

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENATA MAGDA CAVALCANTE WERLICH

ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE PROCESSAMENTOS GPS PARA
DETECÇÃO DE DESLOCAMENTOS VERTICAIS DE TERRA EM ÁREAS
URBANIZADAS

CURITIBA

2017

RENATA MAGDA CAVALCANTE WERLICH

ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE PROCESSAMENTOS GPS PARA
DETECÇÃO DE DESLOCAMENTOS VERTICAIS DE TERRA EM ÁREAS
URBANIZADAS

Tese apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Doutor em Ciências
Geodésicas, Setor de Ciências da Terra,
Universidade Federal do Paraná.

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Claudia Pereira Krueger

CURITIBA

2017

W489a

Werlich, Renata Magda Cavalcante

Análise de alternativas de processamentos GPS para detecção de deslocamentos verticais de terra em áreas urbanizadas [recurso eletrônico] / Renata Magda Cavalcante Werlich. – Curitiba, 2017.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, 2017.

Orientadora: Claudia Pereira Krueger.

1. Deslizamentos (Geologia). 2. Redes (Geodésica). 3. Sistema de posicionamento global. I. Universidade Federal do Paraná. II. Krueger, Claudia Pereira. III. Título.

CDD: 526.64



TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS GEODÉSICAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **RENATA MAGDA CAVALCANTE WERLICH** intitulada: **ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE PROCESSAMENTOS GPS PARA DETECÇÃO DE DESLOCAMENTOS VERTICAIS DE TERRA EM ÁREAS URBANIZADAS**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 31 de Julho de 2017.

CLAUDIA PEREIRA KRUEGER

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

REGIANE DALAZOANA

Avaliador Interno (UFPR)

DANIELE BARROCA MARRA ALVES

Avaliador Externo (UNESP/PP)

LUIZ DANILO DAMASCENO FERREIRA

Avaliador Interno (UFPR)

SILVIO JACKS DOS ANJOS GARNES

Avaliador Externo (UFPE)

Aos meus pais,
Luciana e Sergio (in memoriam),
Me norteia e proteja,
Na Terra e no Céu.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e por todas as oportunidades concedidas.

Aos meus pais, Sergio (*in memoriam*) e Luciana pela educação, dedicação, apoio, incentivo, amor e carinho incondicional ontem, hoje e sempre.

À Prof^a. Dr^a. Claudia Pereira Krueger pela orientação, ensinamentos, amizade, paciência, broncas e permanente incentivo em minha vida acadêmica. Sua dedicação está me encaminhando para a docência, algo que jamais pensei que pudesse acontecer.

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho.

Ao Prof^o. Renato Lima por apresentar a área estudada, ao Prof^o. Wilson Soares por viabilizar este encontro e ao Prof^o. Guenter Schmitt pela valiosa avaliação quanto a possibilidade da realização deste nesta área indicada.

Ao Prof^o. Juan Carlos Báez Soto, pelo mini curso de processamento de dados no Bernese e Christian Pilapanta, pelo indispensável auxílio na finalização dos trabalhos com este programa.

Aos laboratórios: LAGEH (Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia), LAIG (Laboratório de Instrumentação Geodésica), LABTOPO (Laboratório de Topografia), pelo empréstimo dos equipamentos.

À Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e DAAD (Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico), pelo auxílio financeiro.

Ao *Karlsruhe Institute of Technology*, ao Prof^o. Bernhard Heck e Michael Mayer pela atenção dispensada.

Aos amigos, colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, pela companhia e contribuições ao longo destes 5 anos.

À secretária da Pós-Graduação em Ciências Geodésica Verali Mônica Kleuser pela disponibilidade.

Aos amigos e colegas que me auxiliaram nas campanhas de levantamentos de campo: Sibeles Mazur, Nassau Nardez, Anderson Viski, Kaique Ramos, Kelvin Siqueira, Laís Hasuda, Clauber Costa, Breno Bueno, André

Lenkiu, Christian Pilapanta, Jorge Euriques, Carolina Paese, Letícia Woss,
Leonardo Moreira e Aline Pallú.

Se ganhou, suspire
Se perdeu, aprenda
Porque é hora de ser
Não demore ou...
Vai perder sua aposta
Agora é a hora
Escolha bem suas cartas
O seu jogo já vai começar
O lance está no ar é só você gritar bem alto, alto
Mas se prepare, prepare
Porque nada no mundo é de graça
Você pode até ter medo, mas ande, caminhe
Só não pare, não pare nunca
Qual é o seu limite?
Até onde aguenta?
Se tudo aqui tem prazo
Qual é o seu?
Pois tudo aqui tem um porquê
A vida é o casino e você, a ficha
Nunca permita que a sua felicidade
Dependa de algo que possa perder
Todos querem uma fatia da sua glória
Todos, todos querem apostar
A sua vida
Sua graça
Sua culpa
Sua calma
Sua alma

(Rosa de Saron - Casino Boulevard)

RESUMO

Vivemos em um ambiente que sofre constantes modificações seja devido às intempéries ou pela intervenção do homem. Historicamente, o Brasil está entre os países mais afetados por inundações e desastres naturais no mundo. A maioria dos desastres naturais estão associados aos eventos climáticos, sendo eles responsáveis por desencadear inundações, vendavais, granizo e deslizamentos de terra. Mais de 60% destes eventos ocorrem no sul e sudeste do Brasil. Dentre os desastres naturais, 80% dos 10 maiores estão relacionados a inundações e deslizamentos. Buscando relacionar essa temática com as Ciências Geodésicas foi elaborado o projeto que contempla este trabalho. Neste contexto, em uma área densamente urbanizada em Curitiba, no Estado do Paraná, Brasil, foram implantadas duas redes de monitoramento. Denominadas de Rede Externa e Rede Interna. A primeira engloba três pontos estáveis que possibilitaram o processamento relativo dos dados GPS dos pontos da Rede Interna. A segunda rede contém os pontos do monitoramento na área instável. Para esta rede foram realizados processamentos dos dados GPS com o serviço PPP-IBGE e relativo com e sem os pontos da Rede Externa. Além disso, nesta rede, dados de nivelamento geométrico foram levantados, que serviram de referência para os desníveis calculados com os dados da Rede Interna. Com os dados GPS de ambas as redes, foram efetuadas análises a cerca de alguns erros sistemáticos atuantes nas observáveis. Foram idealizadas diversas configurações das redes, desde uma inunção a até oito inunções, na Rede Externa, e a até quatro inunções na Rede Interna. Foi determinado que devido aos comprimentos das linhas de base formadas, a melhor configuração para as redes analisadas foram as com somente uma inunção. Foi constatado que a melhor máscara de elevação para o propósito do trabalho é a de 15° , em que o emprego dos parâmetros de calibração de antenas GPS da BCAL/UFPR provêm resultados mais satisfatórios. Além disso, foi verificado que quando comparados somente os desníveis gerados pelas altitudes ortométricas e em outro conjunto os mesmos provenientes das altitudes elipsoidais, no melhor dos casos analisados, em somente 24% o sentido dos deslocamentos foi inverso. Conclui-se que qualitativamente o GPS pode indicar se está ocorrendo algum processo na área analisada. Com o nivelamento geométrico e informações coletadas em campo, foi possível confirmar que a área estudada está sofrendo com um processo do tipo rastejo com velocidade muito lenta, de acordo com a classificação empregada.

Palavras chaves: monitoramento, deslocamentos de terra, erros sistemáticos GPS, configurações de redes GPS

ABSTRACT

The environment that undergoes constant modifications due to the weather or the intervention of man. Historically, Brazil is among the countries most affected by floods and natural disasters in the world. Most natural disasters are associated with climatic events, and are responsible for triggering floods, windfalls, hail and landslides. More than 60% of these events occur in the south and southeast of Brazil. Here in Brazil, 80% of the 10 largest natural disasters are related to floods and landslides. Seeking to relate this subject with the Geodetic Sciences, the project that contemplates this work was elaborated. In this context, two monitoring networks were implemented in a densely urbanized area in Curitiba, in the State of Paraná, Brazil. Denominated External Network and Internal Network. The first one includes three stable points that enabled the relative processing of the GPS data of the points of the Internal Network. The second network contains the monitoring points in the unstable area. For this network, GPS data processing was performed with the PPP-IBGE service and relative to and without the External Network points. In addition, in this network, geometric leveling data were collected, which served as a reference for the calculated gap with the Internal Network data. With the GPS data of both networks, some systematic errors in the observables were analyzed. Several network configurations were devised, from an injunction to up to eight injunctions, in the External Network, and up to four internal network injunctions. It was determined that due to the lengths of the formed baselines, the best configuration for the analyzed networks were those with only one injunction. It was verified that the best lifting mask for the purpose of the work is 15° and that the use of the calibration parameters of BCAL/UFPR GPS antennas provides more satisfactory results. In addition, it was verified that when comparing only the gaps generated by the orthometric height and in another set the same from the ellipsoidal height, in the best of the analyzed cases, in only 24% the direction of the displacements was inverse. It is concluded that GPS can qualitatively indicate if any process is occurring in the analyzed area. With the geometric leveling and information collected in the field, it was possible to confirm that the studied area is suffering with a crawl-like process with very slow speed, according to the classification used.

Key words: monitoring, landslides, GPS systematic errors, GPS network configurations

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FENDA NO MURO DE UMA RESIDÊNCIA.....	5
FIGURA 2 – POSTE INCLINADO.....	6
FIGURA 3 – ASFALTO COM DIVERSOS REPAROS.....	7
FIGURA 4 – RESIDÊNCIA DEMOLIDA.....	7
FIGURA 5 – RASTEJO.....	15
FIGURA 6 – ESCORREGAMENTOS.....	15
FIGURA 7 – QUEDAS.....	15
FIGURA 8 – CORRIDAS.....	15
FIGURA 9 – PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	16
FIGURA 10 – PRINCIPAIS ERROS ENVOLVIDOS NO POSICIONAMENTO GPS.....	18
FIGURA 11 – EFEITO DE MULTICAMINHO.....	19
FIGURA 12 – DIAGRAMA FASORIAL DA RELAÇÃO SNR E EFEITO DE MULTICAMINHO.....	21
FIGURA 13 – PERDA DE CICLO NA ÉPOCA $t+dt$	22
FIGURA 14 – CAMADAS DA ATMOSFERA: TROPOSFERA E IONOSFERA.....	24
FIGURA 15 – NÚMERO DE MANCHAS SOLARES – CICLO SOLAR.....	27
FIGURA 16 – INTERPRETAÇÃO DO PCV EM FUNÇÃO DO PCO.....	28
FIGURA 17 – BCAL/UFPR.....	30
FIGURA 18 – LOCALIZAÇÃO DA BCAL/UFPR.....	30
FIGURA 19 – EQUIPAMENTO DRB.....	30
FIGURA 20 – BASE DE CALIBRAÇÃO DO NGS.....	31
FIGURA 21 – LOCALIZAÇÃO DA BASE DE CALIBRAÇÃO DO NGS.....	31
FIGURA 22 – EQUIPAMENTO UTILIZADO NA CALIBRAÇÃO.....	31
FIGURA 23 – RECORTE DA REGIONAL ADMINISTRATIVA CAJURU.....	42
FIGURA 24 – PONTOS DA ÁREA EXTERNA E IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA INTERNA.....	43
FIGURA 25 – MATERIALIZAÇÃO DOS PONTOS SANEPAR E HORTO.....	44
FIGURA 26 – PONTOS DA ÁREA INTERNA.....	44
FIGURA 27 – GRÁFICO DE TEMPERATURA DO FIM DO ANO DE 2014.....	46
FIGURA 28 – GRÁFICO DE TEMPERATURA DO ANO DE 2015.....	46
FIGURA 29 – GRÁFICO DE TEMPERATURA DO ANO DE 2016.....	47
FIGURA 30 – GRÁFICO DE TEMPERATURA DO COMEÇO DO ANO DE 2017.....	47
FIGURA 31 – GRÁFICO DE UMIDADE DO FIM DO ANO DE 2014.....	47
FIGURA 32 – GRÁFICO DE UMIDADE DO ANO DE 2015.....	48
FIGURA 33 – GRÁFICO DE UMIDADE DO ANO DE 2016.....	48
FIGURA 34 – GRÁFICO DE UMIDADE DO COMEÇO DO ANO DE 2017.....	48
FIGURA 35 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO DO FIM DO ANO DE 2014.....	49
FIGURA 36 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO DO ANO DE 2015.....	49
FIGURA 37 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO DO ANO DE 2016.....	49
FIGURA 38 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO DO COMEÇO DO ANO DE 2017.....	50
FIGURA 39 – MAPA GEOLÓGICO DE CURITIBA.....	51
FIGURA 40 – GPS <i>LEICA</i> 1200.....	53
FIGURA 41 – LEIAR25.....	53
FIGURA 42 – LEIAX1202 GG.....	53
FIGURA 43 – GPS <i>LEICA</i> 900.....	53
FIGURA 44 – GPS <i>LEICA</i> RX1250.....	53
FIGURA 45 – ATX1230+ GNSS.....	53
FIGURA 46 – ATX900 GG.....	53
FIGURA 47 – DNA03.....	53
FIGURA 48 – RESUMO DA METODOLOGIA.....	58

FIGURA 49 – PONTO M13	65
FIGURA 50 – PONTO M10	65
FIGURA 51 – PONTO M11	65
FIGURA 52 – PONTO M17	65
FIGURA 53 – MARCO 1	65
FIGURA 54 – PONTO M05	65
FIGURA 55 – PONTO M12	65
FIGURA 56 – PONTO M15	65
FIGURA 57 – PONTO M07	65
FIGURA 58 – LOCALIZAÇÃO DO MARCO1 E DOS PONTOS M05, M10, M11, M13, M17, M12, M15 E M07	66
FIGURA 59 – INFORMAÇÕES DA RN 2053D	67
FIGURA 60 – RN 2053D	67
FIGURA 61 – SEÇÃO DE NIVELAMENTO PARA O TRANSPORTE DA ALTITUDE ORTOMÉTRICA	68
FIGURA 62 – REDE DE MONITORAMENTO DE NIVELAMENTO NA ÁREA DO GUABIROTUBA	70
FIGURA 63 - LEGENDA DOS RESULTADOS DO PROGRAMA <i>Wasoft/Multipath</i>	72
FIGURA 64 – ESQUEMA DO PROCESSAMENTO PARA A OBTENÇÃO DO EFEITO DE MULTICAMINHO, RAZÃO SINAL/RUÍDO E PERDAS DE CICLOS	72
FIGURA 65 – ESQUEMA DOS PROCESSAMENTOS DOS DADOS GPS DA REDE EXTERNA.	75
FIGURA 66 – ESTAÇÕES CONHECIDAS EMPREGADAS NOS PROCESSAMENTOS DA REDE EXTERNA.....	76
FIGURA 67 – ESQUEMA DO BPE	81
FIGURA 68 – ESQUEMA DO PROCESSAMENTO DOS DADOS GPS DA REDE INTERNA.....	83
FIGURA 69 – MÉDIAS DAS COMPONENTES NORTE E LESTE EM L1	89
FIGURA 70 – MÉDIAS DAS COMPONENTES NORTE E LESTE EM L2	89
FIGURA 71 – MÉDIA DA COMPONENTE UP EM L1 E L2	90
FIGURA 72 – PONTO BCAL.....	93
FIGURA 73 – FORMATO VETORIAL DO PONTO BCAL	93
FIGURA 74 – PLOTAGEM SIMPLES DO PONTO BCAL COM OS ÍNDICES DE CADA DIA GPS.....	93
FIGURA 75 – PONTO SANEPAR.....	94
FIGURA 76 – FORMATO VETORIAL DO PONTO SANEPAR	94
FIGURA 77 – PLOTAGEM SIMPLES DO PONTO SANEPAR COM OS ÍNDICES DE CADA DIA GPS	94
FIGURA 78 – ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR.....	95
FIGURA 79 – FORMATO VETORIAL DA ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR.....	95
FIGURA 80 – PLOTAGEM SIMPLES DA ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR COM OS ÍNDICES DE CADA DIA GPS	95
FIGURA 81 – PONTO HORTO	96
FIGURA 82 – FORMATO VETORIAL DO PONTO HORTO/Q.....	96
FIGURA 83 – FORMATO VETORIAL DO PONTO BCAL/T	97
FIGURA 84 – FORMATO VETORIAL DO PONTO BCAL/Q	97
FIGURA 85 – FORMATO VETORIAL DO PONTO SANEPAR/T	97
FIGURA 86 – FORMATO VETORIAL DO PONTO SANEPAR/Q	97
FIGURA 87 – FORMATO VETORIAL A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR/T	97
FIGURA 88 – FORMATO VETORIAL A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR/Q	97
FIGURA 89 – PERDAS DE CICLO DA REDE EXTERNA.....	99
FIGURA 90 – SANEPAR: SNR1 VERSUS ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES, DIA GPS 049/17	101
FIGURA 91 – BCAL: SNR1 VERSUS ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES, DIA GPS 049/17	101
FIGURA 92 – SANEPAR: ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES E SNR1, DIA GPS 049/17	102
FIGURA 93 – BCAL: ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES E SNR1, DIA GPS 049/17	102
FIGURA 94 – SANEPAR: SNR1 VERSUS ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES, DIA GPS 319/14	102

FIGURA 95 – SANEPAR: ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES E SNR1, DIA GPS 319/14.....	102
FIGURA 96 – SANEPAR: ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES E SNR2, DIA GPS 049/17.....	103
FIGURA 97 – BCAL: ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES E SNR2, DIA GPS 049/17.....	103
FIGURA 98 – SANEPAR: ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES E SNR2, DIA GPS 319/14.....	103
FIGURA 99 – ANTENA YAGI NO PONTO SANEPAR.....	104
FIGURA 100 – ANTENA MODELO YAGI.....	104
FIGURA 101 – ANTENA COLINEAR NO PONTO SANEPAR.....	104
FIGURA 102 – ANTENA MODELO COLINEAR.....	104
FIGURA 103 – MANCHAS SOLARES VERSUS IOD/MP.....	107
FIGURA 104 – ÍNDICE DE INTENSIDADE DO EFEITO DE MULTICAMINHO DA REDE EXTERNA VERSUS O INDICADOR O/SLPS.....	108
FIGURA 105 – INDICADORES DE EFEITO DE MULTICAMINHO E SNR DO PONTO BCAL....	109
FIGURA 106 – INDICADORES DE EFEITO DE MULTICAMINHO E SNR DO PONTO SANEPAR.....	110
FIGURA 107 – IMAGEM ILUSTRATIVA DA DISPOSIÇÃO DOS PILARES DA BCAL/UFPR.....	111
FIGURA 108 – PILARES DA BCAL/UFPR.....	112
FIGURA 109 – FORMATO VETORIAL DA ANTENA DO PONTO BCAL (PILAR 2000), ALTURA DA ANTENA DE 0 cm.....	113
FIGURA 110 – FORMATO VETORIAL DA ANTENA DO PONTO BCAL (PILAR 2000), ALTURA DA ANTENA DE 50 cm.....	113
FIGURA 111 – FORMATO VETORIAL DA ANTENA DO PONTO SANEPAR (PILAR 1000), ALTURA DA ANTENA DE 0 cm.....	113
FIGURA 112 – FORMATO VETORIAL DA ANTENA DO PONTO SANEPAR (PILAR 1000), ALTURA DA ANTENA DE 50 cm.....	113
FIGURA 113 – FORMATO VETORIAL DA ANTENA DO PONTO HORTO (PILAR 3000), ALTURA DA ANTENA DE 0 cm.....	114
FIGURA 114 – FORMATO VETORIAL DA ANTENA DO PONTO HORTO (PILAR 3000), ALTURA DA ANTENA DE 50 cm.....	114
FIGURA 115 – ÍNDICE DE INTENSIDADE: EXPERIMENTO NA BCAL/UFPR COM DIFERENTES ALTURAS DE ANTENAS.....	114
FIGURA 116 – PILAR 3000 (HORTO), SEM HASTE, SESSÃO 3: SNR1, MP1 E ELAVAÇÃO DO PRN25.....	117
FIGURA 117 – PILAR 2000 (BCAL), SEM HASTE, SESSÃO 3: SNR1, MP1 E ELAVAÇÃO DO PRN25.....	117
FIGURA 118 – PILAR 3000 (HORTO), COM HASTE, SESSÃO 3: SNR1, MP1 E ELAVAÇÃO DO PRN25.....	118
FIGURA 119 – PILAR 2000 (BCAL), COM HASTE, SESSÃO 3: SNR1, MP1 E ELAVAÇÃO DO PRN25.....	118
FIGURA 120 – INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES ALTURAS DE ANTENAS.....	119
FIGURA 121 – 1ª CAMPANHA: INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES MÁSCARAS.....	125
FIGURA 122 – 2ª CAMPANHA: INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES MÁSCARAS.....	126
FIGURA 123 – 3ª CAMPANHA: INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES MÁSCARAS.....	126
FIGURA 124 – 4ª CAMPANHA: INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES MÁSCARAS.....	126
FIGURA 125 – 5ª CAMPANHA: INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES MÁSCARAS.....	127
FIGURA 126 – 6ª CAMPANHA: INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES MÁSCARAS.....	127
FIGURA 127 – MÉDIA GERAL DO INDICADOR O/SLPS.....	128
FIGURA 128 – PONTO M06, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 10°.....	129
FIGURA 129 – PONTO M06, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 15°.....	129
FIGURA 130 – PONTO M06, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 17°.....	130
FIGURA 131 – PONTO M06, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 20°.....	130
FIGURA 132 – PONTO M11, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 10°.....	130
FIGURA 133 – PONTO M11, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 15°.....	130
FIGURA 134 – PONTO M11, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 17°.....	131

FIGURA 135 – PONTO M11, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 20°	131
FIGURA 136 – GANHO (%) MÉDIO DE MP1, MP2, SNR1, SNR2 E NÚMERO DE OBSERVAÇÕES	133
FIGURA 137 – GANHO (%) MÉDIO DE IOD/MP E O/SLPS	133
FIGURA 138 – MÉDIA DOS ERROS PERMITIDOS E COMETIDOS NAS CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO NA REDE INTERNA	135
FIGURA 139 – PONTOS COM OS MAIORES DESLOCAMENTOS VERTICAIS	137
FIGURA 140 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS DOS PONTOS DA REDE INTERNA	138
FIGURA 141 – PERCENTAGEM DAS DIFERENÇAS, DOS RESULTADOS DE 15 SEGUNDOS	141
FIGURA 142 – PERCENTAGEM DAS DIFERENÇAS, DOS RESULTADOS DE 1 SEGUNDO ..	144
FIGURA 143 – DESVIO-PADRÃO E DIFERENÇA DA COORDENADA <i>A PRIORI</i> , COM 15 SEGUNDOS	146
FIGURA 144 – DESVIO-PADRÃO E DIFERENÇA DA COORDENADA <i>A PRIORI</i> , COM 1 SEGUNDO	146
FIGURA 145 – DIFERENÇAS DAS COORDENADAS GEODÉSICAS COM DIFERENTES INTERVALOS DE TEMPO	147
FIGURA 146 – MÉDIA POR CAMPANHA DOS RESÍDUOS DA FASE DA ONDA PORTADORA	149
FIGURA 147 – PERCENTAGEM DAS DIFERENÇAS, DOS RESULTADOS COM 6 HORAS	150
FIGURA 148 – PERCENTAGEM DAS DIFERENÇAS, DOS RESULTADOS COM 8 HORAS	150
FIGURA 149 – PERCENTAGEM DAS DIFERENÇAS, DOS RESULTADOS COM 12 HORAS ..	151
FIGURA 150 – SIGMA <i>A POSTERIORI</i> DAS CONFIGURAÇÕES DA REDE EXTERNA	153
FIGURA 151 – GRAUS DE LIBERDADE DAS CONFIGURAÇÕES DA REDE EXTERNA	153
FIGURA 152 – χ^2 REDUZIDO DAS CONFIGURAÇÕES DA REDE EXTERNA	154
FIGURA 153 – MÉDIAS DOS RMS DAS REPETIBILIDADES DAS COORDENADAS GEODÉSICAS	155
FIGURA 154 – PERCENTAGENS DAS SOLUÇÕES DAS AMBIGUIDADES DA 2ª CAMPANHA	159
FIGURA 155 – PERCENTAGENS DAS SOLUÇÕES DAS AMBIGUIDADES DA 4ª CAMPANHA	159
FIGURA 156 – MÉDIA DOS RESÍDUOS DE CADA PRN DO PONTO M05, 4ª CAMPANHA	160
FIGURA 157 – DESVIOS-PADRÃO DE CADA PRN DO PONTO M05, 4ª CAMPANHA	160
FIGURA 158 – PERCENTAGENS DAS SOLUÇÕES DAS AMBIGUIDADES DA 2ª CAMPANHA	163
FIGURA 159 – PERCENTAGENS DAS SOLUÇÕES DAS AMBIGUIDADES DA 4ª CAMPANHA	163
FIGURA 160 – ARQUIVO NÃO MODIFICADO: RESÍDUOS DAS DUPLAS DIFERENÇAS DE FASE, PONTO M17, 4ª CAMPANHA	164
FIGURA 161 – ARQUIVO MODIFICADO: RESÍDUOS DAS DUPLAS DIFERENÇAS DE FASE, PONTO M17, 4ª CAMPANHA	164
FIGURA 162 – REDE INTERNA COM UFPR-CURITIBA	171
FIGURA 163 – REDE INTERNA COM SANEPAR	171
FIGURA 164 – REDE INTERNA COM UFPR-CURITIBA E SANEPAR	172
FIGURA 165 – REDE INTERNA COM UFPR-CURITIBA, SANEPAR E BCAL	172
FIGURA 166 – REDE INTERNA COM UFPR-CURITIBA, SANEPAR, BCAL E HORTO	173
FIGURA 167 – MÉDIAS DOS DESVIOS-PADRÃO DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS DAS REDES FORMADAS	174
FIGURA 168 – REDE INTERNA COM SANEPAR E HORTO	179
FIGURA 169 – MÉDIAS DOS DESVIOS-PADRÃO DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS COM O EMPREGO DE DIFERENTES PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GPS, COM SANEPAR	179

FIGURA 170 – MÉDIAS DOS DESVIOS-PADRÃO DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS COM O EMPREGO DE DIFERENTES PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GPS, COM SANEPAR E HORTO.....	180
FIGURA 171 – DIFERENÇAS ENTRE OS DESNÍVEIS DA 2ª E 5ª CAMPANHAS GPS COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS RELATIVOS E 2ª E 7ª CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	189
FIGURA 172 – DIFERENÇAS ENTRE OS DESNÍVEIS DA 2ª E 5ª CAMPANHAS GPS COM PROCESSAMENTO PPP-IBGE E 2ª E 7ª CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO ..	189
FIGURA 173 – DIFERENÇAS ENTRE OS DESNÍVEIS DA 2ª E 6ª CAMPANHAS GPS COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS RELATIVOS E 2ª E 8ª CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	191
FIGURA 174 – DIFERENÇAS ENTRE OS DESNÍVEIS DA 2ª E 6ª CAMPANHAS GPS COM PROCESSAMENTO PPP-IBGE E 2ª E 8ª CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO ..	191

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ESCALA DE VELOCIDADE DE DESLIZAMENTOS	13
QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA	14
QUADRO 3 – ÓRBITAS E RELÓGIOS DOS SATÉLITES DA CONSTELAÇÃO GPS	23
QUADRO 4 – ERRO MÁXIMO CAUSADO PELA REFRAÇÃO IONOSFÉRICA	26
QUADRO 5 – ESPECIFICAÇÕES QUANTO AS PRECISÕES	33
QUADRO 6 – CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO EFEITO DE MULTICAMINHO	73
QUADRO 7 – ARQUIVOS GERAIS UTILIZADOS.....	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DIAS GPS DOS RASTREIOS NA REDE EXTERNA.....	61
TABELA 2 – EQUIPAMENTOS DA REDE EXTERNA	62
TABELA 3 – DIAS GPS E DURAÇÃO DOS RASTREIOS NA REDE INTERNA	63
TABELA 4 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS PONTOS DA REDE INTERNA NAS CAMPANHAS.....	64
TABELA 5 – CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DA REDE INTERNA.....	69
TABELA 6 – ESTAÇÕES DA RBMC, LINHAS DE BASE MÉDIAS E ALTITUDES ELIPSOIDAIS.	76
TABELA 7 – CONFIGURAÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DA REDE EXTERNA.....	77
TABELA 8 – PCO DAS ANTENAS ATX900 GG E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS.....	86
TABELA 9 – PCO DAS ANTENAS ATX1230+ GNSS E LEIAX1202 GG, A E B, E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	87
TABELA 10 – ESTATÍSTICAS DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO ANALISADOS	88
TABELA 11 – CONJUNTO DE DADOS DA REDE EXTERNA PARA ANÁLISE DO EFEITO DE MULTICAMINHO COM <i>WASOFT/MULTIPATH</i>	92
TABELA 12 – INTENSIDADE DO EFEITO DE MULTICAMINHO PARA OS CONJUNTOS FORMADOS.....	98
TABELA 13 – CORRELAÇÃO ENTRE MP1 E MP2 COM AS PERDAS DE CICLO	100
TABELA 14 – MÉDIAS DOS INDICADORES DE QUALIDADE, POR CAMPANHA, DA BCAL...	105
TABELA 15 – MÉDIAS DOS INDICADORES DE QUALIDADE, POR CAMPANHA, DA SANEPAR	105
TABELA 16 – MÉDIAS DOS INDICADORES DE QUALIDADE, POR CAMPANHA, DA UFPR...	106
TABELA 17 – MÉDIAS DOS INDICADORES DE QUALIDADE, POR CAMPANHA, DO HORTO	106
TABELA 18 – MÉDIAS DOS INDICADORES DE QUALIDADE DOS PONTOS DA REDE EXTERNA E DA ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR.....	107
TABELA 19 – ANTENAS, PONTOS DA REDE EXTERNA E PILARES DA BCAL/UFPR.....	110
TABELA 20 – INDICADORES DE QUALIDADE COM ALTURA DA ANTENA EM 0 cm.....	115
TABELA 21 – INDICADORES DE QUALIDADE COM ALTURA DA ANTENA EM 50 cm.....	116
TABELA 22 – MÉDIA DOS INDICADORES DE QUALIDADE PARA MÁSCARA DE 10°	121
TABELA 23 – MÉDIA DOS INDICADORES DE QUALIDADE PARA MÁSCARA DE 15°	122
TABELA 24 – MÉDIA DOS INDICADORES DE QUALIDADE PARA MÁSCARA DE 17°	123
TABELA 25 – MÉDIA DOS INDICADORES DE QUALIDADE PARA MÁSCARA DE 20°	124
TABELA 26 – MÉDIA DE GANHO (%) QUANDO EMPREGADA A MÁSCARA DE 15°	132
TABELA 27 – MÉDIA DE GANHO (%) QUANDO EMPREGADA A MÁSCARA DE 17°	132
TABELA 28 – MÉDIA DE GANHO (%) QUANDO EMPREGADA A MÁSCARA DE 20°	132
TABELA 29 – ALTITUDES ORTOMÉTRICAS DOS BENCHMARKS DA REDE INTERNA	134
TABELA 30 – DESNÍVEIS ENTRE AS CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO NA REDE INTERNA.....	136
TABELA 31 – ACURÁCIA LOCAL DA REDE INTERNA EM CADA CAMPANHA	137
TABELA 32 – DIFERENÇAS MÉDIAS, MÁXIMAS E MÍNIMAS, DAS COORDENADAS GEODÉSICAS COM O PPP-IBGE, PARA AS DIFERENTES CAMPANHAS, COM 15 SEGUNDOS	140
TABELA 33 – MÉDIAS DOS DESVIOS-PADRÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS, DOS RESULTADOS DE 15 SEGUNDOS	142
TABELA 34 – DIFERENÇAS MÉDIAS, MÁXIMAS E MÍNIMAS, DAS COORDENADAS GEODÉSICAS COM O PPP-IBGE, PARA AS DIFERENTES CAMPANHAS, COM 1 SEGUNDO	143
TABELA 35 – MÉDIAS DOS DESVIOS-PADRÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS, DOS RESULTADOS DE 1 SEGUNDO.....	145

