



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Campus de Presidente Prudente
Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas

RODRIGO SANTOS MENDES DA ROCHA

**POSICIONAMENTO GEODÉSICO COM GPS NO SUPORTE A DETECÇÃO DE
DESLOCAMENTO EM BARRAGENS**



PRESIDENTE PRUDENTE

2017

RODRIGO SANTOS MENDES DA ROCHA

**POSICIONAMENTO GEODÉSICO COM GPS NO SUPORTE A DETECÇÃO DE
DESLOCAMENTO EM BARRAGENS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre em Ciências Cartográficas.

Orientador: Dr. João Francisco Galera Monico

PRESIDENTE PRUDENTE

2017

DADOS CURRICULARES

Rodrigo Santos Mendes da Rocha

Nascimento	27/12/1989 – Rio de Janeiro – RJ
Filiação	Marcio Bessa Mendes da Rocha Sandra Maria dos Santos Mendes da Rocha
2008-2014	Graduação Bacharel em Engenharia Cartográfica Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ
2015-2017	Pós-Graduação Mestrado em Ciências Cartográficas Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação - Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Campus de Presidente Prudente

R576p Rocha, Rodrigo Santos Mendes da.
Posicionamento geodésico com GPS no suporte a detecção de deslocamentos em barragens / Rodrigo Santos Mendes da Rocha. - 2017
144 f. : il.

Orientador: João Francisco Galera Monico
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2017
Inclui bibliografia

1. Monitoramento. 2. Auscultação. 3. GNSS. I. Monico, João Francisco Galera. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Título.

Alessandra Kuba Oshiro Assunção
CRB-8/9013

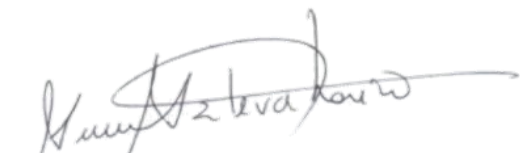
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Posicionamento geodésico com GPS no suporte a detecção de deslocamento em barragens

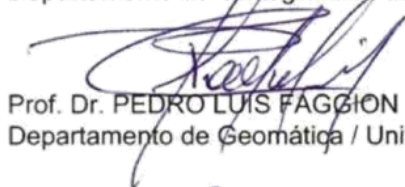
AUTOR: RODRIGO SANTOS MENDES DA ROCHA

ORIENTADOR: JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO

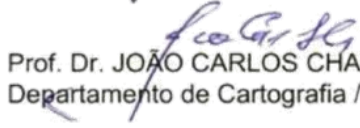
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIAS CARTOGRÁFICAS, área: AQUISIÇÃO, ANÁLISE E REPRESENTAÇÃO DE INFORMAÇÕES ESPACIAIS pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO
Departamento de Cartografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente



Prof. Dr. PEDRO LUIS FAGGION
Departamento de Geomática / Universidade Federal do Paraná



Prof. Dr. JOÃO CARLOS CHAVES
Departamento de Cartografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Presidente Prudente, 27 de setembro de 2017

Dedico aos meus pais, pois mesmo que estejamos distantes, eles se fazem sempre presentes em minha vida.

Dedico também a Tatiana, que me deu muitas forças ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço os meus pais que sempre fizeram de tudo para que eu tivesse as melhores condições possíveis de saúde, educação e carácter. Além de meus pais, sempre tivemos uma relação de muita amizade e eu não poderia ter escolhido pessoas melhores para me apresentar o mundo.

Agradeço ao meu tio Marlos que sempre foi um exemplo para mim por toda sua história de vida, desde a luta contra a ditadura militar até este atual, como docente aposentado. Ao meu primo João Miguel, que há onze anos se foi e que eu adoraria brindar este momento com ele. Ao meu tio Eduardo e família que sempre que pudemos nos encontrar, tivemos maravilhosos momentos. Aos meus falecidos avós, que sinto saudades de nossas conversas.

Agradeço também a tia Sônia, Sueli, Solange e Selma Antônia que sempre me alegram contando suas histórias.

A minhas primas Adriana, Luciana, Camila e Carolina que sinto saudades da bagunça que fazemos nos nossos natais.

Agradeço meus amigos da Rural, que me “aguentaram” durante alguns anos na faculdade e continuamos nos falando e nos encontrando sempre que possível.

Agradeço os professores da Rural por toda a minha formação e amizade que fizemos.

Agradeço meus amigos Rayane, Helinho e Matheus que são parceiros de toda uma vida, eu tenho certeza.

Agradeço os meus amigos Anderson, Zaupa, Igão, MSN, Jé, Thilly e Juliano que foram grandes companheiros e me apresentaram a cidade.

Agradeço o meu orientador Galera, que foi paciente comigo durante todo este tempo e me ensinou muitas coisas nestes últimos anos. Muito obrigado por tudo que fez por mim.

Agradeço o Ítalo, que tem sido um grande amigo, me ensinando muitas coisas e sempre tem um novo ponto de vista que me faz pensar além.

Agradeço a todos os professores do PPGCC que ajudaram muito ao longo do mestrado. Em especial ao prof. Paulo, que me orientou no estágio e me ensinou bastante sobre Ajustamento.

Agradeço os amigos do PPGCC que me receberam muito bem aqui em Prudente. Em especial, meu agradecimento ao Gabriel, Jéssyca, Lucas, Alemão, Emerson, Tobias, Vani, Stuani, Prol, Marcela, Fernando, Gabriela, Tayná.

Agradeço o Paulo Sérgio e o João Raphael que me ajudaram bastante com o *Bernese* e sem eles teria sido mais difícil todo o processamento.

Agradeço a UNESP e a CAPES por terem me possibilitado a pós-graduação em Ciências Cartográficas.

E, em especial, a Tatiana (e sua família), que vem me “aturando” há quase dois anos e é uma grande companheira de vida, disposta a me ajudar em todos os momentos.

RESUMO

Grandes corpos artificiais têm potencial catastrófico em casos de colapso de sua estrutura. Como ocorrido em Mariana – MG, o colapso da barragem trouxe prejuízos socioeconômicos e ambientais incalculáveis o que justifica a importância da prevenção de acidentes conforme imposto na Lei nº 12.334/2010 que trata da segurança de barragens. Um ponto importante de verificação da saúde da estrutura tange ao monitoramento da mesma que deve ser acompanhada periodicamente a fim de detectar deslocamentos e/ou deformações. Este monitoramento é realizado através de métodos geotécnicos, métodos geodésicos, como o posicionamento por satélites artificiais, *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS), ou, por equipamentos medidores de distâncias e ângulos, além do nivelamento geométrico de precisão e a gravimetria. Tendo como estudo de caso uma barragem de concreto de uma usina hidrelétrica (UHE), a dissertação visa utilizar os sinais GNSS para detectar a ocorrência de deslocamento de pontos sobre a barragem ao longo de quatro campanhas de coleta de dados entre os anos de 2012 e 2015. O Teste de Congruência Global (TCG) será utilizado para detectar os vértices que podem ser considerados estáveis. Todo o processamento dos dados GNSS foi realizado utilizando somente os sinais do *Global Positioning System* (GPS) no *software* científico *Bernese*, v5.2. Para a realização do TCG foi implementado o *TCGunesp*, um *software* capaz de utilizar os resultados provenientes do processamento de dados do *Bernese* e informar se as estações geodésicas deslocaram ao longo do tempo. Os resultados dos processamentos de dados GPS apontaram uma alta precisão das coordenadas que foi confrontada com a repetitividade dos resultados das seções de processamento, no qual constatou-se uma diferença no modelo estocástico o que possibilitou o cálculo de um coeficiente de escala. Através das análises do TCG 3D, 2D (planimétrico) e 1D (altimétrico e no eixo do fluxo da barragem) utilizando o *TCGunesp* foram constatadas estações que sofreram deslocamento quando utilizado o modelo estocástico original. Ao ser realizado o reescalonamento do modelo estocástico a partir do coeficiente de escala, aumentou sensivelmente a quantidade de estações consideradas estáveis pelo teste.

Palavras-chave: Monitoramento, Auscultação, GNSS, Ajustamento.

ABSTRACT

Large artificial bodies have catastrophic potential in cases of collapse of their structures. As occurred in Mariana - MG, the collapse of the dam brought incalculable socioeconomic and environmental damages, which justifies the importance of accident prevention, as required by Law No. 12,334/2010, which deals with dam safety. An important point of verification of the health of the structure refers to the monitoring of the same that must be monitored periodically in order to detect displacements or deformations. This monitoring is carried out using geotechnical methods and geodetic methods, such as positioning by artificial satellites, Global Navigation Satellite Systems (GNSS) or by distance and angle measuring equipment. In addition to precision geometric leveling and gravimetry. Having as a case study a concrete dam of a hydroelectric plant, the dissertation aims to use the GNSS signals to detect the occurrence of displacement of points in the dam's structural body during four campaigns of data collection between the years of 2012 and 2015. The Global Congruence Test (TCG) will be used to detect the vertices that can be considered stable. All GNSS data processing was performed using only the Global Positioning System (GPS) signals in the scientific software *Bernese*, v5.2. For the implementation of the TCG, the *TCGunesp* was implemented, a software capable of using the results from the *Bernese* data processing and informing if the geodesic stations have moved over time. The results of the GPS data processing showed a high precision of the coordinates that was confronted with the repeatability of the results of the processing sections, in which a difference in the stochastic model was verified, which enabled the calculation of a scale coefficient. Through the analysis of TCG 3D, 2D (planimetric) and 1D (altimetric and in the axis of the dam flow) using *TCGunesp*, stations were observed that were displaced when using the original stochastic model. When the stochastic model was rescheduled from the scale coefficient, the number of stations considered stable by the test was significantly increased.

Keywords: Monitoring, Auscultation, GNSS, Adjustment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seção transversal dos tipos de barragem.....	21
Figura 2 – Coordenadas elipsoidais e locais.....	36
Figura 3 – Relacionamento entre (e,n,up) e (x, y, z)	36
Figura 4 – Sistema da Barragem.....	39
Figura 5 – Organograma pasta BERN52.....	45
Figura 6 – Organograma da pasta GPSUSER52.	46
Figura 7 – Exemplo de um <i>script</i> PCF.	47
Figura 8 – Organograma da pasta GPSUSER52.	48
Figura 9 – MS da barragem de terra esquerda.....	53
Figura 10 – RNP 1 da UHE.....	53
Figura 11 – Atenuador de multicaminho sobre um MS.	54
Figura 12 – Organograma do fluxo da pesquisa.....	56
Figura 13 – Organograma de cálculo da MVC reescalada.....	63
Figura 14 – Discrepâncias no SB 2 entre as campanhas 1 e 2 nos MS.	87
Figura 15 – Discrepâncias no SB 2 entre as campanhas 1 e 3 nos MS.	87
Figura 16 – Discrepâncias no SB 2 entre as campanhas 1 e 4 nos MS.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa de resolução das ambiguidades no posicionamento dos Pilares.	67
Tabela 2 – Média final de resolução das ambiguidades no posicionamento dos Pilares.	67
Tabela 3 – Desvio-padrão dos resíduos das seções do posicionamento dos Pilares.	67
Tabela 4 – Desvio-padrão a posteriori da solução final do posicionamento dos Pilares.	68
Tabela 5 – Coeficientes de escala das variâncias do posicionamento dos Pilares.	69
Tabela 6 – Taxa de resolução das ambiguidades no posicionamento das RNP.	69
Tabela 7 – Desvio-padrão dos resíduos das seções do posicionamento das RNP.	70
Tabela 8 – Desvio-padrão a posteriori da solução final do posicionamento das RNP.	70
Tabela 9 – Coeficientes de escala das variâncias do posicionamento das RNP.	71
Tabela 10 – Quantidade de seções na campanha de posicionamento dos MS.	72
Tabela 11 – Taxa de resolução das ambiguidades no posicionamento dos MS.	72
Tabela 12 – Desvio-padrão dos resíduos das seções do posicionamento dos MS.	72
Tabela 13 – MS acima do limite de repetitividade estipulado.	74
Tabela 14 – Taxa de resolução das ambiguidades no posicionamento dos MS.	75
Tabela 15 – Coeficientes de escala das variâncias do posicionamento dos MS.	75
Tabela 16 – Discrepâncias e desvios-padrão original e reescalado no SGL nas comparações entre os resultados do processamento GPS dos Pilares.	77
Tabela 17 – TCG 3D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento dos Pilares utilizando a matriz cofatora original.	79
Tabela 18 – TCG 3D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento dos Pilares utilizando a matriz cofatora reescalada.	79
Tabela 19 – TCG 2D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento dos Pilares utilizando a matriz cofatora original.	80
Tabela 20 – TCG 2D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento dos Pilares utilizando a matriz cofatora reescalada.	81
Tabela 21 – TCG 1D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento dos Pilares utilizando a matriz cofatora original.	81
Tabela 22 – TCG 1D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento dos Pilares utilizando a matriz cofatora reescalada.	82
Tabela 23 – Discrepâncias e desvios-padrão original e reescalado no SGL nas comparações entre os resultados do processamento GPS das RNP.	83

Tabela 24 – TCG 3D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento das RNP utilizando a matriz cofatora original.....	84
Tabela 25 – TCG 3D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento das RNP utilizando a matriz cofatora reescalada.	84
Tabela 26 – TCG 2D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento das RNP utilizando a matriz cofatora original.....	85
Tabela 27 – TCG 2D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento das RNP utilizando a matriz cofatora reescalada.	85
Tabela 28 – TCG 1D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento das RNP utilizando a matriz cofatora original.....	86
Tabela 29 – TCG 1D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento das RNP utilizando a matriz cofatora reescalada.	86
Tabela 30 – Discrepâncias e desvios-padrão original e reescalado nas comparações entre os resultados do processamento GPS dos MS no SB 1.....	89
Tabela 31 – Discrepâncias e desvios-padrão original e reescalado nas comparações entre os resultados do processamento GPS dos MS no SB 2.....	90
Tabela 32 – TCG 3D no SB das comparações das campanhas de posicionamento dos MS utilizando a matriz cofatora reescalada.	94
Tabela 33 – TCG 2D no SB das comparações das campanhas de posicionamento dos MS utilizando a matriz cofatora original.....	95
Tabela 34 – TCG 2D no SB das comparações das campanhas de posicionamento dos MS utilizando a matriz cofatora reescalada.	97
Tabela 35 – TCG 1D altimétrico no SB das comparações das campanhas de posicionamento dos MS utilizando a matriz cofatora original.	99
Tabela 36 – TCG 1D altimétrico no SB das comparações das campanhas de posicionamento dos MS utilizando a matriz cofatora reescalada.	101
Tabela 37 – TCG 1D eixo do fluxo d'água no SB das comparações das campanhas de posicionamento dos MS utilizando a matriz cofatora original.....	103
Tabela 38 – TCG 1D eixo do fluxo d'água no SB das comparações das campanhas de posicionamento dos MS utilizando a matriz cofatora reescalada.....	105

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Objetivos.....	18
1.2 Justificativa.....	19
1.3 Conteúdo da Dissertação	19
2 BARRAGEM	20
2.1 Segurança de Barragens.....	21
2.2 Monitoramento de Barragens	22
3 GNSS	25
3.1 Observáveis	26
3.1.1 Pseudodistância	26
3.1.2 Fase da onda portadora	27
3.2 Combinações e diferenciações entre observáveis GNSS	28
3.2.1 Simples diferença	28
3.2.2 Dupla diferença.....	30
3.3 Resolução das ambiguidades	32
3.4 Método de Posicionamento Relativo	34
3.5 Sistemas de coordenadas	34
3.5.1 Sistema Geodésico Local	35
3.5.2 Sistema da Barragem.....	39
3.6 Teste de Congruência Global	40
4 <i>BERNESE GNSS SOFTWARE</i>	42
4.1 Histórico do <i>Bernese GNSS Software</i>	43
4.2 Estrutura de pastas e arquivos de processamento.....	44
4.2.1 Diretórios do <i>Bernese</i>	45
4.2.2 Aplicativos do <i>Bernese</i>	49

5 METODOLOGIA.....	52
5.1 Metodologia dos rastreamentos de dados GNSS sobre a barragem	52
5.2 Metodologia dos processamentos de dados GPS sobre a barragem.....	55
5.3 Metodologia do <i>software</i> TCGunesp.....	60
6. RESULTADOS	65
6.1 Resultados dos processamentos de dados GPS	65
6.1.1 Posicionamento dos Pilares	66
6.1.2 Posicionamento das RNP	69
6.1.3 Posicionamento dos MS	71
6.2 Resultados dos TCG pelo <i>TCGunesp</i>	75
6.2.1 TCG realizado sobre os resultados dos Pilares.....	77
6.2.2 TCG realizado sobre os resultados das RNP	82
6.2.3 TCG realizado sobre os resultados dos MS.....	86
7. CONCLUSÃO.....	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
APÊNDICE A – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DA RBMC E OS PILARES DA CAMPANHA 1.....	113
APÊNDICE B – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 1 (RBMC E PILARES).....	114
APÊNDICE C – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DOS PILARES E DAS RNP DA CAMPANHA 1	115
APÊNDICE D – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 1 (PILARES E RNP)	116
APÊNDICE E – RESOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADES NO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS DAS RNP E DOS MS DA CAMPANHA 1 (NÚMERO DE AMBIGUIDADES (NA); NÚMERO DE AMBIGUIDADES NÃO RESOLVIDAS (ANR) E PORCENTAGEM RESOLVIDA (%R))	117
APÊNDICE F – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 1 (RNP E MS).....	118

APÊNDICE G – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DAS ESTAÇÕES DA RBMC E DOS PILARES DA CAMPANHA 2	121
APÊNDICE H – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 2 (RBMC E PILARES)	122
APÊNDICE I – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DOS PILARES E DAS RNP DA CAMPANHA 2	123
APÊNDICE J – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 2 (PILARES E RNP)	124
APÊNDICE K – RESOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADE NO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS DAS RNP E DOS MS DA CAMPANHA 2 (NÚMERO DE AMBIGUIDADES (NA); NÚMERO DE AMBIGUIDADES NÃO RESOLVIDAS (ANR) E PORCENTAGEM RESOLVIDA (%R))	125
APÊNDICE L – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 2 (RNP E MS).....	126
APÊNDICE M – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DAS ESTAÇÕES DA RBMC E DOS PILARES DA CAMPANHA 3	129
APÊNDICE N – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS CAMPANHA 3 (RBMC E PILARES)	130
APÊNDICE O – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DOS PILARES E DAS RNP DA CAMPANHA 3	131
APÊNDICE P – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 3 (PILARES E RNP)	132
APÊNDICE Q – RESOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADE NO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS DAS RNP E DOS MS DA CAMPANHA 3 (NÚMERO DE AMBIGUIDADES (NA); NÚMERO DE AMBIGUIDADES NÃO RESOLVIDAS (ANR) E PORCENTAGEM RESOLVIDA (%R))	133
APÊNDICE R – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 3 (RNP E MS).....	134

APÊNDICE S – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES ENTRE AS ESTAÇÕES DA RBMC E DOS PILARES DA CAMPANHA 4	137
APÊNDICE T – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 4 (RBMC E PILARES).....	138
APÊNDICE U – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DOS PILARES E DAS RNP DA CAMPANHA 4	139
APÊNDICE V – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 4 (PILARES E RNP)	140
APÊNDICE X – RESOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADE NO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS DAS RNP E DOS MS DA CAMPANHA 4 (NÚMERO DE AMBIGUIDADES (NA); NÚMERO DE AMBIGUIDADES NÃO RESOLVIDAS (ANR) E PORCENTAGEM RESOLVIDA (%R))	141
APÊNDICE W – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 4 (RNP E MS).....	142

1 INTRODUÇÃO

Mudanças são elementos constantes ao longo dos anos em nossas vidas, independente de buscarmos-las ou não; para o universo e seus corpos celestes não é diferente. Especificamente, no planeta em que vivemos, tem-se diversos movimentos derivados de sua própria origem e da órbita ao redor do Sol. Toda a dinâmica influencia em diversos fatores como clima, constituição da atmosfera e muitos outros. Essas dinâmicas podem ser determinadas como influências externas à Terra, todavia, também existem fatores internos que criam mudanças na forma do nosso planeta. O movimento das placas litosféricas é o principal fenômeno interno que explica o formato e relevo da Terra e suas constantes alterações ao longo dos tempos, porém, a partir de algumas centenas de anos, o homem também vem participando nessas modificações.

Consequências mais aparentes dos movimentos litosféricos talvez sejam o vulcanismo ou terremotos que impactam bastante no ambiente em um curto espaço de tempo, entretanto, as próprias movimentações das placas por si só trazem uma diferença de posicionamento das partes constituintes da mesma. Foi este movimento que criou os vários continentes da Terra que há milhares de anos atrás formavam um só. Nos dias atuais, o homem vem compreendendo cada vez mais essa movimentação, conseguindo estimar as velocidades sobre as quais estas placas se movem e simular as posições dos locais em anos futuros. Assim como hoje conseguimos desenvolver essa ciência, outras também foram crescendo sua área de conhecimento. Como o objetivo das ciências é a de aumentar a compreensão e melhorar a vida do homem, obviamente, foram desenvolvidas áreas de engenharia trazendo consigo obras que ocasionaram o crescimento de cidades, estações de abastecimento de água, fornecimento de energia para subsidiar diversas atividades dentre outras.

Para o desenvolvimento das diversas áreas do conhecimento humano é necessário o aumento da capacidade tecnológica que permita o progresso em várias frentes pesquisadas. A questão quanto à localização acurada é uma das que mais foram estudadas pelo homem, antes mesmo de ser um modificador de seu ambiente, seja para localizar seu lar e onde seus pares se encontravam, ou como forma de conquistar novos horizontes, explorar a navegação e aumentar suas riquezas pessoais. Hoje, foram vencidas muitas destas barreiras e se obteve uma grande conquista espacial no qual foram introduzidos satélites artificiais capazes de reunir diversos dados e nos fornecê-los para obtermos nossa localização. O *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) são conjuntos de diferentes constelações de satélites capazes de nos localizar com acurácia além do imaginado nos tempos da astronomia de posição. O GNSS,

também pode ser usado para outros fins, entretanto o objetivo desta dissertação é o de apresentá-lo no contexto do monitoramento das estruturas que constituem nosso planeta (MONICO, 2008).

Estruturas podem ser definidas como algo que fornece sustentabilidade a um corpo sendo divididas em: estruturas naturais e artificiais. As estruturas naturais são as rochas, cavernas e até mesmo as placas litosféricas, já as artificiais são aquelas construídas pelo homem (FAZAN, 2010). Estas, ao longo do tempo, vão sofrendo deslocamentos pelos próprios movimentos da Terra e suas diversas dinâmicas presentes. Os deslocamentos devem ser analisados para nos informar o quanto os mesmos podem impactar na nossa vida e tentarmos preveni-los e/ou remediá-los. É importante saber se o movimento de um edifício está além do esperado, o que o fará se romper em algum momento podendo trazer perdas materiais e humanas. Este exemplo é um dos diversos na área de estruturas artificiais no qual é necessário o acompanhamento ao longo do tempo utilizando-se de equipamentos e metodologias adequadas para mensurar a magnitude de um deslocamento.

A presente dissertação traz como estudo de caso o monitoramento geodésico de uma barragem de concreto de uma usina hidrelétrica (UHE) utilizando quatro campanhas de coletas de dados GNSS ao longo dos anos. O monitoramento geodésico em questão começou a ser feito em 2012 a partir da implantação de marcos geodésicos sobre a estrutura da UHE cujos dados GNSS foram rastreados no mesmo ano. A UHE utilizada como estudo de caso não é apresentada, a fim de manter sigilo sobre a mesma.

Obtidos os dados GNSS, foi realizado o processamento dos mesmos utilizando somente a constelação *Global Navigation System* (GPS) no *software Bernese v5.2*. Este é o *software* mais utilizado na realização das redes globais e regionais GNSS por ser o mais completo mecanismo de processamento desse tipo de dados, desde etapas iniciais como a concepção da órbita realizada pelos satélites até a obtenção das coordenadas e respectivos desvios-padrão dos marcos que tiveram dados GNSS rastreados (BERN, 2015). Ao serem obtidos os resultados finais de cada campanha de rastreamento de dados, é preciso analisar o grau de discrepância das coordenadas de um mesmo marco ao longo do tempo. Como as coordenadas e demais resultados providos pelo processamento de dados GNSS advém de amostras diferentes, é importante reconhecer se as discrepâncias observadas em um mesmo marco são consequências verdadeiras de um deslocamento do marco ao longo do tempo, ou, se são devidos a erros aleatórios que estão presentes nas diferentes amostras de dados (NOWEL, 2016). Para esta avaliação, utiliza-se nessa pesquisa uma análise estatística através do Teste de Congruência Global (TCG) (CHEN, 1983). O teste é baseado em hipóteses cuja função

densidade de probabilidade utilizada é a desenvolvida por Fisher a fim de comparar as discrepâncias obtidas de duas amostras. Para a realização do TCG, foi implementado o *software TCGunesp* na linguagem de programação *Python 2.7*, no qual são introduzidos os resultados obtidos pelo *Bernese* e um gradeamento de velocidades das placas litosféricas, nas quais a área a ser avaliada está situada. Como o estudo de caso é uma região dentro da América do Sul, foi utilizado o gradeamento de velocidades do *Velocity Modelo of Sirgas* de 2015 (VEMOS2015). Sua introdução é necessária pois é importante compensar o movimento das placas litosféricas para avaliar as coordenadas e desvios-padrão obtidas de épocas diferentes.

Alguns trabalhos abordando o TCG a partir de dados GNSS no monitoramento de barragens são encontrados na literatura. Chaves (1994; 2001) apresenta um dos primeiros estudos quanto a utilização do GNSS no monitoramento de uma barragem no Brasil. Denli (2003) processa dados GPS utilizando o *Bernese* no monitoramento de uma barragem em Istambul. Fazan (2010) apresenta os resultados quanto ao monitoramento de determinados marcos sobre a UHE de Itaipu a partir de resultados de processamento GPS também pelo *Bernese*. Suci (2012) analisou a estabilidade da rede geodésica de suporte ao monitoramento da UHE Salto Caxias.

Os resultados obtidos indicaram deslocamentos em algumas estações presentes no monitoramento realizado. Quando investigadas as incertezas associadas as coordenadas das estações, foi verificada que as mesmas se diferiram de testes de repetitividade realizados pelo *Bernese*. Foi então feita uma reamostragem do modelo estocástico proveniente do processamento de dados GPS realizado, o que aumentou o número de estações consideradas estáveis pelo TCG. As análises de deslocamento foram realizadas tridimensionalmente, planimetricamente, altimetricamente e no eixo do fluxo d'água.

1.1 Objetivos

O objetivo geral da presente dissertação é avaliar a capacidade da tecnologia GPS em detectar deslocamentos horizontais e verticais ao longo do tempo em partes constituintes de uma barragem de concreto.

Como objetivo específico, propôs-se a desenvolver uma ferramenta capaz de realizar as análises estatísticas via o teste da Congruência aGlobal (TCGUNESP) compatibilizado com as saídas do software utilizado no processamento dos dados (*Bernese 5.2*)

Foi utilizada, portanto, uma barragem de concreto que teve dados GPS obtidos em épocas distintas ao longo de quatro anos, cujo processamento dos mesmos foi realizado no

Bernese v5.2. Para serem obtidas informações quanto a possíveis deslocamentos do ponto de vista estatístico, desenvolveu-se o *TCGunesp*, um *software* compatibilizado com os resultados advindos do *Bernese* v5.2 e que realiza o TCG. Acredita-se que o *TCGunesp* também poderá ser utilizado em outras análises, como monitoramento das placas litosféricas e da estabilidade de marcos geodésicos, todavia necessita de novos estudos de caso em outras aplicações.

1.2 Justificativa

É de supra importância para diversos ramos da engenharia a verificação da estabilidade dos marcos geodésicos ao longo do tempo e a tecnologia GNSS pode ser um importante aliado para a obtenção das posições de diversas feições que se deseja investigar. O desenvolvimento de um *software* que realize as análises de estabilidade permite que diversos profissionais possam avaliar possíveis deslocamentos de redes geodésicas, especialmente redes ligadas a obras de engenharia e cartografia. Em especial as barragens, que são estruturas importantes para o desenvolvimento econômico do país, por serem grandes corpos estruturais que modificaram seu ambiente próximo, um colapso ocasiona diversas perdas humanas, materiais e ambientais que devem ser preservadas.

1.3 Conteúdo da Dissertação

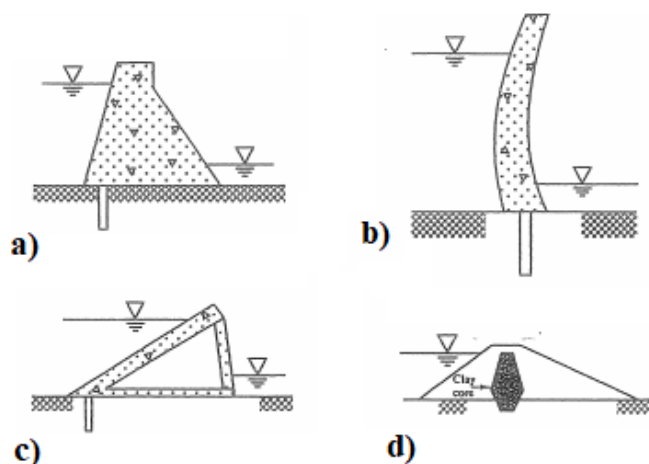
A dissertação é dividida em sete seções iniciando pela presente seção introdutória. A segunda seção trata sobre barragens e a importância do monitoramento da mesma. A seção seguinte revisa os conceitos sobre o GNSS, sistemas de coordenadas e o TCG. Na etapa seguinte é feita uma revisão sobre o *software Bernese* que é o utilizado nos processamentos dos dados GPS. Na quinta seção são apresentadas as metodologias: de obtenção dos dados GNSS sobre a barragem de concreto utilizada; no posicionamento GPS realizado; e no TCG que foi feito a partir do *TCGunesp*. Os resultados obtidos do posicionamento GPS e do TCG são apresentados na seção seguinte, e uma conclusão é apresentada ao final desta dissertação.

2 BARRAGEM

Uma barragem pode ser definida como uma barreira construída com o intuito de acumulação de um certo material. As primeiras barragens descobertas por arqueólogos datam 3000 a.c. e foram construídas para represar água durante o período de cheia para possibilitar seu aproveitamento nos períodos de seca. Antes mesmo do marco transitório de tempo, ano zero, outras barragens são encontradas com fins de irrigação, e.g., Kisiri, no Iraque em 700 a.c. (SHAH; KUMAR, 2008). Atualmente, as barragens têm várias funções como: redução de risco de inundação, regularização e perenização dos rios, navegação, piscicultura, armazenamento de rejeitos, geração de energia e outros.

Ao longo do tempo diversas evoluções materiais e metodológicas de construção das barragens foram desenvolvidas, o que resultou em algumas subdivisões. Seguindo Houghtalen, Akan e Hwang (2009) as barragens podem ser divididas como: por gravidade, arco, contraforte e terra. As barragens por gravidade geralmente são estruturas concretadas com corte transversal semelhante à de um trapézio, porém também podem ter como materiais pedras e alvenaria. As barragens do tipo arco têm como corte transversal uma inflexão próxima à altura média da barragem e com concavidade a jusante, sendo totalmente concretada. As barragens de contraforte são aquelas que, em geral, possuem forma parecida com as de gravidade, porém, o apoio a jusante ocorre somente em alguns locais e não continuamente. O material utilizado é o concreto, mas há possibilidade do uso de madeira e metal em menores barragens. A barragem de terra, utiliza como principal matéria a terra, todavia outros materiais também são muito importantes. Sendo a terra um material permeável, há adição de um material impermeável, como pedra, que é utilizada como forma de bloquear a percolação da água ao longo da barragem. Devido a essa percolação, as barragens de terra possuem uma base larga. A Figura 1 mostra uma seção transversal dos quatro tipos de barragem citados.

Figura 1 – Seção transversal dos tipos de barragem.



Fonte: Adaptado de Houghtalen, Akan e Hwang (2009).

