movimento vertical entre as campanhas 1 e 2.



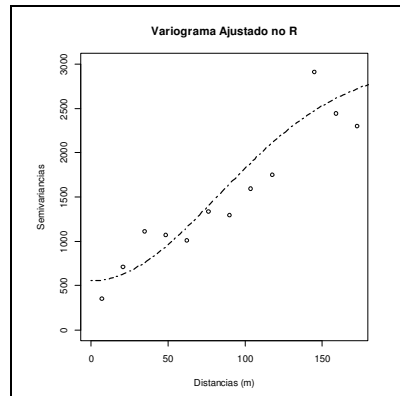
**Figura 37:** Variograma do movimento plano entre as campanhas 2 e 3.



**Figura 36:** Variograma do movimento total entre as campanhas 1 e 2.



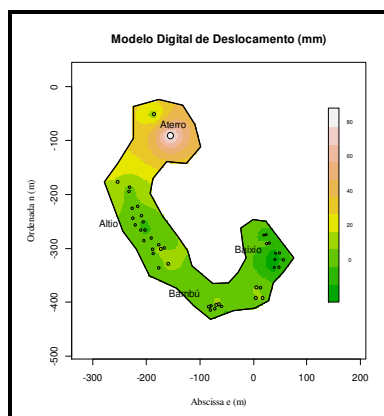
**Figura 38:** Variograma do movimento vertical entre as campanhas 2 e 3.



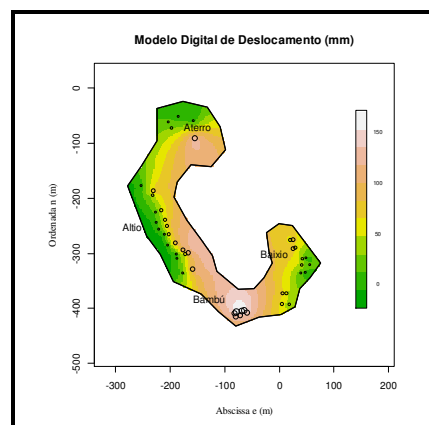
**Figura 39: Variograma do movimento total entre as campanhas 2 e 3.**

## Apêndice 15

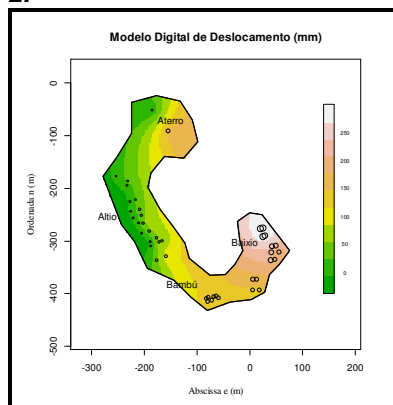
### VISUALIZAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE DESLOCAMENTO.



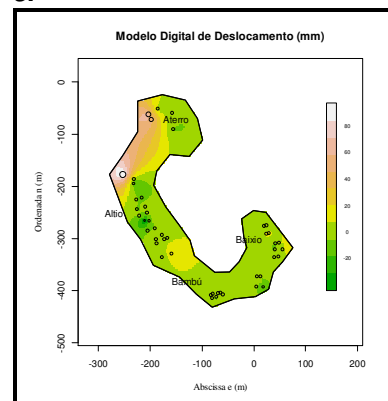
**Figura 40: MDD – Movimento vertical entre as campanhas 1 e 2.**



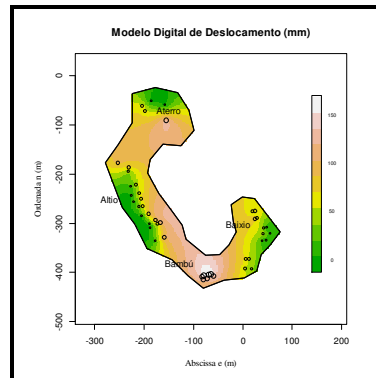
**Figura 42: MDD – Movimento plano entre as campanhas 2 e 3.**



**Figura 41: MDD – Movimento total entre as campanhas 1 e 2.**



**Figura 43: MDD – Movimento vertical entre as campanhas 2 e 3.**



**Figura 44: MDD – Movimento total entre as campanhas 2 e 3.**