TABELA 36 – DIFERENÇAS, MÁXIMAS E MÍNIMAS, DAS COORDENADAS GEODÉSICAS COM O PPP-IBGE, PARA AS DIFERENTES CAMPANHAS E PONTOS	148
TABELA 37 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA 1ª CAMPANHA, ÉPOCA 2014,9.....	156
TABELA 38 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA 2ª CAMPANHA, ÉPOCA 2015,1.....	156
TABELA 39 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA 3ª CAMPANHA, ÉPOCA 2015,3.....	156
TABELA 40 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA 4ª CAMPANHA, ÉPOCA 2015,4.....	156
TABELA 41 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA 5ª CAMPANHA, ÉPOCA 2016,4.....	156
TABELA 42 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA 6ª CAMPANHA, ÉPOCA 2017,1.....	156
TABELA 43 – SOLUÇÕES DAS AMBIGUIDADES PARA CADA MÁSCARA DE ELEVAÇÃO da 2ª E 4ª CAMPANHAS.....	158
TABELA 44 – SOLUÇÕES DAS AMBIGUIDADES COM ARQUIVOS NÃO MODIFICADOS E MODIFICADOS, DA 2ª E 4ª CAMPANHA	162
TABELA 45 – ALTITUDES ELPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR.....	166
TABELA 46 – ALTITUDES ELPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM SANEPAR	167
TABELA 47 – ALTITUDES ELPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR E SANEPAR.....	168
TABELA 48 – ALTITUDES ELPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR, SANEPAR E BCAL.....	169
TABELA 49 – ALTITUDES ELPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR, SANEPAR, BCAL E HORTO.....	170
TABELA 50 – TESTE F DE SNEDECOR COM AS DIFERENTES REDES ARRANJADAS	175
TABELA 51 – ALTITUDES ELPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM SANEPAR COM PARÂMETROS DA BCAL/UFPR.....	177
TABELA 52 – ALTITUDES ELPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM SANEPAR E HORTO, COM PARÂMETROS DO NGS E BCAL/UFPR	178
TABELA 53 – TESTE F DE SNEDECOR COM AS DIFERENTES REDES ARRANJADAS E PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GPS.....	181
TABELA 54 – DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSÓIDAIAS, COM A REDE INTERNA E A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR, ENTRE AS CAMPANHAS	182
TABELA 55 – DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSÓIDAIAS, COM A REDE INTERNA E A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR, ENTRE AS CAMPANHAS	183
TABELA 56 – DESNÍVEIS DA 2ª CAMPANHA COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS E NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	185
TABELA 57 – DESNÍVEIS DA 5ª CAMPANHA COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS E 7ª CAMPANHA DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	186
TABELA 58 – DESNÍVEIS DA 6ª CAMPANHA GPS COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS E 8ª CAMPANHA DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	187
TABELA 59 – DIFERENÇAS ENTRE OS DESNÍVEIS DA 2ª E 5ª CAMPANHAS GPS COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS E 2ª E 7ª CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	188
TABELA 60 – DIFERENÇAS ENTRE OS DESNÍVEIS DA 2ª E 6ª CAMPANHAS GPS COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS E 2ª E 8ª CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	190

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AEM-LAGEH	–	Atenuador de Efeito de Multicaminho - LAGEH
AIUB	–	ingl. <i>Astronomical Institute of the University of Bern</i>
ANTEX	–	ingl. <i>Antenna Exchange Format</i>
APKIM	–	ingl. <i>Actual Plate Kinematic and Deformation Model</i>
ARP	–	ingl. <i>Antenna Reference Point</i>
BCAL/UFPR	–	Base de Calibração de Antenas GNSS na UFPR
BPE	–	ingl. <i>Bernese Processing Engine</i>
CEMADEN	–	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CENACID	–	Centro de Apoio Científico em Desastres
COMDEC	–	Coordenadoria Municipal de Defesa Civil do Paraná
CODE	–	ingl. <i>Center for Orbit Determination in Europe</i>
COPEL	–	Companhia Paranaense de Energia
DOP	–	ingl. <i>Dilution Of Precision</i>
DRB	–	al. <i>Drehrumbum</i>
EM-DAT	–	ingl. <i>Emergency Events Database</i>
FES2004	–	ingl. <i>Finite Element Solution 2004</i>
GGOS	–	ingl. <i>Global Geodetic Observing System</i>
GLONASS	–	ingl. <i>Global Navigation Satellite System</i>
GNSS	–	ingl. <i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	–	ingl. <i>Global Positioning System</i>
GOCA	–	ingl. <i>GNSS/LPS/LS Online Control and Alarm System</i>
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ingl.	–	Inglês
IGS	–	ingl. <i>International GNSS Service</i>
INMET	–	Instituto Nacional de Meteorologia
IPPUC	–	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
ITRF	–	ingl. <i>International Terrestrial Reference Frame</i>
LAGEH	–	Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia
LGO	–	ingl. <i>Leica Geo Office</i>
MMQ	–	Método dos Mínimos Quadrados
NEIA	–	Cananéia
NIMAD	–	Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente e Desenvolvimento
NGS	–	ingl. <i>National Geographic Service</i>
NNR-NUVEL-1A	–	ingl. <i>No-Net-Rotation Northwestern University Velocity model 1A</i>
NOAA	–	ingl. <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OMM	–	Organização Meteorológica Mundial
PCO	–	ingl. <i>Phase Center Offset</i>

PCF	–	ingl. <i>Process Control File</i>
PCV	–	ingl. <i>Phase Center Variation</i>
PD	–	Pseudodistância
POLI	–	São Paulo
PRGU	–	Guarapuava
PRMA	–	Maringá
ppm	–	Parte por milhão
PPP	–	Posicionamento por ponto preciso
PROBRAL	–	Programa Brasil-Alemanha
RBMC	–	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RINEX	–	ingl. <i>Receiver Independent Exchange Format</i>
RAAP	–	Rede Altimétrica de Alta Precisão
RN	–	Referência de Nível
SANEPAR	–	Companhia de Saneamento do Paraná
SCAQ	–	Araquari
SCFL	–	Florianópolis
SCLA	–	Lages
SGB	–	Sistema Geodésico Brasileiro
SIMEPAR	–	Sistema Meteorológico do Paraná
SIRGAS	–	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SIRGAS-CON	–	Rede SIRGAS de operação contínua
SMMA	–	Secretaria Municipal do Meio Ambiente
SNR	–	ingl. <i>Signal to Noise Ratio</i>
TREVel	–	Transformação entre Referenciais e cálculo de Velocidades
TEC	–	ingl. <i>Total Electron Content</i>
TECU	–	ingl. <i>Total Electron Content Unit</i>
TEQC	–	ingl. <i>Translate/Edit/Quality/Check</i>
UFPR	–	Universidade Federal do Paraná
UNAVCO	–	ingl. <i>University NAVSTAR Consortium</i>
UNISDR	–	ingl. <i>United Nations International Strategy for Disaster Reduction</i>
VMF	–	ingl. <i>Viena Mapping Function</i>
VEMOS	–	Modelo de Velocidades para a América do Sul e Caribe
WGS-84	–	ingl. <i>World Geodetic System 84</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL	3
1.1.1 Objetivos Específicos	3
1.2 JUSTIFICATIVA	4
1.3 CONTRIBUIÇÃO DA TESE	8
1.4 CONTEÚDO DA TESE	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 REDES GEODÉSICAS E O MONITORAMENTO	10
2.2 MOVIMENTOS DE MASSA	12
2.3 POSICIONAMENTO POR SATÉLITES	16
2.3.1 Erros Envolvidos nas Observáveis GNSS	17
2.3.1.1 Efeito de multicaminho e razão sinal/ruído	18
2.3.1.2 Perdas de ciclos	21
2.3.1.3 Órbita e relógio dos satélites	22
2.3.1.4 Refração troposférica	24
2.3.1.5 Refração ionosférica	26
2.3.1.6 Centro de fase da antena dos receptores	28
2.3.1.6.1 BCAL/UFPR	29
2.3.1.6.2 NGS	30
2.4 VELOCIDADE DAS ESTAÇÕES	32
2.5 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	32
2.6 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES	33
2.6.1 Método Paramétrico	34
2.6.2 Método dos Correlatos	36
2.7 TESTES ESTATÍSTICOS	39
2.7.1 Teste global	39
2.7.2 Coeficiente de correlação de Pearson	40
3 ÁREA DE ESTUDO	42
3.1 LOCALIZAÇÃO	42
3.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS E PLUVIOMÉTRICOS	45
3.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS	50
4 DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO	52
4.1 EQUIPAMENTOS	52
4.2 PROGRAMAS	54
4.2.1 <i>WaSoft/Multipath</i> Versão 3.44	54
4.2.2 <i>TEQC</i> Versão de 06 de Junho de 2012	55
4.2.3 <i>Bernese</i> Versão 5.2	56
4.2.4 <i>Leica Geo Office</i> Versão 7.0	56
4.2.5 <i>RTKLIB</i> Versão 2.4.3	57
4.3 METODOLOGIA	58
4.3.1 Levantamentos de Campo	60
4.3.1.1 Coleta de dados GPS	60
4.3.1.2 Transporte da altitude ortométrica	66
4.3.1.3 Nivelamento geométrico na Rede Interna	69
4.3.2 Determinação do Efeito de Multicaminho, Razão Sinal/Ruído e Perdas de Ciclos das Observações GPS	71
4.3.3 Processamento dos Dados GPS	74
4.3.3.1 Rede Externa	75

4.3.3.1.1	Processamento com o <i>Bernese</i> Versão 5.2.....	77
4.3.3.2	Rede Interna	81
5	RESULTADOS E ANÁLISES	84
5.1	PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GERADOS NA BCAL/UFPR.....	84
5.2	EFEITO DE MULTICAMINHO, RAZÃO SINAL/RUÍDO E PERDAS DE CICLOS	90
5.2.1	Rede Externa	91
5.2.1.1	Experimento em laboratório com os equipamentos empregados na Rede Externa, com diferentes alturas de antenas	110
5.2.2	Rede Interna	120
5.3	RESULTADOS DAS CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	134
5.3.1	Transporte da altitude ortométrica	134
5.3.2	Nivelamento geométrico da Rede Interna	135
5.4	PROCESSAMENTOS COM O SERVIÇO PPP-IBGE.....	138
5.4.1	Rede Interna	139
5.4.2	Rede Externa	147
5.5	PÓS-PROCESSAMENTOS RELATIVOS	151
5.5.1	Rede Externa	152
5.5.2	Rede Interna	157
5.5.2.1	Análise com Relação a Máscara de Elevação	157
5.5.2.2	Análise com Relação a Perdas de Ciclos	161
5.5.2.3	Análise com Relação ao Número de Estações Conhecidas	165
5.5.2.4	Análise Quanto aos Parâmetros de Calibração de Antenas GPS da BCAL/UFPR e NGS175	181
5.6	COMPARAÇÃO DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS ENTRE AS CAMPANHAS.....	181
5.7	COMPARAÇÃO ENTRE OS DESNÍVEIS PROVENIENTES DOS PROCESSAMENTOS RELATIVOS, SERVIÇO PPP-IBGE E NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	184
5.8	CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO DA REDE INTERNA.....	192
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	194
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	199

1 INTRODUÇÃO

O ambiente em que vivemos é um sistema que sofre constantes modificações em função dos fenômenos naturais e da intervenção humana. A geodinâmica interna da Terra origina o movimento de placas tectônicas, causando assim tsunamis, abalos sísmicos e grandes terremotos. Outros fenômenos têm origem, em sua grande maioria, externa, ou seja, na atmosfera, e podem ser relacionadas a temperaturas extremas, redução ou intensas precipitações hídricas, este último associado ainda a geomorfologia da região. Estes fenômenos ocasionam ondas de frio ou calor intenso, ciclones extratropicais, tempestades entre outros. O homem, por sua vez, também gera impactos neste ambiente, explorando inadvertidamente os recursos naturais e realizando a ocupação de ambientes inapropriados.

Segundo Alcántara-Ayala (2002), quando há um encontro da vulnerabilidade natural, ou seja, a ocorrência dos fenômenos naturais, e da vulnerabilidade humana, ou seja, ocupação e exploração irregular, ocorrem os desastres naturais. A *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR, 2006), define desastre natural como uma perturbação grave do funcionamento de uma comunidade ou sociedade, causando generalizada perda humana, material, econômica e ambiental que afeta a capacidade dos mesmos de sobreviver com recursos próprios.

De acordo com o *Emergency Events Database* (EM-DAT, 2004), no período de 1900-2003 mais de 9 mil desastres naturais foram registrados mundialmente. Deste total, cerca de 80% ocorreram nos últimos 30 anos estudados (1973-2003). No entanto, há que se levar em conta a facilidade de se contabilizar estes fatos nos dias atuais. Os desastres registrados são relacionados à seca, terremotos, inundações, deslizamentos de terra, entre outros.

Historicamente o maior desastre mundial relacionado a deslizamento de terra ocorreu na União Soviética, em 1949, onde aproximadamente 12 mil pessoas morreram. A tragédia ocorrida na região serrana do estado do Rio de Janeiro, em Janeiro de 2011, onde aproximadamente 900 pessoas perderam suas vidas foi o maior deslocamento de terra já registrado no Brasil (EM-DAT, 2012). Em Março de

2011 o estado do Paraná sofreu com estas intempéries. Segundo a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil do Paraná (COMDEC), nesta época na cidade de Morretes foi decretado estado de calamidade pública, pois houveram diversas pontes destruídas na BR 277, 2.450 casas danificadas, 85 casas destruídas e no total 15.178 pessoas foram afetadas. No Brasil 80% dos 10 maiores desastres naturais estão relacionados a inundações e deslizamentos.

Desastres naturais ocorrem em qualquer parte da Terra, visto que os fenômenos naturais não se restringem a um determinado continente ou país. No entanto, existem localidades mais propensas a estes acontecimentos, devido às condições da dinâmica local. Associados a isto estão as condições socioeconômicas destes países, como o crescimento populacional em áreas de risco, a falta de investimento na educação, saúde e planejamento urbano (ALCÁNTARA-AYALA, 2002). Além de focar na prevenção de desastres naturais os investimentos devem ser altos na questão da gestão preventiva dos desastres. Desta forma, pode-se garantir tempo hábil para a remoção da população locada em áreas de risco.

Segundo Marcelino (2008), uma das principais ferramentas para a gestão de risco são as geotecnologias, representadas especialmente pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG), o Sensoriamento Remoto (imagens de satélite) e o Sistema de Posicionamento por Satélites, como por exemplo, o GPS. Especialmente este último possibilita o monitoramento contínuo e até mesmo em tempo real. Aplicando esta tecnologia é possível ainda coletar, armazenar, analisar e disponibilizar grande quantidade de dados, que devido a extensão de algumas áreas de risco, seria inviável por métodos tradicionais. De acordo com Brunner *et al.* (2000) a principal vantagem do GPS é a não necessidade de visibilidade entre as estações pertinentes ao monitoramento.

Internacionalmente identificam-se trabalhos que englobam as geotecnologias e o monitoramento GPS. Dentre os quais se pode citar Kenneth e Behr (1998), Meng *et al.* (2004), Rizos *et al.* (2010), Schmitt *et al.* (2007), Depenthal e Schmitt (2003) entre outros. Na temática de monitoramento de deslizamentos de terra, pode-se citar Brunner *et al.* (2000), que desenvolveu um estudo de monitoramento GPS em regiões montanhosas da Áustria, onde em uma área teste, o autor alcançou uma precisão de +/- 2 mm. Existem ainda programas que possibilitam o controle e a visualização online do monitoramento GPS contínuo.

Dentre eles podem-se citar GRAZIA (HARTINGER *et al.*, 1999) e GOCA (GNSS/LPS/LS *Online Control and Alarm System*) (JÄGER *et al.*, 2006).

Em termos de Brasil existem trabalhos de monitoramento GPS. Cita-se Schaal (1998), Chaves (2001), Teixeira (2005), Granemann (2005), Carvalho (2009), Fazan (2010), Suci (2012) entre outros. Entretanto, os estudos mencionados monitoraram e detectaram deslocamentos em estruturas civis.

Neste contexto, em uma área urbana de Curitiba onde observou-se indícios de um leve deslizamento do solo, foi implantada uma rede de monitoramento, com o objetivo de realizar o acompanhamento temporal dos pontos e marcos. Assim, com as campanhas de monitoramento GPS realizadas, o uso de diferentes estratégias no processamento dos dados GPS e a análise de variáveis que causam erros sistemáticos presentes nas observações GPS, então será possível indicar qual a melhor estratégia a ser adotada no monitoramento desta área em estudo, assim como em uma semelhante a do experimento.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é investigar estratégias de processamentos de dados GPS com o intuito de monitorar e identificar os deslocamentos de terra em uma área urbana instável.

1.1.1 Objetivos Específicos

Para atender o objetivo geral, apresentam-se os seguintes objetivos específicos:

- Definir os melhores parâmetros de calibração de antenas GPS da BCAL/UFPR;
- Analisar a qualidade dos dados, incluindo para isto informações de efeito de multicaminho, perdas de ciclos e razão sinal/ruído;

- Avaliar a possibilidade de monitoramento da Rede Interna com o emprego do PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), com um intervalo de gravação dos dados de 15 segundos e 1 segundo;
- Analisar a melhor configuração de rede para o pós-processamento relativo dos dados GPS da Rede Externa;
- Investigar a máscara de elevação empregada na Rede Interna;
- Investigar a melhora dos resultados, na Rede Interna, quando realizada a correção das perdas de ciclo;
- Investigar quanto a configuração de rede do pós-processamento relativo dos dados GPS da Rede Interna;
- Avaliar a influência dos parâmetros da BCAL/UFPR e NGS, na Rede Interna;
- Comparar os deslocamentos verticais obtidos com o GPS versus os desníveis do nivelamento geométrico; e
- Classificar a categoria do processo.

1.2 JUSTIFICATIVA

No Brasil o órgão responsável pelo monitoramento de desastres naturais é o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Este centro tem por objetivo desenvolver, testar e implementar um sistema de previsão de ocorrência de desastres naturais em áreas suscetíveis de todo o Brasil (CEMADEN, 2012).

Em Maio de 2013 o Professor M.Sc. Renato Eugenio de Lima, então secretário da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA) – gestão do Prefeito de Curitiba Gustavo Fruet (2013–2016) – idealizador e criador do Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente e Desenvolvimento (NIMAD/UFPR) e do Centro de Apoio Científico em Desastres (CENACID/UFPR), onde é Diretor e Professor no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná desde 1982, apresentou ao Laboratório de Geodésica Espacial e Hidrografia (LAGEH) duas áreas onde esta pesquisa poderia ser desenvolvida. A primeira situada no Município

de Antonina, litoral do Estado do Paraná e a segunda área localizada no Bairro Guabirota, Município de Curitiba. Mediante a visita em campo da área no Município de Antonina, diante de relatos de moradores e do Professor Renato, verificou-se que o deslocamento de terra, de aproximadamente 70 cm de altura, ocorreu em um único evento onde a região sofreu com intensas precipitações.

Na visita em campo da área do Bairro Guabirota, foram observados fendas em muros (FIGURA 1), postes inclinados (FIGURA 2), asfalto com diversos reparos de diferentes épocas (FIGURA 3) e uma residência previamente demolida (FIGURA 4), devido aos danos em sua estrutura. Segundo relato do Professor Renato, a SMMA estava “monitorando” a área havia algum tempo. No entanto, este acompanhamento era somente visual através dos elementos citados anteriormente. Após discussão com o grupo de pesquisa do LAGEH, decidiu-se que esta segunda área seria propícia para o desenvolvimento desta pesquisa.



FIGURA 1 – FENDA NO MURO DE UMA RESIDÊNCIA

Durante os levantamentos de campo, em conversas informais com moradores locais, alguns residindo na região há mais de 30 ou 40 anos, estes

informaram que antigamente esta área era uma fazenda com diversas minas d'água. Na criação deste loteamento no bairro Guabirota, foi realizado aterramento para que o desnível não ficasse muito acentuado como era originalmente. Este aterro, não foi informado se foi realizado com somente terra ou não. Na etapa de materialização dos pontos planejados foi necessário, em alguns pontos, cavar o solo em cerca de 50 cm. Durante este processo foi verificado que parte do aterro, pelo menos nesta camada mais superficial, é formado pela mistura de terra e entulhos. Não é o objetivo da pesquisa analisar os fatores que acarretam os deslocamentos, no entanto, cabe destacar que é uma situação criada pelo homem e um processo natural de acomodação do solo, vide a antiguidade do bairro.



FIGURA 2 – POSTE INCLINADO



FIGURA 3 – ASFALTO COM DIVERSOS REPAROS



FIGURA 4 – RESIDÊNCIA DEMOLIDA

1.3 CONTRIBUIÇÃO DA TESE

Levando em consideração os aspectos já anteriormente apresentados, a principal contribuição desta tese de doutorado é a análise e busca de estratégias de processamento de dados GPS para o monitoramento da evolução temporal das coordenadas geodésicas de uma área possivelmente instável, e a confirmação da estabilidade de uma área estável. Tal experimento ocorreu em uma área densamente urbanizada e, portanto, com diversos elementos próximos que obstruem e causam reflexões indesejadas nos sinais eletromagnéticos dos satélites GPS que por fim, influenciam na determinação da posição tridimensional. Embora o trabalho tenha características multidisciplinares e seja muito amplo, delimita-se o seu conteúdo na análise de erros sistemáticos específicos - efeito de multicaminho, razão sinal/ruído, perdas de ciclos, parâmetros de calibração de antenas GPS - atuantes nas observações GPS e nas estratégias de processamentos realizadas, deixando para futuros trabalhos as causas dos movimentos identificados.

Esta pesquisa poderá fornecer subsídios para a elaboração de futuros projetos em regiões similares, visto que em âmbito nacional, não se verifica trabalho de monitoramento de deslocamento de terra, que empregue técnicas geodésicas, principalmente o posicionamento por satélites, na temática referida. Este fato indica que a pesquisa é relevante e que irá contribuir com o desenvolvimento do cenário de monitoramento e alertas de desastres naturais, mais especificamente na detecção de deslocamentos de terra.

1.4 CONTEÚDO DA TESE

A tese tem seu texto dividido em seis seções principais. A organização é descrita a seguir, com o conteúdo de cada seção.

A seção 1 apresentou a introdução da pesquisa bem como a justificativa e os objetivos da mesma.

A seguir na seção 2 são apresentados temas relevantes ao trabalho. Nela são contempladas as técnicas empregadas e também os testes estatísticos que serão aplicados nas observações.

A seção 3 mostra a área de estudo. Apresenta-se a localização, aspectos climáticos, pluviométricos e geológicos da área.

A seção 4 apresenta a metodologia adotada na pesquisa bem como, o procedimento de campo para a coleta de dados.

Os resultados e análises para o alcance dos objetivos propostos estão indicados na seção 5.

Na última seção consta a conclusão das análises realizadas, assim como as recomendações para a continuidade de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo são abordados temas envolvidos nessa pesquisa. Apresentam-se inicialmente como as técnicas geodésicas são aplicadas no monitoramento, uma breve explanação sobre movimentos de massa, as técnicas empregadas, assim como testes estatísticos utilizados.

2.1 REDES GEODÉSICAS E O MONITORAMENTO

O termo monitorar significa além de acompanhar um determinado comportamento, com instrumentação técnica e por um período de tempo, também avaliar os dados coletados. As técnicas geodésicas fornecem subsídios de alta confiabilidade e acurácia na obtenção de dados para o monitoramento de estruturas civis ou não. Além disso, estas técnicas proporcionam determinar deslocamentos absolutos. Para tanto se faz necessária a materialização de uma rede geodésica. Oliveira (1998) cita que erros na obtenção das observações e a escolha de métodos e modelos matemáticos não adequados provocam uma deterioração da precisão e acurácia.

Teixeira (2005) analisou deformações da crosta em regiões de grandes barragens a partir de deslocamentos tridimensionais obtidos pelo sistema de posicionamento GPS. Para tanto foram utilizadas estações da rede geodésica da Companhia Paranaense de Energia (COPEL) nas quais foram simulados movimentos verticais. O autor concluiu que o emprego do posicionamento GPS apresenta-se como uma boa alternativa para o monitoramento. Ele ainda destaca que a eficiência em detectar deslocamentos verticais se mostra inversamente proporcional ao comprimento da linha de base utilizada nos levantamentos.

Chaves (2001) realizou diversos experimentos com o posicionamento GPS a fim de atestar o uso desta tecnologia para o monitoramento. Os experimentos foram: em duas estruturas civis (edifício e viaduto), uma simulação de deslocamento e uma simulação de estado de deformação. A verificação da estabilidade ou não dos

pontos estudados foi realizada com o teste de congruência global. O autor comenta que dos processamentos cinemáticos, no experimento no edifício, resultaram gráficos que indicam a sua utilização em aplicações cujas diferenças de coordenadas entre dois dias consecutivos, sejam superiores a 20 mm. Destaca ainda que a variável meteorológica temperatura pode correlacionar-se com os resultados alcançados no monitoramento.

Depenthal e Schmitt (2003) em um projeto de pesquisa multidisciplinar executaram o monitoramento de deslizamentos em Ebnit, estado de Vorarlberg na Áustria. No verão de 1995 foi materializada uma rede geodésica onde observações terrestres e GPS foram combinadas. Até o final do projeto, em Dezembro de 2001, o mesmo contou com quinze campanhas realizadas. Em todas as campanhas GPS foi alcançada a acurácia aproximada de 6 mm nas componentes planas e de 10 mm na altitude elipsoidal. As acurácias obtidas foram suficientes para verificar os movimentos dos pontos. As velocidades de pontos materializados em uma área plana do fundo do vale chegaram a 1,5 cm/ano. Os autores também comentam sobre a correlação de eventos de intensas precipitações e o aumento de deslocamentos.

Schmitt *et al.* (2007) apresentam os resultados de quatorze campanhas GPS executadas entre os anos de 1995 e 2006, com o objetivo de determinar os movimentos tridimensionais na Romênia. O programa de processamento de dados GPS empregado foi o *Bernese*, assim como utilizou-se parâmetros de calibração de antenas GPS e uma análise do efeito de multicaminho foi realizada. Na área denominada Carpathian observou-se um movimento para sudeste com velocidades de até 5 mm/ano. Os autores comentam que os movimentos horizontais e verticais são semelhantes às pesquisas geológicas da região em estudo.

Em Carvalho (2009) foi realizada uma avaliação do desempenho de diversas técnicas de ajustamento para a análise de deslocamentos quando empregado o posicionamento GPS. Este estudo destaca a importância da verificação preliminar das observações GPS, fato este que permite classificar o levantamento quanto a finalidade a que se destina. Comenta-se ainda que os erros grosseiros interferem nas coordenadas geodésicas finais da rede de monitoramento. O autor impôs diferentes injunções nos estudos e concluiu que estas escolhas acarretam em diferentes valores de discrepâncias e acurácia da rede.

Fazan (2010) realizou um estudo de caso na Usina Hidrelétrica de Itaipu sobre a aplicação do teste de congruência global e a detecção de deslocamentos em redes geodésicas. O autor contou com quatro campanhas e detectou deslocamentos entre as campanhas, o que foi comprovado com os métodos utilizados por ele. O mesmo ainda cita a importância da localização dos pontos, visando diminuir a incidência do efeito de multicaminho e evitando problemas com ruídos nas observações. Em seu estudo ele também concluiu que observações realizadas durante variações atmosféricas (chuva e umidade) são mais acometidas por ruídos.

2.2 MOVIMENTOS DE MASSA

A Terra é um corpo com constantes mudanças e a geodinâmica é um processo gerado por forças internas da Terra. Elas atuam lentamente na escala de milhares de anos, mas vão provocando transformações na superfície terrestre. Segundo Sestini (1999), a formação e dinâmica do relevo relacionam-se tanto com a interação de variáveis endógenas, como a estrutura das rochas e dos solos, quanto exógenas, como as variáveis climáticas, vegetação, ocupação do solo entre outros.

Segundo Tominaga (2009), movimento de massa é o movimento do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade. A contribuição de outro meio, como água ou gelo se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos. Os movimentos de massa fazem parte desta dinâmica natural da Terra, mas tornam-se problemas quando são relacionados a ocupação humana. Quando há esta relação, o evento é enquadrado como de risco, ou seja, fenômenos de origem natural ou induzidos antropicamente e que cometem prejuízos ao meio biofísico e social (SESTINI, 1999).

De acordo com Fernandes (2000), existem inúmeras classificações que buscam correlacionar cada tipo de movimento a um grupo de características, tais como: natureza do material, velocidade e direção do movimento, profundidade e raio de alcance, ambiente geomorfológico e climático, superfície de ruptura, estado de

tensões “in situ” e potencial destrutivo. Segundo Carson e Kirkby¹ (1972) *apud* Casseti (2005), os processos relacionados ao movimento de terra são classificados basicamente quanto à velocidade do movimento, de rápido a lento, e condições de umidade do material, de seco a úmido.

A velocidade do evento pode ir de extremamente lento à extremamente rápido. Sua classificação é dada em relação a velocidade típica. O QUADRO 1 apresenta a classificação de Cruden e Varnes (1996).

Classe da velocidade	Descrição	Velocidade típica
7	Extremamente rápido	5 m/s
6	Muito rápido	3 m/min
5	Rápido	1,8 m/h
4	Moderado	13 m/mês
3	Lento	1,6 m/ano
2	Muito lento	16 mm/ano
1	Extremamente lento	---

QUADRO 1 – ESCALA DE VELOCIDADE DE DESLIZAMENTOS
 FONTE: CRUDEN E VARNES (1996)

Autores como Tominaga (2009) e Fernandes (2000) citam a classificação dos movimentos de massa de Augusto Filho (1992)². A classificação deste autor baseia-se no tipo de movimento, velocidade e no tipo de material transportado. Esta classificação é apresentada no QUADRO 2. Os processos nela destacados, de rastejo, podem ser visualizados na FIGURA 5, o escorregamento na FIGURA 6, as quedas na FIGURA 7 e as corridas na FIGURA 8.

¹ CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J. Hillslope form and process. Cambridge Geographical Studies nº3, 475 pp, Cambridge University Press.

² AUGUSTO FILHO, O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733.