Alguns casos de acidentes envolvendo barragens ocorreram, especialmente nos séculos XX e XXI, o que nos leva a considerar a importância das questões quanto a segurança de barragens. Um histórico muito abrangente sobre a história das barragens no Brasil pode ser encontrado em CBDB (2011).

2.1 Segurança de Barragens

Durante o século XX alguns acidentes e rupturas de barragens fizeram crescer a necessidade de um fortalecimento da política de segurança de barragens, especialmente a partir da década de 1950.

Acidentes na barragem de St. Francis, em 1928, nos EUA, de Buffalo Creek e Canyon Lakes, em 1972, nos Estados Unidos da América (EUA), e das barragens Euclides da Cunha e Armando de Salles Oliveira, em 1977 no Brasil (CBDB, 2001), e outros, produziram centenas de mortes, além de desastres ambientais. Esses acidentes, aliado ao crescimento no número de barragens e suas dimensões pelo mundo, culminaram na decisão do *International Commission on Large Dams (ICOLD)*, em 1979, Nova Delhi, Índia, de que devem ser feitos maiores esforços nas políticas de segurança de barragens. Antes, o mesmo ICOLD já havia feito publicações relacionadas a acidentes em barragens e intensificou suas produções acadêmicas durante a década de 1980 (CBDB, 2001).

Diversos países como os EUA, Canadá, Suécia, Portugal e outros, decidiram por fazer uma revisão dos critérios metodológicos de segurança e inspeção de barragens. No Brasil,

esses novos critérios vieram em forma de publicações do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (CBGB) como as “Diretrizes para Inspeção e Avaliação da Segurança das Barragens”, em 1979 e 1983, e “Recomendações para Formulação e Verificação de Critérios e Procedimentos de Segurança de Barragens”, em 1986 (RIBEIRO, 2008).

Procedimentos preventivos e de manutenção foram normalizados através do Ministério das Minas e Energia que criou em 1988 um grupo de trabalho específico. Em 1989 foi feito, por esse grupo, um relatório apontando a importância da monitoração das barragens e em 1996 foi publicado “Auscultação e Instrumentação de Barragens no Brasil” (RIBEIRO, 2008). Em 2001, o agora Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), nova denominação do CBGB, publicou o “Guia Básico de Segurança de Barragens” que acabou por influenciar o “Manual de Segurança e Inspeção de Barragens” do Ministério da Integração Nacional, de 2002 (FAZAN, 2010). Essas publicações trazem procedimentos básicos de segurança a serem feitos de acordo com o tipo de barragem, o que ocasiona um monitoramento periódico.

Em setembro de 2010, foi promulgada a Lei de nº 12.334/2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). A lei, que visa evitar confusões, cita quais estruturas se enquadram como barragem, além de alguns termos. Em resumo, a lei busca transformar boas práticas de segurança de barragens em algo obrigatório aos responsáveis pelas mesmas. Os concessionários também devem fazer os cadastros de suas barragens ao SNISB, que fica sob a responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA). Outro órgão que visa a segurança das barragens e que regularmente publica notas técnicas sobre o assunto é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

2.2 Monitoramento de Barragens

A qualidade de uma estrutura é baseada no nível de resistência a qual foi projetada, e nas variáveis de estado. As variáveis de estado podem ser divididas em variáveis externas, as quais medem as ações atuantes sobre uma estrutura, e internas, as respostas da estrutura as variáveis externas. Variáveis externas que atuam nas estruturas são recalques de apoio, variação da temperatura, o próprio peso da estrutura, abalos sísmicos e outros. Como resultante dessas variáveis externas se tem aberturas de fissuras no corpo da estrutura, ou seja, deslocamentos que podem gerar deformações (BUENO, 2007).

O escopo desta pesquisa é examinar a variável interna deslocamento. Deslocamento ocorre quando cada infinitésimo de um corpo translada de uma posição a_1, a_2, \dots, a_n para uma posição b_1, b_2, \dots, b_n em épocas a e b sob o mesmo vetor de deslocamento. Outra importante variável interna, a deformação, ocorre quando os infinitésimos deste mesmo corpo não se deslocam sobre o mesmo vetor de deslocamento o que ocasiona uma mudança da forma do corpo. Como os vetores de deslocamento em cada infinitésimo deste corpo têm valores diferentes, pode ocorrer, além da translação, a rotação devido ao momento angular provocado. A deformação de partes de um corpo pode ter um carácter elástico, i.e., aquele infinitésimo do corpo ir para a posição que irá desfazer a deformação, ou ter uma deformação plástica, i.e., a forma do corpo não será mais a mesma (CHAVES, 2001; BUENO, 2007).

Como explicado, observa-se o deslocamento ao serem feitas comparações entre as coordenadas obtidas nas diferentes épocas, o que leva ao termo monitoramento. Monitorar é o ato de acompanhar periodicamente algo. Aplicado às estruturas, o monitoramento (ou monitoração, auscultação) pode ser definido como a observação das partes constituintes desta ao longo do tempo, utilizando metodologia e instrumentação adequada para identificar possíveis deslocamentos e/ou deformações de uma estrutura. O monitoramento pode ser realizado de forma contínua ou discreta, dependendo do tipo de estrutura a ser monitorada (BUENO, 2007; FAZAN, 2010).

Estruturas dinâmicas são as que possuem um certo movimento cíclico. Por haver esse deslocamento (ao longo de um dia, por exemplo) é adequado que haja um monitoramento contínuo para contemplar o quanto todo um ciclo está variando ao longo do tempo. Caso fosse monitorado de maneira discreta, não se conseguiria identificar em que etapa exata do movimento cíclico aquela estrutura está, o que invalidaria os resultados encontrados. A análise quanto ao seu deslocamento é feita ao comparar o movimento observado pelo monitoramento àquele esperado ao ser projetada a estrutura (FAZAN, 2010). Pontes e viadutos são exemplos de estruturas dinâmicas.

Estruturas estáticas, ou, quase-dinâmicas, são tipos de estruturas que podem ser monitoradas de forma discreta e em períodos pré-determinados, pois não é esperado um movimento cíclico desses corpos. Barragens e túneis podem ser considerados exemplos de estruturas estáticas. São feitas comparações entre os dados coletados em épocas distintas.

Especificamente em barragens, a Lei nº 12.334/2010 agora obriga que os monitoramentos, e outras atividades de segurança, sejam feitos desde o início de construção. Portanto, nas etapas de planejamento estarão presentes questões a cerca dos métodos de

monitoramento a serem aplicados, as instrumentações a serem usadas e a disposição dos locais no corpo da barragem onde serão feitas as campanhas de monitoramento.

A fase enchimento do reservatório é uma etapa muito importante, pois é nessa que a estrutura sofrerá as maiores cargas que serão suportadas ao longo dos anos. Nessa etapa muitos pontos têm deslocamento observado ao serem comparados com a época antes do enchimento. Esses deslocamentos são divididos em: verticais, horizontais da crista e horizontais da fundação (RIBEIRO, 2008).

Após o enchimento, a barragem deve ser acompanhada periodicamente. Um monitoramento mais grosseiro é o de inspeção visual do corpo da barragem. São feitas para identificar possíveis anomalias que possam ser observadas visualmente. Essas são denominadas como: inspeções visuais de rotina, quando os próprios técnicos que fazem as leituras dos aparelhos geotécnicos visualizam se há algum erro; inspeções periódicas, realizadas por um especialista de tempos em tempos; e inspeções especiais, quando algum evento alarmante pode ter ocasionado alguma avaria no corpo da barragem e imediatamente uma equipe de técnicos busca averiguar a estrutura (FAZAN, 2010).

Aliada às inspeções visuais, devem ser feitos monitoramentos utilizando métodos geotécnicos e geodésicos. Cada método tem suas vantagens e desvantagens. Nos métodos geotécnicos são implantados diversos sensores para detectar movimentações da barragem, onde se destacam os pêndulos diretos e o prumo óptico, para a detecção de deslocamento horizontal da crista, pêndulos invertidos, para verificação do deslocamento horizontal da fundação, e extensômetros, que medem os deslocamentos verticais (RIBEIRO, 2008).

Os métodos geotécnicos fornecem deslocamentos relativos e de caráter local, além de não permitirem verificações, porém é um método de custo menor, ao contrário dos métodos geodésicos que são capazes fornecer deslocamentos absolutos dos pontos objeto e com abundância de observações (NEVES, 2008). Os métodos geodésicos fazem uso de uma rede de pontos externa ao corpo da barragem e que são estatisticamente garantidos como estáveis. A essa rede de referência se faz medições nos pontos objetos através de medidas de ângulos e/ou distâncias (CASPARY, 2000). Essas medidas englobam os métodos clássicos de posicionamento geodésico: triangulação, trilateração, poligonação, irradiação e nivelamento geométrico. Outra forma de monitoramento pelo método geodésico é o tratado no presente trabalho, o posicionamento GNSS.

3 GNSS

Os sinais GNSS são ondas eletromagnéticas emitidas através das antenas de satélites artificiais para o posicionamento. Essas ondas se propagam pelo espaço até chegarem as antenas de receptores GNSS presentes na Terra. Os receptores recebem não somente as ondas, mas também os códigos que a essas estão modulados e mensagens de navegação para, assim, obter dados como coordenadas dos satélites, erro do relógio dos satélites, medidas de distância e outros. De posse de toda essa informação é possível fazer o cálculo das coordenadas de um ponto na Terra (MONICO, 2008).

Por todo o caminho satélite-receptor, múltiplas são as variáveis que englobam o GNSS. Este termo se refere aos vários sistemas de navegação de alcance global utilizando satélites artificiais. Ainda pouco utilizado pela sociedade em geral, o termo mais conhecido é o *Global Positioning System* (GPS), sistema que popularizou a utilização de tal tecnologia. O GPS começou a ser desenvolvido pelo *Department of Defense* (DoD) dos EUA em 1973. A ideia era a de um produto militar que pudesse fornecer posição, velocidade e tempo em qualquer lugar do planeta, todavia seu sinal também poderia ser captado por civis, que fizeram grandes avanços no sistema (BERN, 2015). O sistema foi declarado totalmente operacional em 1995, quando alcançou 24 satélites (SEEBER, 2003; MONICO, 2008). Concomitantemente, era desenvolvido o *Globalnaya Navigatwionnaya Sputnikovaya* (GLONASS) da União Soviética (URSS), também para fins militares, e declarado totalmente operacional em 1995. Além desses dois sistemas, existem o Galileo, europeu, e o Beidou/Compass, chinês, que estão em desenvolvimento e próximos de estarem com todos os satélites em órbita. Ao termo GNSS também pertence os sistemas de aumento local dos sinais GNSS.

O GNSS pode ser dividido em três segmentos para seu funcionamento. O primeiro segmento é o espacial, que engloba tudo o que caracteriza a constelação de satélites e sinais a esses pertencentes. Tendo como exemplo o GPS para explicar o seguimento espacial, tem-se no mínimo 24 satélites espalhados em 6 planos orbitais, inclinados a 55 graus do Equador e altitude girando em torno dos 20.000 km (SEEBER, 2003; MONICO, 2008). Esses satélites têm diferentes características que são aprimoradas a cada novo bloco de satélites lançados. Durante a maior parte de sua existência se tinham duas ondas eletromagnéticas, L_1 , modulada pelos códigos C/A e P , e L_2 , modulada pelo código P . Hoje, têm-se alguns satélites, que pertencem ao bloco *IIRM* com a presença do código L_{2C} , e satélites que enviam a onda L_5 , que pertence ao bloco *IIF*. Todas estas ondas e códigos são gerados a partir da frequência

fundamental de 10,23 MHz (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2008).

3.1 Observáveis

Segundo Seeber (2003), quatro tipos de observações são possíveis de serem obtidas por um receptor: pseudodistância; diferença de pseudodistância entre as contagens Doppler; fase da onda portadora; diferença do tempo de viagem do sinal utilizando medidas interferométricas. Na prática, as pseudodistâncias e as fases da onda portadora têm sido utilizadas e, por isso, são esses os dados que costumeiramente estão disponíveis no arquivo RINEX, formato universal dos arquivos GNSS. Pseudodistâncias e fases da onda portadoras são também denominadas como as observações fundamentais.

3.1.1 Pseudodistância

A pseudodistância é uma medida de distância entre um satélite e um receptor a partir de uma medida de tempo realizada pelo receptor GNSS. Um satélite envia seu sinal contendo um código e a informação sobre em qual parte do código o sinal foi enviado. O receptor gera uma réplica desse código e identifica em qual parte desse código houve a chegada daquele sinal do satélite. Como os códigos são idênticos, a diferença entre a parte do código de envio de sinal do satélite e a parte do código de recepção do sinal pelo receptor é o tempo de propagação satélite-receptor do sinal (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2008).

Porém, a medida de tempo é feita por diferentes relógios (no satélite e no receptor) e esses relógios, além de não estarem sincronizados entre si, não são sincronizados com o tempo do sistema GNSS ao qual pertencem. Esse não sincronismo é comumente denominado como erro do relógio do satélite e do receptor. Outros erros também estão presentes nas medidas de tempo obtidas e são devidos não somente aos satélites e receptores, mas também a propagação do sinal e a localização de estação GNSS (MONICO, 2008). Apresentando alguns dos principais erros, a equação da pseudodistância é mostrada pela Equação (1). Os sobrescritos em cada elemento da equação referem-se a um satélite s e os subscritos referem-se a um receptor r .

$$PD_r^s = \rho_r^s + c[dt_r(t) - dt^s(t - \Delta t_r^s)] + c[d_r(t) + d^s(t - \Delta t)] + I_r^s + T_r^s + m_r^s + \varepsilon_r^s. \quad (1)$$

Sendo:

ρ_r^s = distância geométrica satélite-receptor [m];

t = instante de recepção do sinal [s];

Δt = intervalo de tempo de transmissão do sinal [s];

dt_r = erro do relógio do receptor [s];

dt^s = erro do relógio do satélite [s];

c = velocidade da luz [m/s];

d_r = erro instrumental no receptor [s];

d^s = erro instrumental no satélite [s];

I = erro devido a ação da ionosfera [m];

T = erro devido a ação da troposfera [m];

m = erro devido a ação do multicaminho [m];

ε = erros não modelados [m].

3.1.2 Fase da onda portadora

A fase da onda portadora é uma medida mais precisa do que a pseudodistância. Todavia, obtê-la requer um maior rigor matemático e a presença de um novo termo, a ambiguidade N . O receptor apenas é capaz de fazer a leitura de um ciclo incompleto de onda, restando N ciclos de onda inteiros λ para se obter a distância de um sinal GNSS utilizando a fase da onda portadora. Portanto, para os cálculos de observações utilizando a fase da onda portadora, é necessária a diferença entre a fase do sinal gerado pelo receptor no instante de chegada do sinal $\varphi_r(t)$ e a fase do sinal do satélite, recebido pelo receptor no instante de emissão, $\varphi^s(t - \Delta t)$, além da soma dessa diferença pela ambiguidade N , conforme Equação (2) (VERHAGEN, 2005).

$$\varphi_r^s(t) = \varphi_r(t) - \varphi^s(t - \Delta t) + N_r^s. \quad (2)$$

Ao ser deduzida toda a formulação matemática da Equação (2), tem-se a forma final da equação da fase da onda portadora. Essa equação pode ser apresentada em ciclos de onda ou em metros, como no caso da Equação (3), onde também estão presentes alguns erros associados.

(3)

$$\Phi_r^s(t) = \rho_r^s + c[dt_r(t) - dt^s(t - \Delta t) + d_r(t) + d^s(t - \Delta t)] + [\varphi_r(t_0) - \varphi^s(t_0)] + I_r^s + T_r^s + m_r^s + \lambda N_r^s + \varepsilon_r^s,$$

3.2 Combinações e diferenciações entre observáveis GNSS

As observáveis GNSS podem ser combinadas, a fim de se obter um melhoramento do posicionamento. Quando esses procedimentos são feitos, as observações que serão utilizadas no ajustamento deixam de ser aquelas tidas como fundamentais e passam a ser usadas essas novas observações.

As combinações podem ser feitas envolvendo somente um satélite e um receptor, ou entre diferentes receptores, satélites e épocas (SEEBER, 2008). As combinações de observações entre somente um satélite e um receptor envolvem a combinação entre as ondas L_1 e L_2 , ou quaisquer outras ondas provenientes dos satélites GNSS. As combinações, além de um satélite e um receptor, envolvem diferenciação entre os valores obtidos das observáveis.

A maior vantagem de serem feitas combinações lineares é que muitos dos erros que estão presentes nas observações GNSS podem ser eliminados, entretanto, o nível de ruído nas observações aumenta sensivelmente (SEEBER, 2003). Serão focados nessa seção somente as equações da simples e da dupla diferença, quando estas envolvem além de um satélite e um receptor. As incertezas de ambas as combinações também são abordadas.

3.2.1 Simples diferença

A simples diferença (SD) pode ser feita utilizando (SEEBER, 2003):

- Dois satélites e um receptor;
- Duas épocas de um satélite e um receptor;
- Dois receptores e um satélite.

O que tem sido realizado, na prática, é o cálculo de simples diferença utilizando dois receptores e um satélite. Considerando o satélite p , e os receptores i e j em uma época t_1 , tem-se as Equações (4) e (5) que mostram o resultado da operação de simples diferença para a fase da onda portadora.

$$\Phi_{ij}^p = (\Phi_i^p - \Phi_j^p), \quad (4)$$

$$\Phi_{ij}^p = \rho_{ij}^p + c[dt_i(t_1) - dt_j(t_1) + d_i(t_1) + d_j(t_1)] + \varphi_i(t_1) + \varphi_j(t_1) - I_{ij}^p(t_1) + T_{ij}^p(t_1) + m_{ij}^p(t_1) + \lambda N_{ij}^p(t_1) + \varepsilon_{ij}^p(t_1). \quad (5)$$

Sendo:

$$\rho_{ij}^p = \rho_i^p - \rho_j^p;$$

$$I_{ij}^p = I_i^p - I_j^p;$$

$$T_{ij}^p = T_i^p - T_j^p;$$

$$m_{ij}^p = m_i^p - m_j^p;$$

$$N_{ij}^p = N_i^p - N_j^p.$$

Como pôde ser observado na Equação (5), todos os erros referentes ao satélite foram eliminados pois foi considerado que a emissão do sinal que chegou aos receptores i e j foi feita na mesma época. Isso não é exatamente uma verdade, pois, para que isso ocorresse, era necessário que as distâncias e erros entre o satélite p e o receptor i fossem iguais aos encontrados pelo satélite p e receptor j . Todavia, a diferença dos erros devido a transmissão em épocas diferentes tem sido desconsideradas. Maiores detalhes sobre essa questão de simultaneidade podem ser encontradas em MONICO (2008).

As incertezas associadas aos parâmetros que poderão ser obtidos via simples diferença também tem grande importancia. Através da matriz variância-covariância (MVC) é que estes valores são obtidos (GEMAEL, 1994).

Considerando um vetor com medidas de fase da onda portadora entre receptores i e j e satélites p_1, p_2, \dots, p_n , Equação (6), e considerando-as como não correlacionadas, a MVC desse vetor é dada pela Equação (7), onde σ_0^2 é a variância a priori e I é a matriz identidade.

$$\Phi^T = [\Phi_i^{p1}, \Phi_i^{p2}, \dots, \Phi_i^{pn}, \Phi_j^{p1}, \Phi_j^{p2}, \dots, \Phi_j^{pn}] \quad (6)$$

$$\sum_{\Phi} = \sigma_0^2 I. \quad (7)$$

Escrevendo todas as equações de simples diferença em forma matricial tem-se a Equação (8):

$$SD = G\Phi, \quad (8)$$

onde:

$$SD = \begin{bmatrix} \Phi_{ij}^{p1} \\ \Phi_{ij}^{p2} \\ \vdots \\ \Phi_{ij}^{pn} \end{bmatrix}, \quad G = \frac{\partial SD}{\partial \Phi} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

A MVC é obtida através da propagação de variâncias, dada pela Equação (10):

$$\Sigma_{SD} = G \Sigma_{\Phi} G^T, \quad (10)$$

substitui-se a Equação (7) em (10) e após simples deduções tem-se a Equação (11).

$$\Sigma_{SD} = 2\sigma_0^2 I. \quad (11)$$

Como mostra a Equação (11), tem-se uma matriz identidade multiplicada por duas vezes a variância a priori, resultando na não correlação entre as medidas de simples diferença.

3.2.2 Dupla diferença

Usualmente formada entre receptores e satélites, a dupla diferença (DD) é tida como a diferença entre duas simples diferenças (SEEBER, 2003; MONICO, 2008). As equações para fase da onda portadora, na forma simplificada, são dadas pelas Equações (12) e (13).

$$\Phi_{ij}^{pq} = (\Phi_i^p - \Phi_j^p) - (\Phi_i^q - \Phi_j^q), \quad (12)$$

$$\Phi_{ij}^{pq} = \rho_{ij}^{pq} - I_{ij}^{pq}(t_1) + T_{ij}^{pq}(t_1) + m_{ij}^{pq}(t_1) + \lambda_{L1} N_{ij}^{pq}(t_1) + \varepsilon_{ij}^{pq}(t_1). \quad (13)$$

Onde:

$$\rho^{pq}_{ij} = \rho^p_{ij} - \rho^q_{ij};$$

$$I^{pq}_{ij} = I^p_{ij} - I^q_{ij};$$

$$T^{pq}_{ij} = T^p_{ij} - T^q_{ij};$$

$$m^{pq}_{ij} = m^p_{ij} - m^q_{ij};$$

$$N^{pq}_{ij} = N^p_{ij} - N^q_{ij}.$$

Com a dupla diferença, além dos erros referentes aos satélites, os erros dos receptores também foram eliminados (MONICO, 2008). Entretanto as medidas de fase da onda portadora ainda têm a necessidade de resolução das ambiguidades.

A maior parte dos processamentos de dados GNSS de alta acurácia fazem uso da dupla diferença como observável primária no ajuste das linhas de base (BERN, 2015). O ruído resultante da combinação e eliminação dos erros sistemáticos nas observáveis originais, aparentemente tem melhor relação (MONICO, 2008). O *Bernese* também utiliza a dupla diferença como a principal observável no processamento dos dados.

Para o cálculo da MVC das duplas diferenças considere o vetor das duplas diferenças, mostrado pela Equação (14). A equação em forma matricial das duplas diferenças pode ser escrita como pela Equação (15).

$$DD = \begin{bmatrix} \Phi_{ij}^{p1p2} \\ \Phi_{ij}^{p1p3} \\ \vdots \\ \Phi_{ij}^{p1pn} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$$DD = G \cdot SD. \quad (15)$$

Dessa vez a matriz G é a das derivadas parciais de DD com relação a matriz SD . Essa matriz é mostrada na Equação (16).

$$G = \frac{\partial DD}{\partial SD} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

Utilizando a propagação de variâncias mostrada pela Equação (10), porém para a dupla diferença em função da simples diferença, é encontrado a MVC das duplas diferenças na Equação (17). Nesta equação é observado que há correlação entre as duplas diferenças (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER, WASLE, 2008).

$$\Sigma_S = 2\sigma_0^2 \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}. \quad (17)$$

3.3 Resolução das ambiguidades

Quando se utiliza as observações dos sinais GNSS para obter o posicionamento de um receptor, é necessário se ter várias observações que possuam os mesmos parâmetros para que o número de equações seja maior do que o das incógnitas. O vetor das observações obtidas diminuído do vetor das observações aproximadas é dado pela Equação (18) (VERHAGEN, 2005).

$${}_m y_1 = {}_m A_{n \ n} a_1 + {}_m B_{p \ p} b_1 + {}_m e_1. \quad (18)$$

Onde:

y = vetor das observações;

a = vetor de parâmetros não conhecidos;

b = vetor de parâmetros não conhecidos.

Essa expressão equivale a uma equação da reta, onde é dividido o vetor dos parâmetros (geralmente denominado por X) em dois componentes: a e b . Esses componentes tem uma principal diferença, $a \in \mathbb{Z}^n$ e $b \in \mathbb{R}^n$, que é necessária pois nas observações envolvendo a fase da onda portadora tem-se o parâmetro ambiguidade que é conhecido a priori como um número inteiro.

Entretanto, ao ser realizado o ajustamento das observações, o vetor das ambiguidades não conseguirá obter valores inteiros para cada um de seus elementos, ou seja, a e b presentes na Equação (18) podem ser denominados como \hat{a} e \hat{b} , ambos pertencentes ao conjunto dos números reais, resultando em:

$$\begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix} ; \begin{bmatrix} \sum \hat{a} & \sum \hat{a}\hat{b} \\ \sum \hat{b}\hat{a} & \sum \hat{b} \end{bmatrix}. \quad (19)$$

A solução mostrada pela Equação (19) é denominada como *float* e é o primeiro de três passos necessário no cálculo das ambiguidades. A segunda etapa consiste na transformação do vetor \hat{a} saindo do conjunto dos reais para o conjunto dos números inteiros \tilde{a} , conforme Equação (20), no qual $S: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{Z}^n$ (VERHAGEN, 2005).

$$\tilde{a} = S(\hat{a}). \quad (20)$$

Após a obtenção dos valores inteiros de ambiguidade, chega-se a etapa final de fixação das ambiguidades (*fixed*). Nessa etapa, obtém-se o vetor \tilde{b} , que pertence aos números

reais, todavia seu cálculo é influenciado pelo vetor \tilde{a} . Esta influência pode ser encontrada ao ser colocada a injeção (MONICO, 2008):

$$C\hat{x} - \tilde{a} = 0, \quad (21)$$

onde:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (22)$$

A matriz de injeção tem suas três primeiras colunas relacionadas as coordenadas ou as componentes da linha de base, isto depende se a solução é referente a observável fase da onda portadora ou quando a observável utilizada é a dupla diferença (VERHAGEN, 2005; MONICO 2008). As outras colunas referem-se as ambiguidades. O vetor \hat{x} constitui as correções dos parâmetros presentes em \hat{a} e \hat{b} . Essa injeção tem influência nos parâmetros de b segundo as Equações em (23) (MONICO, 2008).

$$\begin{aligned} \tilde{b} &= \hat{b} - \sum \hat{b}\hat{a} \sum \hat{a}^{-1} (\hat{a} - \tilde{a}), \\ \sum \tilde{b} &= \sum \hat{b} - \sum \hat{b}\hat{a} \sum \hat{a}^{-1} \sum \hat{b}\hat{a}, \\ \tilde{\sigma}_0^2 &= \hat{\sigma}_0^2 + (\hat{a} - \tilde{a})^T \sum \hat{a}^{-1} (\hat{a} - \tilde{a}). \end{aligned} \quad (23)$$

Os únicos elementos ainda não apresentados são: $\hat{\sigma}_0^2$, variância a posteriori resultante do ajustamento da solução *float*; e $\tilde{\sigma}_0^2$, variância a posteriori da solução *fixed*.

A transformação $S: R^n \rightarrow Z^n$ mostrada como segundo passo dependerá de que tipo de solução das ambiguidades será utilizado. Os mais comuns são o *Round*, *Sigma*, *Search*, *Lambda* e o *Quasi-Ionosphere-Free (QIF)*. Cada um desses métodos tem suas vantagens e desvantagens, sendo um grande fator de influência o comprimento da linha de base, quando se trata de posicionamento utilizando as duplas diferenças como observáveis.

3.4 Método de Posicionamento Relativo

Diversos tipos e métodos de posicionamento têm sido descritos na literatura para a obtenção de coordenadas e muitos dos termos se confundem. Porém, de maneira geral, são dois os métodos de posicionamento possíveis. O primeiro desses é denominado como posicionamento absoluto, que ocorre quando as coordenadas de um ponto são encontradas diretamente relacionadas ao geocentro, diferentemente do método relativo, onde as coordenadas de um ponto são obtidas com relação a um outro ponto cujas coordenadas já foram previamente determinadas (MONICO, 2008). Há ainda questões quanto ao movimento do receptor, pois quando este se encontra parado é tido como um posicionamento estático, porém quando está em movimento é feito um posicionamento cinemático. Entre esses dois estados existem outras formas de posicionamento que não são tratados por não serem do escopo deste texto. O leitor interessado pode consultá-los em Seeber (2003) e Monico (2008).

Pelo método relativo as coordenadas de um ponto são obtidas através das combinações lineares de diferenciação que podem envolver pseudodistâncias, fases da onda portadora ou ambas. Como essas combinações envolvem diferentes receptores, fica clara a necessidade de que ao menos dois receptores estejam rastreando dados simultaneamente: o receptor que se deseja obter as coordenadas e um outro receptor, cujas coordenadas são conhecidas a priori (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2008). Ao ser feita uma diferenciação, forma-se um vetor ligando o ponto de coordenadas conhecidas e o ponto sem coordenadas conhecidas. Esse vetor é denominado linha de base. Hoje, com o aumento dos Sistemas de Controle Ativos (SCA), que são estações rastreadas continuamente, o profissional pode somente coletar dados de seus pontos de interesse, caso esteja próximo a alguma estação do SCA (MONICO, 2008).

3.5 Sistemas de coordenadas

Toda realização geodésica está associada a um conjunto de coordenadas advindo de um sistema de referência que define a origem, orientação dos eixos, escala, dentre outros elementos. Historicamente, os sistemas de coordenadas utilizados na geodésia procuram retratar a forma da Terra, através de coordenadas esféricas ou elipsoidais, todavia, com o surgimento do GNSS, as coordenadas cartesianas aumentaram sua importância no aspecto global (JEKELI, 2012).

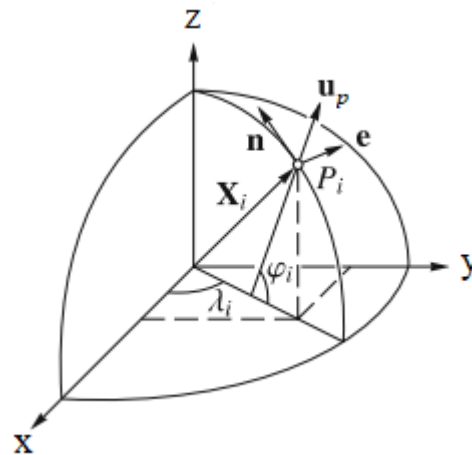
Por mais que a utilização de realizações globais cujas coordenadas são cartesianas seja algo recente, as coordenadas cartesianas sempre tiveram sua importância no aspecto de realização local. Ao serem feitos levantamentos topográficos nos quais eram observadas medidas de ângulos e distâncias, as coordenadas obtidas eram referenciadas a um plano topográfico local cartesiano. Este plano pode ser definido com respeito a reta normal ao elipsoide, sistema geodésico local (SGL), ou a vertical do local, sistema astronômico local (MONICO, 2008). Usualmente, utilizava-se o sistema astronômico local para conectar o levantamento realizado as observações astronômicas. Hoje, o SGL é mais utilizado pois o GNSS fornece coordenadas relacionadas a um elipsoide de referência. Existem rotações que podem ser aplicadas a um SGL, ou ao sistema astronômico local, que podem mudar a orientação dos eixos coordenados de forma a facilitar as análises de certos aspectos de um projeto de engenharia, por exemplo.

São apresentados a seguir aspectos teóricos para a obtenção de coordenadas no SGL e a transformação destas para o sistema da barragem (SB). Também são explicadas como se dá a propagação da MVC das coordenadas cartesianas geocêntricas para o SGL e o SB.

3.5.1 Sistema Geodésico Local

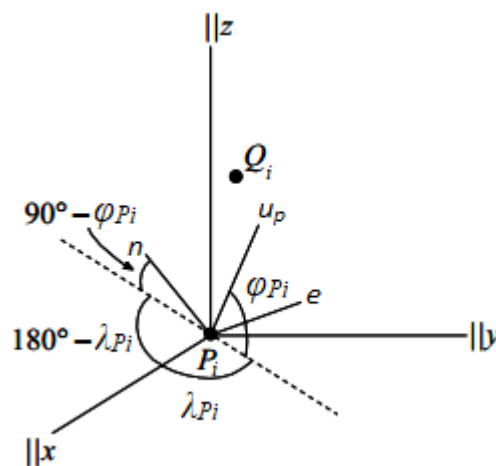
Um SGL consiste em três eixos sobre um plano no local de determinado levantamento geodésico. Geralmente, um sistema levogiro é utilizado com um eixo apontado para o norte, outro para o leste e o terceiro no sentido positivo da reta normal ao elipsoide de referência, conforme Figura 2.

Figura 2 – Coordenadas elipsoidais e locais.



Fonte: Adaptado de Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger e Wasle, 2008.

A Figura 2 mostra um ponto P_i no qual os eixos do SGL estão centrados. Logicamente, as coordenadas de P_i neste sistema são nulas em todos os eixos. Porém, ao imaginarmos um outro ponto próximo a P_i , Q_i , facilita o entendimento de como podem ser feitas rotações de eixos $\|x, \|y, \|z$ (paralelos ao x, y, z , porém centrados em P_i) para igualá-los aos eixos n, e, u , através das coordenadas elipsoidais de P_i , o que permite transformar as coordenadas (JEKELI, 2012). A Figura 3 mostra estas rotações necessárias, além de uma reflexão no eixo $\|y$ para que seja possível transformar o sistema de dextrogiro para levogiro.

Figura 3 – Relacionamento entre (e, n, u_p) e $(\|x, \|y, \|z)$.

Fonte: Adaptado de Jekeli, 2012.

Quando se tem as coordenadas no SGL de um ponto Q_i , através de um levantamento topográfico, por exemplo, é possível obter quais são as distâncias nos eixos $\|x, \|y, \|z$ entre os pontos P_i e Q_i através da Equação (24).

$$\begin{bmatrix} \Delta x_{PiQi} \\ \Delta y_{PiQi} \\ \Delta z_{PiQi} \end{bmatrix} = R_3(180^\circ - \lambda_{Pi}) R_2(90^\circ - \varphi_{Pi}) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_{PiQi} \\ e_{PiQi} \\ up_{PiQi} \end{bmatrix}. \quad (24)$$

As rotações em R_3 e R_2 mostradas nas equações são encontradas facilmente pela literatura, como Jekeli (2012). Ao serem efetuados os cálculos utilizando essas rotações e a reflexão no eixo $|y$, obtém-se a Equação (25).

$$\begin{bmatrix} \Delta x_{PiQi} \\ \Delta y_{PiQi} \\ \Delta z_{PiQi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen}(\varphi_{Pi})\cos(\lambda_{Pi}) & -\text{sen}(\lambda_{Pi}) & \cos(\varphi_{Pi})\cdot\cos(\lambda_{Pi}) \\ -\text{sen}(\varphi_{Pi})\text{sen}(\lambda_{Pi}) & \cos(\lambda_{Pi}) & \cos(\varphi_{Pi})\cdot\text{sen}(\lambda_{Pi}) \\ \cos(\varphi_{Pi}) & 0 & \text{sen}(\varphi_{Pi}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_{PiQi} \\ e_{PiQi} \\ up_{PiQi} \end{bmatrix}. \quad (25)$$

Para ser realizada a transformação inversa, ou seja, a partir das discrepâncias sobre os eixos entre os pontos P_i e Q_i calcular as coordenadas de Q_i no SGL, é necessário o uso da Equação (26).

$$\begin{bmatrix} n_{PiQi} \\ e_{PiQi} \\ up_{PiQi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen}(\varphi_{Pi})\cos(\lambda_{Pi}) & -\text{sen}(\lambda_{Pi}) & \cos(\varphi_{Pi})\cdot\cos(\lambda_{Pi}) \\ -\text{sen}(\varphi_{Pi})\text{sen}(\lambda_{Pi}) & \cos(\lambda_{Pi}) & \cos(\varphi_{Pi})\cdot\text{sen}(\lambda_{Pi}) \\ \cos(\varphi_{Pi}) & 0 & \text{sen}(\varphi_{Pi}) \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} \Delta x_{PiQi} \\ \Delta y_{PiQi} \\ \Delta z_{PiQi} \end{bmatrix} \quad (26)$$

Ao ser extrapolado para m pontos que se deseja obter as coordenadas no SGL existe uma divergência na literatura, tanto no cálculo das coordenadas, quanto no cálculo da MVC das coordenadas. Os principais trabalhos encontrados sobre o assunto remetem a Burkholder (1999) e Soler, Han e Smith (2011). Considere a primeira parte a direita da Equação (26) como uma matriz de rotação. Ao se utilizar a Equação (26) para m pontos, uma matriz de rotação geral pode ser dada pela Equação

(27), que se constitui por matrizes de rotação que são aplicadas aos m pontos que se deseja obter as coordenadas.

$$ROT = \begin{bmatrix} Rot_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Rot_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Rot_m \end{bmatrix}. \quad (27)$$

A matriz dada na Equação

(27) diz que cada bloco de equações de rotação é dado pelas coordenadas geodésicas dos m pontos, ou seja, é criado em cada um dos m pontos um eixo coordenado diferente e condizente a localização exata do ponto para que seja um SGL. Porém, a mesma Equação

(27) pode ser considerada como a Equação (28), na qual sobre um único ponto são criados eixos de um SGL e todos os outros $m-1$ pontos são orientados sobre esse mesmo eixo coordenado.

$$ROT = \begin{bmatrix} Rot_{orig} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Rot_{orig} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Rot_{orig} \end{bmatrix}. \quad (28)$$

A concepção

fornecida por Soler, Han e Smith (2011) é a dada pela Equação

(27). Esses autores rebateram o artigo de Burkholder (1999) que indica a utilização da Equação (28). No entendimento da dissertação, ambas as concepções estão corretas, porém com objetivos diferentes de utilização. Ao serem analisados marcos geodésicos distantes geograficamente, mais vale a utilização do método recomendado por Soler Han e Smith, pois os eixos coordenados que são gerados individualmente realmente retratam o local do ponto. Mesmo no para locais próximos, também pode ser importante essa análise local de cada ponto individualmente. No caso em que se deseja obter todas as coordenadas sobre um mesmo referencial de eixos coordenados, o ideal é a utilização do método recomendado por Burkholder, pois possibilita comparações entre todos os pontos envolvidos em uma realização geodésica local. A dissertação utiliza ambas as concepções nas etapas em que pareceram mais apropriadas cada um de seus usos.

A MVC no SGL pode ser obtida ao utilizar a equação de propagação das covariâncias, Equação (29) (SOLER; HAN; SMITH, 2011).

$$\Sigma_{SGL1,2,\dots,m} = D \Sigma_{X1,2,\dots,m} D^T. \quad (29)$$

Onde:

$\Sigma_{SGL1,2,\dots,m}$ = MVC das coordenadas no sistema geodésico local

D = Matriz das derivadas parciais

$\Sigma_{x_{1,2,\dots,m}}$ = MVC das coordenadas cartesianas x,y,z de todos os pontos envolvidos na transformação para o SGL

A matriz D da Equação (29) dependerá de qual metodologia para obtenção das coordenadas no SGL é a usada, portanto, poderá ser a Equação

(27) ou a Equação (28).

3.5.2 Sistema da Barragem

Como mostrou-se anteriormente, é possível a transformação de coordenadas globais para o âmbito local através da Equação (26). Entretanto, no monitoramento de uma barragem interessa mais um sistema coordenado cujos eixos seguem a orientação dada pela barragem, o qual no eixo up do SGL é realizada uma rotação levogira de forma que haja um eixo coincidente ao eixo da barragem, e outro perpendicular a mesma. Ao ser realizada essa rotação, translada-se esse novo sistema, denominado aqui como SB, até um marco geodésico ao qual será considerado a origem do sistema. A Figura 4 mostra a concepção desse requisito.

Figura 4 – Sistema da Barragem.



A transformação para o SB pode ser obtida através da simples formulação dada pela Equação (30), no qual n_0, e_0, up_0 são as coordenadas do ponto origem do SB no SGL e n'_i, e'_i, up'_i são as coordenadas do ponto de interesse no SB.

$$\begin{bmatrix} n'_i \\ e'_i \\ up'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & \text{sen}(\beta) & 0 \\ -\text{sen}(\beta) & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} n_i - n_0 \\ e_i - n_0 \\ up_i - up_0 \end{bmatrix}. \quad (30)$$

O valor de β presente na matriz de rotação da Equação (30) é obtido através dos dois pontos que concretizam a criação do eixo e' do SB. Essa variável é obtida a partir da Equação (31), onde e_0 é o ponto origem do SB e e_i o ponto que orienta o eixo e' .

$$\beta = a \tan 2((n_i - n_0)/(e_i - e_0)). \quad (31)$$

A forma de obtenção da MVC no SB é feita utilizando a Equação (32). Nesta equação, a matriz D é a primeira parte a direita da Equação (30).

$$\Sigma_{SB1,2,\dots,m} = D \Sigma_{SGL1,2,\dots,m} D^T. \quad (32)$$

3.6 Teste de Congruência Global

Ao serem obtidas coordenadas de um mesmo ponto em diferentes épocas, certamente diferentes coordenadas este ponto terá. Um motivo é que o ponto em questão se moveu ao longo do tempo devido a ação das placas litosféricas. Outro, é que, independente do movimento das placas litosféricas, as coordenadas de um mesmo ponto calculadas em épocas diferentes serão providas por amostras diferentes de dados, portanto na presença de erros aleatórios (e possíveis sistemáticos e grosseiros) que não são iguais. O terceiro motivo é que pode ter ocorrido um deslocamento daquele ponto.

Ao fazer-se a compensação das coordenadas devido ao movimento das placas litosféricas, as diferenças das coordenadas ainda restante de um mesmo ponto em épocas diferentes precisa ser investigada e o TCG é o método estatístico utilizado para investigar se ocorreu um deslocamento do ponto. Considere as equações (33) como o vetor deslocamento (POLETO, 2010):

$$d = X(t_2) - X(t_1)$$

$$d = \begin{bmatrix} X_1(t_2) - X_1(t_1) \\ Y_1(t_2) - Y_1(t_1) \\ Z_1(t_2) - Z_1(t_1) \\ \vdots \\ X_n(t_2) - X_n(t_1) \\ Y_n(t_2) - Y_n(t_1) \\ Z_n(t_2) - Z_n(t_1) \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$d = \begin{bmatrix} N(t_2)^{-1} A(t_2)^T P(t_2) & -N(t_1)^{-1} A(t_1)^T P(t_1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L(t_2) \\ L(t_1) \end{bmatrix}$$

A matriz cofatora do deslocamento é dada pela equação (34):

$$Q_d = Q_{X_a(t_2)} + Q_{X_a(t_1)} \quad (34)$$

São formuladas as hipóteses para verificar se o vetor d pode ser considerado nulo do ponto de vista estatístico, conforme equação (35).

$$\begin{aligned} H_0 : E\{d\} &= 0 \\ H_a : E\{d\} &\neq 0 \end{aligned} \quad (35)$$

A forma de verificar se a hipótese nula deve ser refutada é através do fator K dado pela Equação (36) (CHEN, 1983; DENLI; TAŞCI,2008; NOWEL, 2016):

$$K = \frac{d^T \cdot Q_d^{-1} \cdot d}{h \cdot \hat{\sigma}_{0_d}^2} \quad (36)$$

Nessa equação, h representa o *rank* da MVC do deslocamento. Já $\hat{\sigma}_{0_d}^2$ representa a variância a posteriori do vetor deslocamento e é dada pela Equação (37), na qual gl representa os graus de liberdade do ajustamento no monitoramento em t_1 e t_2 (FAZAN, 2010).

$$\hat{\sigma}_{0_d}^2 = \frac{gl(t_1)\hat{\sigma}_0^2(t_1) + gl(t_2)\hat{\sigma}_0^2(t_2)}{gl(t_1) + gl(t_2)} \quad (37)$$

Quando o fator K for menor que o valor tabelado da distribuição F para um nível de significância determinado, conforme Equação (38), significa que a H_0 foi aceita, i.e., não

$$K \leq F_{\alpha, h, gl_{t+2}} \quad \text{houve o deslocamento sobre o ponto}$$

de vista estatístico. Quando o K calculado é maior que o F tabelado ocorreu o deslocamento do ponto.

(38)

4 BERNESE GNSS SOFTWARE

O *software Bernese GNSS Software* foi concebido pelo Instituto Astronômico da Universidade de Berna (AIUB) da Suíça e permite a realização de processamentos de alta acurácia e tem sido utilizado universalmente para atividades especialmente de cunho científico. Muito embora exista um manual extensivo sobre todos os detalhes deste *software*, apresenta-se neste capítulo, visando descrevê-lo de forma mais simples, alguns tópicos importantes sobre o *software* e sua utilização, a fim de conceber um material didático em português sobre o mesmo.

O *Bernese* é um *software* que possui grandes vantagens com relação a outros de processamento GNSS. Uma dessas é a possibilidade de customizações que um usuário pode fazer em seus procedimentos, pois, adquirida a licença do *software*, tem-se o código aberto para que sejam feitas alterações e atualizações tanto na estrutura do *software* quanto em procedimentos para o processamento dos dados. São disponibilizados alguns *scripts* de procedimentos padrão onde o usuário deve introduzir seus dados nas pastas corretas e, com os nomes conforme o padrão do *script*, o *software* consegue importar todos os dados de forma a executar os processamentos necessários. Também é possível criar seus próprios *scripts* de processamento de dados.

O *Bernese* pode ser entendido como um *software* que possui um pacote de aplicativos cada qual responsável por alguma função. Ao ser executado um aplicativo, este importa os dados necessários, aplica as configurações selecionadas pelo usuário e gera arquivos de saída ou modificam alguns dos arquivos de entrada.

A principal característica do *software* tem sido a constante atualização que vem sendo realizada para obter melhoramentos na acurácia dos resultados obtidos. O *software* foi testado em diversas aplicações GNSS, especialmente em processamentos automatizados de redes ativas permanentes, sendo este o principal *software* utilizado por agências e órgãos que disponibilizam redes globais GNSS. O *Bernese*, atualmente, processa dados GPS e GLONASS, porém está sendo desenvolvido para que também utilize dados de outros sistemas de posicionamento na sua versão 6.0 (BERN, 2015). A principal observável utilizada nos processamentos envolvendo o *Bernese* é a dupla diferença da fase da onda portadora que é processada pelo método relativo. Porém, outras observáveis, como as fundamentais e as derivadas de combinação lineares diversas, também podem ser utilizadas, além de outros métodos de posicionamento, como o PPP.

Esta seção, portanto, trata sobre o funcionamento do *software Bernese*. Comenta-se um breve histórico do programa, sua organização e aplicativos de processamento.

4.1 Histórico do *Bernese GNSS Software*

Desenvolvido nos anos 1980 para o processamento de dados GPS, o *Bernese GPS Software* foi lançado em março de 1988 já em sua versão 3.0 pois sucedeu o *Bernese Second Generation GPS Software*. Cinco atualizações da versão 3.0 foram lançadas até que em setembro de 1996 a versão 4.0 foi lançada. Esta versão apresentou melhorias com relação as versões anteriores, tendo como grandes diferenciais: o aplicativo ADDNEQ, para gerar uma solução final da rede GPS combinando as várias soluções disponíveis ao nível das equações normais; e o *Bernese Processing Engine* (BPE) que permite a automatização dos processamentos (BERN, 2015).

Em novembro de 1999 foi lançada a versão 4.2 que passou a englobar as observáveis GLONASS nos processamentos junto aos sinais GPS. Nessa atualização, também foi possibilitado o uso das observações SLR dos satélites GNSS e foi substituído o ADDNEQ pelo ADDNEQ2 para o cálculo de uma solução final (BERN, 2015).

Todas estas versões trabalhavam através de comandos escritos por um usuário baseados em lógica de programação. Para facilitar o uso do *software*, a versão 5.0 do *Bernese* foi criada em abril de 2004 possuindo uma interface gráfica, *Graphical User Interface* (GUI), baseada da biblioteca *Qt*. Outras novidades ocorreram como o aprimoramento do BPE e a capacidade de determinação de órbitas não somente dos satélites GNSS mas também os LEO (BERN, 2015).

Todas essas atualizações introduziram, além dos descritos, diversos melhoramentos e culminaram no desenvolvimento da última versão disponível atualmente, o *Bernese GNSS Software 5.2*. Alguns destes melhoramentos são (BERN, 2015):

- Aplicativo FODITS que serve para encontrar *ouliers* (erros “grosseiros”) e descontinuidades em uma série temporal.
- Resolução de ambiguidades GLONASS.
- Modelos novos para a troposfera: GMF/GPT e VMF1.

- Inclusão dos termos de 2ª e 3ª ordem do erro devido a ionosfera a fim de minimizar a magnitude de seu efeito.
- Inclusão das correções da carga atmosférica e do centro de massa para os oceanos.

Outra mudança foi a respeito da organização das pastas onde os dados de entrada podem ser colocados para que o programa os importe corretamente, o que será tratado na seção 4.2.1.

4.2 Estrutura de pastas e arquivos de processamento

O processamento dos dados no *Bernese* é feito através de campanhas sendo cada uma processada individualmente. Nestas campanhas são utilizados os arquivos de observações GNSS e uma série de outros arquivos que são disponibilizados por várias instituições, como: efemérides precisas; arquivos de correção dos efeitos atmosféricos; e outros.

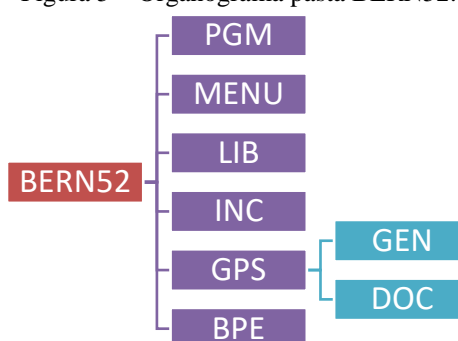
Para o entendimento do processamento de uma campanha é necessário o conhecimento das estruturas de pastas constituintes do *Bernese* e de suas campanhas, pois cada arquivo deve estar em determinados diretórios para que o *software* possa selecionar os arquivos corretamente. Houve uma mudança entre a versão 5.0 e 5.2 que agora pode concentrar todos os arquivos em uma única pasta e, para o processamento de cada campanha, são transferidos para os diretórios corretos da campanha em uso os arquivos necessários. Todavia, a metodologia aplicada ao *Bernese* 5.0 também pode ser usada pelo *Bernese* 5.2.

Serão tratados aqui alguns arquivos e pastas que tem grande importância para o processamento dos dados, porém, é importante ressaltar que várias mudanças podem ser feitas pelos usuários e se preza nesta seção por configurações de pastas padrão. Também são comentados os aplicativos que fazem os processamentos dos dados para a geração de uma solução final de uma campanha.

4.2.1 Diretórios do *Bernese*

Quando o programa é instalado geralmente tem-se no computador um usuário principal *bernese* e outro usuário (ou outros usuários), por exemplo, usuário *rodrigo*. Todos estes usuários podem ter três pastas que contém várias outras pastas ao ser instalado o programa. As três pastas são: BERN52, GPSUSER52 e GPSDATA. Cada uma destas pastas é apresentada individualmente nos organogramas a seguir onde são citadas as principais pastas. A primeira a ser explicada é a BERN52, cujo organograma é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Organograma pasta BERN52.

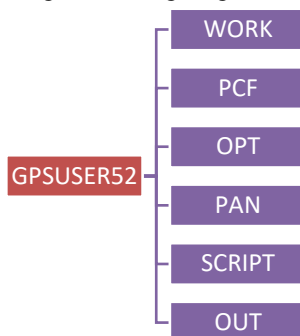


A pasta BERN52 possui diversos códigos fonte escritos em linguagem C++ e Fortran que estão ligados ao funcionamento do programa e suas ações básicas. Para o usuário de processamento de dados a pasta mais interessante é a GPS. Apesar de possuir algumas outras pastas dentro da pasta GPS, são destacadas as pastas GEN e DOC.

A pasta GEN contém arquivos que são necessários em diversos aplicativos do *Bernese*, como: arquivo de calibração das antenas; de efemérides planetárias; definições de constantes utilizadas; e outras. Essa pasta está disponível *on-line* no *File Transfer Protocol* (FTP) do *Bernese*, pois é constantemente atualizada a fim de que os usuários possam transferir para seus próprios computadores os novos arquivos adicionados e estarem fazendo seus processamentos sob as melhores condições possíveis. No caso como o descrito onde o computador tem dois ou mais usuários com acesso ao *Bernese*, geralmente todos os usuários acessam a pasta GEN do usuário principal para que a cada atualização que um usuário faça na pasta GEN, esta possa ser acessada por todos os usuários no processamento de dados. Todavia isso pode ser modificado. Sobre a pasta DOC, essa contém vários dados de exemplo para serem utilizados e textos explicando como obter alguns dados que são necessários para serem feitos os processamentos.

A próxima pasta comentada é a GPSUSER52. Seu organograma está presente na Figura 6

Figura 6 – Organograma da pasta GPSUSER52.



Conforme citado na seção 4, o *Bernese* se destaca devido a processamentos automatizados GNSS e a pasta GPSUSER52 contém arquivos que capacitam esse processamento. Também, contém pastas com os painéis de configuração de cada aplicativo do *Bernese*. Por este motivo, dentro da pasta GPSUSER52 destacam-se as pastas: PAN, OPT e PCF.

A pasta PAN é a que contém todas as configurações que são utilizadas em cada aplicativo do *Bernese*. Quando um usuário utiliza o GUI do *software* e entra em algum aplicativo para escolher suas configurações, na verdade o que é feito é a mudança de informações sobre os arquivos da pasta PAN com o nome do aplicativo que está sendo utilizado.

Os processos automatizados do *Bernese*, como o RNX2SNX, são feitos através de arquivos presentes na pasta PCF. São *scripts* informando quais aplicativos o *software* deve utilizar e a ordem do uso destes aplicativos. Também é possível informar variáveis de ambiente para a escolha da configuração que será utilizada. Um *script* PCF, porém, não tem suas configurações baseadas nos aplicativos que estão presentes na pasta PAN. O que ocorre é que os *scripts* PCF apontam cada aplicativo para uma pasta. Cada uma destas pastas está presente na pasta OPT, que possui alguns dos arquivos presentes na pasta PAN, porém que são modificados para o uso de determinados *scripts* PCF. Para simplificar o entendimento temos como exemplo a Figura 7.

Figura 7 – Exemplo de um *script* PCF.

```

PID SCRIPT OPT_DIR CAMPAIGN CPU P WAIT FOR...
3** 8***** 8***** 8***** 8***** 1 3** 3** 3** 3** 3** 3** 3**
#
# Copy input files
# -----
011 TUT_COP R2S_GEN ANY 1
#
# Resolve phase ambiguities
# -----
101 SATMRK R2S_GEN ANY 1 011
131 GNSQIFAP R2S_QIF ANY 1 101
132 GNSQIF_P R2S_QIF ANY 1 131
141 GNSL12AP R2S_L12 ANY 1 132
142 GNSL12_P R2S_L12 ANY 1 141
#
# End of BPE
# -----
999 DUMMY NO_OPT ANY 1 142
#
# -----
PID USER PASSWORD PARAM1 PARAM2 PARAM3 PARAM4 PARAM5 PARAM6
...
3** 12***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8*****
#
# Resolve phase ambiguities
# -----
131 $131
132 PARALLEL $131
141 $141
142 PARALLEL $141
#
#
#
# -----
VARIABLE DESCRIPTION DEFAULT
8***** 40***** 16*****
V_A A priori information APR
V_B Orbit/ERP, DCB, CLK information COD

```

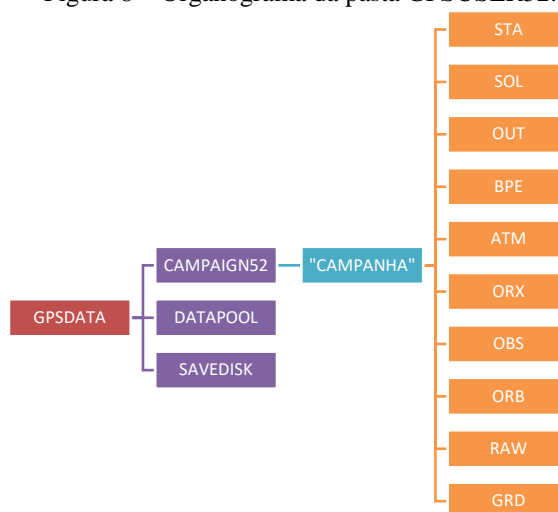
Fonte: BERN, 2016.

Na Figura 7, podem ser observadas três partes de um *script* PCF presente na pasta PCF, no qual a primeira e a última parte fazem referência ao explicado acima. Na primeira parte (parte superior) estão sendo informados os aplicativos utilizados, e. g., SATMRK, e a pasta que contém o aplicativo, e. g., R2S_GEN. Essa pasta informada está presente na pasta OPT e contém o arquivo SATMRK modificado com relação ao SATMRK presente em PAN. A terceira parte do arquivo PCF diz respeito as variáveis de ambiente comentadas que são utilizadas no aplicativo presente na pasta R2S_GEN. A segunda parte do *script* PCF diz respeito aos processamentos em paralelo que são necessários em alguns procedimentos. No caso da Figura 7, é realizado o processamento em paralelo do aplicativo GPSEST, explicado na seção seguinte, que pode estar sendo processado linha de base por linha de base, ou então por conjunto de linhas de base, depende das variáveis de ambiente que foram selecionadas no aplicativo. Caso o processamento paralelo não fosse ativado, o GPSEST seria executado utilizando todas as linhas de base ao mesmo tempo.

Depois que é feito um processamento utilizando um *script* PCF é somada a pasta GPSTEMP52 as outras três pastas principais e que contém informações sobre o processamento automatizado.

A outra pasta principal do *Bernese* é a GPSDATA que é mostrada no organograma presente na Figura 8.

Figura 8 – Organograma da pasta GPSUSER52.



A pasta GPSDATA é referente as campanhas que serão trabalhadas no *Bernese*. Na versão 5.0 somente a pasta GPSDATA existia, e lá eram depositados todos os arquivos referentes ao processamento de uma campanha. Na versão 5.2 foram incluídas as pastas DATAPOOL e SAVEDISK e as campanhas que na versão 5.0 estavam diretamente em GPSDATA, na nova versão estão depositadas em CAMPAIGN52.

O DATAPOOL foi criado para que alguns arquivos externos fossem baixados somente uma vez pelas campanhas, ou seja, um depósito de arquivos que podem ser utilizados em comum por outras campanhas. O DATAPOOL também é dividido em outras pastas que não serão mencionadas (BERN, 2015).

Em uma pasta dentro de CAMPAIGN52, tem-se todas as pastas da cor laranja mostradas na Figura 8. Os arquivos que farão parte do processamento de uma campanha devem estar presentes em cada pasta específica. A finalidade de cada pasta é (BERN, 2015):

- ATM – Armazena arquivos referente a troposfera e ionosfera;
- BPE – Contém arquivos gerados do processamento de um script PCF;
- GRD – Arquivos de *grid*, como arquivos VMF1;
- OBS – Armazena arquivos de observação dos dados no formato do *Bernese*;
- ORB – Arquivos de órbita e *Earth Rotation Parameters* (ERP);
- ORX – Local onde os arquivos RINEX originais devem ser depositados;
- OUT – Arquivos reportando os processamentos feitos por cada aplicativo;
- RAW – Arquivos RINEX que são utilizados no processamento de dados;

- SOL – As soluções geradas pelo aplicativo ADDNEQ2 são depositadas nessa pasta;
- STA – Arquivos relacionados as estações presentes na campanha.

Quando uma campanha é processada, diversos arquivos são criados e adicionados a pasta de uma campanha, o que torna mais lento os processamentos. O SAVEDISK foi desenvolvido para ser um diretório que armazena os principais resultados após o processamento dos dados. Assim, quando for necessária a exclusão de certos arquivos na pasta de uma campanha, os principais resultados do processamento a priori estão salvos (BERN, 2016).

4.2.2 Aplicativos do *Bernese*

Os aplicativos do *Bernese* fazem o processamento dos dados GNSS. Para se obter uma solução final é necessário utilizar vários aplicativos, pois cada um gera um tipo de resultado que é será importado nos aplicativos seguintes.

Antes de serem processados os aplicativos, é preciso alguns procedimentos, como configurar a campanha que vai ser usada e as seções a serem processadas. As seções são os limites de início e fim dos dados levantados. Citando um exemplo, uma rede que possui solução diária apresenta uma seção por dia, entre às 0 h e 24 h. Este é um dos detalhes para o início de um processamento de dados GNSS com o *Bernese* que devem ser especificados em arquivos presentes na pasta STA.

Os aplicativos básicos utilizados pelo *Bernese* nos principais tipos de processamento GNSS são apresentados:

- COOVEL: Utiliza como arquivos de entrada as coordenadas das estações e suas velocidades, ambos em um mesmo *Terrestrial Reference Frame* (TRF), e interpola as coordenadas dos pontos para a época de interesse. Geralmente, a época a qual se deseja as coordenadas das estações é a de algum instante dentro do horário e dia da seção que está sendo processada, porque as estações que têm coordenadas conhecidas serão utilizadas posteriormente como injeção no ajustamento final de uma seção, precisando, portanto, estarem de acordo com as coordenadas dos satélites;
- POLUPD: É um aplicativo que prepara os parâmetros de orientação da Terra (EOP) do formato padrão do *International Earth Rotation and Reference Systems Service* (IERS)/*International GNSS Service* (IGS) para o formato do *Bernese*;

- PRETAB: Transforma as coordenadas para o referencial celeste criando um arquivo tabular de órbita. As efemérides também informam os erros dos relógios dos satélites e, com o PRETAB, um arquivo contendo os coeficientes do polinômio para correções dos relógios dos satélites também pode ser gerado. (MONICO, 2008; BERN, 2016);
- ORBGEN: Utilizando o arquivo tabular de órbita gerado pelo PRETAB, o ORBGEN gera a órbita padrão dos satélites (BERN, 2016);
- RXOBV3: Responsável por importar os dados para a campanha. Esse aplicativo faz essa função ao selecionar os arquivos que estão dentro da pasta RAW e os transforma para o formato do *Bernese*. Nesta etapa algumas configurações podem ser selecionadas como a escolha de qual (ou quais) constelação GNSS será (ão) processada (s);
- CODSP: Nesta etapa são computados os erros dos relógios dos receptores. Para executá-lo é preciso importar arquivos referentes ao processamento feito por: ORBGEN; POLUPD e COOVEL, além de outros arquivos gerais, presentes na pasta GEN;
- SNGDIF: De grande importância na etapa de pré-processamento dos dados, é este o responsável por criar as linhas de base, o que gera arquivos de simples diferença de estações com um satélite. Estes arquivos serão utilizados no processamento dos dados e tem como principais arquivos a serem importados aqueles que foram gerados pelo RXOBV3;
- MAUPRP: Responsável pela detecção das perdas de ciclos e correções dos sinais GNSS;
- GPSEST: Um dos principais aplicativos do *Bernese*. Este é o responsável pelo cálculo das coordenadas de um ponto utilizando os princípios do ajustamento pelo método dos mínimos quadrados através das duplas diferenças como observável.
- RESRMS: Serve para que possam ser visualizados os resíduos gerados pelo GPSEST;
- SATMRK: Faz a marcação e eliminação dos *outliers* presentes nos arquivos de simples diferença;
- HELMR1: Compara as coordenadas geradas por uma solução com as coordenadas aproximadas dadas no início dos processamentos no COOVEL através da transformação de Helmert;
- COMPAR: Compara as soluções obtidas em cada seção a fim de observar o grau de repetitividade;

- ADDNEQ2: Sua principal função é juntar todas as soluções obtidas nas seções e gerar uma solução final das coordenadas dos marcos geodésicos.

5 METODOLOGIA

Essa dissertação tem como finalidade avaliar o potencial da tecnologia GNSS no monitoramento geodésico discreto ao longo do tempo de uma barragem de concreto. Para alcançar este objetivo, foi necessária a implementação de um *software* denominado *TCGunesp* que foi implementado em *python 2.7* o qual acredita-se que poderá ser utilizado também para outras atividades. Como estudo de caso foram selecionadas quatro campanhas de monitoramento geodésico discreto de uma barragem de concreto. Ao ser empregada a tecnologia GPS para esse monitoramento, é possível avaliar a qualidade do GNSS/GPS em detectar os deslocamentos de uma obra desse porte.