Processos	Características do movimento, material e geometria
Rastejo (<i>creep</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vários planos de deslocamento (internos) ▪ Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade ▪ Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes ▪ Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada ▪ Geometria indefinida
Escorregamentos (<i>slides</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poucos planos de deslocamento (externos) ▪ Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) ▪ Pequenos a grandes volumes de material ▪ Geometria e materiais variáveis: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza ▪ Circulares: solos espessos homogêneos e rocha muito fraturada ▪ Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas (<i>falls</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sem planos de deslocamento ▪ Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado ▪ Velocidades muito altas (vários m/s) ▪ Material rochoso ▪ Pequenos a médios volumes ▪ Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc ▪ Rolamento de matação ▪ Tombamento
Corridas (<i>flows</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) ▪ Movimento semelhante ao de um líquido viscoso ▪ Desenvolvimento ao longo das drenagens ▪ Velocidades médias a altas ▪ Mobilização de solo, rocha, detritos e água ▪ Grandes volumes de material ▪ Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA

FONTE: AUGUSTO FILHO (1992) APUD TOMINAGA (2009) E FERNANDES (2000)

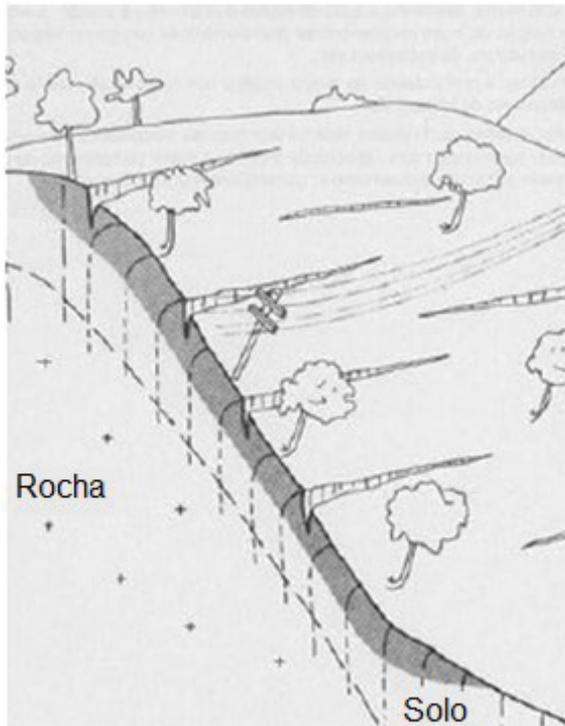


FIGURA 5 – RASTEJO
 FONTE: CUNHA (1991)

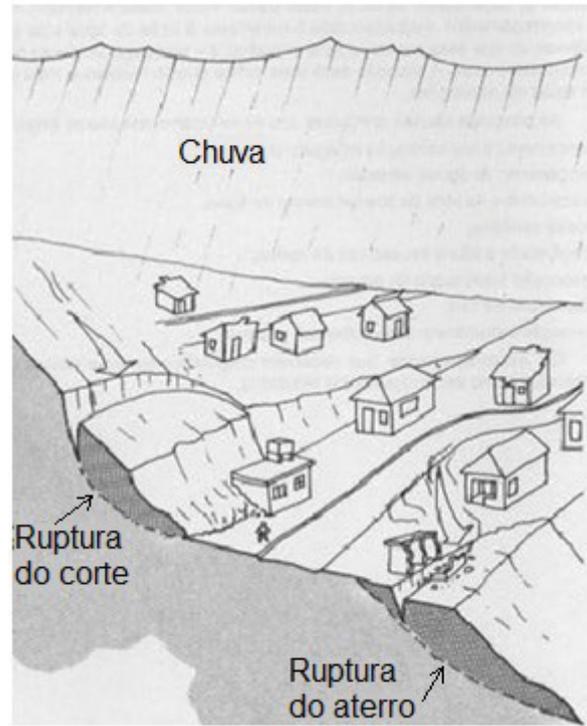


FIGURA 6 – ESCORREGAMENTOS
 FONTE: CUNHA (1991)

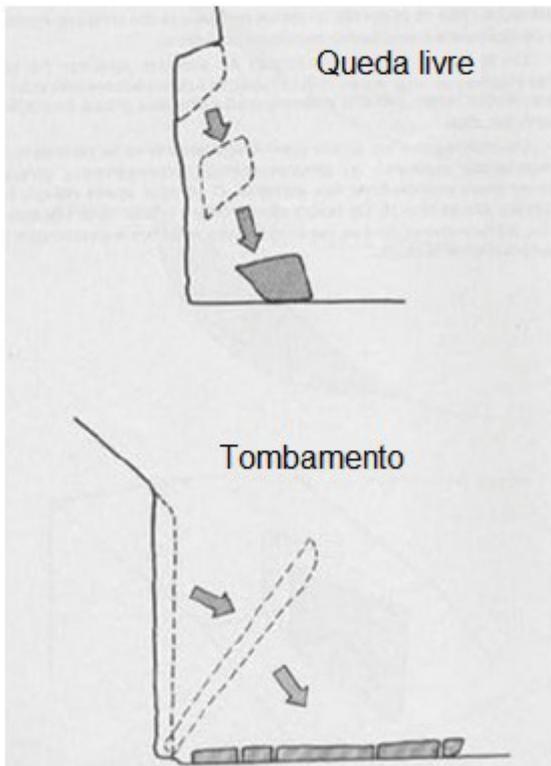


FIGURA 7 – QUEDAS
 FONTE: CUNHA (1991)



FIGURA 8 – CORRIDAS
 FONTE: CUNHA (1991)

De acordo com Cunha (1991), dentre as principais causas associadas à intervenção humana na indução destes processos destacam-se:

- Lançamento e concentração de águas pluviais;
- Vazamentos na rede de abastecimento de água;
- Declividade e altura excessivas de cortes;
- Execução inadequada de aterros;
- Deposição de lixo; e
- Remoção indiscriminada da cobertura vegetal.

2.3 POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

O princípio fundamental do posicionamento por satélites (FIGURA 9) consiste na medição das pseudodistâncias (PD) entre um usuário (receptor/antena) e, pelo menos, quatro satélites, acima do horizonte. A partir das coordenadas conhecidas dos satélites, referenciadas a um sistema de referência global, pode-se conhecer a posição do usuário neste mesmo sistema (SEEBER, 2003).

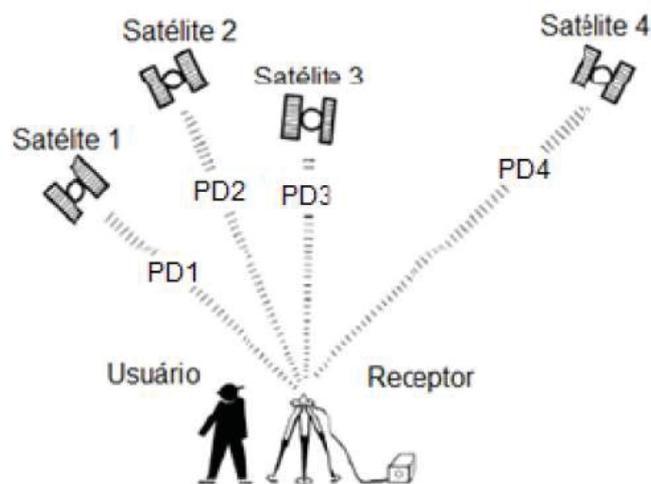


FIGURA 9 – PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES
FONTE: ADAPTADO DE SEEBER (2003)

Geometricamente apenas três pseudodistâncias, ou seja, três satélites seriam suficientes. A quarta observação é necessária devido ao não sincronismo dos relógios dos satélites e do receptor (SEEBER, 2003).

Dentre os métodos de posicionamentos estão o posicionamento relativo e por ponto preciso (PPP). Os posicionamentos relativos podem ser pós-processados ou em tempo real. Maiores detalhamentos sobre os diferentes métodos de posicionamento por satélites podem ser encontrados em Seeber (2003), Leick (2004), Monico (2008) e Ghilani e Wolf (2012).

2.3.1 Erros Envolvidos nas Observáveis GPS

Segundo Gemael (2004), mesmo em condições supostamente ideais, todas as observações são acompanhadas de erros. As observações estão sujeitas a três tipos de erros:

- Aleatórios;
- Grosseiros; e
- Sistemáticos.

Os erros aleatórios não podem ser modelados e são caracterizados como uma propriedade estatística da observação. Os erros grosseiros podem ser detectados por métodos matemáticos ou através da repetição (ou repetições de observações) sobre um mesmo ponto, e geralmente, são introduzidos por falha humana ou pelo equipamento. Os erros sistemáticos podem ser modelados ou eliminados, pois suas causas são conhecidas.

A acurácia do posicionamento com o GPS está diretamente relacionada com a eliminação ou minimização de erros sistemáticos envolvidos nas observações. Segundo Freiburger Junior (2007), quando utilizado o Método de Posicionamento Relativo, a contribuição isolada de um erro pode ser analisada em termos de seu efeito na determinação das linhas de base formadas entre as estações. A FIGURA 10 apresenta os principais erros envolvidos nas observáveis.

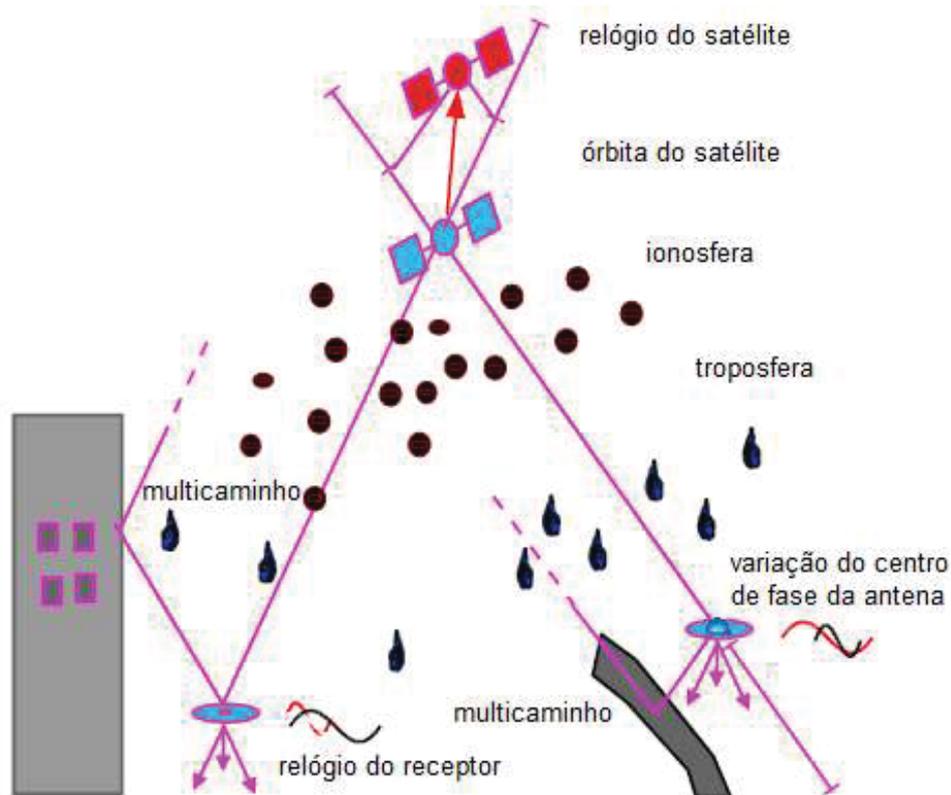


FIGURA 10 – PRINCIPAIS ERROS ENVOLVIDOS NO POSICIONAMENTO GPS
 FONTE: ADAPTADO DE SCHMITZ E WUBBENA (2004)

A seguir serão descritos alguns dos erros sistemáticos presentes nas observações GPS.

2.3.1.1 Efeito de multicaminho e razão sinal/ruído

O efeito de multicaminho caracteriza-se pela chegada de um ou mais sinais à antena do receptor além do sinal direto proveniente do satélite, devido às reflexões em superfícies refletoras próximas da antena e durante o percurso do sinal do satélite ao receptor (BARBIERI *et al.*, 2006). O sinal GPS pode sofrer reflexão especular, difusa ou difração (FIGURA 11).

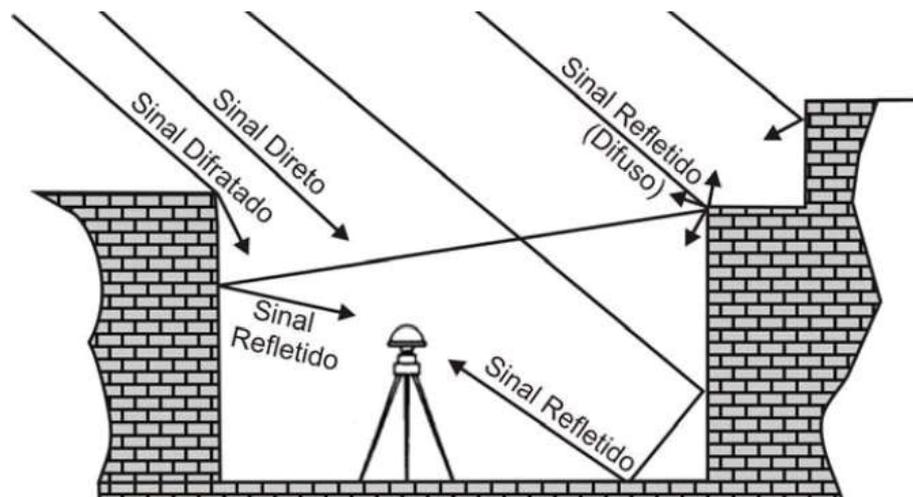


FIGURA 11 – EFEITO DE MULTICAMINHO
 FONTE: SOUZA (2008)

De acordo com Leick (1995), os sinais dos satélites com baixa elevação são, geralmente, os mais afetados pelo efeito do multicaminho. Isto ocorre por estes sinais estarem mais sujeitos à reflexão em face de estarem incidindo na antena com um ângulo de inclinação muito próximo ao horizonte.

A influência do multicaminho nas medidas da fase da onda portadora acarreta em uma limitação para se alcançar alta precisão no posicionamento geodésico (RAY *et al.*, 1998). Segundo Ray (2000), este efeito causa erro nas medidas de código, fase e na razão sinal/ruído (SNR – *Signal to Noise Ratio*). O atraso na fase da onda portadora devido ao multicaminho acarreta erros de no máximo $\frac{1}{4}$ de comprimento de ciclo de onda (SOUZA, 2004).

Diante dos erros provocados pelo efeito de multicaminho, muitas são as pesquisas em busca de técnicas e materiais que auxiliem na redução deste efeito. Como exemplo de um material pode-se citar o Atenuador de Efeito Multicaminho (AEM-LAGEH), que faz uso da tecnologia *stealf*, a qual tem a propriedade de absorver ondas eletromagnéticas, transformando-as em calor (VISKI *et al.*, 2010). Antenas do tipo *Choke Ring* e com a tecnologia *Pinwheel*, que consistem em círculos concêntricos com o eixo vertical e é otimizada para receber sinais circularmente polarizados à direita, respectivamente, auxiliam na minimização do efeito. Um outro exemplo são as Wavelets, que através da limiarização ou encolhimento dos seus coeficientes do espectro evolucionário, o efeito de multicaminho pode ser detectado e extraído (SOUZA, 2008).

A SNR é uma razão entre a potência do sinal recebido (S) pela potência do ruído (N). De acordo com Seeber (2003), a SNR equivale a 1dB e é expressa pela equação (1):

$$10 \text{ LOG} \left(\frac{S}{N} \right) = 1 \quad (1)$$

Bilich e Larson (2007) apresentam a relação entre o SNR e o efeito de multicaminho em um diagrama fasorial³ (FIGURA 12), onde o eixo horizontal representa a fase (I) e o eixo vertical a quadratura (Q). Quando não há a presença de efeito de multicaminho, o diagrama fasorial apresentará somente um fasor⁴ (A_d). Este é a amplitude do sinal direto, sem efeito de multicaminho, com ângulo da fase de φ_d . Quando existe o efeito de multicaminho um ou mais fasores são acrescentados. No exemplo da FIGURA 12, um fasor do efeito de multicaminho é representado por A_m , com ângulo da fase de φ_c . O somatório dos fasores A_d e A_m resulta no fasor A_c , ou seja, o SNR, com ângulo de δ_φ , contado a partir do fasor A_d . A partir da lei dos senos e relações apresentadas no diagrama fasorial, o SNR pode ser expresso de acordo com a equação (2):

$$SNR^2 \equiv A_c^2 = A_d^2 + A_m^2 + 2A_d^2 A_m^2 \text{ COS } \Psi \quad (2)$$

Sendo Ψ o ângulo do efeito de multicaminho da fase considerada.

³ É utilizado em operações com sinais alternados, pois ele permite a soma de grandezas senoidais sem equação ou forma de onda (ALBUQUERQUE, 1989).

⁴ É um raio vetor girante de módulo (comprimento) constante e com um ponto fixo na origem (BOYLESTAD, 2004).

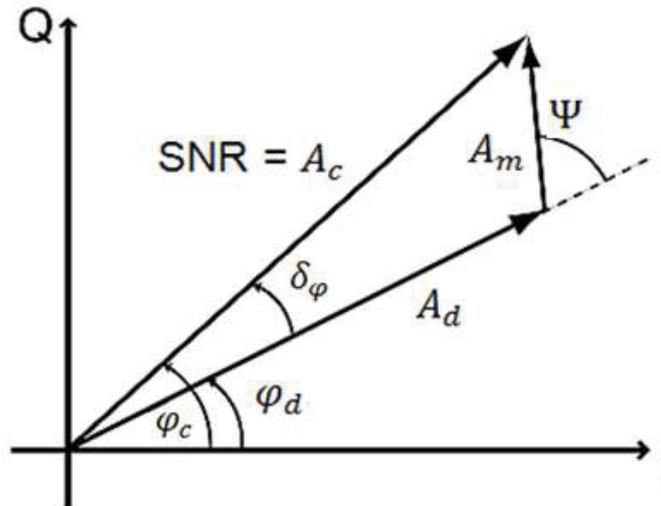


FIGURA 12 – DIAGRAMA FASORIAL DA RELAÇÃO SNR E EFEITO DE MULTICAMINHO
 FONTE: BILICH E LARSON (2007)

2.3.1.2 Perdas de ciclos

Em posicionamento dito perfeito os sinais dos satélites GPS seriam rastreados continuamente desde o instante em que são captados pela primeira vez até o fim do rastreamento GPS. Assim, o valor de ambiguidades (N) seria o mesmo, até o instante em que houvesse uma mudança de conexão entre o satélite e o receptor.

A perda de ciclo é apresentada na FIGURA 13. Nela nota-se que, na época $\varphi(0)$ têm-se a ambiguidade N_0 após, no instante $\varphi(t)$ o número inteiro de ciclos é o mesmo. No entanto, após uma perda de ciclo na época $\varphi(t+dt)$ a ambiguidade muda para N_1 . A ocorrência deste erro pode ter diversas razões (SEEBER, 2003), dentre elas estão:

- Obstruções ao entorno do ponto rastreado;
- Ruídos no sinal particularmente causados pelo efeito de multicaminho e pela cintilação ionosférica;
- Baixa elevação de satélites; e
- Problema no receptor, causando um processamento errado do sinal eletromagnético.

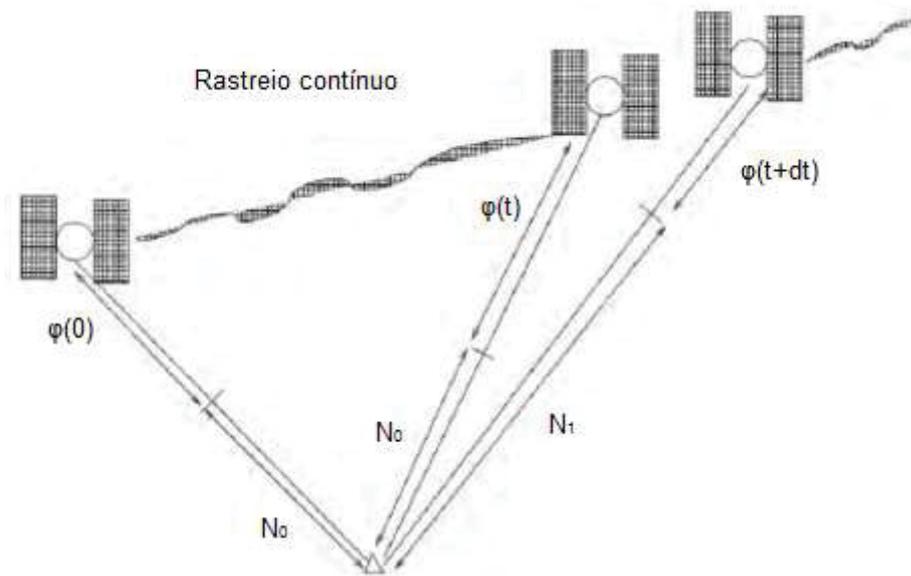


FIGURA 13 – PERDA DE CICLO NA ÉPOCA $t+dt$
 FONTE: KELLER (2004)

Desta forma, assim como os outros erros sistemáticos, já anteriormente comentados, para atingir melhor determinação das coordenadas geodésicas dos pontos em estudo, pode-se realizar a correção destas perdas de ciclo. De acordo com Keller (2004), o processo consiste em detectar e corrigir. Após as perdas de ciclos serem detectadas e identificadas, as observações afetadas são corrigidas com um novo valor de inteiro de ciclos. Existem diversas técnicas para tal execução como *Wavelets* e filtro de *Kalman* (KELLER, 2004), além de combinações lineares como a *Melbourne–Wübbena* (DACH et al., 2015).

2.3.1.3 Órbita e relógio dos satélites

O conhecimento da posição do satélite no instante da emissão do sinal GPS é de fundamental importância para a determinação das coordenadas geodésicas. Esta posição é obtida através dos elementos keplerianos ou orbitais e suas variações, enviados inicialmente, nas efemérides transmitidas.

O sistema GPS tem sua própria escala de tempo. Cada satélite do sistema carrega a bordo relógios altamente estáveis que, no entanto, não acompanham o

sistema de tempo GPS. O comportamento desses relógios é enviado ao usuário na forma de coeficientes de um polinômio de segundo grau, os quais são preditos pelo segmento de controle.

As leis de Kepler, aplicadas nas órbitas dos satélites, regem os cálculos das efemérides (BEUTLER⁵, 1998, *apud* RODRIGUES, 2006). Devido a erros na modelagem das forças que atuam nos satélites, as efemérides não contêm a acurácia necessária para posicionamentos de alta precisão.

As efemérides transmitidas, referenciadas ao WGS-84 (*World Geodetic System*), provêm da predição de órbitas dos satélites, enquanto que, as efemérides ultrarrápidas, rápidas e finais são calculadas a partir de observações diárias de uma rede mundial de estações GPS.

O IGS (*International GNSS Service*) monitora continuamente as órbitas dos satélites e disponibiliza em seu sítio eletrônico produtos com melhor acurácia de órbita e relógio, no entanto pode haver, ou não, uma latência de horas e até dias para a sua disponibilização. As efemérides produzidas pelo IGS, da constelação GPS, são apresentadas no QUADRO 3.

Efemérides e relógio dos satélites GPS		Acurácia	Latência	Atualização	Intervalo
Transmitida (predita)	Órbita	~100 cm	tempo real	-----	diário
	Relógio	~5 ns RMS			
Ultrarrápida (predita)	Órbita	~5 cm	tempo real	4 vezes ao dia	15 minutos
	Relógio	~3 ns RMS			
Ultrarrápida (observada)	Órbita	~3 cm	3 – 9 horas	4 vezes ao dia	15 minutos
	Relógio	~150 ps RMS			
Rápida (observada)	Órbita	~2,5 cm	17 – 41 horas	diária	15 minutos
	Relógio	~75 ps RMS			5 minutos
Final (observada)	Órbita	~2,5 cm	12 – 18 dias	semanal	15 minutos
	Relógio	~75 ps RMS			5 minutos

QUADRO 3 – ÓRBITAS E RELÓGIOS DOS SATÉLITES DA CONSTELAÇÃO GPS

FONTE: IGS (2017)

As efemérides finais, referenciadas ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*), permitem a determinação das coordenadas dos satélites com uma acurácia de 2,5 cm e relógios com acurácia de 75 ps, no entanto com uma

⁵ BEUTLER, G. *et al.* GPS Satellite Orbits. In: KLEUSBERG, A.; TEUNISSEN, P. J. G. GPS for Geodesy. 2.ed.: Springer Verlag, 1998. P 457-481.

latência de duas semanas. Os dados são apresentados a cada 15 minutos para a posição, e a cada 5 minutos para o relógio.

2.3.1.4 Refração troposférica

A troposfera é a camada mais próxima à superfície da Terra (FIGURA 14), e tem altitude aproximada de 10 km. Contém aproximadamente 80% do total da massa molecular da atmosfera. É composta por gases neutros, que se dividem em duas componentes a hidrostática e úmida. A hidrostática é formada pelos gases secos, e a componente úmida, composta pelo vapor d'água. A temperatura, nesta camada, atua de forma decrescente.

A troposfera e a parte baixa da estratosfera podem ser agrupadas em uma única região, denominada de atmosfera neutra (MENDES, 1999).

O efeito devido à parte não ionizada da atmosfera, ou atmosfera neutra, é denominado refração troposférica (SEJAS, 2009).

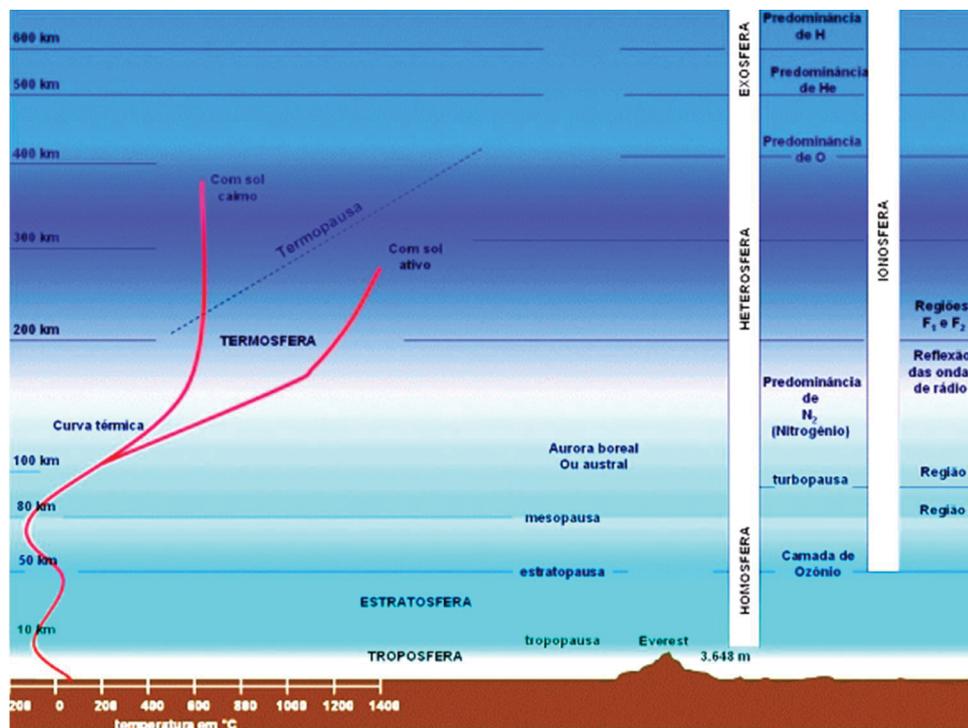


FIGURA 14 – CAMADAS DA ATMOSFERA: TROPOSFERA E IONOSFERA
 FONTE: OLIVEIRA (2003)

De acordo com Monico (2008), o erro causado pela troposfera na propagação dos sinais GPS pode chegar até 30 m, isto, levando em consideração a densidade da atmosfera e o ângulo de elevação do satélite.

Segundo Leick (1995), a troposfera, para frequências abaixo de 30 GHz (*Gigahertz*), comporta-se como um meio não dispersivo, ou seja, a refração é independente da frequência do sinal. Portanto, o uso da dupla frequência não auxilia na minimização deste efeito.

Os efeitos que a troposfera pode causar nos sinais GPS são (MONICO, 2008):

- Atenuação atmosférica: é a diminuição da potência da onda eletromagnética. Tais efeitos são drásticos abaixo de 5° de elevação do satélite.
- Cintilação troposférica: é uma oscilação na onda eletromagnética, causada na refratividade atmosférica, que depende da frequência, do tempo, das condições atmosféricas e do ângulo de elevação dos satélites. Seu efeito é pequeno para ângulos de elevação maiores que 10°.
- Atraso troposférico: divide-se em dois efeitos:
 - Atmosfera hidrostática: ela é responsável por 90% do atraso total, no zênite chega a aproximadamente 2,3 m. Sua variação com relação ao tempo é pequena, por este motivo sua predição se torna mais fácil.
 - Atmosfera úmida: o atraso nesta componente é menor, e no zênite varia de 1 à 30 cm. Possui grande variação do vapor d'água na atmosfera, por isso sua predição se torna difícil.

No posicionamento relativo, este erro é minimizado para linhas de base com comprimento de até 15 km (GOAD⁶, 1996 *apud* MACHADO, 2002). Outro recurso utilizado para a minimização dos efeitos da troposfera sobre os sinais GPS é a utilização de máscara de elevação superiores a 10°, assim como modelos matemáticos troposféricos. Dentre eles podem-se citar os mais conhecidos: *Hopfield* e *Saastamoinen*.

⁶ GOAD, C. C. Short Distance GPS Models. In: TEUNISSEN, P. J. G. e KLEUSBERG, A. GPS for Geodesy. 2.ed.: Springer Verlag, 1998. P 457-481.

2.3.1.5 Refração ionosférica

A ionosfera está localizada acima da camada neutra, e compreende uma região entre 50 km e 1.000 km de altitude (FIGURA 14). É formada essencialmente por íons, elétrons e pela radiação solar eletromagnética na atmosfera terrestre e, em menor escala, pela radiação cósmica, importante na manutenção da ionosfera noturna (KIRCHHOFF⁷, 1991 *apud* SALOMONI, 2008).

É um meio dispersivo em relação as frequências da banda L do GPS. Assim, o atraso ionosférico depende da frequência utilizada, sendo que a utilização de dupla frequência permite que este atraso seja estimado.

Na refração ionosférica existem 3 efeitos distintos:

- Efeito de Primeira ordem;
- Efeito de Segunda ordem; e
- Efeito de Terceira ordem.

Os erros ocasionados pelos efeitos da ionosfera podem ser da ordem de milímetros à metros, de acordo com o QUADRO 4.

Frequência	Efeito de 1° ordem (m) (1/f ²)	Efeito de 2° ordem (m) (1/f ³)	Efeito de 3° ordem (m) (1/f ⁴)
L1	32,5	0,036	0,002
L2	53,5	0,076	0,007
L1/L2	0,0	0,026	0,006

QUADRO 4 – ERRO MÁXIMO CAUSADO PELA REFRAÇÃO IONOSFÉRICA
FONTE: WÜBBENA⁸ (1991) *apud* SEEBER (2003)

Os efeitos da ionosfera de 1° ordem são inversamente proporcionais ao quadrado da frequência do sinal e diretamente proporcionais ao TEC (*Total Electron Content*).

Segundo Marques *et al.*, (2011), os efeitos de 2° e 3° ordem, são influenciados respectivamente pelo campo geomagnético e pela densidade máxima de elétrons presente na trajetória do sinal ao percorrer a ionosfera.

⁷ KIRCHHOFF, W. J. H. Introdução à Geodésia Espacial. 1. Ed. São Paulo: Nova Stella, 1991. 149p.

⁸ WÜBBENA, G. (1991): *Zur Modellierung von GPS Beobachtungen für die hochgenaue Positionsbestimmung*. Wiss. Arb. Univ. Hannover, Nr. 168.

O TEC é influenciado pelo ciclo solar, hora do dia, época do ano, latitude e longitude da estação de observação, atividade magnética entre outros (MATSUOKA e CAMARGO, 2007).

Há aproximadamente 300 anos vêm sendo realizadas medidas da atividade ionosférica e manchas solares. Estudos apontam para uma periodicidade de 11 anos e uma variação da potência de cada ciclo. Atualmente se esta no ciclo 24 e os valores de máxima atividade solar ocorreram em Maio de 2013 (SWPC, 2011). A FIGURA 15, apresenta os ciclos solares do ano de 1700 até o presente ciclo.

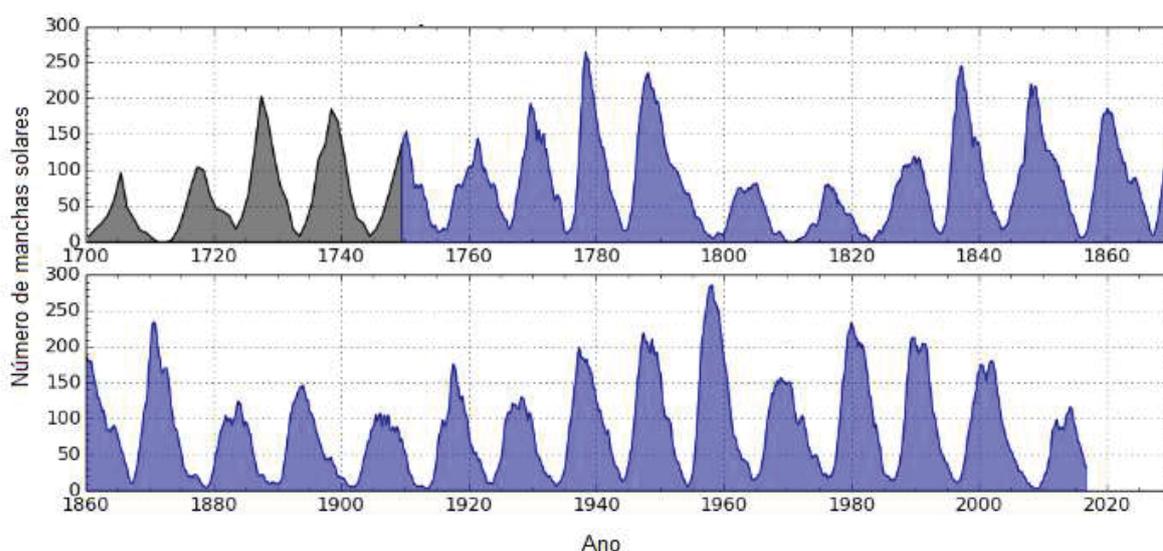


FIGURA 15 – NÚMERO DE MANCHAS SOLARES – CICLO SOLAR
FONTE: SIDC (2017)

No Método de Posicionamento Relativo em linhas de base curtas, os efeitos da ionosfera são praticamente iguais, sendo minimizados na diferenciação das observáveis. Em linhas de base médias e longas, faz-se uso da natureza dispersiva da ionosfera, pois uma combinação linear das portadoras $L1^9$ e $L2^{10}$ faz com que o efeito de 1° ordem seja eliminado. Os outros efeitos da ionosfera (2° e 3° ordem) podem ser eliminados com o auxílio de programas especializados.

⁹ Onda com frequência igual a 1227,60 MHz (*Megahertz*).

¹⁰ Onda com frequência igual a 1575,42 MHz.

2.3.1.6 Centro de fase da antenna dos receptores

Um receptor GPS determina as coordenadas geodésicas do centro de fase eletrônico da antenna, assim, denomina-se como centro de fase o ponto onde o sinal de um satélite é recebido na antenna (AKOUR *et al.*, 2005).

Para toda a antenna, o centro de fase mudará em função da alteração de azimute e ângulo de elevação de um satélite (MADER, 1999). Tais variações, afetam os *offsets* da antenna, que representam a ligação entre o objeto de interesse e as medidas GPS realizadas.

Segundo Huinca (2009), a variação do centro de fase com relação ao ARP (*Antenna Reference Point*) é denominada de *offset* do centro de fase. Os *offsets* tanto para a onda portadora L1 quanto para a onda portadora L2, geralmente, são fornecidos pelos fabricantes das antenas.

Segundo Freiburger Junior (2004), o *offset* do centro de fase das ondas portadoras é condicionado por uma parte mecânica e outra parte eletrônica. Assim, conforme a FIGURA 16, o PCO (*Phase Center Offset*), *offset* do centro de fase, é caracterizado pelo vetor \vec{P} , com componentes Norte (N), Este (E) e da altitude elipsoidal (h). Este vetor caracteriza a distância entre o centro de fase (CF) e o ARP. O PCV (*Phase Center Variation*), variação do centro de fase é um deslocamento adicional do centro de fase da antenna (FIGURA 16).

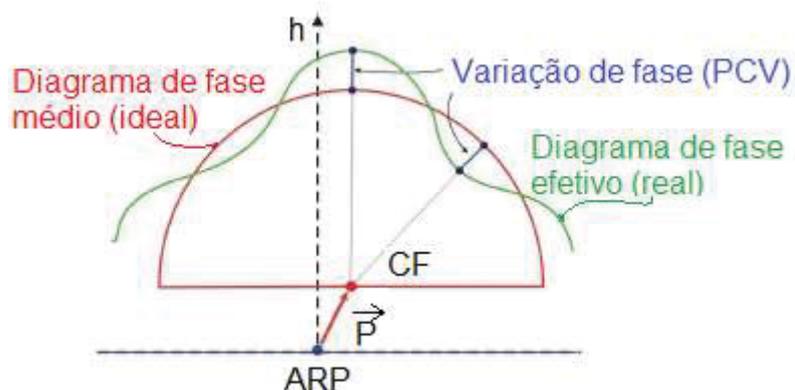


FIGURA 16 – INTERPRETAÇÃO DO PCV EM FUNÇÃO DO PCO
FONTE: ADAPTADO DE FREIBERGER JUNIOR (2007)

As determinações dos valores de PCO e PCV são feitas através da aplicação de métodos de calibração de antena GPS. Segundo Rothacher (2000), os três principais métodos são calibração absoluta em câmaras anecóicas, calibração absoluta em campo e calibração relativa em campo.

Os métodos de calibração de antenas GPS/GNSS (*Global Navigation Satellite System*) são definidos como absoluto ou relativo, no entanto, deve-se salientar as denominações de calibração em “nível absoluto” e em “nível relativo” (HUINCA, 2009). De acordo com Freiburger Junior (2007), as calibrações denominadas em nível absoluto determinam os parâmetros do centro de fase independentes das características do centro de fase da antena de referência. A calibração denominada em nível relativo tem suas correções dependentes da antena de referência. Estas definições são de extrema importância no que tange aos parâmetros de calibração de antenas GNSS.

A seguir são apresentadas as calibrações realizadas na BCAL/UFPR (Base de Calibração de Antenas GNSS na UFPR) e no NGS (*National Geographic Service*), fontes dos parâmetros utilizados nesta pesquisa.

2.3.1.6.1 BCAL/UFPR

A BCAL/UFPR é a primeira base de calibração de antenas GPS/GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) no Brasil e na América Latina. Ela está implantada na laje do auditório anexo ao antigo Observatório Astronômico Camil Gemael e do lado do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH), no Campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Ela foi fruto de cooperação internacional através do PROBRAL (Programa Brasil-Alemanha) (CAPES/DAAD).

A BCAL/UFPR possui três Pilares de centragem forçada denominados de Pilar 1000 (Oeste), Pilar 2000 (Norte) e Pilar 3000 (Sul) (FIGURA 17 e FIGURA 18 (em amarelo)), onde se calibram antenas utilizando o método de calibração relativa em nível absoluto (HUINCA, 2009).

Desde o ano de 2008, se obtêm os parâmetros de calibração em nível absoluto. A antena de referência é a *Leica AR 25*, modelo *Choke Ring 3D*, e utiliza-se um mecanismo denominado DRB (*Drehrumbum*) (FIGURA 19) no processo de calibração relativa em campo. Este mecanismo proporciona que a antena a ser calibrada seja rotacionada nas direções norte, sul, oeste e leste. São realizadas observações simultâneas de 24 horas com ambas as antenas (de referência e a antena em calibração) e os dados são pós-processados com o programa *Wasoft/Kalib*.

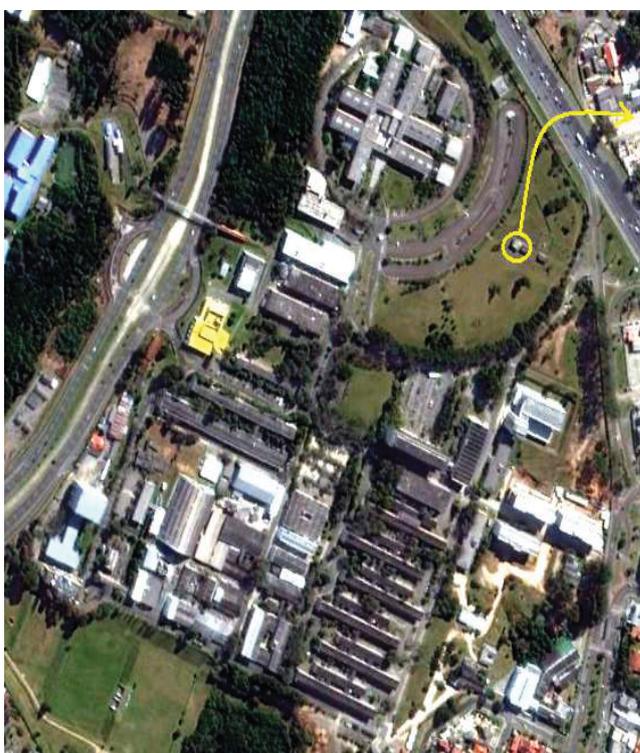


FIGURA 18 – LOCALIZAÇÃO DA BCAL/UFPR
FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2017)



FIGURA 17 – BCAL/UFPR
FONTE: ADAPTADO DE HUINCA (2009)



FIGURA 19 – EQUIPAMENTO DRB
FONTE: HUINCA (2009)

2.3.1.6.2 NGS

No ano de 1970 foi criado o *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), e o NGS foi nomeado o responsável em definir, manter e

fornecer acesso às ferramentas necessárias para todas as atividades de posicionamento dos Estados Unidos (NGS, 2011).

Por mais de 15 anos, o NGS realizou somente calibrações relativas (BILICH e MADER, 2010). A partir de Julho de 2011, começou a ser publicado valores absolutos de calibração de antenas (NGS, 2011). Essas calibrações são realizadas em um campo, com o auxílio de um robô, localizado na cidade de Corbin, Estado da Virgínia, Estados Unidos. A base de calibração, a localização do campo e um detalhe do robô podem ser vistos na FIGURA 20, FIGURA 21 e FIGURA 22, respectivamente.



FIGURA 21 – LOCALIZAÇÃO DA BASE DE CALIBRAÇÃO DO NGS
FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2017)



FIGURA 20 – BASE DE CALIBRAÇÃO DO NGS
FONTE: ADAPTADO DE BILICH E MADER (2010)



FIGURA 22 – EQUIPAMENTO UTILIZADO NA CALIBRAÇÃO
FONTE: ADAPTADO DE BILICH E MADER (2010)

São disponibilizados para a comunidade, no sítio eletrônico do NGS, os valores de PCO (componentes norte, leste e vertical) e o PCV, dependente da elevação e do azimute dos satélites. Estas informações são fornecidas nos formatos

NGS e ANTEX (*Antenna Exchange Format*). O primeiro, por uma limitação, dispõe somente do PCO e PCV dependente da elevação, o segundo contém o PCO e PCV dependente da elevação e do azimute.

2.4 VELOCIDADE DAS ESTAÇÕES

Um dos fatores que fornecem a dinâmica da Terra são suas placas tectônicas ou litosféricas, assim todas as estações sofrem alterações em suas coordenadas geodésicas com o passar do tempo. O conhecimento destes movimentos é fundamental para a manutenção dos sistemas de referência terrestre.

Diversos modelos foram desenvolvidos para apresentar como as placas tectônicas se deslocam. Estes modelos podem ser utilizados para calcular a nova posição de uma estação, em uma determinada época, considerando os movimentos mencionados. Podem ser citados o *No-Net-Rotation North western University Velocity model 1A* (NNR-NUVEL-1A), desenvolvido por De Mets *et al.* (1994) e o *Actual Plate Kinematic and Deformation Model* (APKIM), desenvolvido por Drewes (1999), o Modelo de Velocidades para a América do Sul e Caribe (VEMOS2009), desenvolvido por Drewes e Heidbach (2009), entre outros. Estes e outros modelos são disponibilizados pela *University NAVSTAR Consortium*¹¹ (UNAVCO) onde é possível obter as velocidades de qualquer ponto da Terra, levando em consideração os movimentos das placas tectônicas.

2.5 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

No nivelamento geométrico de precisão são realizadas medidas da diferença de nível entre pontos do terreno por intermédio de leituras

¹¹<http://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/plate-motion-calculator/plate-motion-calculator.html>, Acesso em: 10 de Abril de 2015.

correspondentes a visadas horizontais, em miras colocadas verticalmente nos pontos de interesse (IBGE, 1983).

O levantamento altimétrico visa, exclusivamente, a determinação de alturas relativas de pontos a uma superfície de referência, objetivando a representação altimétrica da superfície medida. Na Resolução da Presidência do IBGE nº 22, de 21/07/1983, constam as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos. Segundo a norma, as especificações quanto às precisões podem ser observadas no QUADRO 5.

Controle para qualidade	Levantamentos Geodésicos			
	De alta precisão	De precisão		Fins topográficos
	Fundamental	Áreas mais desenvolvidas	Áreas menos desenvolvidas	Local
Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contra-nivelamento de uma linha	$3 \text{ mm } \sqrt{k}$	$6 \text{ mm } \sqrt{k}$	$8 \text{ mm } \sqrt{k}$	$12 \text{ mm } \sqrt{k}$

QUADRO 5 – ESPECIFICAÇÕES QUANTO AS PRECISÕES
 FONTE: ADAPTADO DE IBGE (1983)

2.6 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES

De acordo com Gemael (1994), o ajustamento de observações cuida do problema da abundância de observações, que devem, necessariamente, conduzir a um resultado único e que possa representar com a maior confiança a grandeza medida. Nas Ciências Geodésicas são empregados diversos métodos de ajustamento, entre eles o método dos correlatos e o paramétrico.

Maiores detalhes da aplicação do mesmo quando empregadas as técnicas geodésicas aqui utilizadas (nivelamento geométrico e posicionamento por GPS), podem ser encontradas em Gemael (1994), Dalmolin (2002) e Ghilani e Wolf (2006).

2.6.1 Método Paramétrico

No método paramétrico, de acordo com Ghilani e Wolf (2006), as observações são expressas em função dos parâmetros desconhecidos que foram medidos indiretamente. Este método obedece à condição dos mínimos quadrados, ele força que se tenha mais equações que parâmetros, gerando um sistema redundante.

Segundo Gemael (1994), o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) tem a condição da equação (3):

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \text{mín} \quad (3)$$

Onde:

n é o número de observações; e

v_i é o resíduo da i -ésima observação.

O vetor dos resíduos das observações é dado pela equação (4):

$$V = \begin{bmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

onde V é calculado pela equação

(5):

$$V = AX_a - L_b \quad (5)$$

sendo:

X_a é o vetor dos parâmetros ajustados;

L_b é o vetor das observações; e

A a matriz das derivadas parciais das observações em relação aos parâmetros, dada pela equação

(6):

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_0} \quad (6)$$

No método paramétrico, as observações ajustadas L_a são fornecidas em função dos parâmetros ajustados X_a , de acordo com o modelo matemático da equação (7):

$$L_a = F(X_a) \quad (7)$$

O vetor dos parâmetros ajustados X_a é dado pela equação (8). Onde as matrizes N , o coeficiente das equações normais, e U , os termos independentes, são calculadas respectivamente pelas equações (9) e (10):

$$X_a = -N^{-1}U \quad (8)$$

$$N = A^T P A^{-1} \quad (9)$$

$$U = A^T P L_b \quad (10)$$

P é a matriz dos pesos, dada pela equação (11):

$$P = \sigma_0^2 \Sigma_{L_b}^{-1} \quad (11)$$

Onde:

σ_0^2 é a variância a priori; e

$\Sigma_{L_b}^{-1}$ é a matriz variância-covariância dos valores observados.

As matrizes variância-covariância dos parâmetros, dos valores observados ajustados e dos resíduos são uma indicação da qualidade do ajustamento realizado. Essas matrizes são apresentadas nas equações

(12),

(13) e

(14), respectivamente:

$$\Sigma_X = \sigma_0^2 N^{-1} \quad (12)$$

$$\Sigma_{L_a} = \sigma_0^2 AN^{-1}A^T \quad (13)$$

$$\Sigma_V = \sigma_0^2 (AN^{-1}A^T - P^{-1}) \quad (14)$$

2.6.2 Método dos Correlatos

Segundo Gemael (1994), o método dos correlatos não envolve parâmetros, e sim somente observações condicionadas, ou seja, sujeitas a equações de condição. Este método é mais indicado quando o grau de liberdade é menor que o número de incógnitas.

Assim sendo, o modelo matemático é indicado na equação (15):

$$F(L_a) = 0 \quad (15)$$

Onde F relaciona r equações de condição e o vetor das observações ajustadas L_a , com dimensões $n \times 1$, sendo n as incógnitas (os resíduos v_i). Envolvendo no modelo os valores observados com os resíduos, obtêm-se a equação que representa os valores ajustados, equação (16):

$$L_a = L_b + V \quad (16)$$

$$\text{ou seja } F(L_b + V) = 0 \quad (17):$$

$$F(L_b + V) = 0 \quad (17)$$

De acordo com Gemael (1994), para um nivelamento geométrico considerando um circuito fechado, a soma de todos os desníveis deveria ser teoricamente nula. Esta não obediência ao modelo matemático resulta no vetor erro de fechamento dado pela equação (

18) que deverá ser eliminado do ajustamento:

$$W = F(L_b) \quad (18)$$

Indicando B como a matriz das derivadas parciais (19):

$$B_{(r \times n)} = \left. \frac{\partial F}{\partial L_a} \right|_{L_b} \quad (19)$$

Que resulta no modelo linearizado do método dos correlatos, com dimensões conforme a equação (20):

$$B_{(r \times n)} V_{(n \times 1)} + W_{(r \times 1)} = 0_{(r \times 1)} \quad (20)$$

De acordo com Gemael (1994), para que as incógnitas satisfaçam ao MMQ e as equações de condição, emprega-se a técnica lagrangiana definindo ϕ $\phi = V^T P V - 2K^T (BV + W) = \text{MÍN}$ (21):

$$\Phi = V^T P V - 2K^T (BV + W) = \text{mín} \quad (21)$$

Onde:

K , é o vetor $r \times 1$ dos multiplicadores de Lagrange (ou correlatos).

Igualando a zero as derivadas parciais em relação a V e K :

$$\frac{\partial \Phi}{\partial V} = 2PV - 2K^T B = 0 \quad (22)$$

$$PV - B^T K = 0 \quad (23)$$

$$V = P^{-1} B^T K \quad (24)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial W} = -2(BV + W) = 0 \quad (25)$$

Substituindo V na equação (20) obtêm-se a equação $BP^{-1}B^T K + W = 0$ (26):

$$BP^{-1}B^T K + W = 0 \quad (26)$$

Obtêm-se então a equação matricial do sistema de r equações normais que proporcionam os r multiplicadores de Lagrange (ou correlatos), equações $K = -M^{-1}W$ (27) e $M = BP^{-1}B^T$ (28):

$$K = -M^{-1}W \quad (27)$$

$$M = BP^{-1}B^T \quad (28)$$

Por fim calcula-se a matriz variância-covariância dos valores ajustados, dos resíduos e a variância da unidade de peso *a posteriori*. Essas matrizes e a variância são apresentadas nas equações (29), (30) e (32).

$$\Sigma_{L_A} = \sigma_0^2 P^{-1} [I - B^T M^{-1} B P^{-1}] \quad (29)$$

$$\Sigma_V = \sigma_0^2 P^{-1} B^T M^{-1} B P^{-1} \quad (30)$$

Comparando:

$$\Sigma_{L_A} = \Sigma_{L_B} - \Sigma_V \quad (31)$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{r} \quad (32)$$

2.7 TESTE ESTATÍSTICO

O teste estatístico trata da coleta, da análise, da interpretação e da apresentação de dados numéricos. A seguir é apresentado o teste estatístico utilizado na presente pesquisa.

2.7.1 Teste global

Segundo Gemael (1994), um importante indicador da qualidade do ajustamento das observações é a comparação entre σ_0^2 (*a priori*) e $\hat{\sigma}_0^2$ (*a posteriori*). Proposto por Baarda (1968), no teste global ou teste de modelo geral a comparação é realizada através de um teste de hipótese, empregando para tanto a distribuição estatística qui-quadrado (χ^2).

A variância *a posteriori* é dada pela equação (32).

Sendo r o número de graus de liberdade do sistema, onde o mesmo é obtido através da diferença entre n equações de observações e u parâmetros.

A formulação do teste de hipótese pode ser escrita como:

$$H_0: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$$

$$H_1: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2$$

A hipótese nula H_0 é aceita quando as variâncias são iguais, enquanto que qualquer valor menor ou maior que σ_0^2 significa que a hipótese alternativa é aceita. O teste estatístico do χ^2 é determinado conforme a equação (33):

$$\chi_{Calculado}^2 = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2}(r) \quad (33)$$

Dado um determinado grau de confiança α , a hipótese nula H_0 é aceita se o valor de $\chi_{Calculado}^2$ estiver entre os limites superior e inferior do χ^2 teórico, conforme a inequação (34). Sendo que o χ^2 teórico é determinado pelo graus de liberdade do sistema e nível de confiança (α).

$$\chi_{r, \frac{\alpha}{2}}^2 < \chi_{Calculado}^2 < \chi_{r, 1 - \frac{\alpha}{2}}^2 \quad (34)$$

2.7.2 Coeficiente de correlação de Pearson

A relação ou associação de duas variáveis pode ser medida por coeficientes de correlação e sua medida está sempre em um intervalo de -1 a 1. O valor -1 indica uma correlação negativa, ou seja, inversa, quando existe o crescimento positivo de uma variável há o decréscimo da outra variável. O valor 1 indica uma perfeita correlação positiva, ou seja, quando há o crescimento ou decréscimo de uma variável o comportamento da outra variável é análogo. O valor 0 significa que não há nenhuma correlação entre as variáveis.

A medida de correlação mais conhecida é obtida através do coeficiente de Pearson. A equação (35), apresentada por Taylor (1997) e Chen e Popovich (2002), mostra o cálculo do coeficiente de correlação r entre as variáveis x e y .

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (35)$$

3 ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo serão descritos aspectos relativos à área de estudo, divididos em três partes: aspectos gerais, que incluem temas como localização da área estudada, aspectos climáticos e pluviométricos e aspectos geológicos.

3.1 LOCALIZAÇÃO

O Município de Curitiba engloba 75 bairros. Eles são divididos em nove Regionais Administrativas. A Regional Administrativa Cajuru é subdividida nos Bairros Cajuru, Capão da Imbuia, Jardim das Américas, Uberaba e Guabirotuba. Nesta Regional (

FIGURA 23) estão localizados ,os pontos de interesse no presente trabalho, mais especificamente no bairro Guabirotuba.

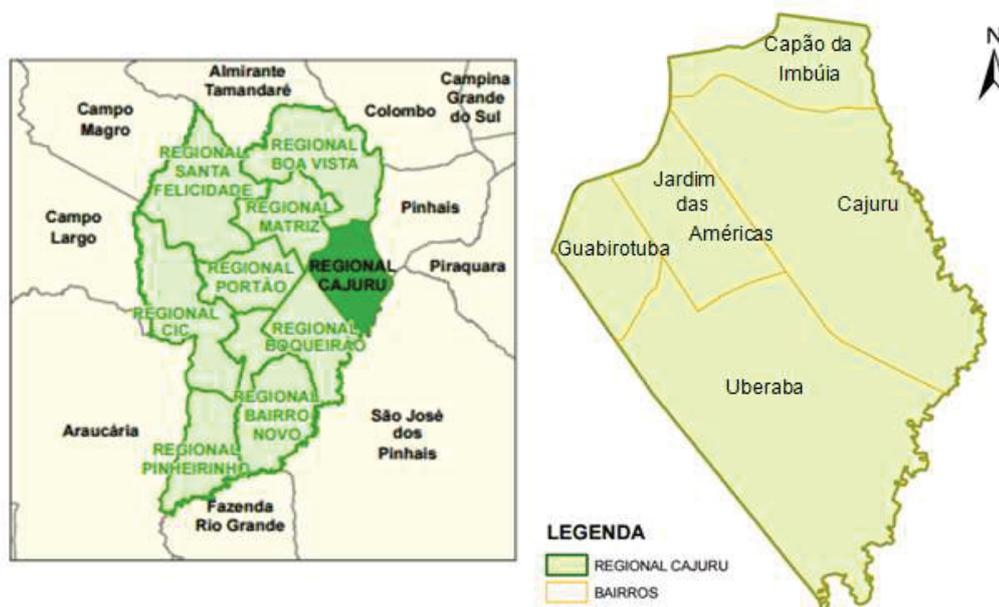


FIGURA 23 – RECORTE DA REGIONAL ADMINISTRATIVA CAJURU
FONTE: ADAPTADO DE IPPUC (2013)

A FIGURA 24 apresenta a disposição dos pontos da Rede Externa (BCAL, SANEPAR e HORTO) e a área da Rede Interna (hachura em amarelo).

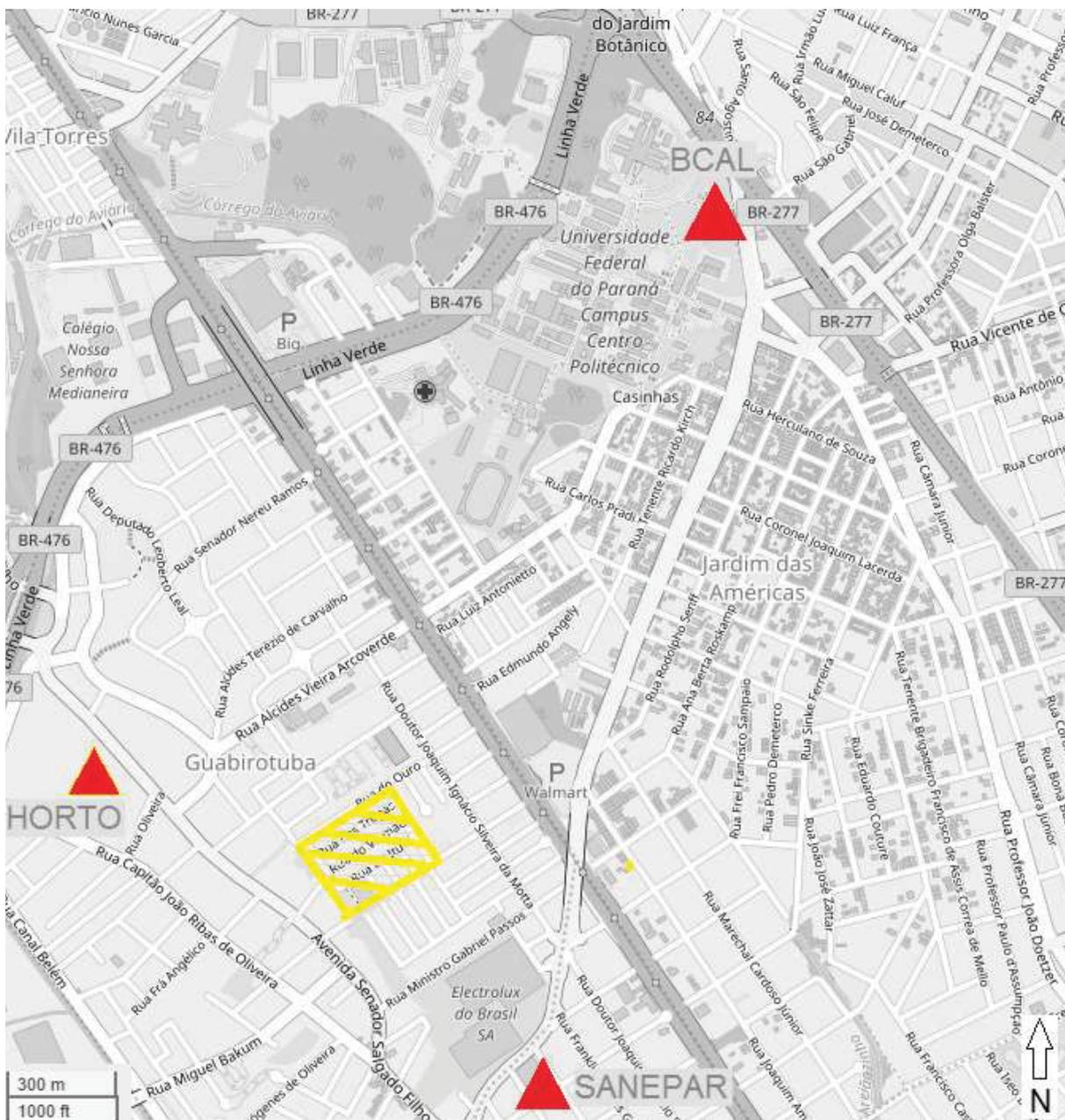


FIGURA 24 – PONTOS DA ÁREA EXTERNA E IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA INTERNA
FONTE: ADAPTADO DE OPEN STREET MAP (2017)

O ponto BCAL, é o Pilar 2000 da BCAL/UFPR (FIGURA 72), está localizado no Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná; o ponto SANEPAR que foi materializado nas dependências do Reservatório Corte Branco, no Bairro Uberaba, pertencente à Companhia de Saneamento do Paraná; o ponto HORTO que foi implantado no Horto Municipal do Guabirota, pertencente à Secretaria Municipal do Meio Ambiente, formam a Rede Externa de monitoramento.

Esta rede contém os pontos que foram empregados como estações conhecidas nos pós-processamentos relativos. Os pontos SANEPAR e HORTO foram materializados através de uma rosca 5/8" soldada em um disco de ferro de aproximadamente 10 cm de diâmetro (FIGURA 25).

Ambos os pontos estão localizados no topo de caixas d'água (FIGURA 75 e FIGURA 81, seção 5.2.1). Todos os 24 pontos que compõem a Rede Interna estão localizados no Guabirota. Eles podem ser visualizados na FIGURA 26.



FIGURA 25 – MATERIALIZAÇÃO DOS PONTOS SANEPAR E HORTO



FIGURA 26 – PONTOS DA ÁREA INTERNA
FONTE: ADAPTADO DE OPEN STREET MAP (2017)

3.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS E PLUVIOMÉTRICOS

De acordo com IPPUC (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba) (2012), o Município de Curitiba localiza-se em uma região com clima temperado úmido ou subtropical, mesotérmico, sem estação de seca, com um verão fresco e inverno com geadas frequentes. O que propicia este tipo de clima é a sua localização em relação ao Trópico de Capricórnio, a topografia do Primeiro Planalto, a altitude média (934,6 m acima do mar), assim como a barreira natural da Serra do Mar (IPPUC, 2012).

O INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) disponibiliza em seu site informações de estações automáticas e convencionais distribuídas no país, inclusive da cidade de Curitiba. A estação do Simepar (Sistema Meteorológico do Paraná), denominada pelo INMET como CURITIBA-A807 e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) pelo código 86933, pertence à rede de estações automáticas. Ela é constituída de um *data logger* e vários sensores. Dentre as variáveis meteorológicas que são observadas estão: temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, pressão atmosférica, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc. As medições são realizadas automaticamente a cada hora. A mesma está situada no Campus Centro Politécnico - Jardim das Américas, da UFPR, e distante aproximadamente 2 km da área do monitoramento.

A temperatura média de Curitiba é de 16,4°C, com médias variando entre 12,9°C, no mês mais frio, e 22,5°C, no mês mais quente. O clima tropical de Curitiba se apresenta em períodos específicos, entre Novembro e Março, com média de 20°C. Há temperaturas absolutas de até 38°C, como ocorreu em Novembro de 1977. No período do inverno, o clima tropical de altitude é realçado tendo como temperatura média, nestes meses 13°C. Em Julho de 1972 foi registrada a temperatura mínima absoluta de -5,2°C (LEAL, 2012). As temperaturas observadas, no período dos levantamentos, na região estudada estão contempladas nos gráficos de temperatura da FIGURA 27, FIGURA 28, FIGURA 29 e FIGURA 30. O mês de Julho possui as menores temperaturas registradas, assim como os meses iniciais do ano detêm as temperaturas mais elevadas.

Segundo Gomez *et al.* (1998), depois da temperatura, a umidade relativa do ar é a segunda variável meteorológica mais utilizada para descrever um clima urbano. Na região de Curitiba a média mensal varia entre 75% e 85%. As maiores médias são encontradas nos meses de primavera e verão. Isto pode ser observado nas umidades relativas, no período dos levantamentos, da região de Curitiba, na FIGURA 31, FIGURA 32, FIGURA 33 e FIGURA 34.

Segundo Danni-Oliveira (1999), Curitiba não apresenta um período seco propriamente, mas chuvas distribuídas ao longo do ano, isto ocorreu efetivamente nos anos de 1973, 1974 e 1975. Dados mostram que a pluviometria tem uma maior concentração nos meses de verão, que no inverno. As medidas pluviométricas, no período dos levantamentos, constam na FIGURA 35, FIGURA 36, FIGURA 37 e FIGURA 38. Nelas é possível observar que de fato não há uma estação seca e confirma-se que nos meses de primavera e verão, concentram-se os maiores índices pluviométricos.