5.1 Metodologia dos rastreamentos de dados GNSS sobre a barragem

A barragem de concreto utilizada como estudo de caso na dissertação junto a outras barragens de terra formam uma usina hidrelétrica cuja identificação não é informada a fim de manter sigilo. Esta usina opera com um vertedouro por fio d'água, que significa que não há o represamento do rio, i.e., a barragem libera a água assim que a mesma ultrapassa o limite de altura. Além disso, estão presentes outros elementos inerentes a uma UHE, como área de montagem e casa de força.

A Lei nº 12.334/2010 foi um importante marco para obrigar os administradores de barragens a terem maiores cuidados com a segurança da estrutura e de todo o ambiente envolto que é influenciado pela mesma. Esses maiores cuidados devem ser seguidos desde a elaboração do projeto até mesmo com a barragem já em funcionamento. Administradores de barragens que negligenciaram alguns aspectos, como o monitoramento da estrutura, passaram a se adequar as exigências. A partir dessas novas necessidades, foi desenvolvida uma rede geodésica de monitoramento nas barragens da UHE de maior precisão do que a outrora existente, sendo este o motivo da ausência de dados geodésicos durante seus primeiros anos de operação. A usina que antes tinha como principal fonte de monitoramento de seu deslocamento os dados obtidos através das aparelhagens geotécnicas, agora pode confrontar os resultados advindos das técnicas da engenharia civil com os fornecidos pela geodésia.

Foram realizadas 4 campanhas de monitoramento geodésico da UHE entre 2012 e 2015, sempre nos meses entre setembro e dezembro. Na primeira campanha decidiu-se por fazer as instalações dos Marcos de Superfície (MS) sobre o corpo da barragem de concreto, o que totalizou 48 MS. Esses MS tiveram dados GNSS rastreados assim como as duas Referências de Nível Profundo (RNP) previamente instaladas na usina. Aliado aos MS e RNP, foram construídas 3 estações geodésicas denominadas como Pilares, distantes aproximadamente 1,5 km da UHE, que também compõem a rede geodésica. A Figura 9 mostra um dos MS tendo dados GNSS rastreados, enquanto a Figura 10 mostra uma RNP. Os Pilares têm o mesmo tipo de materialização que as RNP. A partir da segunda campanha foram instalados outros MS nas barragens de terra as quais não são contemplados na presente pesquisa.

Figura 9 – MS da barragem de terra esquerda.



Figura 10 – RNP 1 da UHE.



Em todas as quatro campanhas de monitoramento da barragem de concreto, os Pilares e as RNP tiveram dados GNSS coletados concomitantemente em três dias, com 8 horas de rastreamento diário. Após isso foram coletados os dados das RNP e dos MS de modo que cada

MS tenha tido dados coletados ao menos três vezes. Na maior parte das campanhas, os dados GNSS foram rastreados durante duas horas, aproximadamente, porém são encontrados alguns MS que tiveram dados GNSS rastreados com intervalos de coleta que variam de uma hora e meia até quatro horas, devido a algumas diferenças de metodologias de rastreamento de dados introduzidas ao longo das campanhas.

Ocorreram diferenças no número de receptores empregados nas campanhas de coletas de dados GNSS devido a disponibilidade de antenas. Na primeira e na segunda campanha foram utilizadas cinco antenas, no qual, durante a coleta dos dados GNSS nos MS, três antenas foram utilizadas durante o mesmo intervalo de tempo para o rastreamento dos dados de todos os marcos dispostos. Na terceira campanha tinham-se disponíveis sete antenas, das quais cinco fizeram os rastreios de dados GNSS de todos os MS. Para a quarta campanha foi disponibilizada uma antena extra, totalizando 8 antenas, das quais seis foram utilizadas sobre os diversos MS ao mesmo tempo. Em todas as estações rastreadas, utilizou-se o atenuador de multicaminho na tentativa de diminuir a incidência deste efeito nas amostras de observações, e os receptores tiveram, previamente, suas antenas calibradas relativas a uma antena *Choke Ring* no Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrologia (LAGEH) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). A Figura 11 mostra um MS utilizando o atenuador de multicaminho.

Figura 11 – Atenuador de multicaminho sobre um MS.



5.2 Metodologia dos processamentos de dados GPS sobre a barragem

Para a realização do processamento de dados GNSS era necessária a definição de qual método de posicionamento deveria ser utilizado para serem obtidas coordenadas das estações geodésicas ao nível milimétrico de acurácia. O método escolhido foi o relativo baseado em observações de dupla diferença sobre as observáveis GNSS.

O método relativo somente seria capaz de obter tal nível de acurácia caso fossem utilizados diversos modelos de minimização de erros sobre as medidas de distância fornecidas pela tecnologia GNSS. Por esta necessidade, foi necessário um *software* capaz de utilizar as efemérides precisas, ao invés das transmitidas, correções dos efeitos das cargas atmosféricas e oceânicas, correções referentes aos parâmetros de rotação da Terra, correções do atraso entre as duas ondas portadoras dos satélites, correções referentes aos efeitos da ionosfera e da troposfera, dentre outros. Um dos *softwares* que é capaz de englobar todas estas correções para otimizar a qualidade do processamento de dados é o *Bernese v5.2*.

Alguns dos parâmetros sobre as observáveis GNSS podem ser modelados pelo próprio *software*, todavia, muitos destes devem ser obtidos através das páginas *on-line* de centros de processamentos globais GNSS, como o IGS e o CODE. O *Bernese*, portanto, demandou que um *script* fosse criado para poder realizar todos os *downloads* dos arquivos referentes a alguns dos erros citados. O *script* implementado foi escrito em linguagem *bash* e faz o *download* dos seguintes arquivos:

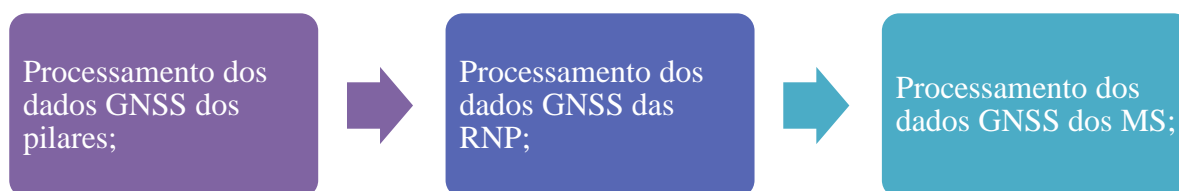
- Dados de observação de estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC);
- Efemérides precisas do IGS;
- Arquivo DCB referente ao atraso entre as ondas portadoras no satélite;
- Arquivo ERP dos parâmetros de rotação da Terra;
- Arquivos ION referentes aos mapas ionosféricos globais fornecidos pelo CODE;
- Arquivos do gradeamento da *Vienna Mapping Function 1* para minimizar os efeitos troposféricos.

Como são necessários marcos com coordenadas conhecidas para o posicionamento pelo método relativo, foi importante utilizar uma rede tida como estável para apoiar os marcos pertencentes a rede geodésica de referência presente na usina em questão. Foi determinada

como estratégia de processamento de dados que quatro estações pertencentes a RBMC, e também a rede Sirgas-Con, seriam as referências para os processamentos de dados coletados sobre os Pilares. Estas estações distam entre 50 a 500 km, aproximadamente, dos Pilares.

Ao serem obtidos os resultados, os Pilares poderiam ser utilizados como estações de referência para o posicionamento das RNP e, finalmente, as RNP, que foram os marcos rastreados pelo GNSS concomitantemente aos MS, seriam as estações de referência para o processamento de dados das mesmas, conforme o organograma apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Organograma do fluxo da pesquisa.



O *Bernese* necessita de um *script* em seu modelo próprio para que ocorram os processamentos dos dados GNSS. Esse *script* (cujas extensão é o PCF) foi desenvolvido ao longo da pesquisa através do manual e do tutorial do *Bernese v5.2* (BERN, 2015; BERN, 2016) e se assemelha a um *script* PCF padrão de processamentos pelo método relativo distribuído no pacote do *software*, denominado RNX2SNX, amplamente utilizado pelos centros de processamentos de dados GNSS ao redor do mundo que processam dados GNSS pelo *Bernese v5.2*.

Existem algumas diferenças no *script* desenvolvido pelo autor com relação ao RNX2SNX. Estas diferenças também dependem de qual das etapas presentes na Figura 12 de processamento de dados está sendo realizada. A principal diferença é que o RNX2SNX faz uso das constelações GPS e GLONASS, enquanto o *script* do autor faz uso somente dos dados GPS. O *script* utilizado pelo autor só utiliza a estimativa do resíduo devido a ação da troposfera sobre as observações GPS quando existem grandes linhas de base no processamento dos dados, como no caso do processamento de dados GPS das estações da RBMC com os dados dos Pilares. No caso de linhas de base muito curtas, como nos processamentos dos dados GPS dos Pilares e das RNP e das RNP com MS, não é feita a estimativa deste resíduo troposférico. O RNX2SNX, para todas as configurações de linha de base, utiliza-se da estimativa do resíduo troposférico e,

além disto, também se utiliza do gradiente horizontal troposférico, o que não foi contemplado no *script* do autor. Na formação das linhas de base também reside uma diferença. Todas as linhas de base formadas pelo RNX2SNX utilizam a estratégia OBS-MAX, enquanto no *script* do autor esta estratégia é utilizada somente nos processamentos de dados GPS envolvendo os dados dos Pilares e das RNP e os dados das RNP com MS. No caso dos processamentos dos dados entre estações da RBMC e Pilares, as linhas de base foram pré-selecionadas pelo próprio autor.

Quanto a resolução das ambiguidades, diferentes estratégias foram aplicadas no processamento dos dados GPS e estas dependem do comprimento da linha de base envolvida. Linhas de base superiores a 200 km enquadravam-se na utilização da estratégia QIF de resolução de ambiguidades, entre 40 km a 200 km, a estratégia utilizada foi o método SIGMA que é a mesma empregada para linhas de base com comprimentos menores que 40 km. Para as linhas de base com comprimento acima dos 200 km e para as linhas de base de 0 km a 40 km as observáveis utilizadas foram as duplas diferenças das ondas portadoras L1 e L2. Quando a linha de base está entre 40 km a 200 km, é utilizada a observável *Wide-lane* em uma primeira resolução das ambiguidades e, subsequentemente, as ambiguidades resolvidas são introduzidas na resolução das ambiguidades da observável *Narrow-lane* (BERN, 2015). Quando for empregada como observáveis a *Wide-lane* e a *Narrow-lane* no ajustamento de observações para a resolução de ambiguidades pelo método SIGMA, o termo “técnica L53” é citado. De mesmo modo, em algumas partes do texto podem conter o termo “técnica L12” como referência a resolução de ambiguidades das duplas diferenças das observáveis L1 e L2, utilizando o método SIGMA. Em outros procedimentos de cálculo de duplas diferenças, antes e após a resolução das ambiguidades, a observável utilizada na formação dessas duplas diferenças é a *Ion-free*.

Portanto, resumidamente, ao ser feito o processamento dos dados GPS pelo método relativo são obtidos os valores referentes aos comprimentos das linhas de base e sua MVC. Para que seja possível o cálculo das coordenadas e da MVC de todas as estações presentes no processamento dos dados, é necessária a introdução das coordenadas e desvios-padrão das estações de referência do posicionamento. No processamento de dados envolvendo as estações da RBMC com os Pilares foram selecionadas as coordenadas das soluções semanais Sirgas-Con alinhadas ao ITRF de cada uma das estações da RBMC citadas. Como estes processamentos de dados envolvem rastreios GPS realizados em um curto período de tempo (todos os rastreios de dados GPS dos Pilares foram realizados em três dias), não houve a necessidade da introdução das velocidades das estações, pois as coordenadas e desvios-padrão

variam infinitesimalmente em um curto período de tempo. Optou-se, então, por injuncionar com um peso muito forte as estações da RBMC, ao introduzir como incerteza das coordenadas das mesmas o valor de 0,00001 m, a fim de considerá-las como fixas no processamento dos dados. Obtidos os valores das coordenadas dos Pilares e suas incertezas, conforme citado, estas foram utilizadas como injunções no processamento dos dados GPS envolvendo os Pilares e as RNP. A mesma metodologia empregada no processamento de dados GPS dos Pilares e das RNP foi empregada no processamento dos dados das RNP e dos MS.

Nos processamentos de dados GPS realizados nesta pesquisa, foram denominadas seção todos os dados GPS que foram rastreados dentro de um intervalo de 24h iniciado a meia noite. O *script* utilizado fazia todo o processamento dos dados referente a cada seção e realizava um teste utilizando a transformação de Helmert ao final do processamento de cada seção para avaliar se os marcos selecionados como injunção nos processamentos poderiam, de fato, serem considerados como tal. Caso alguma destas estações de injunção tivesse resultados advindos da transformação de Helmert acima de um limite selecionado (10 mm na componente *N*, 10 mm na componente *E* e 20 mm na componente *UP*), a estação não era mais utilizada como injunção do processamento. Terminada esta etapa, as coordenadas de cada estação eram comparadas para avaliar o grau de proximidade entre seus resultados (repetitividade). Nos casos em que este grau de proximidade foi maior que o limite selecionado (5 mm na componente *N*, 5 mm na componente *E* e 10 mm na componente *UP*), excluiu-se todas as soluções das estações que estavam acima deste limite. Tanto nos testes utilizando a transformação de Helmert, quanto na comparação das coordenadas de cada solução, quando alguma estação não podia ser considerada como injunção do processamento dos dados e quando a solução de determinada estação deveria ser excluída, os dados eram reprocessados e, assim, obtidas novas soluções finais para cada seção. No final, ao se obter todas as soluções finais das seções, estas eram empilhadas ao nível das equações normais e se encontrava uma solução única para todas as estações.

Um resumo abordando os tópicos mais importantes dos procedimentos utilizados no processamento de dados GPS realizado é apresentado abaixo. Os procedimentos são explicados a partir dos aplicativos mais importantes utilizado pelo *Bernese* no *script* do autor e que se diferenciam das explicações dadas na seção 4.2.2.

- SNGDIF: São criadas as simples-diferenças utilizando a estratégia OBS-MAX ou as já definidas pelo autor, dependendo da etapa do processamento;

- 1° GPSEST: Realiza o cálculo das duplas-diferenças para obter os arquivos de resíduos e, assim, permitir retirar as observações que contém maiores erros;
- 2° GPSEST: Calcula uma primeira solução sem resolução das ambiguidades das duplas-diferenças. Neste aplicativo, caso a rede tenha linhas de base longas, são estimados os resíduos provenientes da troposfera sobre as observáveis, caso a rede tenha linhas de base curtas não é feita a estimação;
- 3° GPSEST: São realizados os cálculos das ambiguidades. A estratégia depende do comprimento das linhas de base e é realizado para cada linha de base separadamente;
- 4° GPSEST: É obtida uma primeira solução com as ambiguidades fixas ao serem processadas todas as linhas de base juntas utilizando as duplas-diferenças da *Ion-free* como observável;
- 1° ADDNEQ2: Obtém uma solução final para a seção ao utilizar *minimum constraint* na equação normal fornecida pelo 4° GPSEST;
- HELMR1: Utilizando as transformações de Helmert, avalia cada estação selecionada como injeção do ajustamento, com os limites de 10 mm nas componentes horizontais e 20 mm na componente vertical das coordenadas. Caso alguma das estações não possam ser utilizadas como injeção no ajustamento dos dados, o 1° ADDNEQ2 deve ser reprocessado;
- COMPAR: Faz comparações entre as coordenadas advindas de cada solução do 1° ADDNEQ2, no qual são informadas as diferenças para as médias das coordenadas e o desvio-padrão. Os limites selecionados foram de 5 mm nas componentes horizontais e 10 mm na componente vertical para não serem eliminadas soluções de seção de determinadas estações. Algumas estações ultrapassaram estes limites estabelecidos, porém foram mantidas, já que não havia como diminuir os valores apresentados. Isto, entretanto, ocorria com maior frequência na componente vertical. Quando eliminada alguma solução de uma estação, o 1° ADDNEQ2 e o HELMR1 eram refeitos para poder ser processado novamente o COMPAR;
- 2° ADDNEQ2: Realiza uma solução final de cada seção eliminando os resíduos troposféricos estimados e presentes na equação normal de entrada no presente aplicativo;
- 3° ADDNEQ2: Faz o empilhamento das equações normais de cada seção e se obtém uma solução final única das coordenadas das estações, assim como a MVC completa proveniente do ajustamento final dos dados.

Em todas as etapas de ajustamento de observações, o desvio-padrão selecionado a priori, que deve ser indicado no GPSEST e no ADDNEQ2, foi o de 0,002 m. As soluções finais das campanhas são dadas na realização ITRF2008 (IGb08) na época do levantamento, pois as coordenadas das inunções e as coordenadas dos satélites estão nesta realização.

5.3 Metodologia do *software* TCGunesp

O *software* TCGunesp foi concebido visando proporcionar uma melhor análise estatística quanto a possíveis deslocamentos em redes geodésicas ao longo do tempo. Esse *software* foi implementado ao longo da pesquisa e realiza o TCG sobre um conjunto de estações geodésicas em comum de levantamentos GNSS realizados em duas épocas diferentes. Pelo TCGunesp são realizados os TCG em: três dimensões (3D), duas dimensões (2D) e uma dimensão (1D) para cada estação individualmente.

Para a realização do TCG, são necessárias algumas informações de entrada. No caso da presente pesquisa, que analisa o deslocamento de uma barragem, a maioria destas informações advém dos próprios processamentos de dados GPS que foram realizados. Necessita-se das coordenadas das estações, a matriz cofatora a posteriori e o desvio-padrão a posteriori do ajustamento, os graus de liberdade e as datas dos levantamentos que foram realizados. Todos estes elementos necessários, exceto as datas dos levantamentos de dados, podem ser compreendidos pela leitura da seção 3.6 do texto. A época de cada levantamento de dados é necessária para que seja corrigido o movimento das placas litosféricas ao longo do tempo.

Para poder automatizar os processamentos usando o TCGunesp, foi necessária uma forma de introduzir no *software* todos os dados citados. Foi desenvolvido um *script* em linguagem *bash* capaz de obter todas essas informações a partir dos processamentos de dados que foram realizados pelo *Bernese*. Este *script* cria seis arquivos diferentes, contendo:

- Arquivo 1: Coordenadas e desvios-padrão;
- Arquivo 2: Matriz cofatora a posteriori;
- Arquivo 3: Desvio-padrão a posteriori;
- Arquivo 4: Época das coordenadas;

- Arquivo 5: Quantidade de estações que foram utilizadas em cada seção dos processamentos de dados;
- Arquivo 6: Arquivo das comparações (repetitividade) entre as coordenadas das estações em cada seção.

Estes arquivos, para as duas épocas diferentes, são adicionados a um arquivo de gradeamento das velocidades na realização a qual o processamento GPS (ou mesmo GNSS) foi realizado, que no caso da pesquisa é gradeamento do VEMOS2015, que está na realização ITRF2008 (IGb08). O usuário deve informar ao *TCGunesp* quais os nomes das duas campanhas que são analisadas, a significância do teste de hipóteses, a data de comparação do TCG, a incerteza do gradeamento das velocidades e a quantidade de estações utilizadas no processamento dos dados GPS como injunção.

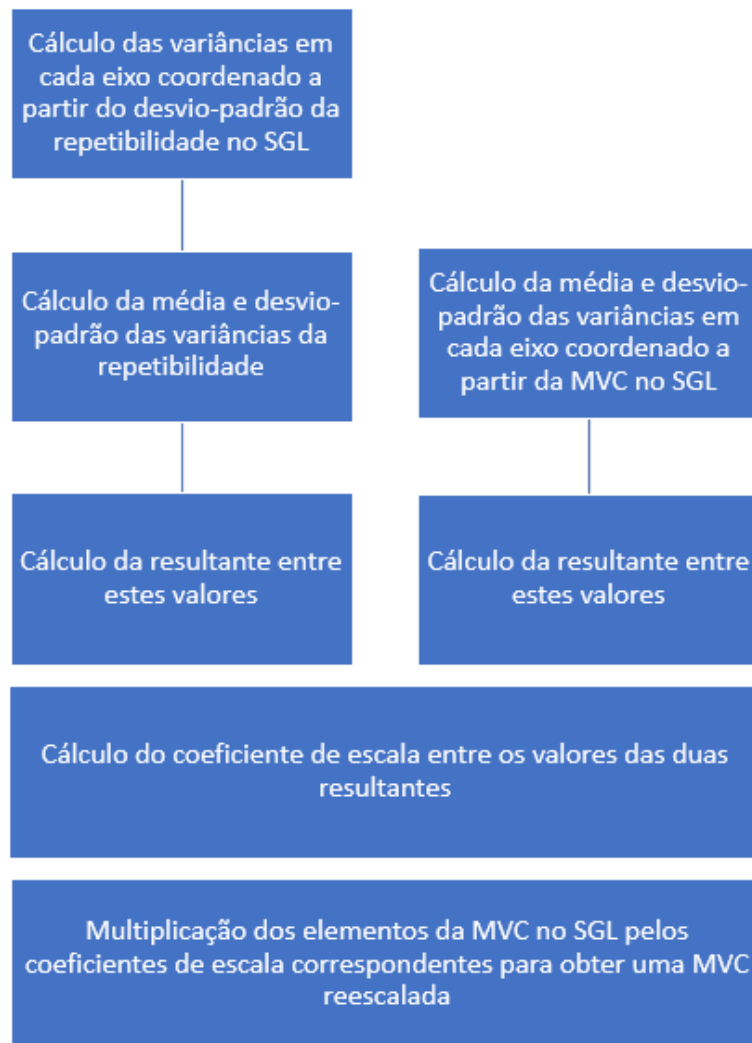
A partir do arquivo que contém a quantidade de estações presentes no processamento final de uma seção, é obtido quantos graus de liberdade cada campanha tem, seguindo os princípios de um ajustamento de rede, conforme é indicado em Monico (2008). Esta metodologia foi a utilizada, pois o número de graus de liberdade que o *Bernese* fornece em uma campanha é um valor associado a quantidade de observações satélite-receptor presente no posicionamento, um valor grande (e. g., acima dos 10000) o que não condiz com um ajustamento de rede.

Adicionada as informações das coordenadas das estações, o *TCGunesp* realiza a localização das mesmas com relação ao gradeamento de velocidades utilizado, e faz a interpolação pelo método do vizinho mais próximo para obter as velocidades a qual cada estação está sujeita. Estas velocidades são aplicadas as equações presentes em Drewes (2004) e, assim, se obtém as coordenadas das estações na época de comparação. A MVC das coordenadas na época da campanha associada é calculada a partir da matriz cofatora e do desvio-padrão a posteriori. Essa MVC também é propagada para a época da data de comparação, ocorrendo uma diferença com relação a MVC na época da campanha devido às incertezas das velocidades do gradeamento de velocidades. Esses procedimentos são realizados para as duas campanhas que estão sob análise. É importante ressaltar que todo o procedimento de propagação das coordenadas e MVC estão no sistema cartesiano, resultado fornecido nos processamentos ao utilizar o *Bernese*. O *TCGunesp*, portanto, utiliza as coordenadas e MVC no sistema cartesiano e obtém seus equivalentes no SGL e no SB, seguindo as formulações presentes nas seções 3.5.1 e 3.5.2, respectivamente. Através das coordenadas e matriz cofatora

a posteriori (consequentemente a MVC a posteriori também) são realizados os cálculos do TCG nos moldes do apresentado na seção 3.6.

O *TCGunesp* também faz um cálculo sobre os valores de desvio-padrão das coordenadas das estações de cada seção em cada campanha (Arquivo 6) e os valores das variâncias provenientes da MVC no SGL na época de comparação. Como primeira etapa deste cálculo, são obtidas as variâncias das repetitividades entre as seções em cada eixo coordenado a partir do arquivo de comparações introduzido no *TCGunesp*. Depois é realizado o cálculo da média e desvio-padrão das variâncias da repetitividade e que são utilizados para obter uma resultante entre estes valores. A partir da MVC proveniente do processamento GPS, são calculadas as variâncias médias e suas incertezas, formando assim uma outra resultante. Dividida a resultante da repetitividade com a resultante da MVC, tem-se um coeficiente de escala de cada eixo coordenado. Com a informação sobre o valor de cada coeficiente de escala dos eixos no SGL, realiza-se um cálculo que obtém uma nova MVC reescalada no SGL ao multiplicar as componentes da MVC original pelos seus coeficientes de escala em cada eixo correspondente. As covariâncias associadas a diferentes eixos (e. g., eixos: N e UP) são multiplicadas pela média dos coeficientes de escala destes eixos. As MVC original no SGL, e a calculada a partir dos coeficientes de escala de cada eixo, são abordadas pelo *TCGunesp* e os resultados do TCG citados na seção 6.2. Como a MVC do SB provém da MVC do SGL, são também mostrados os TCG neste sistema sobre as duas formas calculadas. Um organograma é mostrado na Figura 13 a fim de facilitar o entendimento de cálculo da MVC reescalada.

Figura 13 – Organograma de cálculo da MVC reescalada.



Conforme pôde ser percebido, aplicar coeficientes de escala sobre a MVC é uma tentativa de correção do modelo estocástico, pois, os desvios-padrão associados as coordenadas em um processamento de dados GNSS tendem a ser muito otimistas, ou seja, os valores de precisão encontrados geralmente são menores do que a realidade (MONICO, 2008)

Ao examinar a geometria da barragem de concreto da UHE utilizada, foram identificados dois eixos principais da mesma. Visando criar o SB que realmente retrate seu eixo e sua perpendicular, o *TCGunesp* cria dois SB (SB 1 e SB 2) para que cada MS seja avaliado sobre um sistema mais condizente a sua localização ao longo da barragem.

É realizado o TCG 3D para os sistemas de coordenadas cartesianas, SGL e SB; o TCG 2D planimétrico para os eixos que compõem o plano do horizonte local no SGL e SB; e o TCG 1D no eixo perpendicular à barragem (montante-jusante) no SB. O SGL é realizado pelo

método de Soler, Han e Smith (2011) e também pelo método de Burkholder (1999). Quando as estações distam entre si grandes distâncias, o método de Soler, Han e Smith foi o utilizado. Já no caso dos processamentos onde as estações estão próximas entre si, foi utilizada a metodologia de Burkholder, sendo que a MVC proveniente desse método é que foi utilizada para a propagação da MVC no SB.

6. RESULTADOS

Esta seção é dividida em duas subseções, nas quais são apresentados os resultados referentes ao processamento de dados GPS de quatro campanhas realizadas e o TCG em três comparações envolvendo a primeira campanha de levantamento de dados sobre a barragem de concreto da UHE. Cada seção é dividida em três outras subseções que representam os resultados encontrados envolvendo o posicionamento dos: Pilares, RNP e MS.

6.1 Resultados dos processamentos de dados GPS

Nos resultados referentes ao posicionamento GPS realizado, existem muitas etapas de processamento, conforme apresentado na seção 5.2, dos quais derivam diversos resultados a serem analisados. A fim de sintetizar estes resultados obtidos, apresentam-se alguns dos elementos considerados mais importantes no processamento dos dados GPS. São mostrados, portanto, informações sobre linhas de base, resolução das ambiguidades, as comparações entre as soluções das seções, o desvio-padrão a posteriori no ajustamento final de uma campanha e os coeficientes de escala obtidos. Cada uma das etapas da Figura 12, é comentada para as quatro campanhas em conjunto. As tabelas foram resumidas na presente seção e outras tabelas mais completas podem ser consultadas nos Apêndices.

A taxa de resolução das ambiguidades de todos os processamentos GPS realizados ultrapassou os 70%, especialmente para as linhas de base mais curtas, nas quais muitas vezes obteve-se médias de 95% de resolução das ambiguidades. Foi possível identificar que todas as seções utilizadas no processamento final para obtenção das coordenadas e desvios-padrão dos Pilares e RNP estiveram dentro dos limites de tolerância de 5 mm para cada componente da horizontal e 10 mm para a componente vertical, quando feitas as comparações entre as coordenadas de cada seção com uma média entre as mesmas. Isso não ocorreu na etapa de obtenção das coordenadas dos MS, nos quais algumas estações geodésicas ultrapassaram tais limites, especialmente na componente altimétrica. Teve somente um caso em que uma das componentes planimétricas esteve além dos 5 mm esperados e que não houve a possibilidade do melhoramento da solução. Devido aos valores encontrados nas comparações entre coordenadas das seções de uma campanha e os observados como desvios-padrão das

coordenadas de uma solução final da campanha, apresenta-se, /nesta seção dos resultados do processamento GPS, o coeficiente de escala em cada eixo. Este é um cálculo realizado pelo *TCGunesp*, porém traz uma grande perspectiva sobre a discrepância encontrada na solução final de cada campanha com relação à o que foi encontrado na prática, aos serem realizadas seções de levantamentos GPS em uma campanha. Em todos os processamentos GPS, na última etapa para se obter uma solução única, os valores de desvio-padrão a posteriori estiveram próximos ao valor a priori selecionado.

6.1.1 Posicionamento dos Pilares

A primeira etapa do processamento dos dados GPS realizado nessa dissertação é o cálculo das coordenadas das estações denominadas como Pilares. Cada uma das quatro campanhas tiveram os dados rastreados durante 8h em três diferentes dias, resultando três seções de processamento GPS. Nas quatro campanhas foram criadas as mesmas seis linhas de base, pré-selecionadas pelo autor, para cada seção.

Os dados dos Pilares foram processados utilizando dados de quatro estações da RBMC tendo suas coordenadas como injeção do ajustamento final do processamento. Com a criação das linhas de base, foram identificadas as ambiguidades que foram fixadas através do método QIF, em quatro linhas de base, e pela técnica L53, em duas linhas de base. A Tabela 1 indica um percentual de resolução de ambiguidades muito próximos nas quatro campanhas, que variou apenas 2%. Ao examinar a mesma tabela é possível visualizar que, pela técnica L53, a resolução das ambiguidades foi maior do que pelo método QIF, algo já esperado por se tratar de ambiguidades pertencentes a linhas de base com comprimentos menores do que as encontradas pelo método QIF. Em média, 95,6% das ambiguidades foram resolvidas utilizando a técnica L53, enquanto obteve-se 82,4% de resolução das ambiguidades pelo método QIF na média das quatro campanhas, o que indica 89,2% de resolução total das ambiguidades, conforme a Tabela 2. Informações mais completas sobre os resultados obtidos na etapa de resolução das ambiguidades podem ser observados nos Apêndices A, G, M e S.

Tabela 1 – Taxa de resolução das ambiguidades no posicionamento dos Pilares.

Método	Campanha 1 (%)	Campanha 2 (%)	Campanha 3 (%)	Campanha 4 (%)
QIF	81,6	84,2	83,1	82,4
L53	95,1	96,4	94,2	96,6
Média	88,3	90,3	88,7	89,5

Tabela 2 – Média final de resolução das ambiguidades no posicionamento dos Pilares.

Método	Média
QIF	82,8
L53	95,6
Total	89,2

Resolvidas as ambiguidades, procedeu-se o processamento até a obtenção de uma solução de cada seção. A partir das coordenadas das seções, obteve-se a média e calculou-se os resíduos, para então obter o desvio padrão, que neste caso representa a repetitividade da solução. A partir desses resultados, realiza-se uma análise inicial da qualidade da solução. Verifica-se se nenhuma destas ultrapassam o limiar de 5 mm na componente planimétrica e de 10 mm na vertical (UP). A Tabela 3 apresenta os desvios-padrão das soluções dos Pilares. Em geral a componente UP foi a que encontrou maiores valores de desvio-padrão, como esperado. As componentes horizontais tiveram valores de desvios-padrão bastante próximos entre si.

Tabela 3 – Desvio-padrão dos resíduos das seções do posicionamento dos Pilares.

Estação	Eixo	Campanha 1 (mm)	Campanha 2 (mm)	Campanha 3 (mm)	Campanha 4 (mm)
PI01	N	4,61	2,54	4,02	0,83
	E	1,26	3,74	3,32	2,61
	UP	1,63	5,20	10,26	3,29
PI02	N	4,99	2,07	4,58	0,87
	E	1,94	3,39	2,29	1,52
	UP	2,30	8,40	0,40	5,91
PI03	N	2,30	0,40	2,18	1,65
	E	2,88	1,98	3,87	0,95
	UP	12,95	7,21	4,47	5,66

A maior parte dos valores indicados na Tabela 3 mostram desvios-padrão inferior ao estabelecido. Entretanto, os desvios-padrão de PI03 e PI01 na componente UP das

campanhas 1 e 3, respectivamente, estiveram acima dos 10 mm (em negrito). Isso não indicou ser um problema, pois, conforme pode ser visto nos Apêndices B e N, a diferença das coordenadas de cada solução com relação a média das mesmas estão dentro do esperado. Os Apêndices citados, mais os Apêndices H e T, fornecem informações sobre as soluções que foram excluídas.

A solução final de cada campanha, proveniente do empilhamento das equações normais da solução de cada seção é apresentada na Tabela 4. É possível observar que todas as campanhas tiveram o desvio-padrão a posteriori menor do que os 2 mm estipulados como desvio-padrão a priori. Em média, o desvio-padrão a posteriori alcançado foi de 1,735 mm.

Tabela 4 – Desvio-padrão a posteriori da solução final do posicionamento dos Pilares.

	Campanha (m)			
	1	2	3	4
σ posteriori	0,00191	0,00174	0,00171	0,00158
σ posteriori médio	0,001735			

Foram realizados os cálculos dos coeficientes de escala entre as variâncias de cada componente, a partir da repetitividade das soluções das seções e oriundo da MVC dos pontos, ambos no SGL. Tais valores estão mostrados na Tabela 5. Pode-se observar uma grande diferença entre os dois tipos de variâncias. Como pode ser visto através da Tabela 5, os valores encontrados a partir das comparações das coordenadas de cada seção são muito maiores que os informados pela MVC das coordenadas. No eixo N, a campanha 3 tem uma variância, advinda da MVC, 45 vezes menor que o apresentado através das comparações entre as seções. No eixo E, a campanha 2 teve uma diferença entre essas variâncias ainda maior, no qual a resultante das variâncias da repetitividade foi 54 vezes maior que a mesma resultante obtida através da MVC. O eixo UP foi o que apresentou menores mudanças neste sentido, com valores variando entre 6 a 10 vezes. A campanha 4 foi a que se manteve mais comportada nessas diferenças citadas, a qual, a resultante média da variância sobre a repetitividade foi aproximadamente 7 vezes maior que sua equivalente calculada pela MVC. Ao contrário da campanha 4, tem-se a campanha 2, cuja a resultante dos coeficientes de escala nos três eixos foi quase 70 vezes acima da esperada pela MVC.

Tabela 5 – Coeficientes de escala das variâncias do posicionamento dos Pilares.

Eixo	Campanha			
	1	2	3	4
N	27,56	40,94	45,00	1,60
E	2,78	54,42	14,26	1,22
UP	8,24	10,62	8,15	6,65
Resultante	28,90	68,92	47,90	6,95

6.1.2 Posicionamento das RNP

O posicionamento GPS das RNP foi realizado com o auxílio dos dados GPS obtidos dos Pilares concomitantemente. Todos os dados também foram obtidos durante três diferentes dias nos quais o receptor esteve coletando observações GPS durante 8h em cada dia, resultando em três seções de processamento.

Nesse processamento, utilizou-se a estratégia OBS-MAX como requisito para serem criadas as linhas de base. Devido ao uso dessa estratégia, não são todas as linhas de base das seções e campanhas que se repetem, ocorrendo até variação da quantidade das linhas de base envolvidas no processamento dos dados.

Nessa etapa do processamento, todas as linhas de base formadas são curtas, menores que os 5 km de extensão. Devido a esses comprimentos, a técnica L12 de resolução das ambiguidades foi a selecionada pelo *script* de processamento dos dados GPS em todas as linhas de base. Na Tabela 6, pode ser observado que em todas as quatro campanhas houve uma alta taxa de resolução das ambiguidades, a qual alcançou os 98,1% de fixação média. Maiores detalhes sobre as linhas de base formadas e a resolução de ambiguidades são encontrados nos Apêndices C, I, O e U.

Tabela 6 – Taxa de resolução das ambiguidades no posicionamento das RNP.

Método	Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3	Campanha 4
	(%)	(%)	(%)	(%)
L12	98,0	99,0	97,8	97,6
Média das 4 campanhas	98,1			

Ao serem comparadas as coordenadas finais de cada solução das RNP, pode ser observado, pela Tabela 7, que a variação entre as coordenadas das soluções é menor do que a

observada no posicionamento dos Pilares. Na componente N, os desvios-padrão variaram entre 0,48 mm (RNP2 da campanha 2) e 2,22 mm (RNP1 da campanha 1). No eixo E, o menor desvio-padrão encontrado foi na campanha 4, o qual alcançou 0,50 mm no RNP1 e 0,74 mm no RNP2. Quanto a componente vertical, em todas as campanhas para ambas as RNP, o desvio-padrão esteve abaixo dos 5 mm, exceto na RNP1 da campanha 2, cujo desvio-padrão chegou a 8,06 mm, o que, mesmo assim, indica um valor menor que o limite dos 10 mm escolhidos nessa componente. Segundo o Apêndice J, é possível visualizar que -8,72 mm da terceira seção de dados da campanha 2 foi a maior discrepância para a média das coordenadas encontradas nessa componente. Os Apêndices D, P e V mostram as outras comparações realizadas entre as soluções de cada seção.

Tabela 7 – Desvio-padrão dos resíduos das seções do posicionamento das RNP.

Estação	Eixo	Campanha (mm)			
		Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3	Campanha 4
RNP1	N	2,22	1,02	1,87	1,55
	E	2,17	0,67	1,40	0,50
	UP	4,13	8,06	3,01	2,39
RNP2	N	1,06	0,48	1,73	0,86
	E	1,70	1,96	2,45	0,74
	UP	1,00	4,06	4,47	2,53

Terminada a etapa de comparação entre as coordenadas advindas da solução final de cada seção, realiza-se o cálculo da solução única. A Tabela 8 apresenta o desvio-padrão a posteriori da solução final de cada campanha. O valor médio entre essas estatísticas é de 1,895 mm, um pouco acima da média encontrada ao ser feito o posicionamento dos Pilares.

Tabela 8 – Desvio-padrão a posteriori da solução final do posicionamento das RNP.

	Campanha (m)			
	1	2	3	4
σ posteriori	0,00182	0,00156	0,00158	0,00150
σ posteriori médio	0,001615			

Com os dados referentes as comparações entre coordenadas de cada seção e a MVC das coordenadas da solução final, foi possível o cálculo do coeficiente de escala em cada eixo. Os resultados para cada campanha são mostrados na Tabela 9 onde é possível verificar que a resultante entre a média e o desvio-padrão das variâncias é maior na comparação das

coordenadas das seções do que se esses valores são retirados da MVC. Porém, em todas as campanhas este valor foi menor do que os observados no posicionamento GPS dos Pilares nas componentes horizontais. O maior valor observado na Tabela 9 foi de 19,72 na componente UP para a campanha 2, que seguiu tendo a maior resultante para os três eixos coordenados do SGL, alcançando 26,69 mm.

Tabela 9 – Coeficientes de escala das variâncias do posicionamento das RNP.

Eixo	Campanha			
	1	2	3	4
N	6,15	11,43	8,47	1,48
E	2,59	13,88	4,76	0,61
UP	2,71	19,72	4,44	10,10
Resultante	7,21	26,69	10,68	10,23

6.1.3 Posicionamento dos MS

A partir da solução final do processamento dos dados das RNP foi possível o processamento dos dados dos 48 MS. Devido a motivos operacionais, ocorreram variações nas coletas dos dados, como a quantidade de dias, seções e antenas na coleta dos dados destes MS ao longo das 4 campanhas. Essas mudanças também ocasionaram diferentes linhas de base formadas e a quantidade destas em uma seção. Como os dados foram coletados em média por duas horas nas 4 campanhas, existem várias seções de coletas de dados ao longo de um dia de trabalho das equipes de campo. Para facilitar o processamento dos dados, considerou-se como uma seção única, todos os MS que foram coletados durante um mesmo dia, pois as RNP coletaram dados continuamente, mesmo durante o período de mudança das antenas, de um MS para outro.

Na Tabela 10 observa-se que a quantidade de seções aumentou de 16 para 20 entre as campanhas 1 e 4. De acordo com a mesma tabela, a quantidade média de ambiguidades identificadas por seção foi 411,3, um valor que variou entre 378,4 e 462,4 nas campanhas 4 e 2.

Tabela 10 – Quantidade de seções na campanha de posicionamento dos MS.

	Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3	Campanha 4
Quantidade de seções	14	15	16	20
Quantidade média ambiguidades	384,6	462,4	419,9	378,4
Média	411,3			

A resolução destas ambiguidades realizou-se pela técnica L12, mais uma vez por serem ambiguidades provenientes de linhas de base curtas. Em média, 97,6% das ambiguidades foram fixadas, e variação entre as taxas de resolução entre as campanhas é muito baixa, conforme indica a Tabela 11. Os Apêndices E, K, Q e X trazem maiores especificações sobre a resolução das ambiguidades no posicionamento dos MS para as 4 campanhas.

Tabela 11 – Taxa de resolução das ambiguidades no posicionamento dos MS.

Método	Campanha 1 (%)	Campanha 2 (%)	Campanha 3 (%)	Campanha 4 (%)
L12	97,4	98,0	97,9	97,3
Média das 4 campanhas		97,6		

A Tabela 12 informa os desvios-padrão obtidos através das comparações entre as seções das 4 campanhas. Novamente, valores em negrito representam o desvio-padrão acima dos 5 mm, planimétrico, e 10 mm, altimétrico. Como são muitos os MS envolvidos, essa tabela informa o desvio-padrão médio de cada campanha, tendo todos os MS como amostra.

Tabela 12 – Desvio-padrão dos resíduos das seções do posicionamento dos MS.

(continua)

Estação	Campanha (mm)											
	1			2			3			4		
	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
AM01	6,2	1,7	9,9	1,5	1,0	3,3	1,1	5,0	5,3	1,8	1,7	6,8
AM02	4,3	4,2	0,5	3,9	0,7	0,8	1,5	1,4	3,3	2,9	2,0	4,1
BC01	2,8	3,4	4,6	2,5	1,1	1,0	2,8	4,5	10,7	1,9	0,8	3,0
BC02	0,6	2,7	6,8	0,5	1,3	11,7	1,9	0,1	11,3	3,4	1,9	14,7
BC03	2,5	2,4	13,5	0,1	2,6	1,1	0,8	2,5	2,2	1,5	0,9	3,2
BC04	0,3	2,6	6,3	1,7	1,5	1,1	0,1	0,6	1,0	3,0	3,5	5,7
BC05	1,2	1,5	4,5	3,1	1,3	0,3	1,8	3,1	2,4	1,6	2,4	9,3

Estação	Campanha (mm)											
	1			2			3			4		
	N	E	U	N	E	U	N	E	U	N	E	U
BC06	3,4	1,7	5,8	0,7	2,3	0,3	2,6	3,0	9,3	2,0	1,9	10,0
BC07	1,4	2,6	7,3	1,3	2,1	3,2	2,3	2,3	1,1	1,8	1,1	15,1
BC08	1,3	2,9	5,0	2,4	1,9	3,4	0,8	2,4	1,7	1,8	2,4	6,0
BC09	4,7	3,9	3,4	1,2	0,7	8,7	0,5	0,1	3,7	1,5	3,4	14,6
BC10	1,1	0,0	2,0	0,0	0,4	1,4	0,6	0,1	1,2	0,2	0,3	2,5
BC11	2,1	3,2	0,3	2,9	0,6	2,6	1,5	2,6	5,9	0,2	0,1	5,2
BC12	1,6	2,1	1,6	1,2	2,4	2,6	1,2	0,5	2,1	0,4	0,1	6,8
BC13	1,0	2,6	2,1	0,3	1,9	2,6	0,3	0,8	1,4	1,1	1,5	5,5
BC14	0,7	0,8	4,0	2,4	2,3	3,5	1,3	1,4	1,7	0,8	0,8	8,7
BC15	1,3	2,5	16,0	0,8	1,5	1,5	2,9	3,8	9,6	2,5	2,3	7,4
BC16	1,6	2,5	2,1	1,6	2,3	4,7	2,5	1,8	5,8	0,6	1,3	3,4
BC17	2,2	3,1	4,9	2,5	1,0	2,2	1,2	0,5	1,5	2,4	0,5	2,9
BC18	0,3	1,8	0,1	1,9	0,8	3,1	2,5	0,4	2,1	0,5	0,7	3,4
BC19	0,9	0,7	2,7	1,3	2,6	6,1	0,5	0,0	0,8	1,8	0,4	2,3
BC20	2,5	3,7	13,6	0,2	1,3	8,0	1,3	0,2	1,3	0,1	1,0	3,4
BC21	2,2	2,8	11,0	0,8	0,3	4,0	0,8	1,2	2,8	1,7	0,8	3,9
BC22	1,2	2,2	10,7	2,3	2,6	3,1	3,1	3,7	8,7	2,6	3,1	6,2
BC23	1,7	1,9	8,3	1,1	0,9	5,0	0,5	1,5	3,8	0,9	1,5	9,3
BC24	0,2	1,2	4,2	0,8	2,1	3,4	1,9	0,3	4,6	1,7	0,5	3,2
BC25	0,2	1,1	4,5	2,5	2,8	9,0	2,0	2,9	4,7	2,9	2,5	5,7
CF01	1,1	2,8	1,7	1,1	1,7	7,7	3,2	2,8	9,0	2,7	0,1	3,5
CF02	3,2	1,0	3,8	0,3	0,9	4,6	1,3	2,3	4,5	2,8	4,3	10,3
CF03	0,5	2,9	0,5	1,5	2,0	1,1	1,6	1,4	0,8	0,2	2,4	0,2
CF04	1,8	2,8	5,7	2,5	1,0	3,5	3,2	0,6	21,4	1,8	2,6	8,7
CF05	0,1	2,0	1,9	0,3	1,2	1,5	0,5	0,2	1,1	1,4	3,1	7,9
MD01	0,2	0,7	6,8	0,9	0,5	14,3	0,2	1,3	5,9	0,9	2,2	3,6
ML01	1,9	4,8	12,2	0,4	0,7	0,8	3,5	2,7	9,9	0,5	0,3	1,9
RNP1	1,0	1,1	2,6	1,1	1,1	2,3	1,1	0,9	2,1	1,1	0,9	2,5
RNP2	1,0	1,1	2,6	1,1	1,1	2,3	1,1	0,9	2,1	1,1	0,9	2,5
VT01	0,9	1,1	19,8	3,0	2,9	6,2	0,0	1,8	2,6	2,0	1,2	2,4
VT02	5,3	2,3	6,7	0,1	1,5	2,6	2,4	0,3	0,8	3,9	2,4	14,3
VT03	3,1	11,7	9,3	2,9	1,7	9,5	0,6	2,2	11,7	0,6	1,4	4,4
VT04	5,0	0,4	26,8	3,7	0,8	7,3	3,3	4,8	6,3	3,9	2,4	1,0
VT05	0,5	0,9	2,4	2,4	1,6	3,5	0,2	1,8	12,3	3,5	2,8	7,0
VT06	0,3	1,9	5,3	3,2	2,2	4,6	1,0	3,4	3,6	3,2	4,4	7,0
VT07	3,6	3,1	13,3	0,7	0,3	5,1	2,5	2,1	5,5	1,9	4,4	4,7
VT08	2,3	2,4	28,7	2,3	3,7	6,0	2,1	3,8	1,8	2,6	1,9	9,5
VT09	1,3	4,2	0,0	0,6	0,3	1,2	2,6	3,3	8,9	3,1	0,5	2,3
VT10	0,7	2,0	4,4	2,9	2,4	5,5	1,9	1,2	5,9	1,5	1,2	0,9
VT11	0,2	2,2	6,0	0,6	0,4	0,4	2,5	2,5	15,7	2,5	4,6	12,5
VT12	6,0	1,9	2,4	2,1	0,8	4,1	0,6	1,2	10,1	1,7	2,9	2,9

Ao final do processamento de cada seção das campanhas, fez-se o cálculo de uma solução final para cada uma destas. O desvio-padrão a posteriori encontrado pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 – Taxa de resolução das ambiguidades no posicionamento dos MS.

	Campanha (m)			
	1	2	3	4
σ posteriori	0,00196	0,00188	0,00191	0,00183
σ posteriori médio	0,001895			

Realizou-se o cálculo do coeficiente de escala, que é apresentado pela Tabela 15. Esta tabela indica quantas vezes maior foi a resultante sobre os valores obtidos utilizando os dados das comparações com relação aos dados advindos das MVC. Os valores observados estão próximos aos calculados na seção anterior, contudo, há, em geral, maiores valores, provavelmente ocasionados pelo menor tempo de rastreamento dos dados da BC se comparado ao rastreamento de dados no posicionamento das RNP. A Tabela 15 mostra que a campanha 1 teve uma maior resultante entre os coeficientes de escala, chegando a ser 20 vezes maior a resultante proveniente da comparação das coordenadas do que a resultante obtida da MVC. Em todas as campanhas, a componente altimétrica teve um maior coeficiente de escala do que as componentes horizontais.

Tabela 15 – Coeficientes de escala das variâncias do posicionamento dos MS.

	Campanha (mm)			
Eixo	1	2	3	4
N	7,63	9,07	5,27	2,92
E	7,56	6,13	4,50	1,30
UP	17,62	9,32	12,19	11,48
Resultante	20,64	14,37	14,02	11,92

6.2 Resultados dos TCG pelo *TCGunesp*

A presente seção é dividida em três subseções as quais representam as análises estatísticas pelo TCG do posicionamento GPS dos Pilares, RNP e MS. Estas comparações

abordam a primeira campanha com as outras três campanhas. Todos os resultados do TCG 3D, são idênticos no SGL e SB, pois se trata de uma resultante da discrepância das três componentes possíveis em um espaço tridimensional. O mesmo pode ser observado sobre o resultado entre o TCG 2D entre o SGL e o SB, pois a única diferença entre esses sistemas é a orientação do plano do horizonte local. Por este motivo, na seção 6.2.1 são apresentados o TCG 3D, TCG 2D (planimétrico) e TCG 1D (altimétrico) no SGL, cujos eixos são definidos sobre cada estação pertencente ao levantamento (SOLER, HAN, SMITH, 2011). Na seção seguinte, o TCG é realizado também em 3D, 2D e 1D (altimétrico), no SGL, porém com a orientação dos eixos definida por somente uma das estações envolvida no monitoramento. Na seção 6.2.3, que envolve os MS, são realizados também o TCG 3D, TCG 2D (planimétrico) e TCG 1D (altimétrico), porém sobre o SB. Foram criados os SB 1 e SB 2, pois melhor se adequava a geometria da BC, todavia os resultados são especificados em apenas uma tabela como se fossem um único SB, para facilitar a visualização dos resultados. No SB 1 estão presentes 8 MS: AM01, AM02, CF01, CF02, CF03, CF04, CF05 e ML01. A rotação para obter as coordenadas dos pontos no SB1 é dada através dos MS AM01 (origem) e ML01 (orientação). No SB 2 estão presentes os outros 39 MS e também o ML01, pois este é o MS origem do SB 2, cuja orientação para a formação deste novo sistema de coordenadas é dada pelo MS BC25. Além dos TCG já especificados, na seção 6.2.3 também foi feito o TCG 1D (eixo do fluxo), para abordar o eixo a qual está submetida a maior carga de força d'água sobre a barragem.

Em todas as subseções são apresentados resultados derivados da utilização da MVC fornecida diretamente pelo processamento de dados GPS e resultados obtidos ao se utilizar a MVC calculada a partir do coeficiente de escala calculado através da comparação entre as soluções de cada seção de uma campanha. Ao utilizar o *TCGunesp* para as três análises comparativas entre campanhas, foram escolhidas as mesmas estações para definir quais as estações que definem o SGL e os SB 1 e SB 2. A época para qual todas as coordenadas e MVC foram interpoladas também foi a mesma para todas as campanhas, no dia 27/12/2013.

Os resultados apresentados nesta seção mostraram que algumas discrepâncias calculadas nas comparações de uma mesma estação em diferentes campanhas estiveram acima do esperado pelo desvio-padrão obtido dos processamentos GPS. Quando ocorriam estes resultados, dificilmente a estação não tinha a hipótese nula rejeitada, quanto ao não deslocamento. Ao reescalar a matriz cofatora utilizando os coeficientes de escala, aumentou o número de estações que foram consideradas estáveis pelo TCG.

6.2.1 TCG realizado sobre os resultados dos Pilares

A estabilidade dos Pilares foi testada para as campanhas 1 e 2, 1 e 3, e 1 e 4 pelo TCG no SGL. Todavia, é importante fazer uma análise quanto aos elementos que compõem a equação do TCG, Equação (36), para podermos aferir, posteriormente, os resultados obtidos pelo TCG.

Os elementos no denominador da Equação (36) são valores que não variam ao realizar o TCG sobre as estações presentes em duas campanhas. Porém, os elementos do numerador da mesma equação são equivalentes as discrepâncias observadas em cada estação na comparação entre as coordenadas das duas campanhas e o bloco da diagonal da inversa da matriz cofatora a posteriori da discrepância, sendo que estes elementos são referentes a cada estação individual presentes nas campanhas de monitoramento. Devido a este caráter local, é mostrado a seguir a Tabela 16 que informa: a discrepância entre as coordenadas obtidas nas comparações entre campanhas (coluna “ Δ ”); o desvio-padrão da discrepância calculado através da MVC das discrepâncias das comparações entre campanhas (coluna “ $\sigma\Delta_o$ ”), que por sua vez é calculada diretamente da soma das MVC da campanhas (assim como para a matriz cofatora na Equação 36); e o desvio-padrão da discrepância calculado a partir da MVC multiplicada pelo coeficiente de escala obtido para compatibilizar a solução final da MVC com a solução de cada seção que compõe uma campanha “ $\sigma\Delta_r$ ”. Não há problema em informar nesta tabela valores provenientes da MVC ao invés da matriz cofatora, pois, a diferença entre as mesmas é a multiplicação pela variância a posteriori, apenas.

Tabela 16 – Discrepâncias e desvios-padrão original e reescalado no SGL nas comparações entre os resultados do processamento GPS dos Pilares.

Estação	Eixo	Campanhas (mm)								
		1 e 2			1 e 3			1 e 4		
		Δ	$\sigma\Delta_o$	$\sigma\Delta_r$	Δ	$\sigma\Delta_o$	$\sigma\Delta_r$	Δ	$\sigma\Delta_o$	$\sigma\Delta_r$
PI01	N	6,0	0,9	4,7	1,4	1,0	5,6	6,5	1,4	4,4
	E	-5,7	1,4	3,9	-6,6	1,6	4,2	-6,1	2,5	3,3
	UP	7,9	4,3	12,8	-4,7	4,6	13,3	8,2	4,3	11,9
PI02	N	0,7	0,9	5,0	-2,5	0,9	5,7	0,5	1,4	4,4
	E	-4,9	1,4	4,3	-3,7	1,6	4,2	-4,8	2,6	3,3
	UP	-3,2	4,6	13,8	-21,8	4,6	13,2	-1,1	4,5	12,5
PI03	N	-0,6	0,9	4,9	-3,6	1,0	5,8	0,1	1,4	4,6
	E	-7,4	1,4	4,0	-2,9	1,6	4,2	-5,5	2,6	3,3
	UP	-31,3	4,4	13,2	-17,6	4,9	13,9	-19,4	4,6	12,8

Conforme mostra a Tabela 16, as discrepâncias de uma estação são valores que variam entre 0,1 mm a 31,3 mm nos três eixos do SGL. Tendo como exemplo a componente de UP de PI03 na comparação entre as campanhas 1 e 2 onde foi observado o valor 31,3 mm de discrepância citado, o desvio-padrão desta discrepância foi de apenas 4,4 mm ao ser calculada através das MVC das duas campanhas sem utilizar o coeficiente de escala. Como a MVC das discrepâncias é obtido através de uma soma entre a MVC da campanha 1 e da campanha 2, significa que, o desvio-padrão na componente UP de PI03 está em torno dos 2 mm em cada uma das campanhas (poderia ser, e. g., 2,2 mm de desvio-padrão para cada uma das campanhas). Portanto, ao obter o posicionamento dos Pilares com este nível de precisão, esperava-se que, ao ser feita uma nova campanha de coleta de dados GPS sobre os Pilares, a discrepância calculada entre a coordenada UP deste mesmo Pilar, estaria mais próximo a estes 4,4 mm, o que não foi observado na prática. Obviamente, foi comentado o pior cenário presente na Tabela 16 e existem valores de discrepâncias que seguem valores mais esperados, como o caso do mesmo PI03 na componente N da comparação entre as campanhas 1 e 4, que teve como discrepância o valor de 0,1 mm, com o desvio-padrão 1,4 mm. Entretanto, na maioria das comparações, a discrepância encontrada está acima do desvio-padrão da mesma. Realizado o cálculo da MVC da discrepância que é influenciada pelos coeficientes de escala, os mesmos valores de discrepâncias observados estão mais condizentes com o novo valor de desvio-padrão das discrepâncias. Ainda existem casos em que há uma grande diferença entre a discrepância observada e o “ σ_{Δ_r} ”, porém esta diferença é menor. Na sequência do texto onde são citados os dois tipos de desvio-padrão obtidos, estes serão tratados como desvio-padrão original da discrepância, calculado a partir das MVC das duas campanhas diretamente do processamento GPS, e desvio-padrão reescalado da discrepância, quando obtidos a partir das variâncias presentes na MVC que foram multiplicadas pelos coeficientes de escala. Da mesma maneira, são citados em alguns momentos do texto matriz cofatora original e matriz cofatora reescalada, MVC original e MVC reescalada, TCG original e TCG reescalado.

O TCG 3D no SGL foi realizado a partir dos resultados do posicionamento dos Pilares nas três comparações entre as quatro comparações. Utilizando a matriz cofatora obtida pelo processamento de dados GPS, tem-se Tabela 17, referente ao TCG 3D no SGL, na qual “RE” indica que a hipótese nula do teste foi rejeitada e “AC” indica que a mesma hipótese foi aceita.

Tabela 17 – TCG 3D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento dos Pilares utilizando a matriz cofatora original.

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0,1	0,05	0,01	0,1	0,05	0,01	0,1	0,05	0,01
PI01	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
PI02	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
PI03	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE

Conforme indica a Tabela 17, todas as comparações sobre os Pilares PI01 e PI03 foram rejeitadas na comparação entre as campanhas. Para o Pilar PI02, sua hipótese nula foi rejeitada nos testes realizados entre as campanhas 1 e 2 e 1 e 3, porém, aceita na comparação entre as campanhas 1 e 4 para as três significâncias. Esse comportamento é explicado ao ser observado na Tabela 16 que as comparações entre as campanhas 1 e 2 e 1 e 3 possuem maiores discrepâncias calculadas e menores desvios-padrão normal. Isso ocorre pois, quanto menor for o valor da discrepância sobre uma mesma estação em campanhas diferentes, é maior a probabilidade desta estação ter a hipótese nula do TCG aceita, e quanto maior for a incerteza de uma estação, aumenta a probabilidade de se afirmar que, com os resultados obtidos de discrepância, não se pode confirmar estatisticamente que esta estação deslocou ao longo do tempo, ou seja, a hipótese nula é aceita. Este equilíbrio entre discrepância calculada e incerteza da discrepância somente foi alcançado na comparação das campanhas 1 e 4.

Ao utilizar o coeficiente de escala para criar uma nova MVC das discrepâncias no SGL, os resultados da Tabela 17 mudam sensivelmente. A Tabela 18 informa se os TCG realizados foram aceitos ou não, feita essa mudança na MVC.

Tabela 18 – TCG 3D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento dos Pilares utilizando a matriz cofatora reescalada.

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0,10	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01
PI01	RE	AC	AC	AC	AC	AC	RE	RE	RE
PI02	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
PI03	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	AC	AC

Segundo a Tabela 18, PI02 foi tido como estável nas três comparações entre campanhas para as três significâncias testadas, algo que não ocorre com PI01 e PI03, que foram

tidos como estáveis somente nas comparações entre as campanhas 1 e 3 para todas as significâncias testadas. O TCG 3D sobre PI01 entre as campanhas 1 e 2 indica que esse Pilar somente pode ser considerado estável a partir da significância 0,05, enquanto o PI03, para a mesma comparação, tem sua hipótese nula rejeitada para todas as significâncias. Este comportamento se inverte na comparação entre as campanhas 1 e 4, na qual PI01 é tido como instável para todas as significâncias, enquanto PI03 é considerado estável pelo teste para as significâncias 0,05 e 0,01. Estes resultados podem ser analisados através da Tabela 16, que indica a deterioração do desvio-padrão normal ao ser utilizado o coeficiente de escala nas matrizes cofatoras e MVC das campanhas.

Ao realizar o TCG 2D planimétrico, as discrepâncias na componente UP e seus elementos correspondentes na matriz cofatora a posteriori são eliminados. A Tabela 19 mostra os resultados do TCG 2D sem utilizar o coeficiente de escala nas matrizes cofatoras.

Tabela 19 – TCG 2D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento dos Pilares utilizando a matriz cofatora original.

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0,10	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01
PI01	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
PI02	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC
PI03	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC

A tabela acima indica que todas as comparações sobre os Pilares foram rejeitadas pelo teste proposto para a significância 0,10 nas três comparações entre campanhas. Apenas na comparação entre as campanhas 1 e 4, o TCG foi aceito para PI02, com α a partir de 0,05, e PI03, com α a partir de 0,01.

Ao utilizar o coeficiente de escala para criar uma nova MVC do SGL, os resultados observados pela Tabela 19 mudam bastante. A tabela 20 informa se os TCG realizados foram aceitos ou não, feita essa mudança nas matrizes cofatoras.

Tabela 20 – TCG 2D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento dos Pilares utilizando a matriz cofatora reescalada.

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0,10	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01
PI01	RE	RE	AC	AC	AC	AC	RE	RE	RE
PI02	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
PI03	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC

Conforme ocorreu no TCG 3D, ao ser aplicado o coeficiente de escala sobre as MVC das campanhas, a rejeição da hipótese nula diminui nos Pilares em questão. Como pôde ser observado, PI02 foi considerado estável nas três comparações entre campanhas, ao se utilizar essa nova metodologia. O Pilar PI01 teve o TCG aceito nas campanhas 1 e 3 para todas as significâncias, indicando que não ocorreu deslocamento, porém, quando realizado o TCG entre as campanhas 1 e 2, o mesmo Pilar só foi tido como estável para a significância 0,01. No caso da comparação entre as campanhas 1 e 4, PI01 foi tido como deslocado ao longo do tempo para as três significâncias testadas. O Pilar PI03 foi considerado estável nas três comparações entre campanhas e, somente para 0,10 de significância entre as campanhas 1 e 2, essa estabilidade não é válida.

Foi realizado o TCG 1D no eixo UP, para avaliar a estabilidade vertical dos Pilares. A Tabela 21 indica os resultados encontrados quando usada a matriz cofatora normal.

Tabela 21 – TCG 1D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento dos Pilares utilizando a matriz cofatora original.

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0,10	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01
PI01	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE
PI02	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
PI03	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE

Na comparação das campanhas 1 e 2 pelo TCG altimétrico, apenas PI02 teve o eixo UP considerado estável pelo teste. Quando comparadas as campanhas 1 e 3, PI02 passou a ser rejeitado pelo teste e, por sua vez, PI01 é que foi tido como estação estável. O comportamento mudou outra vez na comparação entre as campanhas 1 e 4, na qual apenas PI02, novamente, não teve sua hipótese nula refutada para os três níveis de significância testados. Ao observar a

Tabela 16, certamente o maior motivo pelo qual as hipóteses nulas sobre a estabilidade dos Pilares foram refutadas é devido a magnitude das discrepâncias alcançadas. O PI03, nas três comparações de coordenadas feitas, alcançou como discrepâncias 31,3 mm, 17,6 mm e 19,4 mm, valores altos se comparados aos desvios-padrão normais das discrepâncias obtidos que não ultrapassam os 5 mm nas mesmas três comparações. Com a Tabela 22 é possível avaliar o comportamento do TCG altimétrico a partir das matrizes cofatoras reescaladas com relação a matriz cofatora original. Esta tabela indica o aumento da aceitação da hipótese nula do TCG especialmente do PI01.