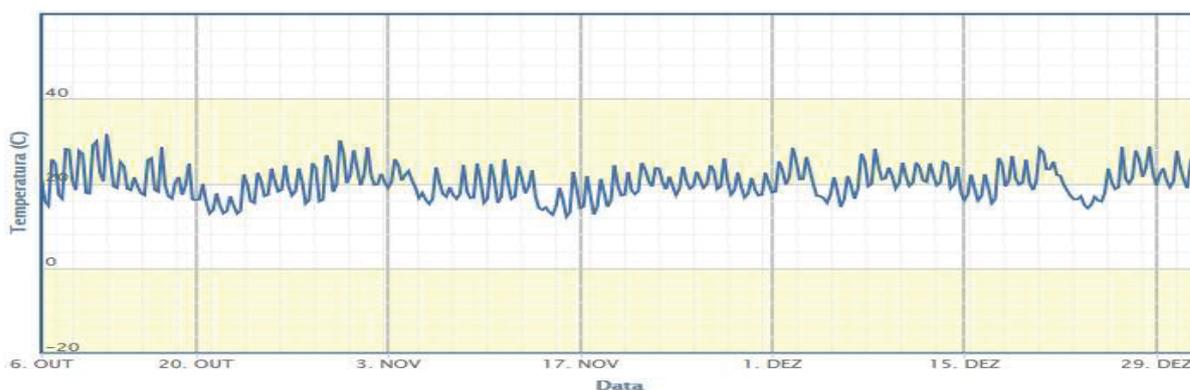


FIGURA 27 – GRÁFICO DE TEMPERATURA DO FIM DO ANO DE 2014
FONTE: INMET (2014)

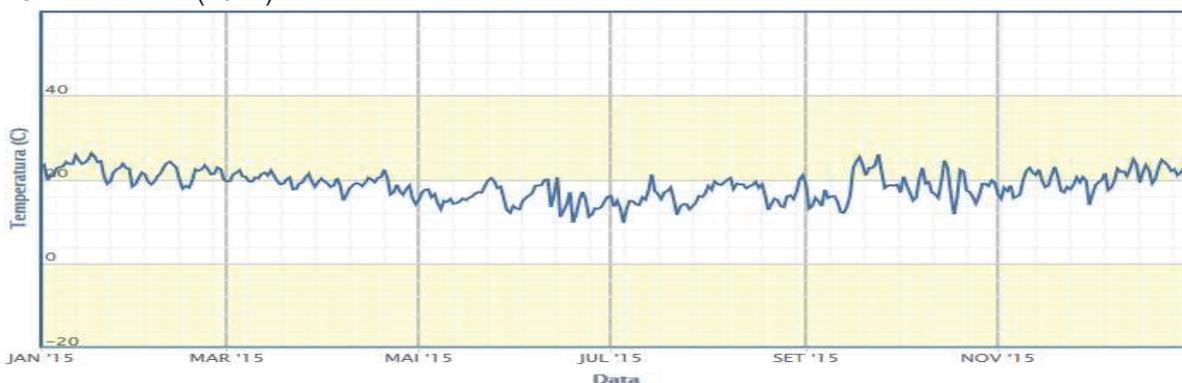


FIGURA 28 – GRÁFICO DE TEMPERATURA DO ANO DE 2015
FONTE: INMET (2015)

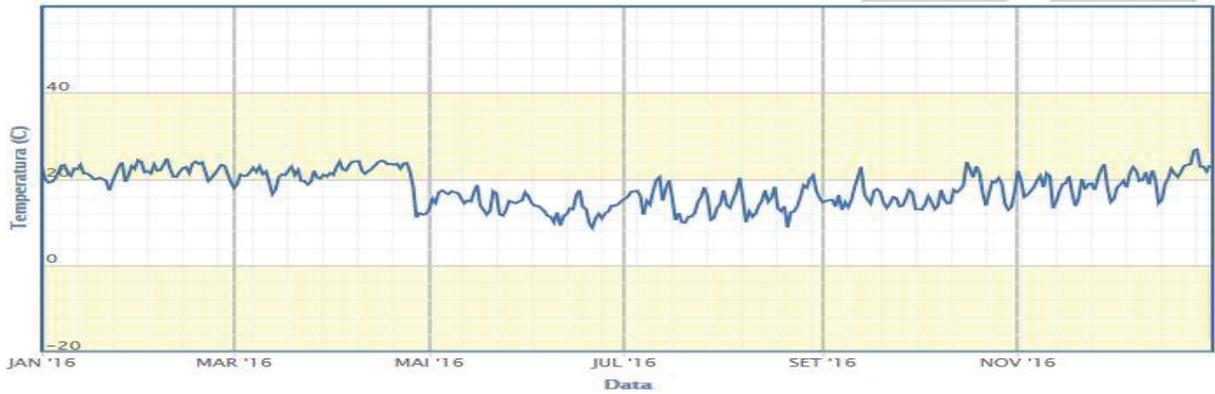


FIGURA 29 – GRÁFICO DE TEMPERATURA DO ANO DE 2016
 FONTE: INMET (2016)

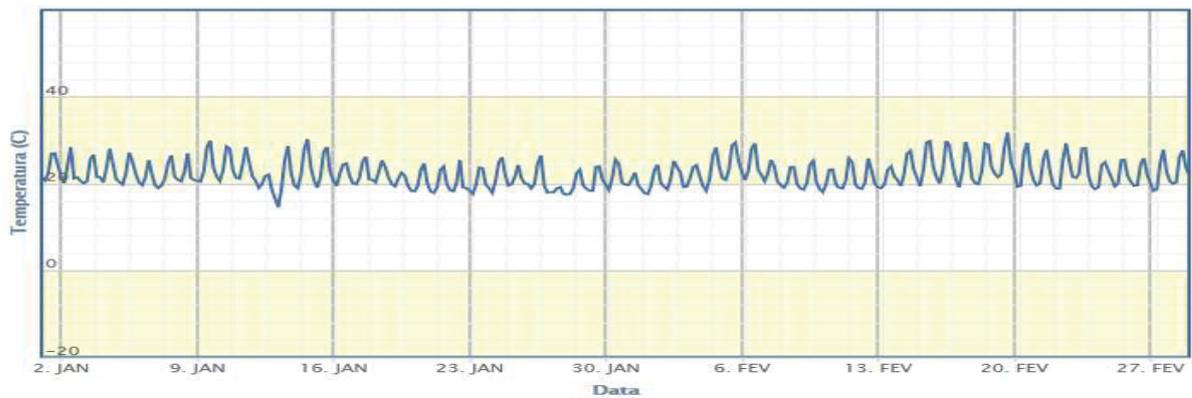


FIGURA 30 – GRÁFICO DE TEMPERATURA DO COMEÇO DO ANO DE 2017
 FONTE: INMET (2017)

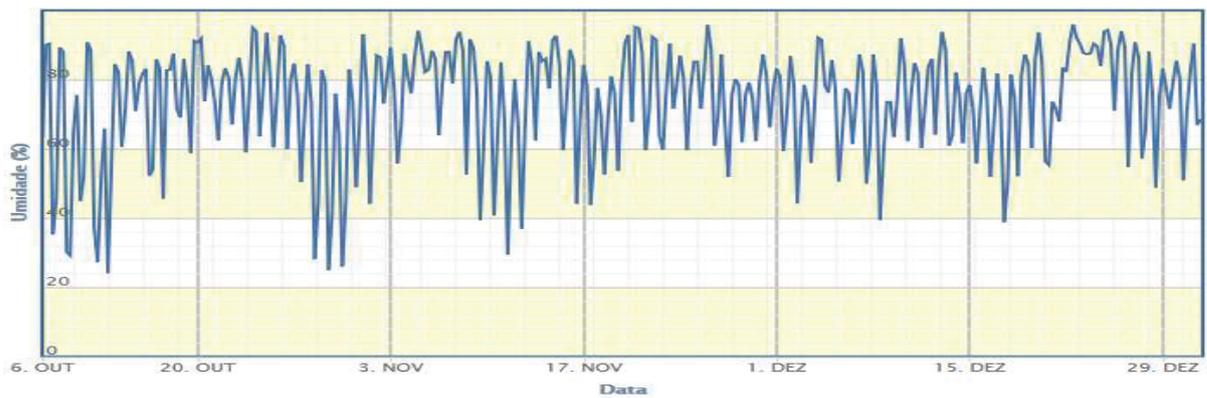


FIGURA 31 – GRÁFICO DE UMIDADE DO FIM DO ANO DE 2014
 FONTE: INMET (2014)

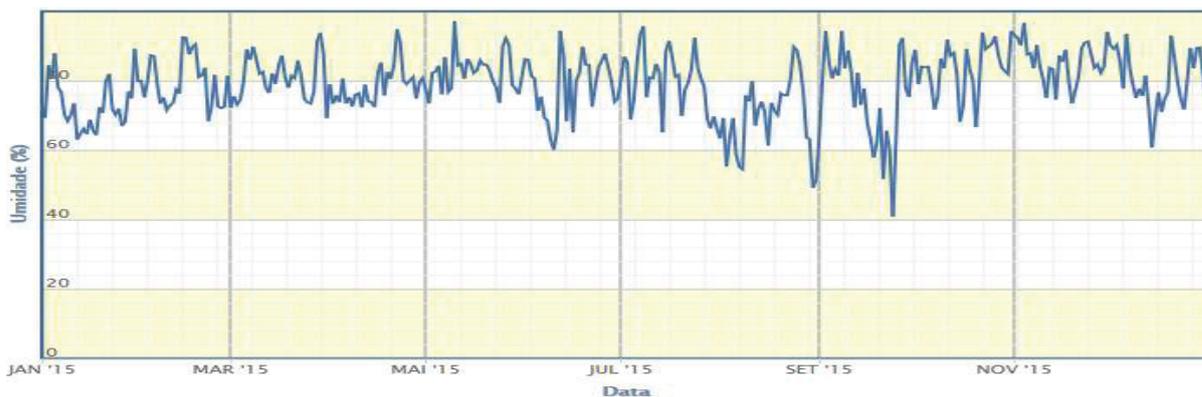


FIGURA 32 – GRÁFICO DE UMIDADE DO ANO DE 2015
 FONTE: INMET (2015)

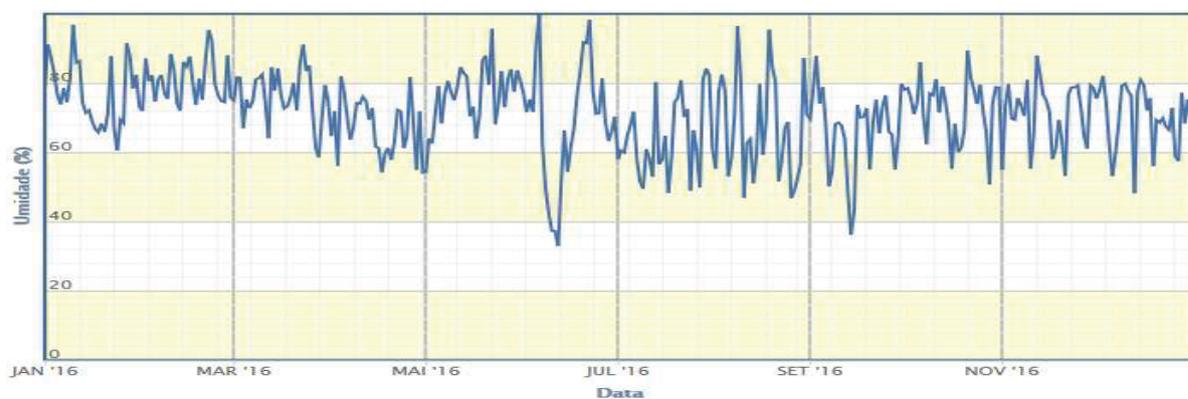


FIGURA 33 – GRÁFICO DE UMIDADE DO ANO DE 2016
 FONTE: INMET (2016)

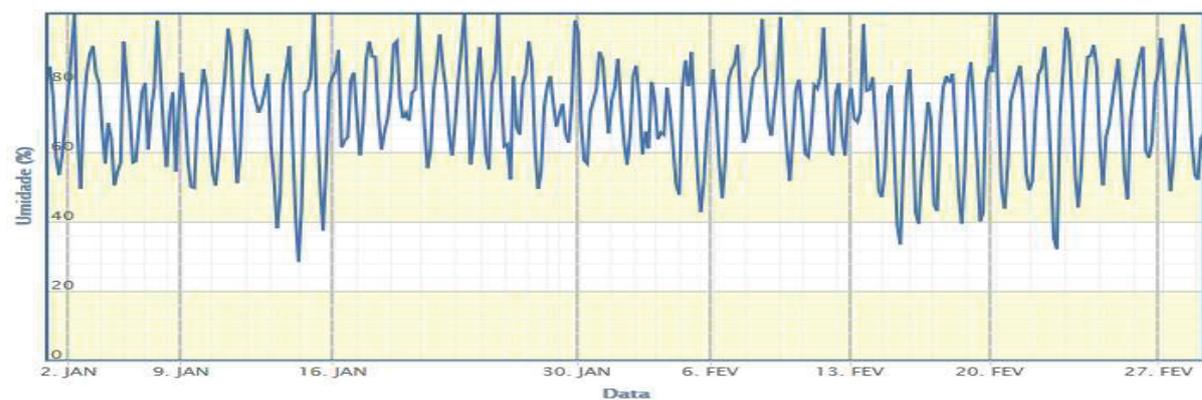


FIGURA 34 – GRÁFICO DE UMIDADE DO COMEÇO DO ANO DE 2017
 FONTE: INMET (2017)



FIGURA 35 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO DO FIM DO ANO DE 2014
 FONTE: INMET (2014)

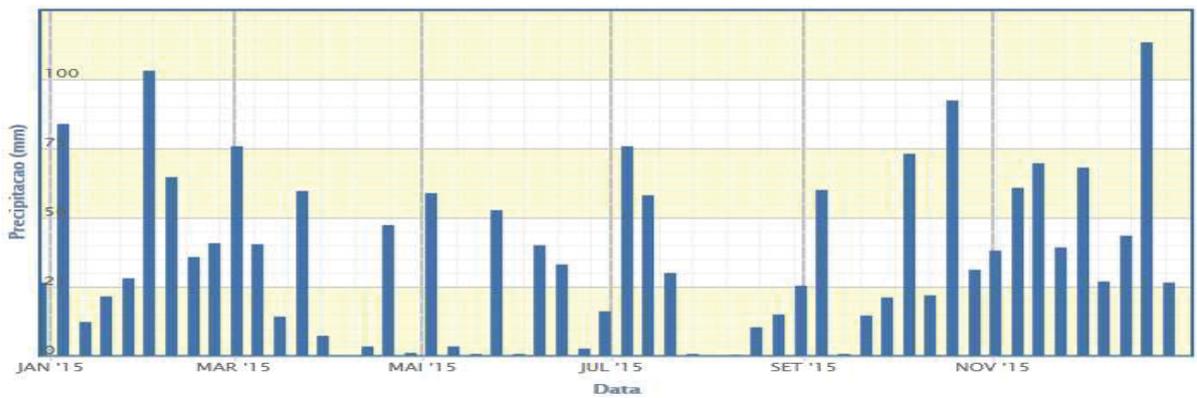


FIGURA 36 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO DO ANO DE 2015
 FONTE: INMET (2015)

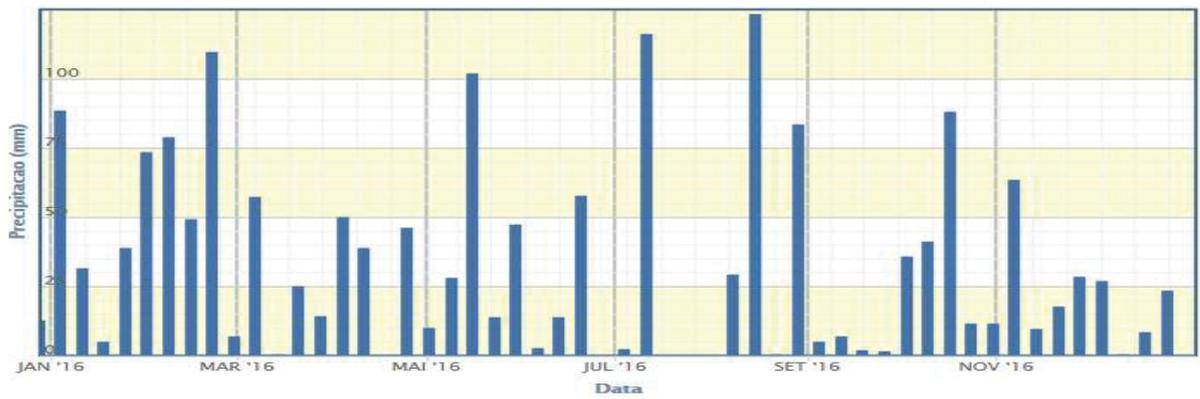


FIGURA 37 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO DO ANO DE 2016
 FONTE: INMET (2016)

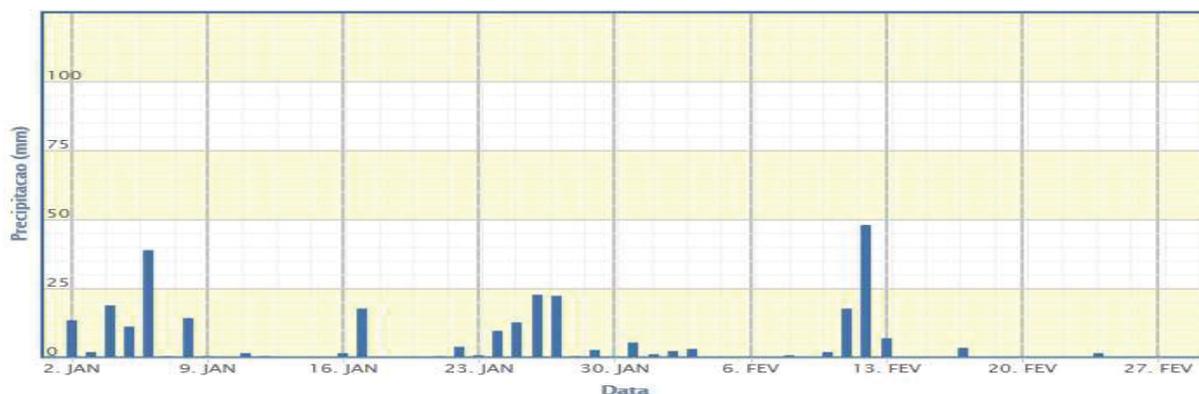


FIGURA 38 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO DO COMEÇO DO ANO DE 2017
 FONTE: INMET (2017)

3.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS

A Regional Administrativa Cajuru é formada geologicamente por distintas partes lito-estratigráficas. Na área de estudo são encontradas duas formações geológicas, como pode ser observado na FIGURA 39, que são:

- Sedimentos areno-siltico-argilosos inconsolidados; e
- Argilitos, arcósios, margas, arenitos e conglomerados (Formação Guabirota).

De acordo com Felipe (2011), os sedimentos da Formação Guabirota estão distribuídos desde o Município de Campo Largo até o Município de Quatro Barras, englobando Curitiba e parte da sua Região Metropolitana. Sua área total é de cerca de 3.000 km². Suas espessuras são diferenciadas, normalmente mais finas nas bordas e espessas na porção central, não sendo isto regra geral. Ocorrem porções com espessuras de 1 m até um máximo de 80 m. Em média, a espessura desta formação é de aproximadamente 50 m (SALAMUNI, 1998).

As argilas, o lito tipo mais abundante da Formação Guabirota pertencem ao grupo das esmectitas, que são argilas expansivas, higroscópicas, ou seja, perdem e reabsorvem água. Fato este que as torna também muito retrativas. Estas características proporcionam alta suscetibilidade à erosão e movimento de massa em encosta (SALAMUNI, 1998).



FIGURA 39 – MAPA GEOLÓGICO DE CURITIBA
 FONTE: IPUCC (2013)

Nos cortes/aterros formados por argila da Formação Guabirota, há também movimento de massa que se assemelha a corrida de lama. Esse processo se dá devido a dois fatores: porosidade/permeabilidade do aterro e a expansividade da argila. Devido ao excesso de água no aterro poroso, devido a precipitação, por exemplo, penetrando mais profundamente no aterro, a argila que estava seca, reagirá expandindo-se e, conseqüentemente, desagregando-se e diminuindo a coesão entre os grãos (FELIPE, 2011).

4 DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO

Nesse capítulo será apresentado o desenvolvimento da metodologia para o referido experimento, assim como tópicos para o alcance dos objetivos específicos. São apresentados os equipamentos utilizados, para a coleta de dados, programas empregados, assim como as análises realizadas.

4.1 EQUIPAMENTOS

Para a coleta de dados GPS dos pontos BCAL, SANEPAR e HORTO, componentes da Rede Externa, assim como também na Rede Interna para a realização do nivelamento geométrico, estão sendo utilizados os seguintes equipamentos:

- Rede Externa:
 - Três receptores geodésicos de dupla frequência *Leica* GPS 1200 (FIGURA 40):
 - Antenas:
 - Uma *Leica Choke Ring* 3D LEIAR25 (FIGURA 41); e
 - Duas *Leica* LEIAX1202 GG (FIGURA 42).
- Rede Interna:
 - Seis receptores geodésicos de dupla frequência *Leica* GPS 900 CS (FIGURA 43):
 - Um receptor *Leica* GPS RX1250 (FIGURA 44);
 - Antenas:
 - *Leica* ATX900 GG (FIGURA 46); e
 - *Leica* ATX1230+ GNSS (FIGURA 45).
 - Nível *Leica* DNA 03 (FIGURA 47):
 - Precisão de 0,3 mm/km, duplo nivelamento, com mira de invar (LEICA GEOSYSTEMS, 2006).

Todos os receptores GPS empregados contam com a mesma precisão relativa no modo estático (LEICA GEOSYSTEMS, 2009):

- Horizontal: 5 mm \pm 0,5 ppm; e
- Vertical: 10 mm \pm 0,5 ppm.

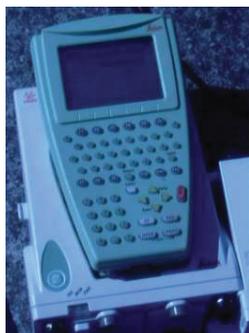


FIGURA 40 – GPS *LEICA* 1200



FIGURA 41 – LEIAR25



FIGURA 42 – LEIAX1202 GG



FIGURA 43 – GPS *LEICA* 900



FIGURA 44 – GPS *LEICA* RX1250



FIGURA 45 – ATX1230+ GNSS



FIGURA 46 – ATX900 GG



FIGURA 47 – DNA03

4.2 PROGRAMAS

Os programas utilizados na obtenção de informações para a análise e processamentos dos dados são: *WaSoft/Multipath* Versão 3.44, TEQC Versão de 06 de Junho de 2012, *Bernese* Versão 5.2, *Leica Geo Office* Versão 7.0 e RTKLIB Versão 2.4.3. Os mesmos são descritos na sequência.

4.2.1 *WaSoft/Multipath* Versão 3.44

O programa *Wasoft/Multipath* versão 3.44 foi desenvolvido pelo *Geodetic Institute, Dresden University of Technology*, Alemanha. Ele proporciona a detecção, localização e quantificação do efeito de multicaminho na fase da onda portadora. Para a execução do programa são necessários dados GPS/GNSS de três a seis estações, sendo recomendado o mínimo de quatro estações. As observações de dupla frequência e dados de navegação devem ser de 24 horas contínuas, simultâneas entre as estações da rede e distância máxima de 100 km. O *Wasoft/Multipath* é desmembrado em diversos módulos pertencentes ao programa *Wasoft*. Os módulos empregados e que compõem o programa *Wasoft/Multipath* são (WANNINGER, 2009):

- WANJOI: prepara as efemérides transmitidas para o formato binário;
- WASING: processa os dados das observações e cria para cada estação um arquivo de observação contendo, as coordenadas dos pontos e a altura da antena em relação ao ARP;
- WAFSLP e WAUPDT: na primeira etapa procura e detecta perdas de ciclo nas observações, na segunda etapa exclui as perdas de ciclo detectadas; e
- WAMUL1: detecta, localiza e gera um diagrama com o efeito de multicaminho para cada um dos pontos.

De acordo com Wanninger e May (2000), o programa *Wasoft/Multipath* detecta e localiza o efeito de multicaminho executando as seguintes etapas:

- São criados arquivos de 20 minutos de observações para todos os satélites que tenham elevação menor que 50°;
- Com estes blocos são calculados os resíduos das duplas diferenças de fase, utilizando o satélite mais elevado (satélite de referência) em todas as estações. Os resultados serão n-1 vetores de duplas diferenças de fase em uma rede de n estações;
- Eliminam-se as ambiguidades permanecendo os efeitos troposféricos e os erros orbitais de cada vetor. Se o desvio padrão do vetor for maior que 15 mm, há suspeita de efeito de multicaminho; e
- Se um vetor é suspeito de conter efeito de multicaminho então, todas as combinações (com todas as estações) para este vetor são correlacionadas.

Este programa foi gentilmente cedido pelo Dr.-Ing. Lambert Wanninger.

4.2.2 TEQC Versão de 06 de Junho de 2012

O TEQC (*Translate/Edit/QualityCheck*), desenvolvido pela Universidade *Navstar Consortium* (UNAVCO, 2010) em ambiente MS-DOS, analisa a qualidade dos dados GPS.

Especificamente o módulo QC do programa, realiza o processamento dos RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) (de observação e navegação), gerados a partir dos dados brutos coletados em um levantamento com um receptor GPS. Com os resultados gerados com o TEQC é possível fazer uma série de análises:

- Razão sinal/ruído (SNR1 e SNR2);
- Atraso do sinal causado pela ionosfera;
- Perdas de ciclos;
- Número de observações da sessão;
- Deriva do relógio do receptor;
- Ângulos de azimute e elevação dos satélites; e
- Efeito de multicaminho (MP1 e MP2).

4.2.3 *Bernese* Versão 5.2

Desenvolvido pelo *Astronomical Institute of the University of Bern* (AIUB), Suíça, o programa *Bernese* GNSS está na versão 5.2, disponível desde 2012, e recebeu desde então diversas atualizações, sendo a mais atual em dezembro de 2016. Ele é um conjunto de programas científicos que possibilitam o processamento e análise de dados GNSS, com as maiores exigências de acurácia em escalas regionais à redes globais. O *Bernese* utiliza a linguagem Fortran90 e pode ser compilado em plataformas *Windows*, UNIX, LINUX e MAC. O mesmo suporta os mais importantes formatos internacionais e, nesta versão, possui um total de 99 programas com 1497 sub-rotinas. A versão 5.2 apresenta diversas melhorias em relação a versão 5.0. A atualização desta inclui novas capacidades de processamento como, por exemplo, a resolução de ambiguidades de observações GLONASS e a detecção de perdas de ciclo a cada época durante um determinado intervalo; novos modelos de troposfera e ionosfera; correções de maré, entre outros; aperfeiçoamento nos arquivos de saída do processamento; avanços técnicos e melhorias nos Menus e no processamento automático.

Na seção 4.3.3.1.1 encontram-se maiores detalhes de arquivos necessários inseridos no processo, assim como, demais particularidades operacionais e sequência dos programas utilizados no processamento dos dados GPS.

4.2.4 *Leica Geo Office* Versão 7.0

O *Leica Geo Office 7.0* (LGO) é um programa comercial, para processamento de dados GPS/GNSS, desenvolvido pela empresa *Leica Geosystems*, para o sistema operacional *Windows*. O programa permite importar arquivos com os parâmetros de calibração das antenas, sejam eles próprios, médios relativos ou médios absolutos. É possível inserir os valores de PCO e PCV dependente da elevação e do azimute. Com o objetivo de minimizar os erros atmosféricos, o programa disponibiliza alguns modelos para a realização destas

correções. Entre eles estão os modelos *Hopfield* e *Saastamoinen*, para a correção dos erros troposféricos e o modelo *Klobuchar* para corrigir os erros ionosféricos.

4.2.5 RTKLIB Versão 2.4.3

Desenvolvido no *Laboratory of Satellite Navigation* na *Tokyo University of Marine Science and Technology*, o RTKLIB é um pacote de programas com código aberto para posicionamento. Suporta GPS, GLONASS, Galileo, QZSS (*Quase-Zenith Satellite System*), BeiDou e SBAS (*Satellite Based Augmentation System*). Os módulos podem ser executados no sistema operacional *Windows* ou compilados no *Linux* (RTKLIB, 2009).

Os módulos que compõem o RTKLIB são (RTKLIB, 2009):

- RTKNAVI: possibilita o posicionamento em tempo real;
- RTKPOST: neste módulo é possível processar os dados no modo DGPS (*Differential Global Positioning System*), cinemático, estático e PPP, cinemático e estático; neste módulo está implementado o TEQC, desta forma pode-se obter informações sobre a disposição da constelação de satélites e suas elevações, o efeito de multicaminho e sinal/ruído;
- RTKCONV: realiza a conversão de dados em formatos de diversos receptores GNSS para o formato padrão;
- RTKPLOT: módulo que apresenta graficamente as soluções dos módulos RTKNAVI e RTKPOST; e
- RTKGET: possibilita o *download* de dados das órbitas dos satélites, relógios ou até mesmo dados de observações de redes de monitoramento contínuo.

4.3 METODOLOGIA

Um resumo da metodologia proposta neste trabalho, para a detecção de deslocamentos de terra em uma área localizada no Município de Curitiba, baseia-se no fluxograma apresentado na FIGURA 48. Algumas etapas aqui apresentadas brevemente são descritas com mais detalhes na sequência.

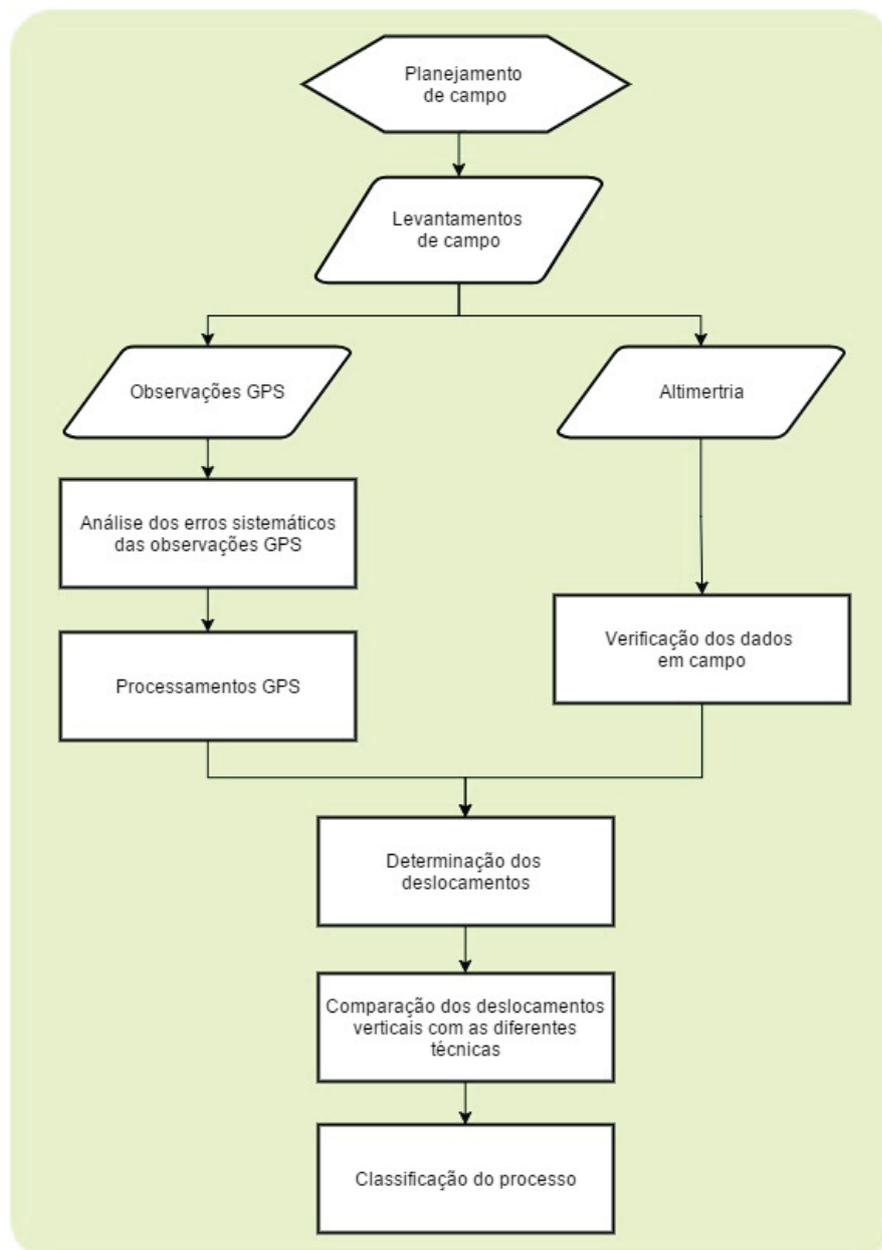


FIGURA 48 – RESUMO DA METODOLOGIA

A primeira etapa da metodologia proposta para o experimento consistiu em realizar o planejamento de campo. Nesta etapa foram definidos os locais onde os pontos da Rede Externa e Interna foram materializados. Por se tratar de um área urbana, as obstruções são caracterizadas de diversas formas como: casas, postes, árvores, cabos de alta tensão, muros e etc. Na coleta de dados GPS há a necessidade de ao menos tentar evitar que as mesmas estejam ao entorno do ponto escolhido. Isto acarretará em menos influência do efeito de multicaminho nas observações GPS. Na aplicação do nivelamento geométrico o planejamento facilita e torna o procedimento de campo mais rápido. Neste estudo foram materializados 3 pontos na Rede Externa e 24 pontos na Rede Interna (FIGURA 24 e FIGURA 26).