Tabela 22 – TCG 1D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento dos Pilares utilizando a matriz cofatora reescalada.

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0,10	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01	0,10	0,05	0,01
PI01	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
PI02	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
PI03	RE	RE	RE	RE	AC	AC	RE	RE	RE

Com a deterioração da matriz cofatora no SGL, as discrepâncias das coordenadas de PI01 nas três comparações entre as campanhas estiveram abaixo do desvio-padrão escalado, como indica a Tabela 16. Essa diminuição da precisão das coordenadas indicou que PI01 foi considerado estável altimetricamente em todas as significâncias testadas. Apesar da discrepância 17,6 mm no eixo UP para PI03 na comparação entre as campanhas 1 e 3, com a precisão sendo aumentada, a hipótese nula para 5% e 1% de significância não foi refutada, algo que não ocorre na comparação entre as mesmas campanhas para PI02 que, apesar do desvio-padrão escalado ser próximo ao encontrado para PI03, sua discrepância foi superior aos 20 mm.

6.2.2 TCG realizado sobre os resultados das RNP

Os resultados encontrados na seção anterior indicaram que, ao utilizar a matriz cofatora original na realização do TCG, especialmente o 2D, os Pilares não tiveram a hipótese nula aceita para uma significância de 10%. Portanto, o posicionamento deveria ser encerrado na etapa do posicionamento dos Pilares, concluindo que os mesmos não podem ser considerados estáveis, ou seja, não poderiam ser as referências no posicionamento relativo das RNP. No caso

de se utilizar a matriz cofatora reescalada, o PI02 foi considerado estável para todas as comparações entre campanhas para os 10% de significância, o que significa que somente este Pilar deveria ser utilizado como referência no posicionamento das RNP. Apesar disto, a fins de continuidade da pesquisa, realizou-se o TCG com os resultados provenientes do posicionamento das RNP mostrado na seção 6.1.2.

A Tabela 23 traz informações sobre as discrepâncias entre as coordenadas das RNP e os desvios-padrão original e reescalado destas discrepâncias para as três comparações propostas as quais são realizados os TCG no SGL. Percebe-se que, nesta tabela, as discrepâncias e os desvios-padrão são menores do que os observados na Tabela 16 referente as comparações entre coordenadas dos Pilares. A maior discrepância observada foi na RNP2 na comparação entre as campanhas 1 e 4 que alcançou os 15,8 mm, enquanto entre as componentes da horizontal a maior discrepância no eixo E da RNP2 na comparação entre as campanhas 1 e 3, com aproximadamente 6,7 mm. As diferenças entre os desvios-padrão original e reescalado também foi menor do que o observado na Tabela 16, como era esperado, pois a Tabela 5 e a Tabela 9 indicavam um maior coeficiente de escala no posicionamento dos Pilares, com relação ao posicionamento das RNP. Todas as informações presentes nesta seção referem-se ao SGL cujos eixos são definidos por uma única estação.

Tabela 23 – Discrepâncias e desvios-padrão original e reescalado no SGL nas comparações entre os resultados do processamento GPS das RNP.

Estação	Eixo	Campanhas (mm)								
		1 e 2			1 e 3			1 e 4		
		Δ	$\sigma\Delta_o$	$\sigma\Delta_r$	Δ	$\sigma\Delta_o$	$\sigma\Delta_r$	Δ	$\sigma\Delta_o$	$\sigma\Delta_r$
RN01	N	2,6	0,9	2,4	3,7	1,0	2,6	5,7	1,4	2,4
	E	-5,1	1,4	2,7	-5,4	1,6	2,9	-5,7	2,5	2,7
	UP	-3,8	2,7	7,5	-9,7	2,8	5,2	-8,6	2,7	6,0
RN02	N	4,7	0,8	2,2	1,6	0,9	2,5	4,4	1,4	2,3
	E	-5,2	1,4	2,7	-6,7	1,6	2,9	-3,8	2,5	2,7
	UP	-10,1	2,5	7,0	-14,0	2,7	4,9	-15,8	2,5	5,6

A realização do TCG 3D derivado da matriz cofatora normal sobre as RNP resultou na Tabela 24. Esta tabela indica que todas as RNP tiveram a hipótese nula do TCG rejeitada em todos os níveis de significância.

Tabela 24 – TCG 3D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento das RNP utilizando a matriz cofatora original.

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
RNP1	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
RNP2	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE

Ao ser deteriorada a matriz cofatora das coordenadas no SGL, um novo TCG 3D foi realizado e os resultados estão presentes na Tabela 25.

Tabela 25 – TCG 3D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento das RNP utilizando a matriz cofatora reescalada.

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
RNP1	AC	AC	AC	RE	RE	RE	RE	RE	RE
RNP2	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE

Como ocorreu pouca diferença entre o desvio-padrão reescalado e o desvio-padrão original, praticamente não houve diferença no TCG ao ser utilizada essa outra metodologia para a obtenção da matriz cofatora das discrepâncias entre as campanhas. Apenas a RNP1 foi considerada como estável para as três significâncias testadas por este TCG 3D na comparação entre as campanhas 1 e 2. Ao examinar a Tabela 23, é possível verificar que a discrepância das coordenadas da RNP1 nesta comparação é menor do que as observadas para as outras comparações e também menor com relação aos valores encontrados da RNP2. Já os desvios-padrão nesta comparação são um pouco maiores que os demais, indicando o porquê de sua hipótese nula não ter sido rejeitada para 10% de significância, enquanto todas as demais comparações tiveram a hipótese alternativa aceita, mesmo para 1% de significância.

O TCG 2D também foi realizado para avaliar a estabilidade das estações planimetricamente. A Tabela 26 traz os resultados obtidos deste teste utilizando a matriz cofatora normal das discrepâncias.

Tabela 26 – TCG 2D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento das RNP utilizando a matriz cofatora original.

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
RNP1	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
RNP2	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE

Assim como a Tabela 24, nenhuma das RNP passou pelo TCG 2D nas três comparações realizadas, portanto foram consideradas como instáveis. A Tabela 27 informa o TCG 2D realizado sobre as RNP utilizando a matriz cofatora reescalada.

Tabela 27 – TCG 2D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento das RNP utilizando a matriz cofatora reescalada.

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
RNP1	RE	RE	AC	RE	RE	RE	RE	RE	RE
RNP2	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE

O teste 2D foi semelhante ao realizado tridimensionalmente, porém, a RNP1, que na comparação entre as campanhas 1 e 2 não tinha a hipótese nula rejeitada nas três significâncias, Tabela 25, passou a ser considerada estável somente para o TCG com 1% de significância. Isto ocorreu, pois, a discrepância no eixo UP que foi retirado neste cálculo era menor que o observado no eixo E. Como esse eixo tinha um desvio-padrão reescalado aproximadamente três vezes maior do que os dos eixos que compõem o horizonte do local, tornou-se mais difícil a hipótese nula ter sido aceita pelo TCG.

Na Tabela 28 estão presentes os resultados referentes ao TCG altimétrico sobre as RNP nas três comparações que foram realizadas utilizando a matriz cofatora original. Os resultados indicam que somente a RNP1 na comparação entre as campanhas 1 e 2 não teve a hipótese nula rejeitada para 1% de significância. Este resultado corrobora com os comentados das tabelas anteriores, nos quais é possível observar que a componente UP nesta comparação para a mesma estação é a responsável por aumentar as chances de a hipótese nula do teste ser aceita.

Tabela 28 – TCG 1D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento das RNP utilizando a matriz cofatora original.

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
RNP1	RE	RE	AC	RE	RE	RE	RE	RE	RE
RNP2	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE

Na Tabela 29 é observado o TCG altimétrico para as mesmas comparações realizadas na tabela anterior, porém a partir de resultados advindos da matriz cofatora reescalada. Nesta tabela é observado que a RNP1 foi tida como estável para os três níveis de significância na comparação entre as campanhas 1 e 2. Nesta mesma comparação RNP2 é considerada estável para 1% de significância, o mesmo nível ao qual a RNP1 é considerada estável altimetricamente para a comparação entre as campanhas 1 e 4.

Tabela 29 – TCG 1D no SGL das comparações das campanhas de posicionamento das RNP utilizando a matriz cofatora reescalada.

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
RNP1	AC	AC	AC	RE	RE	RE	RE	RE	AC
RNP2	RE	RE	AC	RE	RE	RE	RE	RE	RE

6.2.3 TCG realizado sobre os resultados dos MS

Objeto de maior interesse da pesquisa, os MS também foram analisados quanto a possíveis deslocamentos ao longo do tempo. A mesma consideração inicial da seção anterior quanto a utilização de estações que não foram consideradas estáveis como referência no posicionamento GPS é válida na atual seção. Na atual etapa do TCG, foram feitos gráficos que mostram as discrepâncias encontradas sobre os MS no SB 2. Apesar de terem sido formados dois SB, não há problemas em mostrar o vetor de discrepâncias nas comparações entre campanhas em somente um dos SB (ou no SGL), uma vez que a diferença entre os dois sistemas é de uma rotação em torno do eixo UP. A escolha do SB 2 ao invés do SB 1 ocorreu pois esse é o SB que melhor representa a maioria dos MS. Na Figura 14, Figura 15 e Figura 16 são

mostradas as discrepâncias na comparação entre as campanhas 1 e 2, 1 e 3 e 1 e 4, respectivamente. A parte acima dos MS na figura representa a área a montante da UHE e abaixo dos MS representa a área a jusante da UHE.

Figura 14 – Discrepâncias no SB 2 entre as campanhas 1 e 2 nos MS.

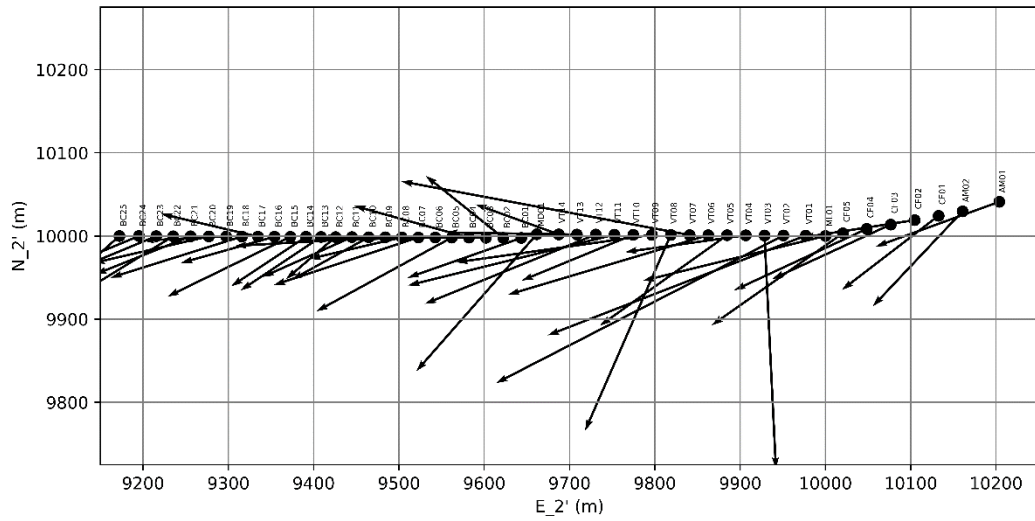


Figura 15 – Discrepâncias no SB 2 entre as campanhas 1 e 3 nos MS.

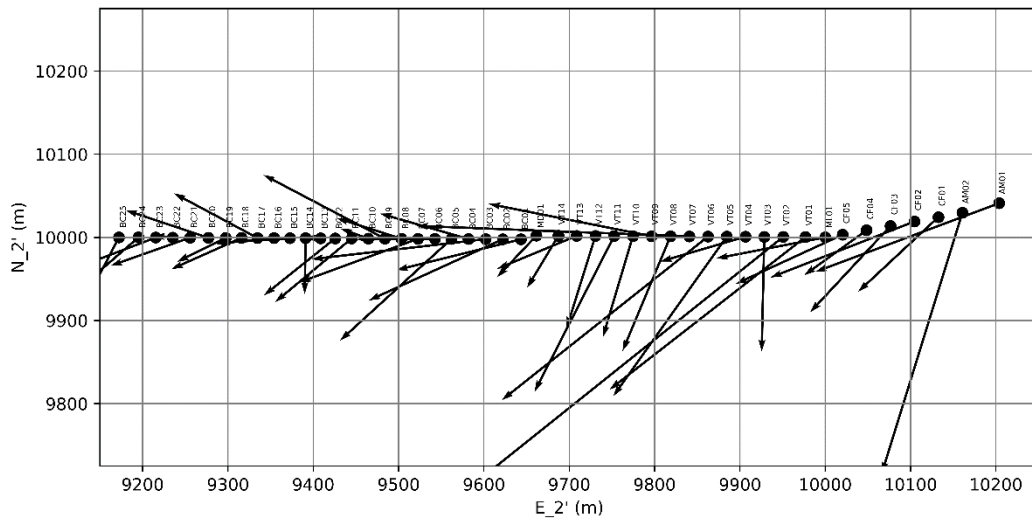
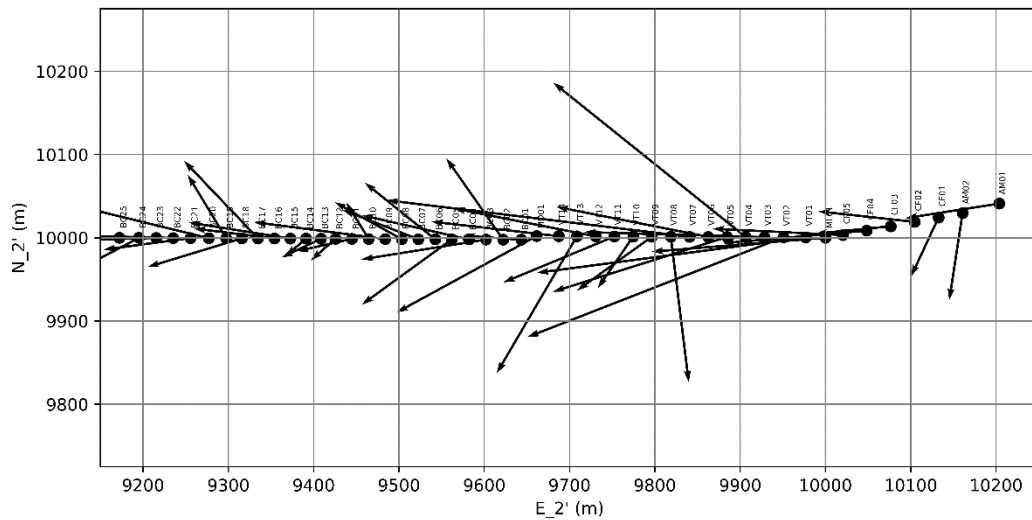


Figura 16 – Discrepâncias no SB 2 entre as campanhas 1 e 4 nos MS.



As setas das figuras indicam a direção e o sentido das discrepâncias planimétricas encontradas. Aplicou-se um coeficiente de escala sobre o comprimento das setas para que fosse possível a visualização das mesmas. Foi inviável colocar o nome dos MS em um tamanho que não fosse sobrepor um ao outro, por isso comenta-se que da direita para a esquerda estão presentes: AM01, AM02; CF01 ao CF05; ML01; VT01 ao VT14; MD01; e BC01 ao BC25.

Pelas figuras acima é possível verificar que ocorreram algumas diferenças na orientação dos vetores de discrepâncias nas comparações realizadas, além de sua magnitude. Porém, a maioria das discrepâncias tenderam entre os eixos negativos de E_2' e N_2' . Especialmente quanto ao eixo N_2' , os vetores de discrepância indicam o movimento no sentido do fluxo d'água, algo esperado devido a força que a carga d'água exerce sobre a barragem.

Em geral, percebe-se que os maiores vetores estão na parte a direita nas três figuras, em especial nos MS “VT”, provavelmente por serem os MS acima dos vertedouros. Os MS “BC”, que estão na esquerda das figuras, têm menores discrepâncias nas três comparações entre campanhas

Assim como nas outras subseções, os valores de discrepância, desvio-padrão original e desvio-padrão reescalado também são mostrados nesta seção. Como foram dois SB formados, a Tabela 30 e a

Tabela 31 mostram os resultados advindos das discrepâncias para cada um dos SB. Ao final das tabelas são indicados médias e desvios-padrão de cada eixo, pois, como são muitas as estações presentes na BC, facilita as explicações a seguir. O MS ML01 aparece em ambas as

tabelas porque foi este o selecionado como a estação que forneceu a orientação angular para formar o SB 1 e também é a origem do SB 2.

Tabela 30 – Discrepâncias e desvios-padrão original e reescalado nas comparações entre os resultados do processamento GPS dos MS no SB 1.

Estação	Eixo	Campanhas (mm)								
		1 e 2			1 e 3			1 e 4		
		Δ	$\sigma\Delta_o$	$\sigma\Delta_r$	Δ	$\sigma\Delta_o$	$\sigma\Delta_r$	Δ	$\sigma\Delta_o$	$\sigma\Delta_r$
AM01	N_1'	-1,2	1,6	4,4	-1,9	2,3	5,6	0,2	2,5	4,8
	E_1'	-7,6	1,7	4,6	-11,4	2,3	5,7	-5,6	2,4	4,9
	UP_1'	16,7	4,1	16,2	26,7	5,3	20,2	24,4	4,3	16,9
AM02	N_1'	-4,6	1,7	4,7	-14,5	2,0	5,0	-5,0	2,4	4,7
	E_1'	-6,3	1,7	4,7	-7,7	1,9	4,9	-1,8	2,3	4,7
	UP_1'	20,7	4,5	17,3	56,1	4,8	18,9	18,7	4,1	16,7
CF01	N_1'	-3,3	1,7	4,6	-3,5	1,9	4,9	-3,2	2,5	4,8
	E_1'	-6,4	1,7	4,7	-5,5	1,9	4,9	-2,3	2,4	4,9
	UP_1'	16,7	4,7	18,8	25,8	4,9	19,7	13,4	4,8	19,3
CF02	N_1'	0,3	1,6	4,5	-1,6	1,8	4,7	1,7	2,5	4,8
	E_1'	-6,7	1,7	4,7	-8,9	1,9	4,8	-5,4	2,4	5,0
	UP_1'	15,2	3,9	15,4	18,0	4,1	16,2	6,7	4,2	16,5
CF03	N_1'	-1,8	1,6	4,5	-4,2	1,8	4,7	0,4	2,5	4,8
	E_1'	-7,5	1,7	4,7	-5,6	1,9	4,9	-4,4	2,5	5,0
	UP_1'	17,5	3,8	14,8	26,5	4,1	16,1	10,0	4,8	17,9
CF04	N_1'	-2,1	1,6	4,4	-1,9	2,0	5,0	0,9	2,5	4,7
	E_1'	-8,4	1,6	4,5	-4,1	2,1	5,3	-8,4	2,4	4,8
	UP_1'	12,9	3,5	13,4	4,1	4,6	17,3	12,5	3,8	14,6
CF05	N_1'	-3,9	1,7	4,5	-1,7	1,9	4,7	1,9	2,4	4,7
	E_1'	-8,6	1,6	4,5	-6,7	1,8	4,7	-7,4	2,3	4,7
	UP_1'	9,6	3,6	13,6	24,6	4,0	15,4	9,7	3,6	14,0
ML01	N_1'	-0,5	1,7	4,6	0,0	2,0	5,1	1,2	2,6	5,0
	E_1'	-11,0	1,6	4,5	-6,5	1,9	4,9	-10,2	2,5	5,0
	UP_1'	21,1	4,0	15,9	8,4	4,6	18,1	25,8	4,6	17,8
Média N_1'		-2,1	1,7	4,5	-3,7	2,0	5,0	-0,2	2,5	4,8
σ N_1'		1,7	0,0	0,1	4,5	0,2	0,3	2,5	0,1	0,1
Média E_1'		-7,8	1,7	4,6	-7,1	2,0	5,0	-5,7	2,4	4,9
σ E_1'		1,6	0,0	0,1	2,3	0,2	0,3	2,9	0,1	0,1
Média UP_1'		16,3	4,0	15,7	23,8	4,5	17,7	15,2	4,3	16,7
σ UP_1'		3,8	0,4	1,8	15,7	0,5	1,8	7,1	0,4	1,7

Tabela 31 – Discrepâncias e desvios-padrão original e reescalado nas comparações entre os resultados do processamento GPS dos MS no SB 2.

(continua)

Estação	Eixo	Campanhas (mm)								
		1 e 2			1 e 3			1 e 4		
		Δ	$\sigma\Delta_n$	$\sigma\Delta_e$	Δ	$\sigma\Delta_n$	$\sigma\Delta_e$	Δ	$\sigma\Delta_n$	$\sigma\Delta_e$
BC01	N_2'	-2,4	1,7	4,5	-1,9	1,9	4,7	0,2	2,6	4,7
	E_2'	-6,7	1,4	4,0	-7,3	1,6	4,0	-3,4	2,0	4,0
	UP_2'	4,4	3,4	12,7	25,4	3,6	13,9	-5,1	3,5	13,5
BC02	N_2'	3,7	1,7	4,6	-3,7	1,9	4,8	4,9	2,6	4,7
	E_2'	-4,5	1,6	4,4	-7,9	1,6	4,1	-3,3	2,0	3,9
	UP_2'	3,6	3,9	13,8	18,7	3,9	14,6	7,8	3,4	12,8
BC03	N_2'	0,0	2,0	5,6	-1,2	2,1	5,6	-1,2	2,8	5,7
	E_2'	-9,8	1,8	5,1	-10,2	1,8	4,8	-7,3	2,2	4,9
	UP_2'	10,5	4,3	16,4	29,3	4,1	16,4	6,7	4,0	16,1
BC04	N_2'	1,9	1,6	4,4	1,5	1,9	4,9	1,5	2,6	4,7
	E_2'	-6,7	1,3	3,7	-5,2	1,6	4,0	-6,3	2,0	4,0
	UP_2'	9,4	3,2	12,2	21,6	3,7	14,2	8,3	3,6	13,6
BC05	N_2'	-4,4	1,7	4,6	-6,1	2,0	5,0	-3,9	2,6	4,9
	E_2'	-7,9	1,4	4,0	-6,5	1,6	4,2	-5,3	2,1	4,1
	UP_2'	10,6	3,7	14,2	25,7	4,2	16,1	-1,0	4,0	15,4
BC06	N_2'	-0,2	1,8	4,8	0,0	1,9	4,9	3,4	2,6	4,9
	E_2'	-7,9	1,4	4,0	-4,6	1,5	3,9	-4,1	2,0	4,0
	UP_2'	14,6	3,7	13,6	22,1	3,7	14,3	2,6	3,8	14,4
BC07	N_2'	-2,9	1,7	4,8	-2,6	2,0	5,0	1,8	2,7	5,1
	E_2'	-8,5	1,4	4,0	-6,9	1,5	4,0	-4,4	2,1	4,3
	UP_2'	13,4	3,4	12,9	29,3	3,5	13,9	-3,2	4,4	16,3
BC08	N_2'	-1,3	1,7	4,5	1,2	2,0	4,9	2,2	2,6	4,8
	E_2'	-5,4	1,4	3,9	-3,8	1,7	4,2	-3,9	2,0	4,0
	UP_2'	12,1	3,4	13,1	22,7	3,9	15,0	4,4	3,3	13,0
BC09	N_2'	-0,5	1,8	5,0	3,8	2,1	5,4	1,0	2,7	5,3
	E_2'	-8,8	1,5	4,2	-7,1	1,7	4,4	-7,7	2,1	4,4
	UP_2'	7,1	3,7	14,6	14,0	4,1	16,1	7,0	4,0	15,6
BC10	N_2'	-2,6	1,7	4,6	0,6	2,0	4,9	2,2	2,7	4,8
	E_2'	-4,5	1,5	4,2	-1,6	1,7	4,3	-1,3	2,2	4,4
	UP_2'	7,5	3,8	14,5	18,6	4,2	16,1	14,8	4,1	15,7
BC11	N_2'	-2,4	1,7	4,5	-3,8	1,9	4,8	-0,7	2,7	4,9
	E_2'	-5,2	1,5	4,2	-4,5	1,6	4,2	-3,2	2,2	4,5
	UP_2'	19,4	3,9	15,1	27,7	4,1	16,4	16,0	4,2	16,3
BC12	N_2'	-2,5	1,7	4,7	-3,4	2,0	4,9	-1,3	2,7	4,9
	E_2'	-2,9	1,5	4,2	-4,2	1,7	4,2	-1,5	2,2	4,4
	UP_2'	14,6	3,7	14,2	25,2	4,1	15,8	11,2	4,1	15,6
BC13	N_2'	-3,2	1,7	4,5	0,0	2,0	5,0	-1,1	2,6	4,8
	E_2'	-4,7	1,4	3,9	-1,0	1,6	4,2	-2,3	2,0	4,1

Estação	Eixo	Campanhas (mm)								
		1 e 2			1 e 3			1 e 4		
		Δ	$\sigma\Delta_n$	$\sigma\Delta_e$	Δ	$\sigma\Delta_n$	$\sigma\Delta_e$	Δ	$\sigma\Delta_n$	$\sigma\Delta_e$
BC14	UP_2'	6,5	3,3	12,7	15,3	3,8	14,7	-1,7	3,4	13,2
	N_2'	-3,0	1,8	5,0	-3,4	2,2	5,5	-1,1	2,7	5,3
	E_2'	-4,4	1,6	4,6	-0,1	1,9	4,8	-1,2	2,3	4,8
BC15	UP_2'	14,0	4,0	15,5	23,4	4,5	17,5	18,8	4,1	16,1
	N_2'	-3,6	1,8	4,8	-0,3	1,9	4,8	1,0	2,6	4,8
	E_2'	-7,2	1,5	4,2	-4,2	1,5	3,9	-5,9	2,0	4,1
BC16	UP_2'	10,1	3,8	13,8	17,1	3,5	13,6	12,4	3,4	13,3
	N_2'	-1,6	1,7	4,7	-0,3	1,9	4,8	0,6	2,7	5,0
	E_2'	-5,5	1,4	3,9	-3,5	1,5	3,9	-4,7	2,0	4,1
BC17	UP_2'	11,5	3,3	12,6	20,4	3,3	13,1	10,2	3,5	13,3
	N_2'	1,4	1,6	4,5	2,7	2,0	5,0	4,7	2,6	4,8
	E_2'	-5,7	1,4	3,9	-4,9	1,7	4,2	-4,3	2,1	4,2
BC18	UP_2'	3,7	3,2	12,0	24,2	3,7	14,1	12,7	3,4	12,9
	N_2'	-2,5	1,7	4,7	-1,9	2,0	5,0	-1,7	2,6	4,9
	E_2'	-7,7	1,6	4,4	-4,1	1,7	4,4	-5,5	2,1	4,3
BC19	UP_2'	9,1	3,8	14,4	17,0	4,0	15,7	-2,8	3,8	14,7
	N_2'	-0,2	1,8	4,8	-1,4	1,9	5,0	3,8	2,7	5,2
	E_2'	-4,9	1,5	4,1	-2,8	1,6	4,1	-2,2	2,2	4,4
BC20	UP_2'	8,4	3,3	12,7	20,3	3,4	13,5	4,1	3,8	14,5
	N_2'	-1,6	2,0	5,4	1,7	2,1	5,2	1,9	2,7	5,2
	E_2'	-6,8	1,6	4,6	-4,8	1,7	4,3	-7,4	2,1	4,3
BC21	UP_2'	11,3	4,0	14,8	17,1	3,8	15,0	5,8	3,8	14,7
	N_2'	-2,3	1,6	4,5	-1,7	2,0	4,9	-0,7	2,6	4,7
	E_2'	-5,6	1,4	3,9	-4,7	1,6	4,0	-5,1	2,0	4,0
BC22	UP_2'	15,5	3,7	14,0	11,7	3,9	15,2	10,3	3,8	14,6
	N_2'	-3,4	1,6	4,2	0,1	1,8	4,6	0,1	2,6	4,7
	E_2'	-5,3	1,3	3,6	-1,2	1,5	3,8	-5,2	2,0	3,9
BC23	UP_2'	17,5	3,3	12,5	30,0	3,6	14,0	19,3	3,6	13,8
	N_2'	-3,2	1,6	4,4	-2,2	1,9	4,8	-0,1	2,6	4,7
	E_2'	-7,5	1,4	3,9	-5,6	1,7	4,2	-5,3	2,0	4,0
BC24	UP_2'	12,3	3,6	13,8	23,6	4,1	15,8	21,8	3,6	14,2
	N_2'	-2,9	1,8	4,9	-4,0	1,9	4,9	-2,0	2,6	4,9
	E_2'	-6,9	1,7	4,7	-4,5	1,6	4,2	-3,6	2,1	4,4
BC25	UP_2'	15,6	4,3	16,4	34,8	4,2	16,6	8,1	4,0	16,0
	N_2'	-4,5	1,8	4,8	-4,1	1,9	4,9	-0,1	2,7	5,0
	E_2'	-4,9	1,6	4,4	-2,1	1,6	4,2	-0,2	2,1	4,4
MD01	UP_2'	17,1	4,1	15,9	29,5	4,0	16,0	18,4	4,3	16,8
	N_2'	-8,2	1,7	4,6	-2,5	2,0	4,9	-4,6	2,7	4,8
	E_2'	-7,1	1,4	4,0	-2,3	1,7	4,4	-8,2	2,1	4,2
ML01	UP_2'	18,2	3,4	12,8	25,5	4,1	15,3	14,2	3,6	13,7
	N_2'	-2,7	1,7	4,8	-1,3	2,1	5,3	-0,8	2,8	5,2

Estação	Eixo	Campanhas (mm)								
		1 e 2			1 e 3			1 e 4		
		Δ	$\sigma\Delta_n$	$\sigma\Delta_e$	Δ	$\sigma\Delta_n$	$\sigma\Delta_e$	Δ	$\sigma\Delta_n$	$\sigma\Delta_e$
VT01	E_2'	-10,7	1,5	4,3	-6,4	1,8	4,6	-10,2	2,3	4,7
	UP_2'	21,1	4,0	15,9	8,4	4,6	18,1	25,8	4,6	17,8
	N_2'	-6,0	1,7	4,6	-9,2	2,1	5,2	-2,1	2,7	5,0
VT02	E_2'	-15,1	1,5	4,1	-11,5	1,8	4,5	-15,8	2,1	4,5
	UP_2'	26,8	3,3	13,0	27,9	4,0	15,5	19,5	3,6	14,1
	N_2'	-8,9	1,9	5,1	-15,8	2,2	5,4	-6,0	2,7	5,3
VT03	E_2'	-16,9	1,5	4,2	-19,3	1,8	4,6	-15,0	2,2	4,4
	UP_2'	10,4	3,5	13,2	14,9	4,3	16,2	14,4	3,7	14,1
	N_2'	-14,0	1,9	5,2	-6,9	2,0	5,1	0,3	2,8	5,2
VT04	E_2'	0,7	1,7	4,6	-0,2	1,7	4,5	-10,6	2,5	5,0
	UP_2'	10,0	3,9	14,7	29,2	3,8	15,1	15,3	4,8	18,0
	N_2'	-1,0	1,7	4,5	-1,5	2,0	5,0	9,3	2,7	5,0
VT05	E_2'	-7,1	1,4	3,9	-5,0	1,6	4,2	-11,3	2,2	4,4
	UP_2'	12,2	3,6	14,4	20,9	4,1	16,2	-3,2	4,1	16,1
	N_2'	-5,4	1,7	4,7	-9,6	2,0	5,1	-3,3	2,7	5,1
VT06	E_2'	-7,5	1,5	4,2	-6,7	1,7	4,3	-10,2	2,2	4,6
	UP_2'	15,2	3,6	14,2	21,4	3,9	15,5	17,6	4,8	17,8
	N_2'	-3,6	1,7	4,6	-9,8	2,0	5,0	1,8	2,6	4,9
VT07	E_2'	-11,8	1,5	4,1	-12,1	1,7	4,3	-8,9	2,1	4,3
	UP_2'	10,5	3,7	14,4	18,5	4,0	15,9	3,0	3,8	15,1
	N_2'	3,2	2,3	6,3	0,6	2,5	6,5	2,2	3,0	6,5
VT08	E_2'	-16,9	2,2	6,1	-16,0	2,3	6,2	-17,8	2,6	6,2
	UP_2'	42,8	5,5	22,1	50,1	5,7	23,2	27,7	5,5	22,3
	N_2'	-11,8	1,8	5,0	-6,9	2,1	5,3	-8,7	2,8	5,3
VT09	E_2'	-5,0	1,6	4,4	-2,8	1,8	4,6	1,1	2,3	4,7
	UP_2'	22,6	4,8	19,1	36,7	5,0	20,2	28,2	5,0	19,9
	N_2'	-1,7	1,8	4,9	1,9	2,1	5,2	-3,2	2,8	5,2
VT10	E_2'	-11,5	1,7	4,6	-9,6	1,9	4,8	-4,4	2,4	4,9
	UP_2'	41,2	4,5	17,4	26,9	4,8	18,9	37,6	4,6	18,1
	N_2'	-2,8	1,6	4,3	-6,1	1,9	4,7	-3,1	2,7	4,8
VT11	E_2'	-6,5	1,4	3,8	-1,8	1,6	4,1	-2,1	2,2	4,4
	UP_2'	14,4	3,2	12,5	23,6	3,7	14,2	21,3	3,7	14,3
	N_2'	-3,1	1,8	5,0	-9,4	2,2	5,5	-2,8	2,8	5,4
VT12	E_2'	-12,1	1,8	4,9	-4,7	2,0	5,3	-6,5	2,3	5,1
	UP_2'	9,1	4,5	17,8	23,5	4,9	19,5	20,4	4,7	18,7
	N_2'	-4,2	1,6	4,5	-5,6	2,0	5,1	1,7	2,7	4,9
VT13	E_2'	-10,0	1,4	3,9	-1,7	1,8	4,5	-8,3	2,2	4,4
	UP_2'	19,1	3,5	13,8	29,2	4,2	16,3	1,9	4,2	16,2
	N_2'	0,1	1,7	4,6	-2,0	1,9	4,7	-8,2	2,7	4,9
VT13	E_2'	-7,7	1,4	4,0	-4,7	1,6	4,0	-4,7	2,1	4,2
	UP_2'	-1,8	3,7	14,1	-0,2	3,7	14,7	3,3	4,2	16,0

Estação	Eixo	Campanhas (mm)								
		1 e 2			1 e 3			1 e 4		
		Δ	$\sigma\Delta_n$	$\sigma\Delta_e$	Δ	$\sigma\Delta_n$	$\sigma\Delta_e$	Δ	$\sigma\Delta_n$	$\sigma\Delta_e$
VT14	N_2'	1,8	1,7	4,7	-3,1	1,9	4,8	0,9	2,6	4,9
	E_2'	-4,9	1,5	4,2	-1,8	1,6	4,0	-7,5	2,0	4,1
	UP_2'	7,2	3,6	13,6	5,1	3,7	14,5	9,0	3,6	14,1
Média N_2'		-2,7	1,8	4,8	-2,9	2,0	5,1	-0,3	2,7	5,0
σ N_2'		3,5	0,1	0,4	3,5	0,1	0,3	3,4	0,1	0,3
Média E_2'		-7,5	1,5	4,2	-5,4	1,7	4,3	-6,0	2,1	4,4
σ E_2'		3,5	0,2	0,4	4,0	0,2	0,4	4,1	0,1	0,4
Média UP_2'		13,6	3,8	14,4	22,6	4,0	15,8	11,3	4,0	15,4
σ UP_2'		8,5	0,5	2,0	8,6	0,5	2,0	9,8	0,5	2,0

Segundo a Tabela 30 e a

Tabela 31, a média das discrepâncias das três comparações estão próximas para cada eixo coordenado. Como são mostrados dois SB, as considerações a seguir sobre os eixos citam N' e E', a fim de simplificar. Em geral, a média das discrepâncias foi menor no eixo N' do que no eixo E', conforme indicou a Figura 14, a Figura 15 e a Figura 16. As discrepâncias médias na componente N' tiveram valores sempre menores do que os 4 mm, enquanto na componente E' valores sempre menores que 8 mm. O eixo onde foram observadas as maiores discrepâncias foi o UP'. A maior média de discrepâncias neste eixo observada foi 23,8 mm na comparação entre as campanhas 1 e 3 para os MS calculados sobre o SB 1. Apesar desta média das discrepâncias observadas nas comparações, o desvio-padrão original destas discrepâncias foi de apenas 4,5 mm. Ao ser aplicado o coeficiente de escala sobre a MVC, o desvio-padrão reescalado obtido foi de 17,7 mm.

Ao ser realizado o TCG 3D normal no SB 1 e 2, todos os MS tiveram a hipótese nula rejeitada para todos os níveis de significância testados. Ao ser visualizada a Tabela 30 e a Tabela 31, é possível observar que a maioria dos valores de discrepância estão acima do esperado indicado pelo desvio-padrão original dos MS. Quando utilizada a matriz cofatora reescalada para a realização dos cálculos de TCG 3D, a hipótese nula passa a ser aceita para alguns MS, conforme pode ser visualizado na Tabela 32.

Tabela 32 – TCG 3D no SB das comparações das campanhas de posicionamento dos MS utilizando a matriz cofatora reescalada.

(continua)

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
AM01	RE	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
AM02	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC01	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC02	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC03	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC04	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC05	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC06	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC	AC
BC07	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC08	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC09	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC
BC10	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC11	AC	AC	AC	RE	RE	AC	AC	AC	AC
BC12	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC13	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC14	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC15	RE	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC16	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC17	AC	AC	AC	RE	RE	RE	RE	AC	AC
BC18	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC19	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC20	AC	AC	AC	AC	AC	AC	RE	RE	AC
BC21	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC22	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC
BC23	RE	RE	RE	RE	AC	AC	RE	RE	RE
BC24	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC25	AC	AC	AC	RE	RE	AC	AC	AC	AC
CF01	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
CF02	AC	AC	AC	RE	RE	AC	AC	AC	AC
CF03	AC	AC	AC	RE	AC	AC	AC	AC	AC
CF04	AC	AC	AC	AC	AC	AC	RE	RE	RE
CF05	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC
MD01	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE
ML01	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE
VT01	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT02	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT03	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT04	RE	RE	AC	AC	AC	AC	RE	RE	RE

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
VT12	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT13	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT14	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
Quant. AP	0	0	0	3	3	5	8	8	8
Quant. RE	48	48	48	45	45	43	40	40	40

A Tabela 33 mostra que, mesmo retirando os elementos referentes ao eixo UP' na realização do TCG 2D, nenhum MS teve a sua estabilidade comprovada pelo teste na comparação entre as campanhas 1 e 2. Nas comparações entre as campanhas 1 e 3 e 1 e 4, tiveram 3 e 8 MS aceitos pelo TCG, respectivamente para 10% de significância, todavia, ainda são poucos os MS aceitos pelo TCG. Somente os MS BC10 e BC13 foram considerados estáveis pelo TCG 2D na comparação entre as campanhas 1 e 3 e 1 e 4. Se examinada a

Tabela 31, é visto que a discrepância no eixo UP' do BC10, e. g., é acima dos 13 mm para as duas comparações e seu desvio-padrão normal está em torno dos 4 mm. Nos eixos que compõem o plano local do BC10 as discrepâncias encontradas estão entre 0,6 mm e 2,2 mm, que são mais condizentes com o valor do desvio-padrão normal desta estação, que está próximo dos 2 mm. Retirada a componente vertical, o BC10 passou a ter sua hipótese nula aceita pelo teste, sendo assim, considerado estável planimetricamente.

Realizada a multiplicação entre a matriz cofatora com os coeficientes de escala, resulta no TCG 2D apresentado pela Tabela 34.

Tabela 34 – TCG 2D no SB das comparações das campanhas de posicionamento dos MS utilizando a matriz cofatora reescalada.

(continua)

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
AM01	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
AM02	RE	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC01	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC02	AC	AC	AC	RE	RE	RE	RE	RE	AC
BC03	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC04	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
BC05	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC06	RE	RE	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC07	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC08	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC09	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
BC10	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC11	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC12	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC13	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC14	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC15	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	AC
BC16	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC17	RE	RE	AC	AC	AC	AC	RE	RE	AC
BC18	RE	RE	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC19	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC20	AC	AC	AC	AC	AC	AC	RE	RE	RE
BC21	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC22	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC23	RE	RE	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC24	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC25	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
CF01	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
CF02	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
CF03	RE	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
CF04	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE
CF05	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE
MD01	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE
ML01	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE
VT01	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT02	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT03	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE
VT04	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE
VT05	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT06	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT07	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT08	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE
VT09	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT10	RE	RE	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC
VT11	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT12	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE
VT13	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
VT11	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT12	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT13	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
VT14	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
Quant. AP	2	2	2	2	2	2	9	10	10
Quant. RE	46	46	46	46	46	46	39	38	38

A tabela 35 mostra que alguns MS foram considerados sem deslocamento altimetricamente ao longo do tempo. Na comparação entre as campanhas 1 e 2, BC02 e VT13 têm suas hipóteses nulas aceitas pelo TCG a partir dos 10% de significância. Ao analisar os valores de discrepância nos dois MS, é visto que seus valores são menores que o desvio-padrão normal da discrepância. Esta conclusão é estendida para os outros MS considerados sem deslocamento vertical nas outras comparações realizadas, como, por exemplo, o VT12 na comparação entre as campanhas 1 e 4 o qual teve como discrepância o valor de 1,9 mm, condizente com o desvio-padrão normal encontrado de 4,2 mm.

Fez-se o TCG altimétrico reescalado para avaliar quais MS são considerados sem deslocamento nas comparações entre os resultados das campanhas, conforme apresenta a Tabela 36.

Tabela 36 – TCG 1D altimétrico no SB das comparações das campanhas de posicionamento dos MS utilizando a matriz cofatora reescalada.

(continua)

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
AM01	AC	AC	AC	RE	RE	RE	RE	RE	RE
AM02	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC
BC01	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC02	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC03	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC04	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC05	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC06	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC07	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC08	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
BC09	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC10	AC	AC	AC	RE	RE	AC	AC	AC	AC
BC11	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC12	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC13	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC14	AC	AC	AC	RE	RE	RE	RE	RE	RE
BC15	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC16	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC17	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC18	AC	AC	AC	RE	AC	AC	AC	AC	AC
BC19	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC20	AC	AC	AC	RE	RE	AC	AC	AC	AC
BC21	RE	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC22	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
BC23	AC	AC	AC	RE	RE	RE	RE	RE	RE
BC24	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC25	RE	AC	AC	RE	RE	RE	RE	RE	AC
CF01	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
CF02	AC	AC	AC	RE	RE	AC	AC	AC	AC
CF03	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
CF04	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
CF05	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
MD01	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
ML01	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	RE
VT01	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT02	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
VT03	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT04	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT05	RE	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT06	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT07	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT08	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT09	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT10	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT11	AC	AC	AC	RE	RE	RE	RE	RE	AC
VT12	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT13	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
VT14	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
Quant. AP	33	35	36	8	9	12	35	35	38
Quant. RE	15	13	12	40	39	36	13	13	10

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
BC17	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
BC18	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC19	AC	AC	AC	AC	AC	AC	RE	RE	RE
BC20	AC	AC	AC	RE	RE	RE	RE	RE	RE
BC21	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC22	RE	RE	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC23	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC24	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
BC25	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
CF01	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
CF02	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
CF03	RE	RE	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
CF04	RE	RE	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC
CF05	RE	RE	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC
MD01	RE	RE	RE	AC	AC	AC	RE	RE	AC
ML01	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
VT01	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT02	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC
VT03	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT04	AC	AC	AC	AC	AC	AC	RE	RE	RE
VT05	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT06	AC	AC	AC	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT07	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT08	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT09	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT10	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT11	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT12	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT13	AC	AC	AC	AC	AC	AC	RE	RE	RE
VT14	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
Quant. AP	24	24	25	22	22	23	30	31	34
Quant. RE	24	24	23	26	26	25	18	17	14

O eixo do fluxo d'água, ou eixo montante-jusante é o eixo N' do SB 1 e SB 2. Conforme pode ser visto na Tabela 37, aproximadamente metade dos MS foram consideradas estáveis pelo TCG para este eixo mesmo com o teste sendo realizado utilizando a matriz cofatora das estações das campanhas sem ser multiplicada pelo coeficiente de escala. Em geral, os MS considerados estáveis pelo TCG tiveram valores de discrepância abaixo do desvio-padrão original das discrepâncias, conforme pode ser verificado pela Tabela 30 e

Estação	Significância (α)								
	Campanhas 1 e 2			Campanhas 1 e 3			Campanhas 1 e 4		
	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01	0.10	0.05	0.01
BC24	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
BC25	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
CF01	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
CF02	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
CF03	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
CF04	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
CF05	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
MD01	RE	RE	RE	AC	AC	AC	AC	AC	AC
ML01	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
VT01	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT02	RE	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT03	RE	RE	RE	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT04	AC	AC	AC	AC	AC	AC	RE	RE	RE
VT05	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT06	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT07	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
VT08	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
VT09	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
VT10	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT11	AC	AC	AC	RE	RE	RE	AC	AC	AC
VT12	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
VT13	AC	AC	AC	AC	AC	AC	RE	RE	RE
VT14	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
Quant. AP	44	45	45	39	39	39	43	43	43
Quant. RE	4	3	3	9	9	9	5	5	5

Por este novo teste realizado, é possível observar que a maioria dos MS foram considerados estáveis para este eixo coordenado. A comparação entre as campanhas 1 e 2 foi a que apresentou mais estações sem deslocamento no eixo do fluxo d'água, totalizando 44 estações consideradas estatisticamente estáveis. A comparação que apontou maior reprovação das hipóteses nulas dos MS pelo TCG foi entre as campanhas 1 e 3, no qual 9 MS apresentaram deslocamento. Como as discrepâncias no eixo do fluxo, N', teve a menor média de discrepâncias apontada pela Tabela 30 e

Tabela 31, entende-se o porquê da maioria dos MS terem tido suas hipóteses nulas aceitas no TCG, em especial neste caso onde as matrizes cofatores foram deterioradas pelo coeficiente de escala, diminuindo a precisão das coordenadas, o que facilitou o teste ter sido aceito.

7. CONCLUSÃO

A dissertação apresentada foi um estudo sobre deslocamentos ao longo do tempo em uma barragem de concreto pertencente a uma UHE. Foram feitos levantamentos GNSS durante quatro anos para poder realizar a análise, a fim de avaliar a capacidade desta tecnologia em obter resultados acurados nesta aplicação. A análise de deslocamentos foi realizada pelo TCG, que demandou a implementação do *software TCGunesp* para sua realização.

A partir dos dados GNSS obtidos, optou-se por utilizar somente a constelação GPS para a obtenção das coordenadas e a MVC das mesmas. Estes resultados foram introduzidos no *TCGunesp*, os quais foram transformados para um SGL que indicou que a maioria das coordenadas planimétricas das estações tinham incertezas menores que 1 mm, enquanto as altimétricas acima dos 2 mm. Resolveu-se por realizar uma mudança do modelo estocástico, porque os valores de incertezas encontrados foram considerados muito otimistas, o que gerou dois tipos de resultados nos diversos TCG realizados: os provenientes das incertezas originais e os provenientes das incertezas modificadas por um coeficiente de escala.

Realizados os TCG 3D e 2D utilizando a matriz cofatora original, primeiramente sobre o posicionamento dos Pilares, verificou-se que, para a maioria das significâncias testadas, os Pilares não eram considerados estáveis nas três comparações entre as campanhas. No caso do TCG 2D, PI01 teve a hipótese nula, referente ao não movimento entre as épocas, rejeitada inclusive para 1% de significância nas três comparações entre campanhas utilizando TCG como ferramenta de análise estatística. Ao ser feito o TCG 2D utilizando a matriz cofatora reescalada a partir do coeficiente de escala calculado, na comparação entre as campanhas 1 e 3 o PI01 foi aceito até mesmo para os 10% de significância. Esta mudança relacionada a estabilidade que ocorreu em PI01 nas campanhas 1 e 3 foi observada em quase todos os marcos testados pelos dois TCG, pois todos os coeficientes de escala calculados criaram uma degradação das precisões das coordenadas. Entretanto, alguns coeficientes de escala, especialmente na componente vertical, tornaram as incertezas neste eixo exagerada, o que seria acima do adequado para este tipo de atividade.

Ao ser apontado pelo TCG que uma estação de referência não poderia ser utilizada como referência para os posicionamentos em sequência, o correto seria interromper os posicionamentos. Todavia, a fins de pesquisa, optou-se pela continuidade dos processamentos, para que fosse possível obter as coordenadas das RNP e, posteriormente, dos MS sobre a

barragem de concreto, objeto principal desta dissertação. Os TCG referentes às RNP, em geral, também indicaram que estas não poderiam ser utilizadas como referências para o posicionamento dos MS, porém, estes resultados estiveram enviesados devido a utilização dos Pilares como referências no posicionamento. O mesmo pode ser dito sobre os resultados do MS que, para a matriz cofatora original, poucas estações foram consideradas estáveis planimetricamente, sendo que na comparação entre as campanhas 1 e 2, nenhuma estação passou no teste. Contudo, a maior preocupação que reside no eixo do fluxo d'água, mesmo ao utilizar as incertezas originais das coordenadas, indicou que aproximadamente metade das estações não sofreram movimentação nesta direção nas três comparações entre campanhas. Quando reescalada a matriz cofatora, a maioria dos pontos foram tido como estáveis neste eixo.

É sabido que toda a estrutura está sujeita a movimentações ao longo do tempo, portanto, são necessários estudos futuros a cerca dos deslocamentos esperados ao longo dos anos sobre uma barragem de concreto e se estes estão dentro do projetado. É recomendado a utilização de outras abordagens de análise quanto ao monitoramento geodésico de estruturas em trabalhos futuros. Estas novas abordagens podem ser implementadas junto ao *TCGunesp* tornando-o um *software* mais completo para este tipo de análise. Outra abordagem interessante em trabalhos futuros é o cálculo da confiabilidade interna e externa (ou por análise de robustez) para que seja calculado qual é o erro mínimo que poderá ser detectado nas coordenadas obtidas e, posteriormente, nos cálculos de discrepâncias. Estes valores de erros mínimos detectáveis irão auxiliar para determinar se a tecnologia utilizada para obtenção das coordenadas é a adequada para a realização do TCG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERN. **Bernese GNSS Software Version 5.2**. Astronomical Institute, University of Bern. 2015, 852 p.

BERN. **Bernese GNSS Software Version 5.2: Tutorial**. Astronomical Institute, University of Bern. 2016, 150 p.

BUENO, R. F.. **Monitoração, por GPS, de Deslocamentos em Estrutura com Carga Dinâmica**. 2007. 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo

BURKHOLDER, E. F.. Spatial Data Accuracy as Defined by the GSDM. **Surveying and Land Information Systems**, v. 59, n. 1, p. 26-30, 1999.

CASPARY, W. F. **Concepts of Network and Deformation Analysis**. Kensington,N.S.W., Australia: School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, 2000. 183p.

CDBD - **Comitê Brasileiro de Barragens. Guia básico de segurança de barragens**. COMISSÃO REGIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS. São Paulo: Núcleo Regional de São Paulo/CBGB, 2001. 77p.

CBDB. **A História das Barragens no Brasil Séculos XIX, XX e XXI: Cinquenta Anos do Comitê Brasileiro de Barragens**. 2011. 524p.

CHAVES, J. C.. **Controle de Deformações em barragens: métodos de monitoramento e viabilidade da utilização do GPS**. 1994. 197p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CHAVES, J. C.. **Uso da Tecnologia GPS na Monitoração de Deformação: Sistemas, Etapas e Experimentos**. 2001. 155p. Dissertação (Tese em Engenharia de Transportes) – Programa de

Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Carlos.

CHEN, Y. Q., 1983. **Analysis of Deformation Surveys, a Generalized Method**. Technical Report 94., Fredericton: Ed. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Canada.

DENLI, H. H.. Stable Point Research on Deformation Networks. **Survey Review**, v. 40, n. 307, p. 74-82, 2008.

DENLI, H. H; DENIZ, R.. Global congruency test methods for GPS networks. **Journal of Surveying Engineering**, v. 129, n. 3, p. 95-98, 2003.

DREWES, H.. **Procesamiento de Información GPS com Relación a Marcos de Referencia de Épocas Diferentes**. 2004. dezembro. In: SIRGAS Workshop. México. Disponível em: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol08/11_Drewes_Velocidades.pdf>.

FAZAN, J. A.. **Aplicação do Teste de Congruência Global e Análise Geométrica para Detecção de Deslocamentos em Redes Geodésicas: Estudo de Caso na UHE de Itaipu**. 2010. 277p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GEMAEL, C.. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Ed. UFPR, 1994. 319 p.

JEKELI, C.. **Geometric Reference Systems in Geodesy**. Ohio State University, Lecture Note. 2012.

HOFMANN, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E.. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more**. Mörlenbach. Editora Springer Wien New York. 2008. 516p.

HOUGHTALEN, R. J.; AKAN, A. O. H.; HWANG, N. H. C.. **Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems**. 4 ed. Prentice Hall. 2009. 450p.

MONICO, J. F. G.. **Posicionamento pelo GNSS: Fundamentos, Definição e Aplicação**. 2 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.

NEVES, R. V.. **Processamento e análise de Levantamentos Geodésicos Aplicado ao Monitoramento de Estruturas Cíveis**. 2008. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

NOWEL, K.. Application of Monte Carlo Method to Statistical Testing in Deformation Analysis Based on Robust M-estimation. **Survey Review**, v. 48, n. 348, p. 212-223, 2016.

POLETO, L. J. C.. **Estudo da Aplicação do GPS no Monitoramento de Deslocamento em Estruturas**. 2010. 78p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RIBEIRO, F. C. D.. **Proposta de metodologia para verificação da estabilidade dos Pilares de redes para monitoramento geodésico de barragens: Estudo de caso**. 2008. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SEEBER, G.. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications**. Berlin, Editora New York: Walter de Gruyter, 2003. 589p.

SHAH, Z.; KUMAR, M. D.. In the Midst of the Large Dam Controversy: Objectives, Criteria for Assessing Large Water Storages in the Developing World. **Water Resources Management**, v. 22, n. 12, p. 1799-1824, 2008.

SOLER, T.; HAN, J.; SMITH, D.. Local Accuracies. **Journal of Surveying Engineering**, v. 138, n. 2, p. 77-84, 2011.

SUCI, F. M.. **Estudo Sobre a Estabilidade da Rede Geodésica de Monitoramento da UHE Salto Caxias**. 2012. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

TAŞÇI, L.. Dam deformation measurements with GPS. **Geodezija ir kartografija**, v. 34, n. 4, p. 116-121, 2008.

VERHAGEN, S.. **The GNSS integer ambiguities: estimation and validation**. Rotterdam, Editora NCG, Delft. 2005. 170p.

APÊNDICE A – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DA RBMC E OS PILARES DA CAMPANHA 1

Ano: 2012 / Dia do ano: 353

Estação		Comprimento (km)	Ambiguidades			Mét. de fix.
1	2		Antes	Depois	% de resol.	
RB01	PI03	483,921	38	4	89,47	QIF
RB02	PI01	326,096	40	6	85,00	QIF
RB03	PI02	230,748	46	6	86,96	QIF
RB03	PI03	229,778	44	8	81,82	QIF
Média/Soma		317,636	168	24	85,71	QIF
RB04	PI02	45,522	22	2	90,91	L53
RB04	PI01	48,025	21	1	95,24	L53
Média/Soma		46,774	43	3	93,02	L53

Ano: 2012 / Dia do ano: 354

RB01	PI03	483,921	40	4	90,00	QIF
RB02	PI01	326,096	38	4	89,47	QIF
RB03	PI02	230,748	38	8	78,95	QIF
RB03	PI03	229,778	42	8	80,95	QIF
Média/Soma		317,636	158	24	84,81	QIF
RB04	PI02	45,522	18	0	100,00	L53
RB04	PI01	48,025	19	0	100,00	L53
Média/Soma		46,774	37	0	100,00	L53

Ano: 2012 / Dia do ano: 355

RB01	PI03	483,921	36	8	77,78	QIF
RB02	PI01	326,096	38	10	73,68	QIF
RB03	PI02	230,748	46	14	69,57	QIF
RB03	PI03	229,778	42	10	76,19	QIF
Média/Soma		317,636	162	42	74,07	QIF
RB04	PI02	45,522	22	2	90,91	L53
RB04	PI01	48,025	21	1	95,24	L53
Média/Soma		46,774	43	3	93,02	L53

**APÊNDICE B – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS
PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 1 (RBMC E PILARES)**

Estação	Eixo	Desvio- padrão	Resíduo da Solução (mm)		
			1	2	3
RB01	N	0,51	-0,36	0,36	
	E	1,41	-1,00	1,00	
	UP	0,52	-0,37	0,37	
RB02	N	2,21	-1,45	2,54	-1,09
	E	2,14	-2,09	-0,09	2,18
	UP	8,72	-8,97	8,45	0,52
PI01	N	4,61	3,26	-3,26	
	E	1,26	-0,89	0,89	
	UP	1,63	-1,15	1,15	
PI02	N	4,99	3,53	-3,53	
	E	1,94	1,37	-1,37	
	UP	2,30	-1,62	1,62	
RB03	N	0,10	-0,07		0,07
	E	1,98	1,40		-1,40
	UP	3,14	-2,22		2,22
RB04	N	3,64	2,95	1,12	-4,07
	E	1,96	1,27	0,99	-2,26
	UP	7,26	8,27	-5,30	-2,96
PI03	N	2,30		1,63	-1,63
	E	2,88		2,04	-2,04
	UP	12,95		9,15	-9,15

APÊNDICE C – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DOS PILARES E DAS RNP DA CAMPANHA 1

Ano: 2012 / Dia do ano: 353

Estação		Comprimento (km)	Ambiguidades			
1	2		Antes	Depois	% de resol.	Mét. de fix.
PI01	RNP2	3,181	38	0	100,00	L12
PI02	RNP2	3,036	42	0	100,00	L12
PI03	RNP2	1,614	38	2	94,74	L12
RNP1	RNP2	1,963	54	3	94,44	L12
Média/Soma		2,449	172	5	97,09	L12

Ano: 2012 / Dia do ano: 354

PI01	PI03	4,709	40	0	100,00	L12
PI01	RNP2	3,181	40	0	100,00	L12
PI02	PI03	3,142	36	0	100,00	L12
PI02	RNP2	3,036	36	0	100,00	L12
PI03	RNP1	3,195	42	2	95,24	L12
PI03	RNP2	1,614	40	1	97,50	L12
RNP1	RNP2	1,963	76	2	97,37	L12
Média/Soma		2,977	310		100,00	L12

Ano: 2012 / Dia do ano: 355

PI01	RNP2	3,181	32	2	93,75	L12
PI02	RNP2	3,036	42	0	100,00	L12
PI03	RNP2	1,614	36	3	91,67	L12
RNP1	RNP2	1,963	60	3	95,00	L12
Média/Soma		2,449	170	8	95,29	L12

**APÊNDICE D – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS
PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 1 (PILARES E RNP)**

Estação	Eixo	Desvio- padrão	Resíduo da Solução (mm)		
			1	2	3
PI01	N	1,91	1,79	0,23	-2,01
	E	1,36	-0,30	1,49	-1,19
	UP	4,30	-1,84	4,91	-3,07
PI02	N	0,37	0,23	-0,42	0,19
	E	2,69	0,26	-2,81	2,55
	UP	2,50	1,12	-2,86	1,74
PI03	N	1,94	-2,02	0,19	1,84
	E	1,33	0,04	1,31	-1,35
	UP	1,80	0,72	-2,05	1,33
RNP1	N	2,22	1,76	0,73	-2,49
	E	2,17	0,56	1,84	-2,40
	UP	4,13	4,76	-2,29	-2,47
RNP2	N	1,06	0,68	-1,22	0,53
	E	1,70	-0,34	1,84	-1,50
	UP	1,00	0,72	0,42	-1,14

APÊNDICE E – RESOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADES NO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS DAS RNP E DOS MS DA CAMPANHA 1 (NÚMERO DE AMBIGUIDADES (NA); NÚMERO DE AMBIGUIDADES NÃO RESOLVIDAS (ANR) E PORCENTAGEM RESOLVIDA (%R))

SEÇÃO	NA	ANR	% R
1	412	17	95,9
2	168	4	97,6
3	354	9	97,5
4	558	5	99,1
5	166	3	98,2
6	484	20	95,9
7	360	9	97,5
8	446	7	98,4
9	486	11	97,7
10	578	11	98,1
11	312	7	97,8
12	198	8	96
13	520	20	96,2
14	342	10	97,1
Média	384,6	10,1	97,4
Desvio-padrão	138,3	5,4	1,0
Maior	578	20	99,1
Menor	166	3	95,9
Soma	5384	141	

APÊNDICE F – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 1 (RNP E MS)

Estação	Eixo	Desvio-padrão	Resíduo da Solução (mm)														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
RNP1	N	1,02	-0,98	0,45	-0,66	-1,42	1,99	0,23	-0,73	0,31	0,72	0,12	1,6	-0,89	0,37	-1,12	
	E	1,12	0,43	0,83	-0,56	1,93	-1,29	2,42	-0,19	-0,03	-0,46	-0,07	-0,98	-1,49	0,18	-0,72	
	U	2,57	3,6	1,49	0,57	3,86	-1,04	3,47	0,05	-1,49	-0,44	0,52	-2,41	-1,11	-5,47	-1,61	
RNP2	N	1,02	0,98	-0,45	0,66	1,42	-1,99	-0,24	0,73	-0,31	-0,72	-0,12	-1,6	0,89	-0,37	1,12	
	E	1,12	-0,43	-0,83	0,56	-1,93	1,29	-2,41	0,19	0,03	0,46	0,07	0,98	1,49	-0,18	0,72	
	U	2,57	-3,6	-1,49	-0,57	-3,86	1,04	-3,47	-0,05	1,49	0,44	-0,52	2,41	1,11	5,47	1,61	
VT04	N	4,99	-3,53													3,53	
	E	0,42	0,3														-0,3
	U	26,8	-19														18,95
VT05	N	0,53	0,37														-0,37
	E	0,91	-0,64														0,64
	U	2,37	-1,67														1,67
VT08	N	2,29	1,62						-1,62								
	E	2,39	1,69						-1,69								
	U	28,67	20,27						-20,3								
VT10	N	0,73	-0,77						0,1							0,67	
	E	2,05	1,81						-2,23							0,41	
	U	4,37	4,7						-3,94							-0,76	
VT11	N	0,23	0,16						-0,16								
	E	2,17	1,53						-1,53								
	U	5,97	-4,22						4,22								
BC01	N	2,76		-3,04							2,34			0,7			
	E	3,38		0,5							3,1			-3,6			
	U	4,62		-1,45							-3,72			5,18			
VT12	N	6,01		4,25					-4,25								
	E	1,89		1,34					-1,34								
	U	2,4		1,7					-1,7								
VT13	N	1,61		-1,14										1,14			
	E	2,5		-1,77										1,77			
	U	4,36		-3,08										3,08			
VT14	N	4,04		2,84					-4,63					1,79			
	E	4,3		2,89					2,05					-4,95			
	U	5,73		5,97					-5,46					-0,51			
BC02	N	0,56			-0,08						0,59			-0,51			
	E	2,74			2,95						-0,5			-2,46			
	U	6,76			-1,46						-5,91			7,37			
BC04	N	0,3			-0,21						0,21						
	E	2,57			1,82						-1,82						
	U	6,26			4,43						-4,43						
BC05	N	1,19			0,89						0,46		-1,35				
	E	1,53			1,27						-1,7		0,43				
	U	4,46			-2,86						-2,27		5,13				
BC06	N	3,44			2,15						1,82		-3,97				
	E	1,66			-1,4						-0,43		1,83				
	U	5,84			2,75						-6,71		3,96				
BC07	N	1,43			0,88					-1,65			0,77				
	E	2,57			-2,13					-0,71			2,85				
	U	7,32			8,33					-2,92			-5,42				