A segunda etapa engloba as campanhas de levantamentos de campo periódicas, com o objetivo de coletar dados para o monitoramento da área estudada. No procedimento de campo do nivelamento geométrico a verificação das observações é realizada em campo, calculando-se o erro de fechamento de cada linha de nivelamento. Os levantamentos de campo são detalhados na seção 4.3.1.

Após a coleta de observações GPS a análise de alguns erros sistemáticos foram realizadas. Esta etapa também funcionou como um controle de qualidade das observações coletadas. Os parâmetros e programas utilizados nas análises constam na seção 4.3.2.

Os pontos que englobam a Rede Externa foram processados com linhas de base longas e curtas, com injunção mínima e sem. Os detalhes destes processamentos são encontrados na seção 4.3.3.1.

O processamento de dados GPS da Rede Interna foi dividido em sub-redes, devido a uma limitação de número de equipamentos na coleta de dados simultâneos em campo. O processamento destas sub-redes foi condicionado ao processamento da Rede Externa. Os processamentos realizados com os dados da Rede Interna são encontrados na seção 4.3.3.2.

Nesta proposta de metodologia um dos focos são os parâmetros de calibração de antenas GPS. É discutido o emprego de diferentes fontes de valores de PCO-PCV, no mesmo processamento GPS, e o quanto eles podem influenciar na determinação dos deslocamentos. Maiores informações dos processamentos são apresentadas na seção 4.3.3.

Realizada a determinação dos deslocamentos com a técnica de posicionamento por satélites e o nivelamento geométrico, foram realizadas as comparações dos resultados obtidos com as diferentes técnicas.

Os processos de deslocamentos de terra podem ser classificados com relação à velocidade e o tipo de processo, conforme exposto na seção 2.2. Com os resultados que foram obtidos através do monitoramento da área de estudo ao final é realizada a classificação dos deslocamentos.

4.3.1 Levantamentos de Campo

Nesta seção são apresentadas as metodologias empregadas para a coleta de dados para o monitoramento da Rede Interna e da Rede Externa, além de informações com relação aos levantamentos. Os métodos aplicados são Método de Posicionamento Relativo Estático, na Rede Interna e Externa e o nivelamento geométrico de visadas iguais, na Rede Interna.

4.3.1.1 Coleta de dados GPS

Na Rede Externa e Interna foram coletadas somente observações da constelação GPS. Elas foram efetuadas com o Método de Posicionamento Relativo Estático, possibilitando também o pós-processamento empregando o serviço PPP-IBGE. O intervalo de gravação dos dados foi igual a 1 segundo e máscara de elevação de 0° , exceto na primeira campanha, quando o intervalo de gravação dos dados foi de 15 segundos.

Os pontos BCAL, SANEPAR e HORTO, pertencentes a Rede Externa (FIGURA 24, seção 3.1) tem rastreios com duração mínima de um dia GPS, como pode ser visto na TABELA 1. Isto foi definido devido a uma restrição do programa empregado para a análise do efeito de multicaminho, como visto na seção 4.2.1. Infelizmente por problemas técnicos ou, no caso da última campanha, por

indisponibilidade de equipamento não se têm as observações em alguns dias GPS, como indicado na TABELA 1. Os dados da 3ª campanha do ponto BCAL (X*), devido a um problema na altura da antena, só foram utilizados na análise da qualidade dos dados, mais especificamente na formação de conjunto de dados para o processamento no programa *Wasoft/Multipath*, como descrito na seção 4.3.2.

TABELA 1 – DIAS GPS DOS RASTREIOS NA REDE EXTERNA

Campanha	Dia GPS/Ano	Ponto		
		BCAL	SANEPAR	HORTO
1ª	318/14	X	X	X
	319/14	X	X	X
	320/14	X	X	X
	321/14	X	X	X
2ª	028/15	X	X	X
	029/15	X	X	X
	030/15	X	X	X
	031/15	X	---	---
	032/15	X	---	---
	033/15	X	---	---
3ª	100/15	X*	X	X
	101/15	X*	X	X
	102/15	X*	X	X
	103/15	X*	X	X
	104/15	X*	X	X
4ª	154/15	X	X	---
	155/15	X	X	---
	156/15	X	X	---
	157/15	X	X	---
	158/15	X	X	---
	159/15	X	X	---
5ª	120/16	X	X	---
	121/16	X	X	---
	122/16	X	X	---
	123/16	X	X	---
6ª	048/17	X	X	---
	049/17	X	X	---
	050/17	X	X	---
	051/17	X	X	---

Os equipamentos descritos na seção 4.1, foram distribuídos, na Rede Externa, como consta na TABELA 2.

TABELA 2 – EQUIPAMENTOS DA REDE EXTERNA

Ponto	Denominação	Equipamento	Antena
BCAL	C	LEICA GPS 1200	LEIAR25
SANEPAR	A	LEICA GPS 1200	LEIAX 1202 GG
HORTO	B	LEICA GPS 1200	LEIAX 1202 GG

A Rede Interna (FIGURA 26, seção 3.1) engloba 24 pontos distribuídos de forma que a área toda seja monitorada, concentrando mais pontos na região onde foram verificados, no local, mais fendas nos muros e na camada asfáltica da via. A escolha dos locais para a implantação dos marcos de concreto ou chapas ocorreu de forma que não houvesse muitas árvores no entorno do ponto, visando minimizar os erros provenientes do efeito de multicaminho (seção 2.3.1.1).

Na TABELA 3 são apresentados os dias GPS das campanhas na Rede Interna, assim como a duração dos rastreios e a simultaneidade dos mesmos, conforme a cor apresentada. A 1ª campanha ocorreu no dia GPS 319 do ano de 2014. As três campanhas seguintes foram realizadas no ano de 2015, nos dias GPS 029, 101 e 156. A 5ª campanha ocorreu nos dias GPS 121 e 123 no ano de 2016. A última campanha foi realizada no dia 049 do ano de 2017. Até a 4ª campanha a simultaneidade dos rastreios foram as mesmas, totalizando quatro sub-redes. A partir da 5ª, por problemas com os equipamentos disponíveis, houve a necessidade de se adicionar uma quinta sub-rede a Rede Interna, como verificado pelas cores na TABELA 3, o mesmo aconteceu na 6ª campanha. Também por problemas técnicos com os equipamentos, na 1ª campanha, não houve a coleta dos dados GPS nos pontos M04, M05 e M07. Na 5ª campanha, foi verificado que a materialização do ponto M20 havia sido removida, assim, este ponto não foi mais rastreado. Nesta campanha os pontos M02, M10, M16, M17 e M18 foram rastreados no dia GPS 123 (123/16*), dois dias após a coleta das observações dos demais pontos. Nesta campanha foram realizadas cinco sub-redes. Na última campanha, por problemas técnicos com um receptor, as observações coletadas nos pontos M21 e M22 não foram gravadas. Por indisponibilidade de dois equipamentos, foram realizadas, nesta campanha, seis sub-redes.

TABELA 3 – DIAS GPS E DURAÇÃO DOS RASTREIOS NA REDE INTERNA

Ponto	Campanha (Dia GPS/Ano)					
	1ª (319/14)	2ª (029/15)	3ª (101/15)	4ª (156/15)	5ª (121/16 e 123/16*)	6ª (049/17)
M01	1h09min	1h19min	1h20min	1h14min	1h32min	1h27min
M02	1h14min	1h25min	1h16min	1h19min	1h19min*	1h19min
M03	1h20min	1h24min	1h42min	1h19min	1h22min	1h33min
M04	---	1h29min	1h25min	1h15min	1h18min	1h19min
M05	---	1h22min	1h54min	1h13min	1h21min	1h27min
M06	1h36min	1h14min	1h12min	1h43min	1h17min	1h25min
M07	---	1h16min	1h20min	1h30min	1h32min	1h38min
M08	1h06min	0h59min	2h08min	1h13min	1h32min	1h31min
M09	1h05min	1h24min	1h20min	1h43min	1h19min	1h22min
M10	1h07min	1h25min	2h02min	1h14min	1h15min*	1h23min
M11	0h38min	1h25min	1h21min	1h20min	1h13min	1h23min
M12	1h10min	1h21min	1h57min	1h15min	1h36min	1h33min
M13	1h16min	1h24min	1h23min	1h15min	1h26min	1h32min
M14	1h09min	1h19min	1h21min	1h18min	1h28min	1h40min
M15	1h05min	1h31min	1h22min	1h18min	1h17min	1h10min
M16	1h10min	1h17min	1h20min	1h33min	1h28min*	1h30min
M17	1h15min	1h23min	1h25min	1h53min	1h31min*	1h18min
M18	1h14min	1h28min	1h23min	1h17min	1h18min*	1h30min
M19	1h11min	1h17min	1h57min	1h12min	1h34min	1h23min
M20	1h16min	1h21min	1h15min	1h18min	---	---
M21	1h20min	1h26min	1h20min	1h26min	1h27min	---
M22	1h22min	1h12min	1h19min	1h49min	1h26min	---
MARCO 1	1h23min	1h38min	1h28min	1h43min	1h22min	1h22min
MARCO 2	1h16min	1h29min	1h24min	1h50min	1h18min	1h21min
Média (min)	72	82	89	85	84	86

O objetivo inicial era utilizar o mesmo equipamento em cada ponto da Rede Interna em cada campanha, no entanto por diversos empecilhos técnicos isso não foi possível. A TABELA 4 apresenta os equipamentos utilizados na Rede Interna. Conforme apresentado na seção 4.1, os equipamentos empregados na Rede Interna foram seis receptores *Leica* 900 com antenas ATX900 GG, denominados com algarismos de 1 à 6. O equipamento reserva, um *Leica* RX1250 e antena ATX1230+ GNSS foi denominado com a letra "D". Este último foi empregado nas campanhas três, quatro e cinco, ficando indisponível, por problemas técnicos, na última campanha. Os únicos pontos em que foram utilizados os mesmos equipamentos em todas as campanhas foram os pontos M08, M09, M11, M12, M13, M14, M15, M19,

M20, M21 e M22. Sendo que para estes últimos três pontos não se têm os dados em todas as campanhas.

TABELA 4 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS PONTOS DA REDE INTERNA

Ponto	Campanha (Dia GPS/Ano)					
	1ª (319/14)	2ª (029/15)	3ª (101/15)	4ª (156/15)	5ª (121/16 e 123*/16)	6ª (049/17)
M01	900 (2)	900 (6)	900 (2)	900 (2)	D	900 (3)
M02		900 (2)				
M03	900 (3)	900 (3)	900 (3)	D	900 (3)	
M04	---					
M05	---					
M06	900 (3)					
M07	---	900 (2)	900 (6)	900 (6)	900 (6)	900 (6)
M08	900 (6)	900 (6)				
M09						
M10	900 (5)	900 (5)	D	900 (5)	900 (1)*	900 (4)
M11	900 (6)	900 (6)	900 (6)	900 (6)	900 (6)	900 (6)
M12	900 (4)	900 (4)	900 (4)	900 (4)	900 (4)	900 (4)
M13						
M14						
M15						
M16	900 (5)	900 (5)	D	900 (5)	900 (6)*	900 (6)
M17					900 (3)*	
M18					900 (4)*	
M19	900 (1)	900 (1)	900 (1)	900 (1)	900 (1)	900 (1)
M20					---	---
M21					---	---
M22					900 (1)	---
MARCO 1	900 (2)	900 (2)	900 (2)	900 (2)	D	900 (1)
MARCO 2						

Da FIGURA 49 à FIGURA 57, são ilustrados seis pontos da Rede Interna. As localizações destes pontos podem ser visualizadas na FIGURA 58.



FIGURA 49 – PONTO M13



FIGURA 50 – PONTO M10



FIGURA 51 – PONTO M11



FIGURA 52 – PONTO M17



FIGURA 53 – MARCO 1



FIGURA 54 – PONTO M05



FIGURA 55 – PONTO M12



FIGURA 56 – PONTO M15



FIGURA 57 – PONTO M07

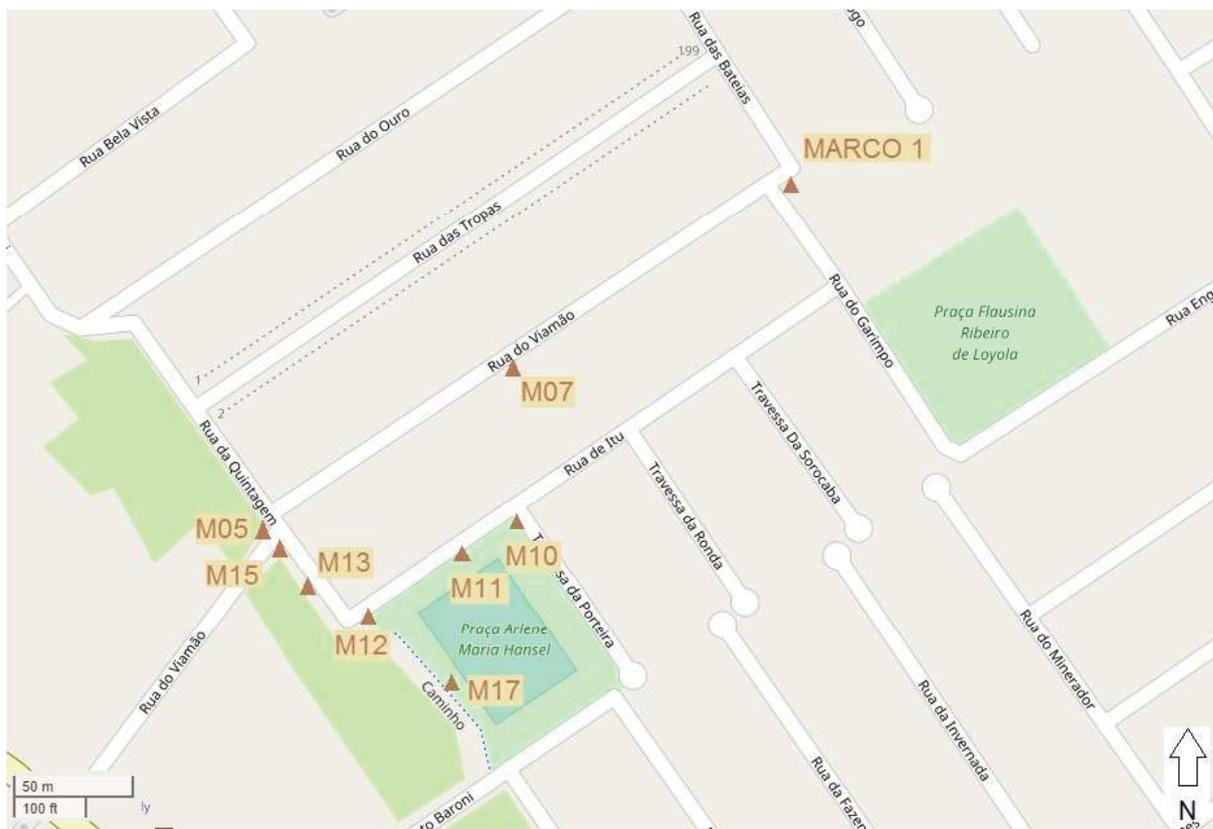


FIGURA 58 – LOCALIZAÇÃO DO MARCO1 E DOS PONTOS M05, M10, M11, M13, M17, M12, M15 E M07

FONTE: ADAPTADO DE OPEN STREET MAP (2017)

4.3.1.2 Transporte da altitude ortométrica

A ligação da área possivelmente instável ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) foi realizada entre uma Referência de Nível (RN), pertencente a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP), e a Rede Interna. Foi empregada a RN denominada 2053D (FIGURA 59 e FIGURA 60) que está localizada nas dependências do Campus Jardim das Américas, no Centro Politécnico da UFPR.

Para o transporte da altitude ortométrica a distância da seção foi de aproximadamente 2 km aplicando o nivelamento geométrico de visadas iguais (seção 2.5). A FIGURA 61 apresenta o caminhamento do nivelamento geométrico composto entre a RN 2053D e o MARCO 2 e o ponto M07, no qual foram realizadas medições em todas as campanhas de nivelamento. O transporte da altitude

ortométrica ocorreu em uma única oportunidade, nos dias 04 e 06 de Fevereiro de 2017.

Estação :	2053D	Nome da Estação :	2053D	Tipo :	Referência de Nivel - RN
Município :	CURITIBA			UF :	PR
Última Visita:	02/07/2015	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8113274				
DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	25 ° 27 ' 12 " S	Altitude Ortométrica(m)	914,3833	Gravidade(mGal)	978.760,49
Longitude	49 ° 13 ' 59 "W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,04	Data Medição	24/06/2003
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	22/08/1983		
Data Medição	02/07/2015	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	7.183.676				
UTM(E)	677.660				
MC	-51				
<ul style="list-style-type: none"> - Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf - Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf - Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidaL.shtml - As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015. 					
Localização					
No canteiro, 10,6 m a sudeste da parede do bloco VI, na área do Centro Politécnico da UFPR-Campus III, Rua Evaristo F.F.da Costa. Jardim das Americas.					
Descrição					
Marco padrão IBGE.					

FIGURA 59 – INFORMAÇÕES DA RN 2053D
 FONTE: IBGE (2017)



FIGURA 60 – RN 2053D
 FONTE: IBGE (2017)

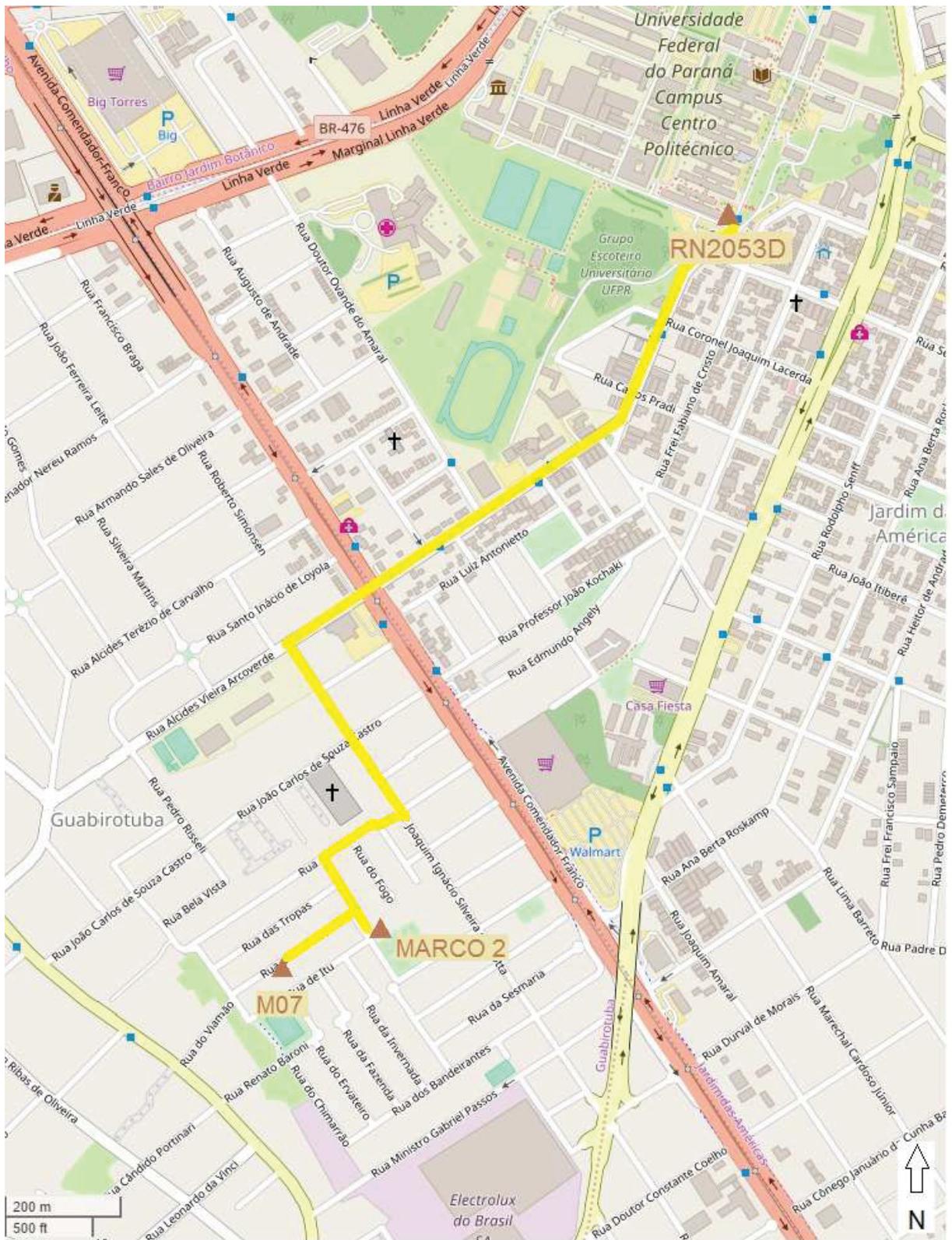


FIGURA 61 – SEÇÃO DE NIVELAMENTO PARA O TRANSPORTE DA ALTITUDE ORTOMÉTRICA
 FONTE: ADAPTADO DE OPEN STREET MAP (2017)

4.3.1.3 Nivelamento geométrico na Rede Interna

Para a obtenção de dados objetivando um acompanhamento temporal da Rede Interna foram realizadas um total de oito campanhas de nivelamento geométrico de visadas iguais. Estas campanhas, conforme a TABELA 5, foram distribuídas desde o fim do ano de 2014 ao começo do ano de 2017.

TABELA 5 – CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DA REDE INTERNA

Campanha	Data dos levantamentos	Dia GPS
1 ^a	11/10/2014	314/14
2 ^a	15 e 16/12/2014	349 e 350/14
3 ^a	26 e 27/01/2015	026 e 027/15
4 ^a	14 e 19/03/2015	104 e 109/15
*5 ^a	09 e 14/05/2015	160 e 165/15
6 ^a	17/10/2015	290/15
7 ^a	02 e 03/04/2016	093 e 094/16
8 ^a	12 e 14/02/2017	043 e 045/17

O intervalo previsto para a realização das campanhas, inicialmente, era de aproximadamente 60 dias. No entanto, no decorrer dos levantamentos, diante da análise prévia dos dados e dos recursos financeiros disponíveis para a execução das campanhas, constatou-se que o espaçamento temporal das mesmas poderia ser maior e ainda atender ao objetivo. Ainda na TABELA 5 verificam-se os dias GPS equivalentes as campanhas de nivelamento geométrico. Confrontando esta informação com os dias GPS das campanhas de rastreios GPS (TABELA 3), observa-se que imediatamente antes ou depois de cada levantamento GPS também aconteceu uma campanha de nivelamento geométrico na Rede Interna. Isto ocorreu pois como o método de nivelamento geométrico por visadas iguais é mais preciso e acurado que o Método de Posicionamento Relativo Estático, os resultados do nivelamento foram utilizados como parâmetro para validação das discrepâncias encontradas com os dados GPS. Na 5^a Campanha o nivelamento ocorreu em somente 20% das linhas, assim esta campanha não foi utilizada no ajustamento e tampouco na determinação dos desníveis.

A Rede Interna é apresentada na FIGURA 62. Nela verifica-se graficamente as linhas de nivelamento criadas. Observa-se que o ponto M18 não está englobado

na rede de nivelamento, isto por que este ponto foi materializado com excesso de massa epóxi, não possibilitando o repouso da mira de ínvar sob a chapa do ponto.

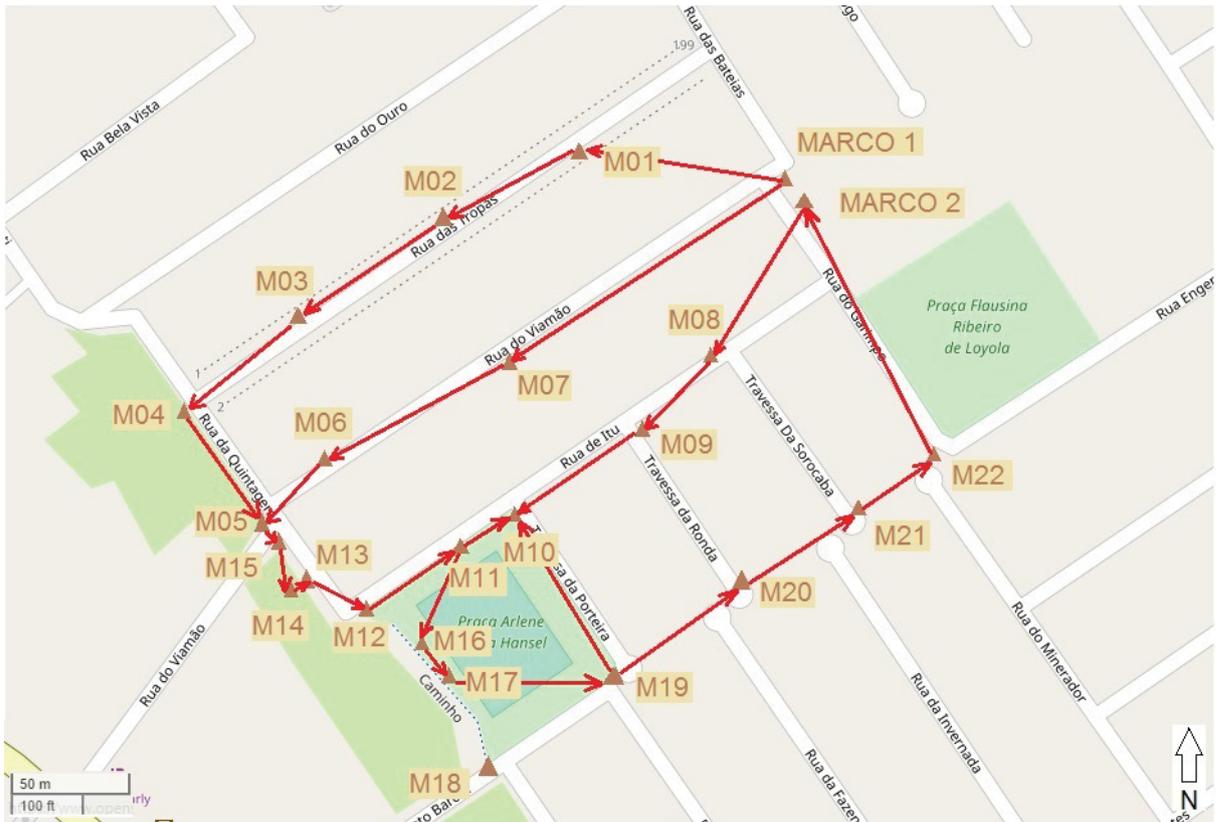


FIGURA 62 – REDE DE MONITORAMENTO DE NIVELAMENTO NA ÁREA DO GUABIROTUBA
FONTE: ADAPTADO DE OPEN STREET MAP (2017)

Cabe ressaltar os cuidados, preconizados em literatura, como por exemplo em Schofield e Breach (2007) e na norma brasileira (IBGE, 1983), foram levados em consideração nos levantamentos em campo, tanto no transporte da altitude ortométrica como no nivelamento geométrico da Rede Interna:

- Distância máxima de cada lance de 30 m;
- Visadas de ré e vante com discrepância máxima de 2 m, minimizando os efeitos de curvatura da Terra, da refração atmosférica e do erro de colimação;
- Utilização de sapatas no caminhamento, garantindo somente a rotação da mira e não seu deslocamento tridimensional;

- Na mira em que no início da seção foi realizada a leitura de ré deve, ao fim do nivelamento, ser a mira em que se fará a leitura de vante, eliminando o erro de índice da mira;
- Leituras nas miras com altura mínima de 20 cm, evitando o erro de reverberação;
- Leituras nas miras com altura máxima de 2,5 m, evitando erros de leitura devido a movimentos da mira causados pelo vento;
- Utilização de bipés adaptados nas miras, visando evitar o erro de verticalidade da mira; e
- Erro máximo permitido de $3 \text{ mm}\sqrt{k}$ (conforme QUADRO 5, seção 2.5).

4.3.2 Determinação do Efeito de Multicaminho, Razão Sinal/Ruído e Perdas de Ciclos das Observações GPS

De acordo com o que foi apresentado na seção 2.3.1.1 o efeito de multicaminho se caracteriza por sinais não provenientes diretamente do satélite e sim, por sinais oriundos de reflexões de objetos ou superfícies próximas à antena do receptor GPS. O sinal/ruído por sua vez, é inversamente proporcional ao efeito de multicaminho, desta forma, a razão sinal/ruído sofrerá perturbações caso o efeito de multicaminho esteja presente no ponto rastreado.

Conforme citado na seção 4.2.1 o programa *Wasoft/Multipath* necessita, para o cálculo de efeito de multicaminho, de no mínimo três estações (recomendado quatro estações), com no mínimo 24 horas de observações e a distância máxima permitida entre as estações de 100 km. Desta forma, conforme mostra o esquema da FIGURA 64, os pontos da Rede Externa (BCAL, SANEPAR e HORTO) e a estação da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS), Curitiba-UFPR, foram processados com o programa *Wasoft/Multipath*, para a obtenção de mapas do efeito de multicaminho e índices de intensidade do erro (seção 4.2.1). Ele representa os resultados em uma plotagem simples ou em formato vetorizado. Ambos representam o efeito de multicaminho, no eixo das abcissas, azimutes a cada 10° e, no eixo das ordenadas, a cada 2° de ângulo de

elevação. A representação dos resultados esta limitada a elevações de 0° a 50°, pois são utilizados os sinais de satélites acima deste ângulo como referência, visto que eles não têm ou pouco têm efeito de multicaminho. A representação da plotagem simples é da seguinte forma (WANNINGER, 209):

- Espaços vazios: não há observações;
- . (ponto): efeito de multicaminho fraco: RMS < 5 mm;
- 1 (um): efeito de multicaminho médio: RMS < 15 mm;
- 2 (dois): efeito de multicaminho forte: RMS > 15 mm.

A representação em formato vetorial tem a legenda da FIGURA 63.

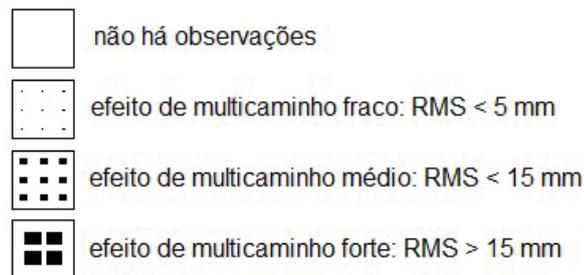


FIGURA 63 - LEGENDA DOS RESULTADOS DO PROGRAMA WASOFT/MULTIPATH

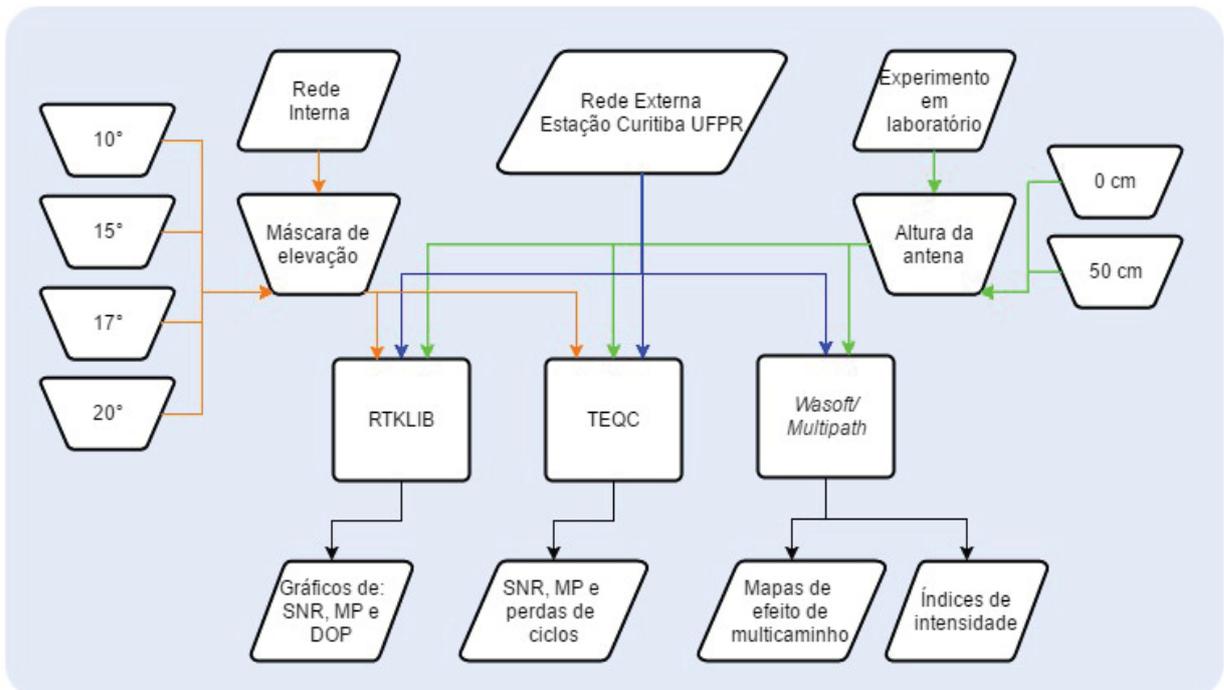


FIGURA 64 – ESQUEMA DO PROCESSAMENTO PARA A OBTENÇÃO DO EFEITO DE MULTICAMINHO, RAZÃO SINAL/RUÍDO E PERDAS DE CICLOS

Com o objetivo de comparar o efeito de multicaminho em diferentes pontos faz-se necessário o uso de um índice de intensidade do efeito. Este indicador é a média aritmética dos desvios-padrão dos resíduos das duplas diferenças de fase. Existem duas classificações dos indicadores do *Wasoft/Multipath*. Höntzsch (2005) têm uma visão mais severa com relação ao efeito que cada indicador pode causar, enquanto Bilajbegović *et al.* (2005) apresenta uma classificação mais flexível e realista. Ambas as classificações encontram-se no QUADRO 6.

Influência do efeito de multicaminho	Höntzsch	Bilajbegović <i>et al.</i>
Sem influência	1 - 3	1 - 4
Intensidade fraca	3 - 5	5 - 9
Intensidade média	5 - 10	10 - 18
Intensidade forte	10 - 20	19 - 30
Intensidade muito forte	> 20	> 30

QUADRO 6 – CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO EFEITO DE MULTICAMINHO
 FONTE: HÖNTZSCH (2005) E BILAJBEGOVIĆ *ET AL.* (2005)

Estes mesmos pontos foram processados com o TEQC e RTKLIB, descritos na seção 4.2.5. O TEQC possibilitou o conhecimento de diversos indicadores de qualidade das observações coletadas. Nesta tese foram utilizados os indicadores de efeito de multicaminho, MP1 e MP2, a razão sinal/ruído, SNR1 e SNR2, o número total de observações, assim como o total de perdas de ciclos. Outro indicador de qualidade gerado no TEQC é o O/SLPS, que relaciona, na fórmula (36), o número total de observações (OBS) com o total de perdas de ciclo (IOD/MP). Denota-se que, conforme o total de perdas de ciclo aumenta, o indicador O/SLPS diminui. Portanto, em um conjunto de dados, o maior valor de O/SLPS é o melhor resultado esperado FIGURA 64.

$$O/SLPS = \frac{OBS}{IOD/MP} \quad (36)$$

Com o RTKLIB foi possível elaborar gráficos de SNR, MP e DOP (*Dilution Of Precision*) para auxiliar na análise dos dados. Para todos os processamentos da Rede Externa a máscara de elevação foi de 0°, possibilitando na análise observar a qualidade total dos dados, sem aplicar nenhuma máscara de obstrução.

Os pontos da Rede Externa, SANEPAR e HORTO, foram materializados no topo de caixas d'água, e por isso, possuem uma superfície plana e extensa logo abaixo das antenas, semelhante a se posicionar as mesmas no chão em uma calçada de concreto. Assim, surgiu a necessidade de se realizar um experimento em laboratório com os equipamentos empregados na Rede Externa, com diferentes alturas de antenas. Este experimento, na BCAL/UFPR, foi necessário para verificar o comportamento dos resultados quando utilizada a altura da antena em 50 cm e, muito próximo ao Pilar, ou seja, 0 cm. Nele foram analisados os mesmos parâmetros que na Rede Externa. Foram realizadas 3 sessões, consecutivas, de coleta de observações, de 24 horas de rastreamento, com elevação da máscara de 0° e intervalo de gravação de dados de 15 s, com altura da antena de 0 cm e outras 3 sessões com as antenas em hastes de 50 cm de altura. O cenário para as 6 sessões foi o mesmo, alterando somente as alturas das antenas (FIGURA 64).

Os pontos da Rede Interna foram analisados com informações obtidas do processamento com os programas TEQC e RTKLIB. Os dados da Rede Interna foram analisados com máscaras de 10°, 15°, 17° e 20°. Estas análises foram importantes para ajudar a distinguir qual a melhor máscara de obstrução a ser usada, visto que os pontos foram materializados em uma área densamente urbanizada e com a presença de diversas obstruções.

4.3.3 Processamento dos Dados GPS

Para os pós-processamentos das Redes Externa e Interna, foram empregados dois programas de processamento relativo de dados GPS. Citados nas seções 4.2.3 e 4.2.4, *Bernese Versão 5.2* e *Leica Geo Office Versão 8.4* respectivamente. O primeiro um programa de processamentos de dados GNSS científico e o segundo um programa comercial.

4.3.3.1 Rede Externa

Os processamentos da Rede Externa foram realizados conforme consta no fluxograma da FIGURA 65.

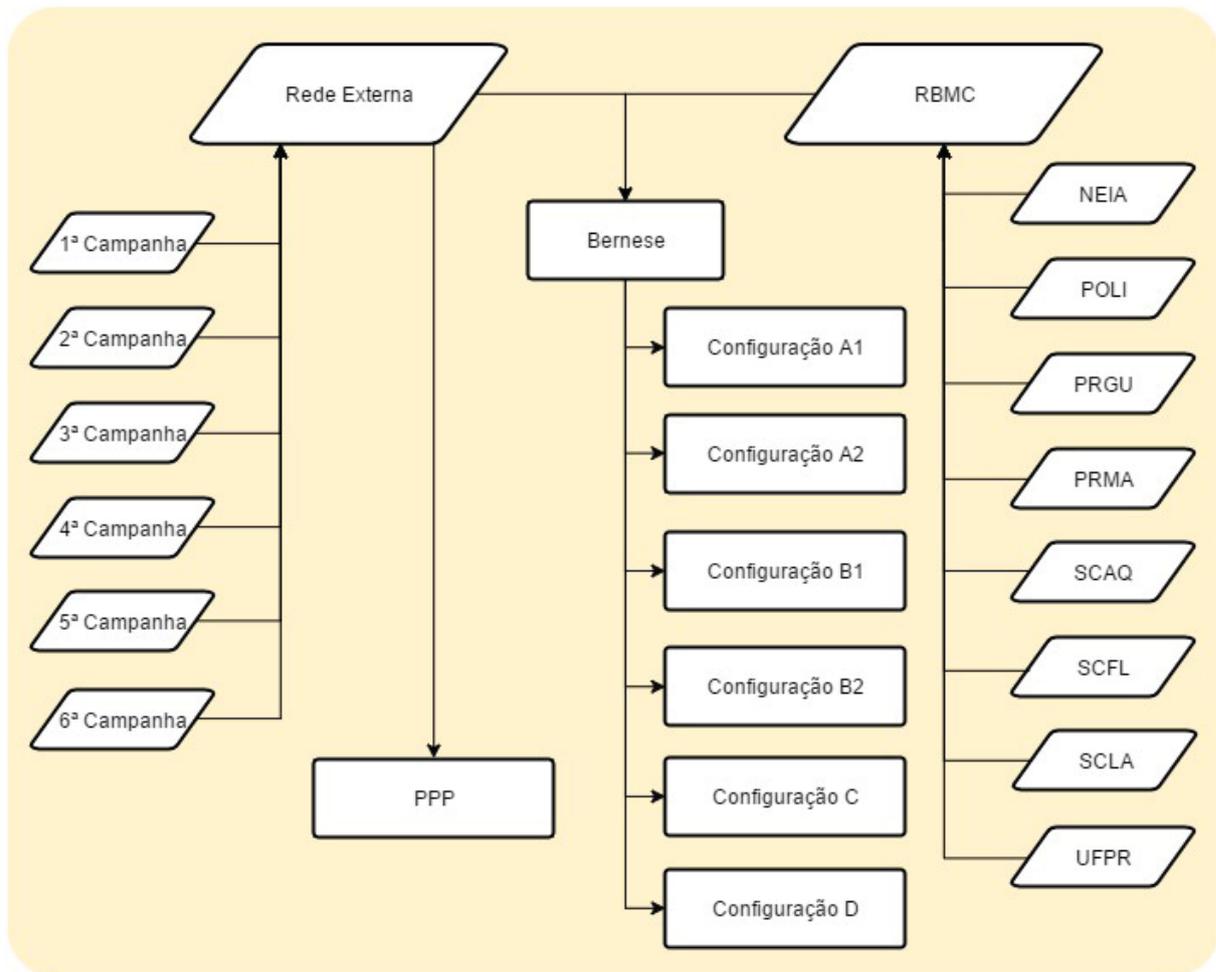


FIGURA 65 – ESQUEMA DOS PROCESSAMENTOS DOS DADOS GPS DA REDE EXTERNA

Para todas as campanhas foram realizados processamentos com o serviço PPP-IBGE, além dos pós-processamentos relativos com o programa *Bernese*. Nos pós-processamentos relativos foram utilizadas oito estações de monitoramento contínuo, pertencentes à RBMC (TABELA 6). Elas distam, como comparativo, a partir da estação Curitiba-UFPR, entre 116 e 355 km, aproximadamente. As altitudes elipsoidais estão entre 6 e 1043 m, em NEIA e PRGU, respectivamente. As

configurações arranjadas podem ser visualizadas na FIGURA 66, assim como na TABELA 7.

TABELA 6 – ESTAÇÕES DA RBMC, LINHAS DE BASE MÉDIAS E ALTITUDES ELIPSOIDAIS

Estação conhecida	Cidade - Estado	Linha de Base média com a Estação Curitiba-UFPR (km)	Altitude Elipsoidal (m)
NEIA	Cananéia - São Paulo	140	6,058
POLI	São Paulo - São Paulo	329	730,622
PRGU	Guarapuava - Paraná	227	1.043,161
PRMA	Maringá - Paraná	355	543,365
SCAQ	Araquari - Santa Catarina	116	17,285
SCFL	Florianópolis - Santa Catarina	249	17,072
SCLA	Lages - Santa Catarina	281	940,722
UFPR	Curitiba - Paraná	---	925,807

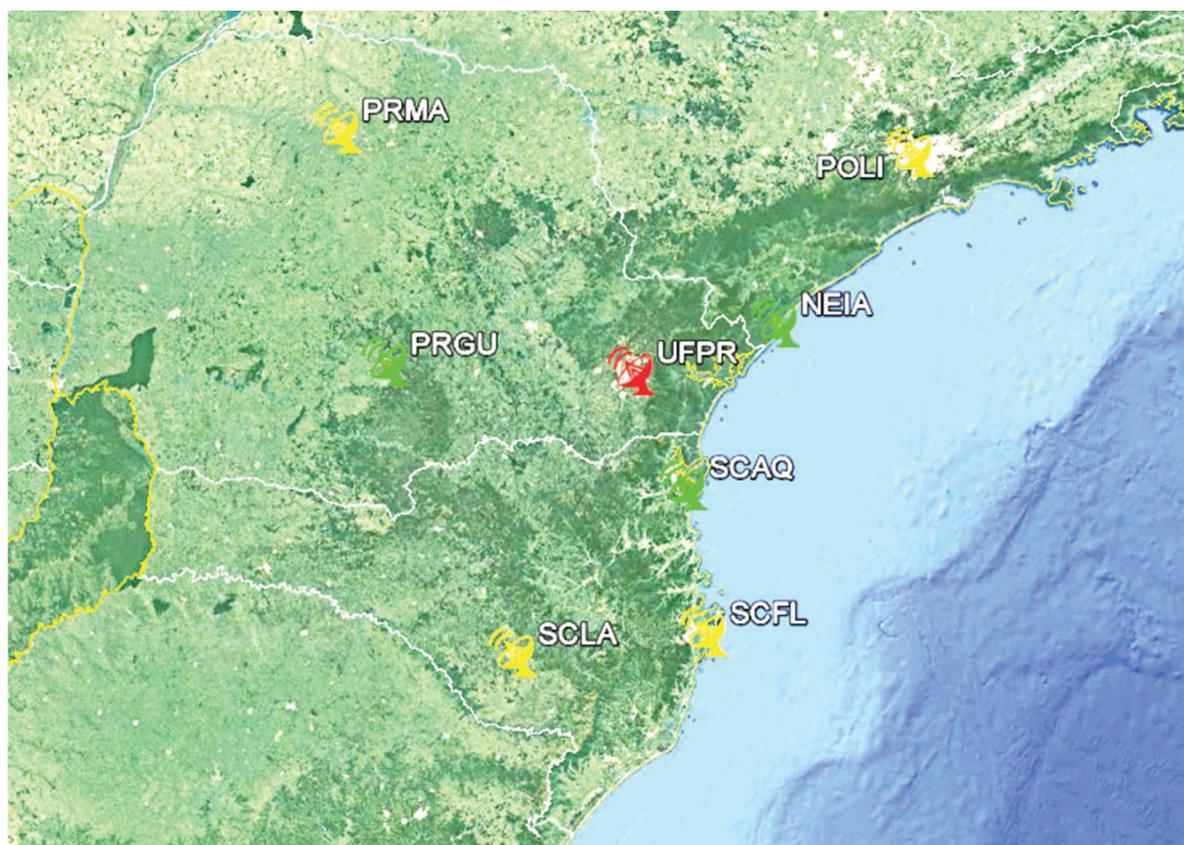


FIGURA 66 – ESTAÇÕES CONHECIDAS EMPREGADAS NOS PROCESSAMENTOS DA REDE EXTERNA

FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2017)

Em uma primeira configuração todas as estações conhecidas são empregadas (configuração A1). Após, as mesmas estações, com a exceção da

estação Curitiba-UFPR (configuração A2). Posteriormente foram realizados dois processamentos com linhas de base longas (em amarelo, FIGURA 66). O que distingue uma configuração da outra é a estação de Santa Catarina. Na configuração B1 foi utilizada a estação SCFL, com altitude elipsoidal de 17 m, em contrapartida, na configuração B2 a estação empregada foi a SCLA, com altitude elipsoidal de 940 m. Optou-se por incluir este processamento para analisar se a diferença de altitude entre a Rede Externa e as estações conhecidas podem gerar um resultado distinto, visto que os pontos BCAL, SANEPAR e HORTO têm altitude elipsoidal média de 920 m. Em verde a configuração C. Nela empregou-se as estações com linhas de base entre 116 e 227 km. O último processamento relativo (configuração D) ocorreu com uma estação conhecida com linha de base curta (UFPR), aproximadamente 2 km. Todos estes processamentos foram realizados com o programa *Bernese* Versão 5.2 e o detalhamento dos processamentos consta na seção 4.3.3.1.1.

TABELA 7 – CONFIGURAÇÕES DOS PROCESSAMENTOS DA REDE EXTERNA

Configuração	NEIA	POLI	PRGU	PRMA	SCAQ	SCFL	SCLA	UFPR
A1	X	X	X	X	X	X	X	X
A2	X	X	X	X	X	X	X	
B1		X		X		X		
B2		X		X			X	
C	X		X		X			
D								X

4.3.3.1.1 Processamento com o *Bernese* Versão 5.2

Diversos arquivos são necessários para o processamento com o programa *Bernese* 5.2. Os arquivos específicos para cada estação empregada no processamento, são apresentados na sequência:

- Arquivos de observação: Todos os dados diários das estações IGS e da RBMC foram obtidos em formato RINEX, a partir dos sites do IGS e do IBGE.

- Carga oceânica: O efeito de carga oceânica é causado devido a redistribuição das massas oceânicas na crosta da Terra. Para corrigir este efeito foi utilizado o modelo *Finite Element Solution* 2004 (FES2004). Tal modelo emprega dados da missão TOPEX/POSEIDON. Este arquivo foi obtido, para cada ponto utilizado nas redes formadas, no site do *Chalmer Centre for Astrophysics and Space Science* < <http://holt.oso.chalmers.se/loading/>>.
- Coordenadas *a priori* e velocidades *a priori*: As velocidades *a priori* das estações em conjunto com as coordenadas *a priori*, são fundamentais para a obtenção das coordenadas das estações na época dos rastreios.
- Órbitas e parâmetros de orientação da Terra: Utilizaram-se as órbitas precisas finais no formato *Standard Product #3* (*.sp3) e os parâmetros de orientação da Terra no formato *Earth Rotation Parameter* (*.erp) referidos ao ITRF2008. Estes dados podem ser obtidos no site do IGS < <ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/product/>>.
- Troposfera e ionosfera: Os efeitos da troposfera são corrigidos através da *Viena Mapping Function* (VMF). No site do *Global Geodetic Observing System* (GGOS) < <http://ggosatm.hg.tuwien.ac.at/DELAY/GRID/VMFG/>> é possível obter *grids* globais de 6 em 6 horas. Os efeitos de 1ª ordem da ionosfera podem ser corrigidos fazendo o uso de mapas globais da ionosfera. O *Center for Orbit Determination in Europe* (CODE) disponibiliza na página *ftp* anônimo do *Bernese* <<ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/>> arquivos diários com os valores de *Total Electron Content Unit* (TECU).

No QUADRO 7 são apresentados os arquivos gerais utilizados. Alguns destes, para que se tenham processamentos fidedignos, devem ser periodicamente atualizados. Estas atualizações estão disponíveis no site do *Bernese* <<http://Bernese.unibe.ch/UPDATE52>>. Para o *download* delas é necessário realizar uma autenticação no site com um nome de usuário e senha.

Nome do arquivo	Descrição
CONST	Constantes utilizadas
DATUM	Definição do Referencial Geodésico
GPSUTC	Adição de segundos ao tempo GPS
IAU2000R06	Coeficientes do modelo de nutação
IERS2010XY	Coeficientes do modelo polar sub-diário
EGM2008_SMALL	Coeficientes do potencial terrestre
RECEIVER	Receptores
SAT_2014	Satélites com problemas
SATELLIT	Satélites em órbita
SINEX	Informações gerais de cabeçalho

QUADRO 7 – ARQUIVOS GERAIS UTILIZADOS

O programa *Bernese* Versão 5.2 dispõe da ferramenta BPE (*Bernese Processing Engine*) e com ela é possível criar um processamento automatizado. O *Process Control File* (PCF) é o editor do BPE. Nele constrói-se o *script* do processamento, chamando, na ordem desejada, os programas pertencentes ao *Bernese* 5.2. A FIGURA 67 apresenta um esquema com o BPE adotado para o processamento dos dados GPS das estações envolvidas. Com o BPE foram obtidas soluções diárias, que posteriormente foram transformadas para soluções por campanha. A descrição dos programas utilizados no BPE, gerado para os processamentos realizados neste trabalho, é apresentada a seguir:

- CRDMERGE: Cria um único arquivo com coordenadas e velocidades *a priori* das estações utilizadas.
- COOVEL: Extrapola as coordenadas da época de referência à época das observações.
- POLUPD: Importa os parâmetros de rotação da Terra do formato *.erp para o formato *Bernese*.
- PRETAB: Importa as órbitas no formato *.sp3 para tabular.
- ORBGEN: Gera os arcos de órbitas diários.
- RXOBV3: Importa as observações em formato RINEX para o formato *Bernese*.
- CODSP: Sincroniza os relógios dos receptores. Erros grosseiros nas observações também podem ser detectados nesta etapa.

- SNGDIF: Cria as linhas de base e as observações de simples diferenças. Nesta etapa a estratégia empregada foi a OBS-MAX, considerada padrão para a maior parte das aplicações.
- MAUPRP: As perdas de ciclos são detectadas e corrigidas, calculando-se uma nova ambiguidade.
- GPSEST: Cria as duplas diferenças e os arquivos de resíduos.
- RESRMS: Utilizando os arquivos de resíduos, detecta erros grosseiros.
- ADDNEQ2: Com base nas equações normais geradas no programa GPSEST, coordenadas e troposfera são estimadas para uso posterior.
- SATMRK: Utilizando o arquivo do programa anterior, este edita as observações.
- GPSEST: Estima soluções flutuantes.
- GNSQIFAP: Prepara a execução paralela da resolução das ambiguidades. O programa BASLST seleciona as linhas de base individualmente para solucionar as ambiguidades.
- GNSQIF_P: Utilizando o programa GPSEST soluciona as ambiguidades empregando a estratégia QIF (*Quase Ionosphere-Free*).
- AMBXTR: Cria um resumo das resoluções das ambiguidades.
- GPSEST: Solução final.
- ADDNEQ2: Baseado nas equações normais, são geradas as coordenadas ajustadas.
- COMPAR: Compara o conjunto de coordenadas, fornecendo uma visão geral da repetibilidade das coordenadas entre as sessões.

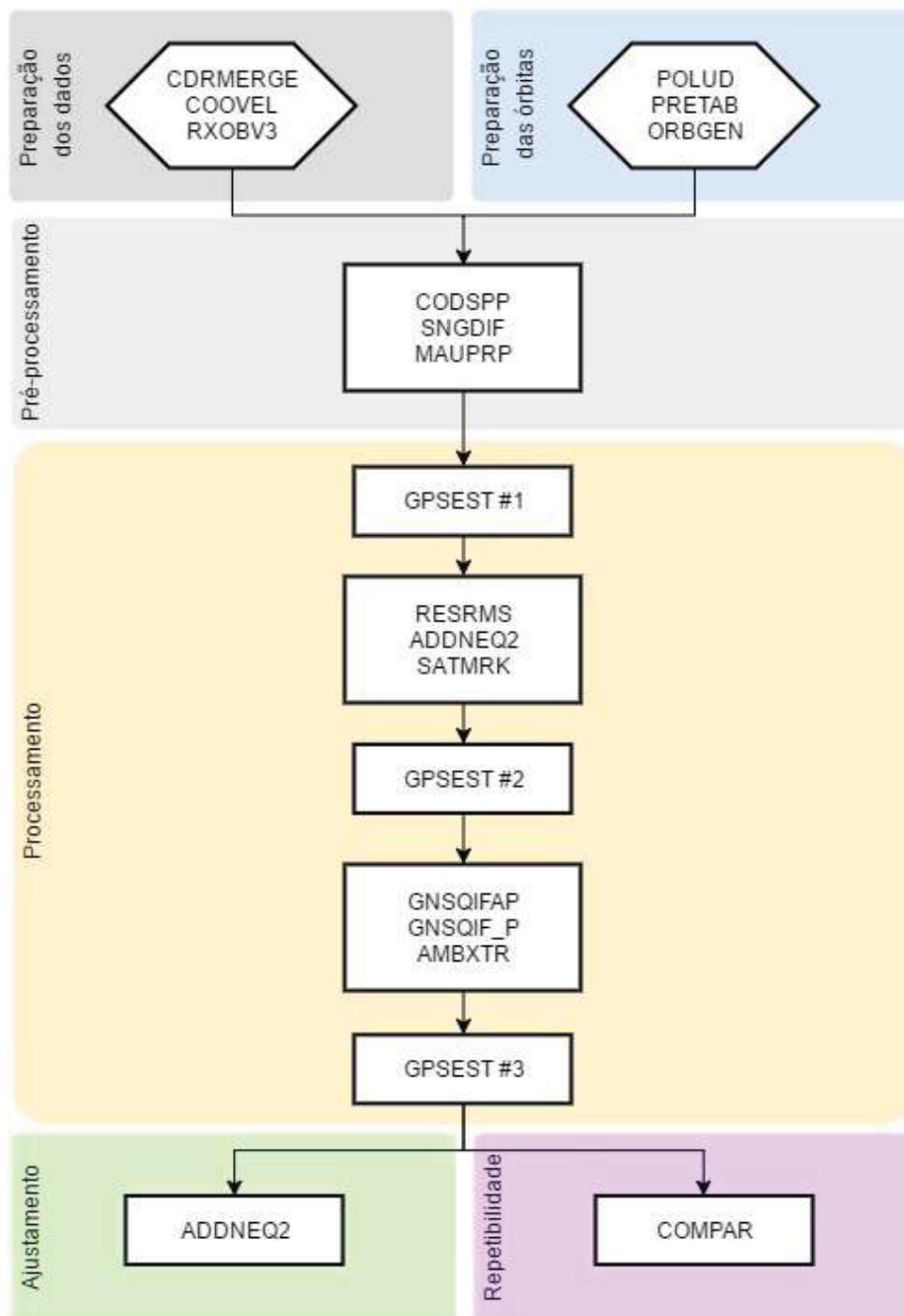


FIGURA 67 – ESQUEMA DO BPE

4.3.3.2 Rede Interna

O processamento dos dados GPS da Rede Interna baseia-se no esquema indicado na FIGURA 68. Os processamentos da Rede Interna são divididos em três principais estratégias:

- Processamento relativo da Rede Interna com a estação conhecida Curitiba-UFPR;
- Processamento relativo da Rede Interna com a Rede Externa; e
- Processamento com o serviço PPP-IBGE.

A primeira análise, quando realizado o processamento da Rede Interna empregando a estação conhecida Curitiba-UFPR, é com relação a máscara de elevação utilizadas nos processamentos. Visto que a Rede Interna está situada em uma área urbana com diversos elementos que causam obstruções dos sinais GPS, foram realizados processamentos com máscara de 10°, 15°, 17° e 20°. A segunda análise, com esta configuração de estação conhecida, é quanto as perdas de ciclos. Com o módulo RNXSMT do programa *Bernese* foi realizada a detecção das perdas de ciclos das observações da Rede Interna. Este módulo utiliza a técnica de *Melbourne–Wübbena* (DACH *et al.*, 2015). Assim, os resultados provenientes de dados não modificados e os modificados foram comparados. Estes processamentos, da primeira e segunda análise, foram realizados com o *Leica Geo Office*. Nestes processamentos a combinação linear empregada é a L1, visto que os dados contemplam somente linhas de base curtas, de aproximadamente 2 km.

Com os dados da Rede Externa e Rede Interna foram realizados estudos com relação aos parâmetros de calibração de antenas e o número de injunções nos processamentos. Estes, realizados empregando o programa *Leica Geo Office*. Em Werlich (2012) foram realizados dois processamentos em redes com três pontos e uma estação conhecida. O primeiro com a estação conhecida utilizando parâmetros de calibração do NGS e os pontos com valores de calibração provenientes da BCAL/UFPR. Enquanto que no segundo processamento só aplicaram-se parâmetros de calibração do NGS. Assim, diante das possibilidades deste trabalho, o primeiro processamento foi realizado com os parâmetros provenientes somente da BCAL/UFPR. O segundo, com a indisponibilidade dos parâmetros de calibração da antena GPS *Leica* modelo ATX900 GG no site do NGS, foram utilizados os *off-sets* de fábrica do modelo de antena citado, e para as antenas da Rede Externa foram empregados os PCO-PCV do NGS. A análise com relação ao número de injunções foi realizada utilizando uma estação conhecida, duas estações, três estações, da Rede Externa, e um último processamento com a Rede Externa e a estação conhecida Curitiba-UFPR.

Os processamentos com o serviço PPP-IBGE foram realizados com diferentes intervalos de gravação dos dados GPS, 1 segundo e 15 segundos. Estes resultados poderão fornecer respostas quanto ao emprego do serviço para o monitoramento de deslocamentos.

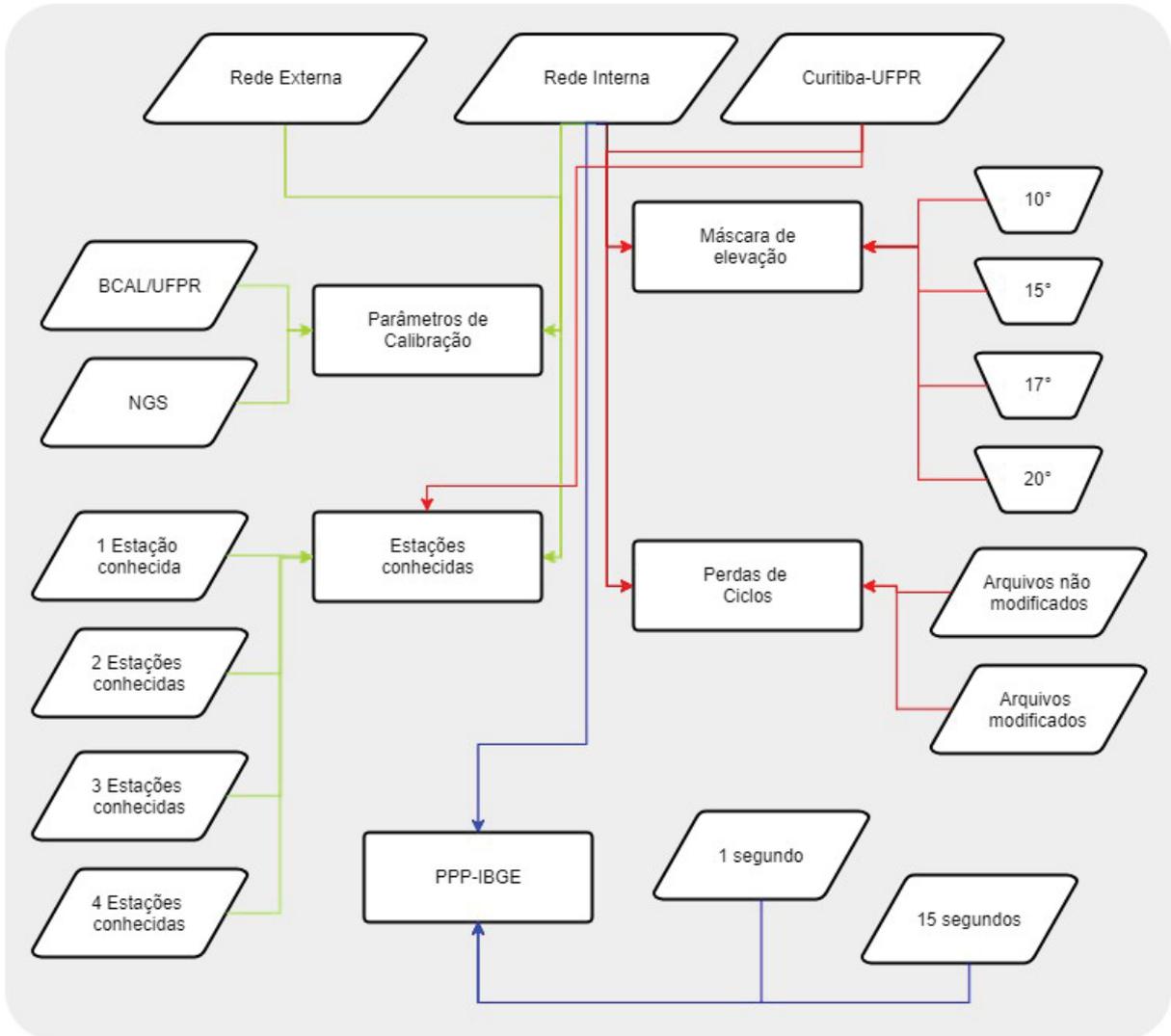


FIGURA 68 – ESQUEMA DO PROCESSAMENTO DOS DADOS GPS DA REDE INTERNA

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesse capítulo são apresentados os resultados e as respectivas análises obtidos mediante a aplicação da metodologia descrita (seção 4.3).