BC08	N	1.31			-0.89				-0.62			1.51				
	E	2.89			-1.49				-1.84			3.33				
	U	5.05			1.01				4.47			-5.48				
BC09	N	4.65			3.29							-3.29				
	E	3.89			-2.75							2.75				
	U	3.43			-2.42							2.42				
MD01	N	0.19			0.13						-0.13					
	E	0.68			-0.48						0.48					
	U	6.78			4.79						-4.79					
BC10	N	1.14				-0.80				0.80						
	E	0.01				-0.01				0.01						
	U	2.02				-1.43				1.43						
BC11	N	2.09				1.48				-1.48						
	E	3.22				2.27				-2.27						
	U	0.33				0.23				-0.23						
BC12	N	1.60				1.13				-1.13						
	E	2.08				1.47				-1.47						
	U	1.61				1.14				-1.14						
BC13	N	1.01				0.88				-1.09		0.21				
	E	2.58				1.56				1.41		-2.97				
	U	2.12				2.44				-1.04		-1.40				
BC14	N	0.67				-0.48				0.48						
	E	0.79				0.56				-0.56						
	U	4.04				2.86				-2.86						
BC15	N	1.25				0.23				-1.35		1.12				
	E	2.47				2.69				-0.54		-2.15				
	U	16.02				1.50				-16.72		15.22				
BC16	N	1.55				-0.93				1.79		-0.86				
	E	2.48				-1.79				2.83		-1.03				
	U	2.09				2.19				-1.96		-0.23				
BC17	N	2.18				2.26				-0.17		-2.09				
	E	3.12				-0.80				3.44		-2.64				
	U	4.91				3.09				-5.67		2.58				
BC18	N	0.32				-0.23						0.23				
	E	1.82				-1.29						1.29				
	U	0.11				-0.08						0.08				
BC19	N	0.94				0.66						-0.66				
	E	0.69				0.49						-0.49				
	U	2.69				1.91						-1.91				
BC20	N	2.47				0.83					-2.78	1.95				
	E	3.71				-4.27					1.82	2.45				
	U	13.55				14.40					-1.90	-12.50				
BC21	N	2.17					-2.34				1.94	0.40				
	E	2.81					2.99				-0.40	-2.59				
	U	11.03					-2.67				12.12	-9.45				
BC22	N	1.23					-1.30				0.18	1.13				
	E	2.21					2.27				-0.12	-2.15				
	U	10.69					3.96				8.14	-12.10				
BC23	N	1.69					-1.93				0.76	1.17				
	E	1.88					1.46				-2.13	0.67				
	U	8.32					6.18				3.28	-9.46				

AM01	N	6.22				4.40									-4.40
	E	1.73				-1.23									1.23
	U	9.86				-6.97									6.97
AM02	N	4.25				-3.00									3.00
	E	4.16				-2.94									2.94
	U	0.50				-0.35									0.35
CF01	N	1.06				0.75									-0.75
	E	2.75				-1.95									1.95
	U	1.72				-1.21									1.21
CF02	N	3.22				2.28									-2.28
	E	0.96				-0.68									0.68
	U	3.77				2.67									-2.67
CF03	N	0.52				0.37									-0.37
	E	2.93				-2.07									2.07
	U	0.46				-0.32									0.32
CF04	N	1.76				-1.25									1.25
	E	2.79				-1.98									1.98
	U	5.65				4.00									-4.00
CF05	N	0.11				0.08									-0.08
	E	1.97				-1.39									1.39
	U	1.88				-1.33									1.33
ML01	N	1.89				1.34									-1.34
	E	4.78				3.38									-3.38
	U	12.18				8.61									-8.61
VT01	N	0.94				-0.67									0.67
	E	1.15				-0.81									0.81
	U	19.76				13.97									-13.97
VT02	N	5.35				-3.78									3.78
	E	2.25				-1.59									1.59
	U	6.70				-4.73									4.73
VT03	N	3.08				2.18									-2.18
	E	11.65				-8.24									8.24
	U	9.29				-6.57									6.57
VT06	N	0.25				0.18									-0.18
	E	1.92				1.36									-1.36
	U	5.30				3.74									-3.74
VT07	N	3.63				2.57									-2.57
	E	3.07				2.17									-2.17
	U	13.34				9.43									-9.43
VT09	N	1.27				0.90									-0.90
	E	4.16				2.94									-2.94
	U	0.00				-0.00									0.00
BC03	N	2.49								1.76			-1.76		
	E	2.42								1.71			-1.71		
	U	13.53								9.57			-9.57		
BC24	N	0.23								-0.16		0.16			
	E	1.18								-0.84		0.84			
	U	4.24								3.00		-3.00			
BC25	N	0.18								-0.13		0.13			
	E	1.09								-0.77		0.77			
	U	4.47								3.16		-3.16			

APÊNDICE G – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DAS ESTAÇÕES DA RBMC E DOS PILARES DA CAMPANHA 2

Ano: 2013 / Dia do ano: 282

Estação		Comprimento (km)	Ambiguidades			
1	2		Antes	Depois	% de resol.	Mét. de fix.
RB01	PI03	483,921	46	8	82,61	QIF
RB02	PI01	326,096	52	10	80,77	QIF
RB03	PI02	230,748	48	8	83,33	QIF
RB03	PI03	229,778	50	12	76,00	QIF
Média/Soma		317,636	196	38	80,61	QIF
RB04	PI01	48,025	29	2	93,10	L53
RB04	PI02	45,522	24	1	95,83	L53
Média/Soma		46,774	53	3	94,34	L53

Ano: 2013 / Dia do ano: 283

RB01	PI03	483,921	42	4	90,48	QIF
RB02	PI01	326,096	46	8	82,61	QIF
RB03	PI02	230,748	40	6	85,00	QIF
RB03	PI03	229,778	46	8	82,61	QIF
Média/Soma		317,636	174	26	85,06	QIF
RB04	PI01	48,025	22	1	95,45	L53
RB04	PI02	45,522	20	0	100,00	L53
Média/Soma		46,774	42	1	97,62	L53

Ano: 2013 / Dia do ano: 284

RB01	PI03	483,921	42	6	85,71	QIF
RB02	PI01	326,096	46	4	91,30	QIF
RB03	PI02	230,748	42	8	80,95	QIF
RB03	PI03	229,778	44	4	90,91	QIF
Média/Soma		317,636	174	22	87,36	QIF
RB04	PI01	48,025	23	1	95,65	L53
RB04	PI02	45,522	20	0	100,00	L53
Média/Soma		46,774	43	1	97,67	L53

**APÊNDICE H – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS
PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 2 (RBMC E PILARES)**

Estação	Eixo	Desvio- padrão	Resíduo da Solução (mm)		
			1	2	3
RB01	N	0,19	0,17	0,02	-0,20
	E	0,71	-0,16	0,77	-0,62
	UP	7,74	-3,02	8,79	-5,77
RB02	N	1,40	1,49	-1,30	-0,19
	E	3,01	-3,22	2,75	0,48
	UP	5,76	-2,74	-3,88	6,61
PI01	N	2,54	-2,86	0,87	1,99
	E	3,74	1,76	-4,30	2,54
	UP	5,20	-0,57	-4,89	5,46
PI02	N	2,07	-1,46	1,46	
	E	3,39	2,39	-2,39	
	UP	8,40	-5,94	5,94	
PI03	N	0,40	0,35	0,09	-0,43
	E	1,98	1,97	-1,99	0,01
	UP	7,21	-8,09	5,76	2,33
RB03	N	1,83	1,06	-2,11	1,05
	E	1,81	1,93	-1,67	-0,27
	UP	5,34	6,15	-2,67	-3,48
RB04	N	2,42	-2,36	2,47	-0,12
	E	1,93	1,47	-2,18	0,71
	UP	2,40	-0,36	-2,20	2,56

APÊNDICE I – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DOS PILARES E DAS RNP DA CAMPANHA 2

Ano: 2013 / Dia do ano: 282

Estação		Comprimento (km)	Ambiguidades			
1	2		Antes	Depois	% de resol.	Mét. de fix.
PI01	PI02	3,938	50	2	96,00	L12
PI02	RNP2	3,036	46	1	97,83	L12
PI03	RNP2	1,614	48	0	100,00	L12
RNP1	RNP2	1,963	40	0	100,00	L12
Média/Soma		2,638	184	3	98,37	L12

Ano: 2013 / Dia do ano: 283

PI01	RNP1	1,802	40	1	97,50	L12
PI01	RNP2	3,181	46	0	100,00	L12
PI02	RNP2	3,036	42	0	100,00	L12
PI03	RNP2	1,614	46	0	100,00	L12
Média/Soma		2,408	174	1	99,43	L12

Ano: 2013 / Dia do ano: 284

PI01	RNP1	1,802	38	1	97,37	L12
PI01	RNP2	3,181	42	0	100,00	L12
PI02	RNP2	3,036	40	0	100,00	L12
PI03	RNP2	1,614	42	0	100,00	L12
Média/Soma		2,408	162	1	99,38	L12

**APÊNDICE J – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS
PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 2 (PILARES E RNP)**

Estação	Eixo	Desvio- padrão	Resíduo da Solução (mm)		
			1	2	3
PI01	N	0,91	-0,97	0,15	0,83
	E	1,59	-0,64	-1,17	1,81
	UP	3,17	3,54	-0,97	-2,57
PI02	N	0,53	-0,58	0,13	0,45
	E	0,59	0,16	0,49	-0,65
	UP	4,87	-2,53	-3,08	5,61
PI03	N	1,44	1,56	-0,29	-1,27
	E	1,02	0,48	0,69	-1,17
	UP	3,65	-1,02	4,05	-3,03
RNP1	N	1,02	-1,13	0,28	0,85
	E	0,67	0,09	0,62	-0,71
	UP	8,06	7,17	1,55	-8,72
RNP2	N	0,48	0,05	-0,5	0,46
	E	1,96	-1,51	-0,71	2,22
	UP	4,06	-0,64	-3,7	4,34

APÊNDICE K – RESOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADE NO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS DAS RNP E DOS MS DA CAMPANHA 2 (NÚMERO DE AMBIGUIDADES (NA); NÚMERO DE AMBIGUIDADES NÃO RESOLVIDAS (ANR) E PORCENTAGEM RESOLVIDA (%R))

SEÇÃO	NA	ANR	% R
1	392	6	98,5
2	450	7	98,4
3	640	16	97,5
4	308	7	97,7
5	384	10	97,4
6	220	0	100,0
7	390	13	96,7
8	660	15	97,7
9	480	6	98,8
10	484	10	97,9
11	496	22	95,6
12	522	8	98,5
13	584	2	99,7
14	494	9	98,2
15	432	11	97,5
Média	462,4	9,5	98,0
Desvio-padrão	117,1	5,5	1,1
Maior	660,0	22,0	100,0
Menor	220,0	0,0	95,6
Soma	6936,0	142,0	

BC21	N	0,78						-0,55	0,55									
	E	0,30						0,21	-0,21									
	U	3,99						-2,82	2,82									
BC22	N	2,31						-2,61	1,81								0,79	
	E	2,62						-2,60	-0,03								2,63	
	U	3,10						2,83	0,49								-3,32	
BC23	N	1,06						-1,22	0,73								0,49	
	E	0,87						-0,99	0,64								0,35	
	U	5,04						-3,18	5,81								-2,63	
BC24	N	0,84						0,60									-0,60	
	E	2,08						1,47									-1,47	
	U	3,40						2,41									-2,41	
BC25	N	2,53						-1,93	2,87								-0,94	
	E	2,75						0,80	-3,06								2,26	
	U	9,00						-9,51	8,38								1,14	
BC20	N	0,20							0,14								-0,14	
	E	1,25							-0,88								0,88	
	U	7,95							-5,62								5,62	
BC04	N	1,66							1,18								-1,18	
	E	1,51							-1,07								1,07	
	U	1,08							0,77								-0,77	
BC05	N	3,11							-2,20								2,20	
	E	1,31							0,93								-0,93	
	U	0,29							-0,20								0,20	
BC06	N	0,69							-0,49								0,49	
	E	2,33							1,65								-1,65	
	U	0,30							0,21								-0,21	
MD01	N	0,87							0,61								-0,61	
	E	0,54							-0,38								0,38	
	U	14,25							10,08								-10,08	
VT09	N	0,58							0,41								-0,41	
	E	0,31							0,22								-0,22	
	U	1,22							0,86								-0,86	
VT11	N	0,60							-0,43								0,43	
	E	0,37							0,26								-0,26	
	U	0,37							0,26								-0,26	
VT14	N	0,46							-0,32								0,32	
	E	3,22							-2,27								2,27	
	U	3,40							-2,40								2,40	
CF05	N	0,30							0,21								-0,21	
	E	1,21							0,86								-0,86	
	U	1,53							-1,08								1,08	
ML01	N	0,37							0,26								-0,26	
	E	0,71							-0,50								0,50	
	U	0,80							0,57								-0,57	
VT04	N	3,69							2,61								-2,61	
	E	0,85							-0,60								0,60	
	U	7,33							5,18								-5,18	
AM02	N	3,85															-2,72	2,72
	E	0,66															0,47	-0,47
	U	0,84															0,59	-0,59

APÊNDICE M – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DAS ESTAÇÕES DA RBMC E DOS PILARES DA CAMPANHA 3

Ano: 2014 / Dia do ano: 247

Estação		Comprimento (km)	Ambiguidades			
1	2		Antes	Depois	% de resol.	Mét. de fix.
RB01	PI03	483,921	42	8	80,95	QIF
RB02	PI01	326,096	42	10	76,19	QIF
RB03	PI02	230,748	44	12	72,73	QIF
RB03	PI03	229,778	44	10	77,27	QIF
Média/Soma		317,636	172	40	76,74	QIF
RB04	PI01	48,025	23	1	95,65	L53
RB04	PI02	45,522	20	0	100,00	L53
Média/Soma		46,774	43	1	97,67	L53

Ano: 2014 / Dia do ano: 248

RB01	PI03	483,921	44	8	81,82	QIF
RB02	PI01	326,096	44	6	86,36	QIF
RB03	PI02	230,748	44	4	90,91	QIF
RB03	PI03	229,778	44	4	90,91	QIF
Média/Soma		317,636	176	22	87,50	QIF
RB04	PI01	48,025	26	2	92,31	L53
RB04	PI02	45,522	24	3	87,50	L53
Média/Soma		46,774	50	5	90,00	L53

Ano: 2014 / Dia do ano: 249

RB01	PI03	483,921	44	4	90,91	QIF
RB02	PI01	326,096	46	10	78,26	QIF
RB03	PI02	230,748	48	8	83,33	QIF
RB03	PI03	229,778	48	6	87,50	QIF
Média/Soma		317,636	186	28	84,95	QIF
RB04	PI01	48,025	23	1	95,65	L53
RB04	PI02	45,522	22	1	95,45	L53
Média/Soma		46,774	45	2	95,56	L53

APÊNDICE N – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS CAMPANHA 3 (RBMC E PILARES)

Estação	Eixo	Desvio-padrão	Resíduo da Solução (mm)		
			1	2	3
RB01	N	3,06	3,41	-0,93	-2,48
	E	4,51	1,15	3,82	-4,97
	UP	7,32	-7,36	0,08	7,28
RB02	N	1,52	-1,08		1,08
	E	1,72	1,22		-1,22
	UP	0,18	-0,13		0,13
PI02	N	4,58	-3,24		3,24
	E	2,29	1,62		-1,62
	UP	0,40	-0,28		0,28
PI03	N	2,18	1,54	-1,54	
	E	3,87	-2,73	2,73	
	UP	4,47	3,16	-3,16	
RB03	N	1,86	-0,67	2,10	-1,43
	E	0,95	0,75	0,31	-1,06
	UP	5,43	3,14	3,14	-6,27
RB04	N	2,18	1,23	1,28	-2,52
	E	0,94	0,35	0,71	-1,07
	UP	1,15	0,33	0,95	-1,27
PI01	N	4,02		-2,84	2,84
	E	3,32		2,35	-2,35
	UP	10,26		-7,25	7,25

APÊNDICE O – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DOS PILARES E DAS RNP DA CAMPANHA 3

Ano: 2014 / Dia do ano: 247

Estação		Comprimento (km)	Ambiguidades			
1	2		Antes	Depois	% de resol.	Mét. de fix.
PI01	PI02	3,938	46	1	97,83	L12
PI01	RNP1	1,802	42	2	95,24	L12
PI01	RNP2	3,181	50	0	100,00	L12
PI03	RNP2	1,614	44	0	100,00	L12
Média/Soma		2,634	182	3	98,35	L12

Ano: 2014 / Dia do ano: 248

PI01	PI02	3,938	46	2	95,65	L12
PI01	RNP1	1,802	44	1	97,73	L12
PI01	RNP2	3,181	48	2	95,83	L12
PI03	RNP2	1,614	44	0	100,00	L12
Média/Soma		2,634	182	5	97,25	L12

Ano: 2014 / Dia do ano: 249

PI01	PI02	3,938	46	2	95,65	L12
PI01	RNP2	3,181	48	2	95,83	L12
PI03	RNP2	1,614	52	0	100,00	L12
RNP1	RNP2	1,963	42	0	100,00	L12
Média/Soma		2,674	188	4	97,87	L12

APÊNDICE P – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 3 (PILARES E RNP)

Estação	Eixo	Desvio-padrão	Resíduo da Solução (mm)		
			1	2	3
PI01	N	0,51	0,47	-0,54	0,07
	E	1,90	-2,01	0,26	1,76
	UP	2,39	2,71	-0,90	-1,81
PI02	N	0,51	-0,47	0,54	-0,07
	E	1,90	2,01	-0,26	-1,76
	UP	2,39	-2,71	0,90	1,81
RNP1	N	1,87	1,10	-2,16	1,06
	E	1,40	-0,30	1,52	-1,22
	UP	3,01	-3,29	0,67	2,62
RNP2	N	1,73	1,27	-1,96	0,70
	E	2,45	-2,68	0,57	2,11
	UP	4,47	-3,08	5,13	-2,05
PI03	N	1,26		-0,89	0,89
	E	0,47		0,33	-0,33
	UP	0,22		-0,15	0,15

APÊNDICE Q – RESOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADE NO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS DAS RNP E DOS MS DA CAMPANHA 3 (NÚMERO DE AMBIGUIDADES (NA); NÚMERO DE AMBIGUIDADES NÃO RESOLVIDAS (ANR) E PORCENTAGEM RESOLVIDA (%R))

SEÇÃO	NA	ANR	% R
1	138	1	99,3
2	742	17	97,7
3	954	13	98,6
4	414	3	99,3
5	74	0	100,0
6	116	6	94,8
7	72	0	100,0
8	540	19	96,5
9	898	19	97,9
10	432	10	97,7
11	696	25	96,4
12	614	2	99,7
13	204	7	96,6
14	126	5	96,0
15	488	12	97,5
16	210	2	99,0
Média	419,9	8,8	97,9
Desvio-padrão	298,9	7,9	1,6
Maior	954,0	25,0	100,0
Menor	72,0	0,0	94,8
Soma	6718,0	141,0	

APÊNDICE R – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 3 (RNP E MS)

Estação	Eixo	Desvio-padrão	Resíduo da Solução (mm)															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
AM02	N	1,54	-1,09							1,09								
	E	1,35	-0,95							0,95								
	U	3,28	2,32							-2,32								
CF01	N	3,16	3,42					-2,80		-0,62								
	E	2,75	-1,40					3,16		-1,77								
	U	9,00	4,43					-10,36		5,93								
RNP1	N	1,12	0,42	-1,94	1,24	0,44	1,78	0,68	0,75	1,37	-0,50	-1,18	-1,30	-0,52	-0,04	-1,49	0,92	-0,63
	E	0,91	0,63	-0,76	-0,27	-0,77	-0,69	-0,53	-1,35	0,53	0,22	0,82	1,17	1,12	0,48	0,31	-1,85	0,93
	U	2,12	-1,73	3,22	-0,46	0,71	-0,58	-0,04	2,98	-2,13	1,53	4,12	-0,01	-0,34	-3,81	-0,12	-2,02	-1,33
RNP2	N	1,12	-0,42	1,94	-1,24	-0,44	-1,78	-0,68	-0,75	-1,37	0,50	1,18	1,30	0,52	0,04	1,49	-0,92	0,63
	E	0,91	-0,63	0,76	0,27	0,77	0,69	0,53	1,35	-0,53	-0,21	-0,82	-1,17	-1,12	-0,48	-0,31	1,85	-0,93
	U	2,12	1,73	-3,22	0,46	-0,71	0,58	0,04	-2,98	2,13	-1,53	-4,12	0,00	0,34	3,81	0,12	2,02	1,33
CF02	N	1,27		-0,10						1,31				-1,21				
	E	2,27		-1,07						2,60				-1,53				
	U	4,46		-1,75						-3,32				5,07				
CF03	N	1,60		1,84						-0,78				-1,06				
	E	1,39		0,54						-1,58				1,04				
	U	0,79		-0,39						0,91				-0,53				
CF04	N	3,24		-2,29												2,29		
	E	0,62		0,44												-0,44		
	U	21,44		15,16												-15,16		
CF05	N	0,50		-0,35									0,35					
	E	0,21		0,15									-0,15					
	U	1,14		-0,81									0,81					
VT03	N	0,59		-0,42									0,42					
	E	2,22		1,57									-1,57					
	U	11,68		8,26									-8,26					
VT04	N	3,25		2,30									-2,30					
	E	4,83		-3,41									3,41					
	U	6,33		-4,48									4,48					
VT05	N	0,18		0,13									-0,13					
	E	1,84		-1,30									1,30					
	U	12,31		8,70									-8,70					
VT06	N	0,98		0,69									-0,69					
	E	3,40		-2,40									2,40					
	U	3,63		-2,57									2,57					
VT07	N	2,47		1,75										-1,75				
	E	2,08		1,47										-1,47				
	U	5,54		3,92										-3,92				
VT10	N	1,93		-0,81						2,21			-1,40					
	E	1,21		0,26						1,06			-1,32					
	U	5,91		5,26						-6,40			1,14					
VT11	N	2,51		-1,77						1,77								
	E	2,49		-1,76						1,76								
	U	15,65		11,07						-11,07								
VT12	N	0,59		0,42						-0,42								
	E	1,16		0,82						-0,82								
	U	10,14		7,17						-7,17								
BC01	N	2,78				-2,98							2,53	0,45				
	E	4,55				-0,40							-4,34	4,73				
	U	10,73				-6,75							-5,63	12,37				

APÊNDICE S – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES ENTRE AS ESTAÇÕES DA RBMC E DOS PILARES DA CAMPANHA 4

Ano: 2015 / Dia do ano: 279

Estação		Comprimento (km)	Ambiguidades			
1	2		Antes	Depois	% de resol.	Mét. de fix.
RB01	PI03	483,921	44	8	81,82	QIF
RB02	PI01	326,096	56	20	64,29	QIF
RB03	PI02	230,748	42	6	85,71	QIF
RB03	PI03	229,778	46	4	91,30	QIF
Média/Soma		317,636	188	38	79,79	QIF
RB04	PI01	48,025	30	2	93,33	L53
RB04	PI02	45,522	21	0	100,00	L53
Média/Soma		46,774	51	2	96,08	L53

Ano: 2015 / Dia do ano: 280

RB01	PI03	483,921	66	12	81,82	QIF
RB02	PI01	326,096	46	6	86,96	QIF
RB03	PI02	230,748	46	6	86,96	QIF
RB03	PI03	229,778	68	6	91,18	QIF
Média/Soma		317,636	226	30	86,73	QIF
RB04	PI01	48,025	24	0	100,00	L53
RB04	PI02	45,522	22	2	90,91	L53
Média/Soma		46,774	46	2	95,65	L53

Ano: 2015 / Dia do ano: 281

RB01	PI03	483,921	44	10	77,27	QIF
RB02	PI01	326,096	54	18	66,67	QIF
RB03	PI02	230,748	44	4	90,91	QIF
RB03	PI03	229,778	46	6	86,96	QIF
Média/Soma		317,636	188	38	79,79	QIF
RB04	PI01	48,025	27	1	96,30	L53
RB04	PI02	45,522	22	0	100,00	L53
Média/Soma		46,774	49	1	97,96	L53

**APÊNDICE T – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS
PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 4 (RBMC E PILARES)**

Estação	Eixo	Desvio- padrão	Resíduo da Solução (mm)		
			1	2	3
RB01	N	0,74	-0,73	0,75	-0,02
	E	2,80	-2,22	3,14	-0,92
	UP	6,37	5,83	0,96	-6,79
RB02	N	1,54	0,58	-1,75	1,17
	E	1,26	1,15	0,21	-1,35
	UP	3,05	-3,30	2,70	0,61
PI01	N	0,83	-0,25	-0,67	0,92
	E	2,61	1,09	-2,98	1,89
	UP	3,29	3,45	-0,33	-3,11
PI02	N	0,87	0,61		-0,61
	E	1,52	-1,07		1,07
	UP	5,91	-4,18		4,18
PI03	N	1,65	-1,17		1,17
	E	0,95	0,67		-0,67
	UP	5,66	-4,00		4,00
RB03	N	1,39	-1,27	-0,21	1,48
	E	0,50	-0,57	0,26	0,31
	UP	6,45	-5,97	-0,87	6,84
RB04	N	1,63	0,67	1,19	-1,86
	E	3,09	1,36	-3,54	2,18
	UP	3,05	3,34	-2,63	-0,72

APÊNDICE U – INFORMAÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS ENTRE AS ESTAÇÕES DOS PILARES E DAS RNP DA CAMPANHA 4

Ano: 2015 / Dia do ano: 279

Estação		Comprimento (km)	Ambiguidades			
1	2		Antes	Depois	% de resol.	Mét. de fix.
PI01	RNP2	3,181	64	3	95,31	L12
PI02	RNP2	3,036	44	0	100,00	L12
PI03	RNP2	1,614	52	2	96,15	L12
RNP1	RNP2	1,963	46	0	100,00	L12
Média/Soma		2,449	206	5	97,57	L12

Ano: 2015 / Dia do ano: 280

PI01	RNP2	3,181	54	4	92,59	L12
PI02	RNP2	3,036	52	0	100,00	L12
PI03	RNP2	1,614	72	0	100,00	L12
RNP1	RNP2	1,963	42	0	100,00	L12
Média/Soma		2,449	220	4	98,18	L12

Ano: 2015 / Dia do ano: 281

PI01	RNP2	3,181	58	2	96,55	L12
PI02	RNP2	3,036	50	2	96,00	L12
PI03	RNP2	1,614	48	0	100,00	L12
RNP1	RNP2	1,963	52	2	96,15	L12
Média/Soma		2,449	208	6	97,12	L12

APÊNDICE V – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 4 (PILARES E RNP)

Estação	Eixo	Desvio-padrão	Resíduo da Solução (mm)		
			1	2	3
PI01	N	1,52	1,15	-1,72	0,56
	E	1,61	0,48	-1,80	1,32
	UP	4,48	-2,18	5,16	-2,97
PI02	N	0,79	0,38	0,52	-0,90
	E	2,30	-1,52	2,65	-1,13
	UP	5,40	1,67	-6,03	4,37
PI03	N	1,39	-1,53	1,19	0,34
	E	0,96	1,03	-0,85	-0,18
	UP	1,22	0,52	0,87	-1,39
RNP1	N	1,55	1,71	-1,31	-0,40
	E	0,50	-0,38	0,57	-0,19
	UP	2,39	-1,60	2,75	-1,15
RNP2	N	0,86	0,88	-0,84	-0,03
	E	0,74	0,65	-0,80	0,15
	UP	2,53	-0,40	2,70	-2,31

APÊNDICE X – RESOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADE NO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS DAS RNP E DOS MS DA CAMPANHA 4 (NÚMERO DE AMBIGUIDADES (NA); NÚMERO DE AMBIGUIDADES NÃO RESOLVIDAS (ANR) E PORCENTAGEM RESOLVIDA (%R))

SEÇÃO	NA	ANR	% R
1	114	9	92,1
2	624	20	96,8
3	982	26	97,4
4	474	12	97,5
5	72	2	97,2
6	306	13	95,8
7	732	22	97,0
8	730	25	96,6
9	436	8	98,2
10	230	12	94,8
11	160	3	98,1
12	448	10	97,8
13	512	7	98,6
14	720	11	98,5
15	236	11	95,3
16	188	6	96,8
17	106	1	99,1
18	162	1	99,4
19	248	5	98,0
20	88	1	98,9
Média	378,4	10,3	97,2
Desvio-padrão	265,8	7,8	1,7
Maior	982,0	26,0	99,4
Menor	72,0	1,0	92,1
Soma	7568,0	205,0	

APÊNDICE W – RESÍDUOS E DESVIOS PADRÃO DAS SOLUÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS DA CAMPANHA 4 (RNP E MS)

Estação	Eixo	Desvio-padrão	Resíduo da Solução (mm)															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
AM01	N	1,84	1,37						0,73									
	E	1,71	0,96						1,01									
	U	6,81	-2,31						7,67									
					-2,10													
AM02	N	2,94	-4,59							1,62				-0,57			3,25	
	E	1,96	-1,26							-0,37				-2,06			0,68	
	U	4,13	-1,58							-5,36				0,20			6,06	
					0,30													
RNP1	N	1,12	-0,01	0,71	-0,48	2,13	0,03	-0,31	0,15	-0,89	-0,29	-0,52	-0,38	0,57	-3,04	1,07	-0,65	0,57
	E	0,92	-0,69	-0,71	-0,74	-0,22	-0,73	0,27	0,35	-1,34	-0,42	0,77	1,39	-0,04	1,77	0,56	0,16	-0,30
	U	2,51	0,03	2,41	1,40	-0,40	2,51	-6,69	-2,33	-0,29	0,88	-2,98	-0,26	1,92	4,09	0,83	-0,37	-4,30
			1,55	1,29	-1,16	-0,33												
RNP2	N	1,12	0,01	-0,71	0,48	-2,13	-0,03	0,31	-0,15	0,89	0,29	0,53	0,38	-0,57	3,04	-1,07	0,65	-0,57
	E	0,92	0,69	0,71	0,74	0,22	0,73	-0,27	-0,35	1,34	0,42	-0,77	-1,39	0,04	-1,77	-0,56	-0,16	0,30
	U	2,51	-0,03	-2,41	-1,40	0,40	-2,51	6,68	2,33	0,29	-0,88	2,98	0,26	-1,92	-4,10	-0,83	0,37	4,30
			-1,55	-1,29	1,16	0,33												
CF01	N	2,69		-1,9						1,90								
	E	0,12		0,09						-0,09								
	U	3,53		-2,5						2,50								
CF02	N	2,82		-2,32						3,14				-0,82				
	E	4,29		4,44						-0,31				-4,13				
	U	10,34		6,19						5,74				-11,94				
CF04	N	1,84		-1,75										1,93				
	E	2,64		2,69										-0,10				
	U	8,67		2,25										7,32				
				-0,18														
CF05	N	1,38		-0,74						-0,83				2,06				
	E	3,07		2,65						-3,68				2,40				
	U	7,86		8,6						-4,60				4,42				
				-0,5														
ML01	N	0,48		-0,34										0,34				
	E	0,33		-0,23										0,23				
	U	1,9		1,34										-1,34				
				-0,18														
VT01	N	1,96		-1,39						1,39								
	E	1,23		-0,87						0,87								
	U	2,36		1,67						-1,67								
VT02	N	3,89		-2,17						-2,33				4,49				
	E	2,43		-2,57						0,33				2,25				
	U	14,33		7,21						-16,50				9,29				