5.1 PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GERADOS NA BCAL/UFPR

Os trabalhos publicados de Huinca (2009), Huinca e Krueger (2011) e Huinca *et al.* (2012) comprovaram a correta determinação dos parâmetros de calibração de antenas GPS na BCAL/UFPR. Em Huinca (2014) foi atestado que as variáveis meteorológicas, em especial a precipitação, influenciam diretamente nos valores finais de PCO-PCV gerados. Assim, após as calibrações, das antenas GPS empregadas nos levantamentos, foram coletados no site do INMET dados de variáveis meteorológicas da estação pertencente ao Simepar (seção 3.2) e localizada exatamente ao lado da BCAL/UFPR. Diante do trabalho citado, as variáveis utilizadas nas análises são a temperatura (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm).

Como visto na seção 2.3.1.6.1, são necessárias 24 horas de rastreios simultâneos entre a antena a ser calibrada e a antena de referência. Nas calibrações conduzidas foram realizados rastreios, com algumas antenas, de até 96 horas, possibilitando uma análise com relação a quantidade de horas de rastreio para gerar os parâmetros. Com o auxílio do programa TEQC foi possível editar os arquivos de observações criando arquivos de sessões com 24, 36, 72 e, para algumas antenas, de 96 horas.

A TABELA 8 e a TABELA 9 apresentam os PCO das ondas portadoras L1 e L2, assim como as variáveis meteorológicas utilizadas nas análises. No total foram gerados 59 parâmetros de calibração das antenas empregadas nos levantamentos. As soluções das ambiguidades, para todos os parâmetros, variaram entre 99,9% e 100%. Em 19% das sessões as ambiguidades atingiram solução de 99,9%, os 81% restantes obtiveram solução de 100%. Nota-se que somente nas calibrações das

antenas ATX900 GG - 3 e ATX900 GG - 6, da Rede Interna, e LEIAX1202 GG - A e LEIAX1202 GG - B, da Rede Externa, não houve precipitação alguma. Fator relevante visto que, durante os levantamentos das seis campanhas GPS, as condições da variável precipitação foram as mesmas destas calibrações. Desta forma, para uma melhor análise estatística e para a escolha dos parâmetros empregados no presente trabalho, os dados obtidos nas sessões com mais de 15 mm de precipitação não são considerados. De acordo com Schmitz *et al.* (2004) e Görres *et al.* (2006), a diferença dos parâmetros de calibração obtidos com a aplicação de um mesmo método de calibração não pode ser superior a 1 mm em L1 e em L2. Portanto, valores que destoem dos demais em 1 mm ou mais também são excluídos. Após as análises preliminares, aplicando os limites definidos, são então descartados das análises os valores destacados na cor vermelha (TABELA 8 e TABELA 9). Percebe-se que devido a precipitação foram retiradas as sessões 2 e 5 da antena ATX900 GG - 1, sessões 1, 4 e 6 da antena ATX900 GG - 2, sessões 1, 4 e 6 da antena ATX900 GG - 5. Quando observados os valores da componente Up houve a necessidade de descartar algumas sessões, pois haviam diferenças superiores a 1 mm. Foram excluídos os PCO da sessão 1 da antena ATX900 GG - 1, das sessões 2 e 5 da antena ATX900 GG - 4 e das sessões 2, 3, 6 e 7 da antena LEIATX1202 GG - B.

Verifica-se que, por exemplo, as sessões da antena ATX900 GG - 5, com precipitações acima de 72 mm alteraram em mais de 1 mm a componente Leste da portadora L1. Em contrapartida, antenas sem o acúmulo de precipitação geraram parâmetros, nas diferentes sessões, similares entre si.

Nas sessões apresentadas percebe-se como a influência da precipitação, devido ao acúmulo de água na parte inferior e superior da antena, assim como no entorno do ambiente da calibração, como o piso com poças de água, podem acarretar em valores que destoam dos demais, quando não afetados pela intempérie. Similarmente nota-se que a umidade relativa do ar, por vezes não acompanha os índices de precipitação, mas que também contribui na escolha de qual parâmetro deve ser utilizado.

TABELA 8 – PCO DAS ANTENAS ATX900 GG E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Antena	Duração	Sessão	L1			L2			Amb. (%)	Umidade relativa do ar (%)		Temperatura (°C)		Precipitação (mm)
			Norte (mm)	Leste (mm)	Up (mm)	Norte (mm)	Leste (mm)	Up (mm)		Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	
ATX900 GG - 1	24h	1	-0,02	-0,55	98,06	-1,46	0,68	96,26	99,9	93	44	25	16	0
		2	0,46	-0,41	97,07	-1,62	0,64	95,99	99,9	100	45	25	13	26
		3	0,39	-0,45	97,12	-1,52	0,69	95,87	99,9	100	91	16	11	11
	36h	4	0,14	-0,48	97,70	-1,52	0,68	96,19	99,9	100	44	25	14	0
		5	0,41	-0,46	97,12	-1,55	0,65	95,89	100	100	84	16	11	37
ATX900 GG - 2	24h	1	0,89	-1,49	97,10	-1,07	-0,30	95,67	99,9	97	80	16	13	60
		2	0,91	-1,49	97,65	-1,10	-0,21	95,90	99,9	93	39	15	8	12
		3	0,92	-1,62	97,30	-1,07	-0,25	96,10	100	89	39	14	8	0
	36h	4	0,88	-1,48	97,36	-1,07	-0,28	95,85	100	97	80	16	13	66
		5	0,93	-1,59	97,32	-1,09	-0,23	95,92	100	89	39	14	8	6
	72h	6	0,91	-1,53	97,34	-1,08	-0,25	95,89	100	97	39	13	8	72
ATX900 GG - 3	24h	1	1,18	0,03	99,55	-0,42	1,29	95,35	99,9	97	36	20	7	0
		2	1,00	0,12	100,09	-0,32	1,23	95,75	100	81	42	20	11	0
		3	1,10	0,01	99,67	-0,36	1,26	95,65	100	100	24	25	11	0
	36h	4	1,10	0,07	99,67	-0,37	1,29	95,52	99,9	97	36	20	7	0
		5	1,07	0,04	99,80	-0,37	1,22	95,65	100	81	36	25	11	0
	72h	6	1,10	0,05	99,73	-0,37	1,26	95,56	100	100	36	25	11	0
ATX900 GG - 4	24h	1	0,39	-1,45	98,47	-0,27	-0,55	97,89	100	100	27	28	17	4
		2	0,79	-0,44	99,21	-0,18	-0,69	96,24	100	100	53	18	14	6
		3	0,41	-1,38	97,80	-0,41	-0,50	97,25	100	86	55	20	10	0
		4	0,38	-1,27	98,28	-0,29	-0,59	98,14	100	98	56	20	13	0
	36h	5	0,58	-1,13	98,97	-0,25	-0,58	97,09	100	100	27	28	14	10
		6	0,49	-1,05	98,01	-0,32	-0,58	97,10	100	97	53	20	10	0
	72h	7	0,53	-1,09	98,49	-0,29	-0,58	97,13	100	100	27	28	10	10
	96h	8	0,49	-1,14	98,44	-0,29	-0,58	97,38	100	100	27	28	10	10
ATX900 GG - 5	24h	1	2,00	-2,13	96,75	-1,05	-0,64	96,93	100	85	78	16	14	72
		2	1,13	-2,74	96,06	-0,91	-0,42	97,17	100	89	70	17	10	2
		3	0,96	-2,56	95,60	-0,89	-0,44	97,17	100	93	71	17	10	4
	36h	4	1,75	-2,26	96,94	-1,00	-0,59	97,05	100	85	70	17	12	72
		5	1,01	-2,59	95,86	-0,88	-0,45	97,34	100	93	71	17	10	6
	72h	6	1,42	-2,41	96,34	-0,96	-0,53	97,10	100	93	70	17	10	78
ATX900 GG - 6	24h	1	1,18	-1,72	97,12	0,15	-0,62	96,70	100	72	44	20	7	0
		2	1,16	-1,88	96,86	0,13	-0,60	96,42	99,9	81	30	18	7	0
		3	1,16	-2,02	96,49	0,05	-0,53	96,57	100	96	34	20	8	0
		4	1,06	-2,03	96,74	0,11	-0,54	96,73	100	90	43	20	10	0
	36h	5	1,16	-1,74	97,27	0,15	-0,68	96,89	100	72	30	20	7	0
		6	1,17	-1,99	96,42	0,07	-0,50	96,22	100	96	34	20	7	0
	72h	7	1,17	-1,87	96,84	0,11	-0,59	96,57	100	96	30	20	7	0
	96h	8	1,14	-1,91	96,81	0,11	-0,57	96,61	100	96	30	20	7	0

TABELA 9 – PCO DAS ANTENAS ATX1230+ GNSS E LEIAX1202 GG, A E B, E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Antena	Duração	Sessão	L1			L2			Amb. (%)	Umidade relativa do ar (%)		Temperatura (°C)		Precipitação (mm)
			Norte (mm)	Leste (mm)	Up (mm)	Norte (mm)	Leste (mm)	Up (mm)		Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	
ATX1230+ GNSS - D	24h	1	-1,29	2,73	88,42	-0,76	-0,56	85,16	100	100	42	23	13	0
		2	-1,25	2,74	88,17	-0,80	-0,57	85,13	99,9	100	42	22	15	0
		3	-1,23	2,75	88,11	-0,80	-0,56	85,21	100	86	53	22	15	0
		4	-0,33	2,75	87,37	-0,78	-0,98	84,70	100	91	59	21	14	9
	36h	5	-1,28	2,74	88,39	-0,79	-0,56	85,23	100	100	42	23	13	0
		6	-1,23	2,74	88,08	-0,78	-0,57	85,12	100	100	53	22	14	9
	72h	7	-1,26	2,74	88,23	-0,79	-0,56	85,17	100	100	42	23	13	9
	96h	8	-1,03	2,74	88,01	-0,79	-0,67	85,06	100	100	42	23	13	9
LEIAX1202 GG - A	24h	1	1,43	-0,66	64,16	-0,81	0,51	64,57	100	94	31	31	18	0
		2	1,46	-0,62	63,73	-0,81	0,47	64,41	100	76	31	26	16	0
		3	1,31	-0,74	63,89	-0,69	0,55	64,25	100	99	19	31	17	0
	36h	5	1,41	-0,65	64,11	-0,78	0,49	64,47	100	94	31	31	16	0
		6	1,39	-0,70	63,81	-0,76	0,53	64,43	100	99	19	31	16	0
	72h	7	1,40	-0,67	63,96	-0,77	0,51	64,44	100	99	19	31	16	0
	LEIAX1202 GG - B	24h	1	1,24	-0,62	64,63	-0,92	1,03	63,11	100	97	23	32	18
2			1,28	-0,73	66,42	-0,99	0,92	63,63	100	64	21	33	20	0
3			1,41	-0,47	70,12	-1,00	0,76	63,96	99,9	93	21	33	21	0
36h		5	1,21	-0,64	64,66	-0,91	1,04	63,33	100	97	21	33	18	0
		6	1,40	-0,59	69,29	-1,02	0,79	63,77	100	93	21	33	20	0
72h		7	1,31	-0,61	67,08	-0,97	0,91	63,57	100	97	21	33	18	0

Com as sessões restantes e livres de contaminação com relação a precipitação e parâmetros com diferenças superiores a 1 mm, foram obtidas as médias (mm), desvio-padrão (mm) e o coeficiente de variação (%), para cada antena. O coeficiente de variação é uma medida de dispersão relativa que elimina o efeito da magnitude dos dados e exprime a variabilidade em relação a média, assim quanto mais próximo de zero melhor é o coeficiente. Estes valores são apresentados na TABELA 10. Nota-se que quando realizada a média dos desvios-padrão, para as três componentes, para L1 e L2, obtêm-se maior valor na onda portadora L1. Esta atingiu desvio-padrão médio de 0,12 mm, enquanto que na portadora L2 o valor foi de 0,07 mm. Isto se reflete no coeficiente de variação. Em L1 atingiu-se coeficiente de 7,87% e em L2 4,34%. Comparando os coeficientes das três componentes,

verifica-se que a componente Up sofre menos variações, obtendo média geral do coeficiente de variação de 0,2%.

TABELA 10 – ESTATÍSTICAS DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO ANALISADOS

Antena	Estatística	L1			L2		
		Norte (mm)	Leste (mm)	Up (mm)	Norte (mm)	Leste (mm)	Up (mm)
ATX900 GG - 1	Média	0,27	-0,47	97,41	-1,52	0,69	96,03
	Desvio padrão	0,13	0,02	0,29	0,00	0,00	0,16
	Coeficiente de variação (%)	47,17	3,23	0,30	0,00	0,73	0,17
ATX900 GG - 2	Média	0,92	-1,57	97,42	-1,09	-0,23	95,97
	Desvio padrão	0,01	0,06	0,18	0,02	0,02	0,10
	Coeficiente de variação (%)	0,54	4,15	0,18	1,38	8,70	0,10
ATX900 GG - 3	Média	1,09	0,05	99,75	-0,37	1,26	95,58
	Desvio padrão	0,05	0,03	0,17	0,03	0,03	0,13
	Coeficiente de variação (%)	4,86	65,55	0,17	7,90	2,12	0,13
ATX900 GG - 4	Média	0,45	-1,23	98,25	-0,31	-0,56	97,48
	Desvio padrão	0,06	0,15	0,26	0,05	0,03	0,39
	Coeficiente de variação (%)	12,78	12,09	0,26	14,87	5,49	0,40
ATX900 GG - 5	Média	1,03	-2,63	95,84	-0,89	-0,44	97,23
	Desvio padrão	0,09	0,09	0,23	0,01	0,01	0,00
	Coeficiente de variação (%)	8,23	3,42	0,24	1,12	2,29	0,00
ATX900 GG - 6	Média	1,15	-1,90	96,82	0,12	-0,58	96,59
	Desvio padrão	0,04	0,11	0,27	0,03	0,05	0,19
	Coeficiente de variação (%)	3,10	5,86	0,28	27,27	9,20	0,20
ATX1230+ GNSS - D	Média	-1,11	2,74	88,10	-0,79	-0,63	85,10
	Desvio padrão	0,31	0,01	0,31	0,01	0,14	0,16
	Coeficiente de variação (%)	27,47	0,22	0,35	1,55	21,84	0,19
LEIAX1202 GG - A	Média	1,40	-0,67	63,94	-0,77	0,51	64,43
	Desvio padrão	0,05	0,04	0,15	0,04	0,03	0,09
	Coeficiente de variação (%)	3,30	5,67	0,24	5,25	5,06	0,15
LEIAX1202 GG - B	Média	1,23	-0,63	64,65	-0,92	1,04	63,22
	Desvio padrão	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,11
	Coeficiente de variação (%)	1,22	1,59	0,02	0,55	0,48	0,17

As médias das componentes Norte e Leste do PCO das ondas portadoras L1 e L2, apresentadas na TABELA 10, podem ser melhor visualizadas na FIGURA 69 e FIGURA 70. Nas médias das componentes Norte e Leste é interessante perceber que as maiores variações encontram-se na onda portadora L1. Nota-se que para esta portadora a antena ATX1230+ GNSS - D destoou completamente das demais antenas. O mesmo não ocorreu quando analisada a onda portadora L2.

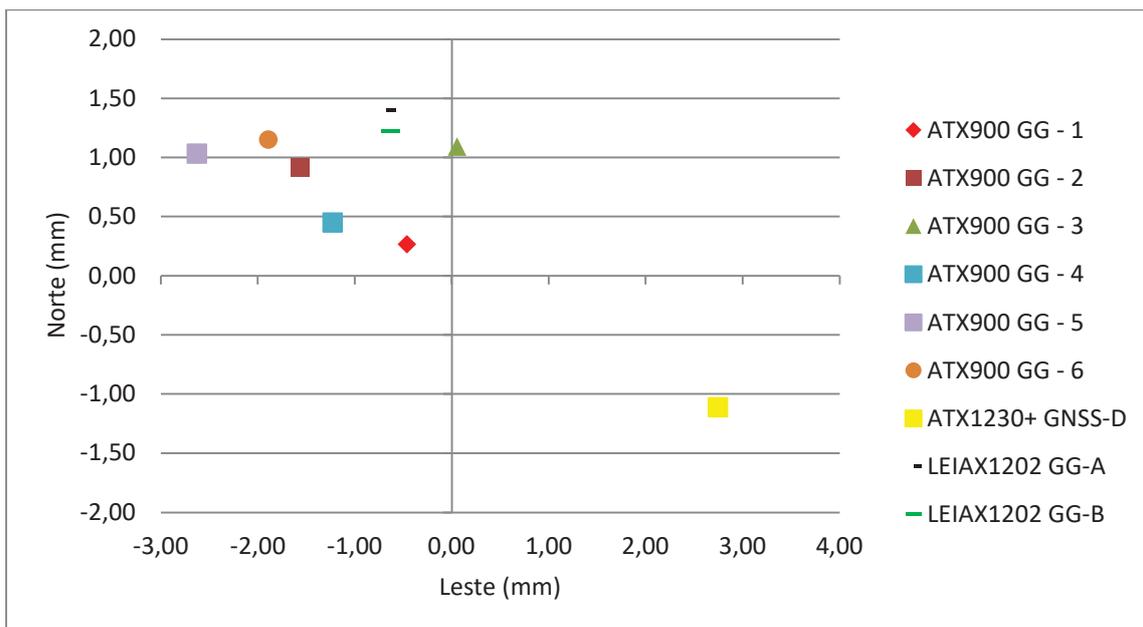


FIGURA 69 – MÉDIAS DAS COMPONENTES NORTE E LESTE EM L1

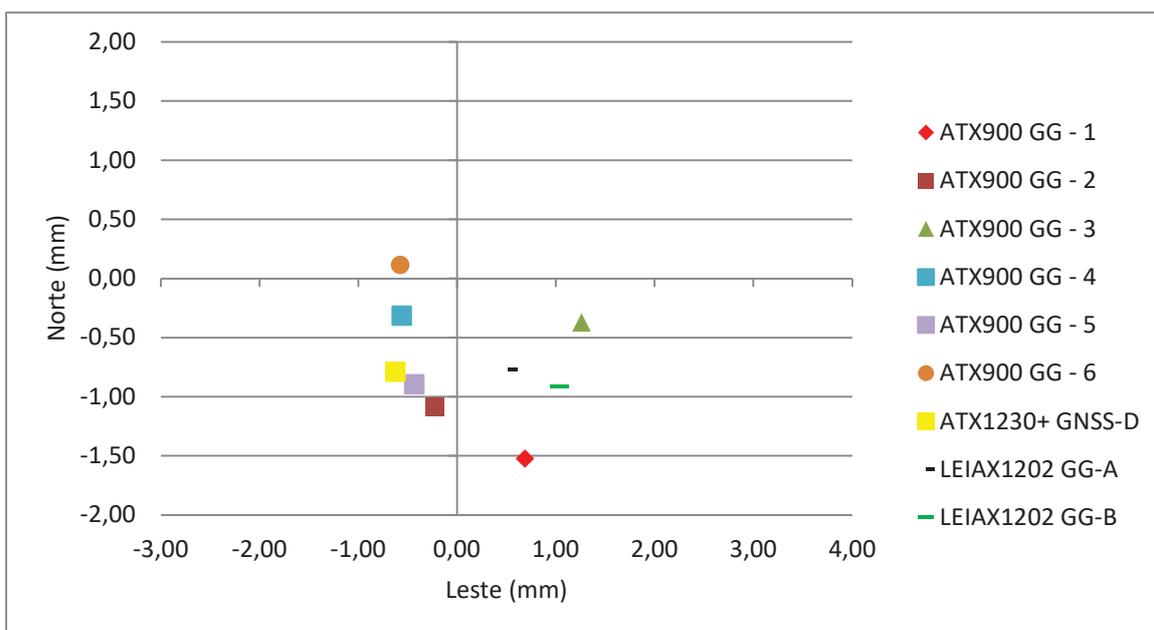


FIGURA 70 – MÉDIAS DAS COMPONENTES NORTE E LESTE EM L2

As médias da componente Up, para todas as antenas e ambas as ondas portadoras podem ser visualizadas na FIGURA 71. Nitidamente observa-se que as seis antenas modelo ATX900 GG têm suas médias similares e um padrão na determinação desta componente. As médias verificadas para elas têm diferenças inferiores a 3,91 mm e 1,90 mm para as portadoras L1 e L2, respectivamente. O mesmo ocorre com a antena modelo LEIAX1202 GG.

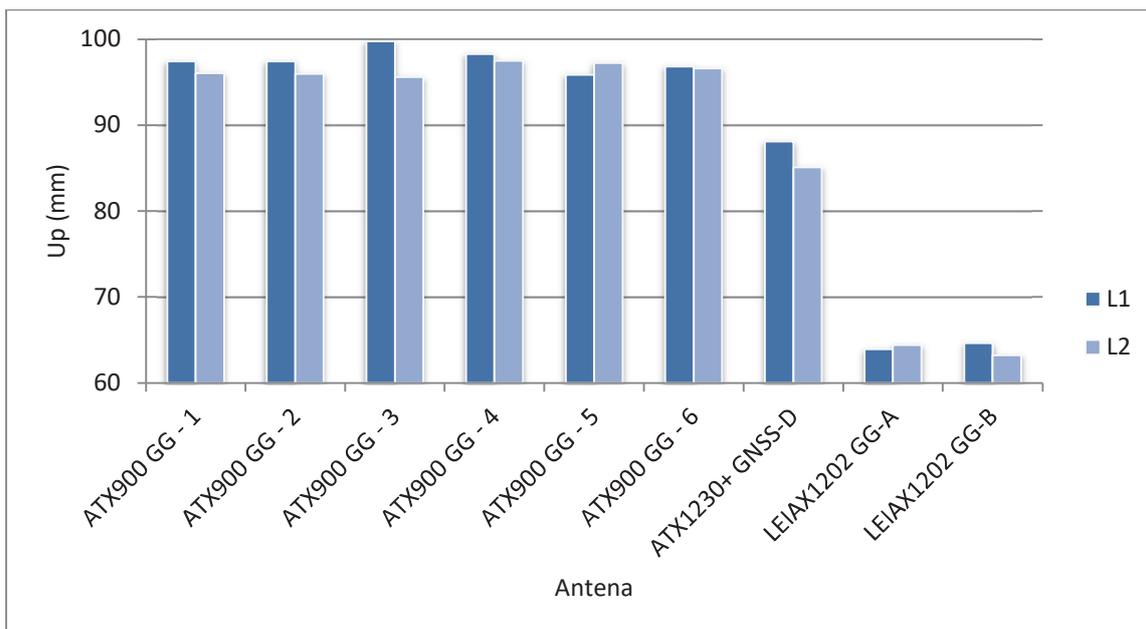


FIGURA 71 – MÉDIA DA COMPONENTE UP EM L1 E L2

Por fim, empregando as análises realizadas e a variável meteorológica umidade relativa do ar, definiu-se os parâmetros de calibração empregados nos processamentos, quando utilizados PCO-PCV provenientes da BCAL/UFPR. Destacado em verde escuro na TABELA 8 e TABELA 9 os valores escolhidos para cada antena. O estabelecimento foi auxiliado pela menor umidade relativa do ar máxima.

Das nove antenas GPS analisadas, em sete delas os parâmetros escolhidos foram obtidos com sessões de 24 horas. Ou seja, para 78% das antenas, maior quantidade de dados, de horas de rastreamento, não acarretou em nenhum ganho com relação aos parâmetros de calibração de antenas GPS.

5.2 EFEITO DE MULTICAMINHO, RAZÃO SINAL/RUÍDO E PERDAS DE CICLOS

A razão sinal/ruído é afetada pelo efeito de multicaminho e vice versa, assim como é um dos motivos para a ocorrência das perdas de ciclo. Estes parâmetros oferecem a possibilidade de realizar uma pré-análise com relação a qualidade das

observações coletadas. Assim, nas seções seguintes, são apresentados resultados e análises pertinentes à estes temas.

5.2.1 Rede Externa

A intensidade do efeito de multicaminho é diretamente inerente às características do ambiente em que são realizadas as observações GPS. Desta forma, por vezes as análises deste efeito são realizadas em conjunto com os diagramas de obstruções dos pontos, auxiliando na identificação de possíveis obstáculos causadores dos reflexos indesejados.

Diante da quantidade de horas de rastreios dos pontos da Rede Externa foi possível empregar o programa *Wasoft/Multipath* (4.2.1) para a obtenção de informações com relação à atuação do efeito de multicaminho nestes pontos.

Devido a problemas, já mencionados na seção 4.3.1.1, na coleta de dados, deparou-se com a impossibilidade de utilizar todas as campanhas para a análise do efeito de multicaminho com o emprego do *Wasoft/Multipath*. Desta maneira, optou-se por gerar dois conjuntos de dados. Isto possibilitou verificar se os resultados alcançados foram os mesmos ao se utilizar três ou quatro estações. Esta análise foi realizada com os pontos que estão em ambos conjuntos de dados, UFPR e BCAL.

O primeiro grupo com o mínimo de estações que o programa exige, três. Neste conjunto são utilizados os dados da estação Curitiba-UFPR, pertencente a RBMC, e os pontos BCAL e SANEPAR, de todas as campanhas. O segundo conjunto com o mínimo recomendado de estações, quatro. Englobam-se para tanto as campanhas 1, 2 e 3. Neste grupo inclui-se além da estação e dos pontos mencionados anteriormente, o ponto HORTO. A TABELA 11 apresenta os dados descritos acima, onde T (vermelho) é o grupo com três estações e Q (preto), o conjunto com quatro estações. Destaca-se que os dados da 3ª campanha do ponto BCAL (T*/Q*) aqui foram utilizados com uma altura de antena aproximada, que para este objetivo não influencia nos resultados.

TABELA 11 – CONJUNTO DE DADOS DA REDE EXTERNA PARA ANÁLISE DO EFEITO DE MULTICAMINHO COM WASOFT/MULTIPATH

Campanha	Dia GPS/Ano	Estação			
		UFPR	BCAL	HORTO	SANEPAR
1 ^a	319/14	T/Q	T/Q	Q	T/Q
	320/14	T/Q	T/Q	Q	T/Q
2 ^a	029/15	T/Q	T/Q	Q	T/Q
	030/15	T/Q	T/Q	Q	T/Q
3 ^a	101/15	T/Q	T*/Q*	Q	T/Q
	102/15	T/Q	T*/Q*	Q	T/Q
4 ^a	155/15	T	T	-----	T
	156/15	T	T	-----	T
5 ^a	121/16	T	T	-----	T
	122/16	T	T	-----	T
6 ^a	049/17	T	T	-----	T
	050/17	T	T	-----	T

Na FIGURA 72 está representada a antena utilizada no ponto denominado BCAL. Visualiza-se que a altura, utilizando uma base calante, é de aproximadamente 10 cm do Pilar da base de calibração. A FIGURA 73 ilustra os resultados da detecção e localização do efeito de multicaminho no ponto BCAL, com a utilização de três estações para a análise. Observa-se que a maior intensidade (15 mm) é verificada nos intervalos de 20° a 80° de azimute e de 8° a 30° de elevação, e de 120° e 165° de azimute e de 20° a 48° de elevação. Na FIGURA 74 consta uma plotagem simples de todos os doze dias GPS utilizados, assim como o índice de intensidade de efeito de multicaminho para cada dia GPS e um índice médio. Para o ponto BCAL obteve-se o índice médio de 22, com desvio padrão de 0,9. Este ponto conforme a classificação de Bilajbegović *et al.* (2005) (seção 4.3.2), tem intensidade forte de efeito de multicaminho.



FIGURA 72 – PONTO BCAL

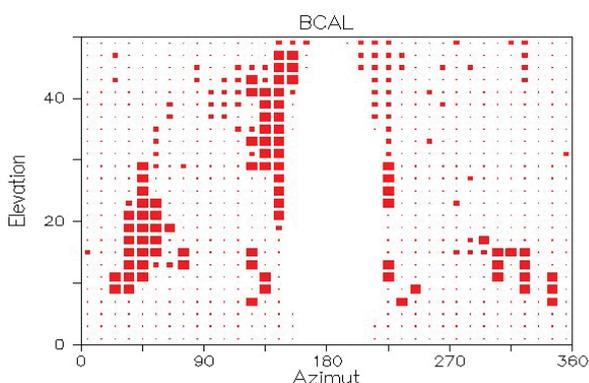


FIGURA 73 – FORMATO VETORIAL DO PONTO BCAL

```

.....111 .111...1...11... 49
..1.....22. 1111.....1... 47
.....1..11122. 1111...1.1...1... 45
..1.....1.112122. 11.....1... 43
.....1112221 11.....1... 41
.....1..111.22. 11.....1... 39
.....1..11..22. 11.....1... 37
.....1....1122. .1..... 35
.....1.....222 1..1..... 33
.....1.....122 1.....1... 31
....21.1...222 2.....1... 29
.....2.....2 2.....1... 27
.....2.....2 2.....1... 25
...122.....2 2.....1... 23
...222.....2 ..... 21
...222.....1 ..... 19
...222..... ..... 17
1..222.2...2.. .....111222... 15
...22112...2.. 2.....2.2... 13
...222.....2. 2.....2.2.2. 11
...22.....2. .2.....2.2. 9
.....2.. .2.....2. 7
..... ..... 5
..... ..... 3
..... ..... 1

```

```

az          11111111112222222222333333 e1
12345678901234567890123456789012345 .
555555555555555555555555555555555555 .
          BCAL.map .

Input files, multipath index:
1 bcal0290.map 20
2 bcal0300.map 17
3 bcal0490.map 16
4 bcal0500.map 19
5 bcal1010.map 24
6 bcal1020.map 22
7 bcal1210.map 24
8 bcal1220.map 26
9 bcal1550.map 24
10 bcal1560.map 22
11 bcal3190.map 22
12 bcal3200.map 23
Mean index 22 +/- 0.9 BCAL

```

FIGURA 74 – PLOTAGEM SIMPLES DO PONTO BCAL COM OS ÍNDICES DE CADA DIA GPS

Segundo Wanninger (2003), o azimute e elevação ilustrados nos gráficos, em formato vetorial e de plotagem simples, referem-se aos ângulos de azimute e elevação do sinal do satélite GPS contaminado e não à direção de obstruções e objetos que causam reflexões nos sinais.

O mapa, no formato vetorial, do efeito de multicaminho obtido através de observações no ponto SANEPAR (FIGURA 75), e analisado junto com mais duas estações, pode ser visualizado na FIGURA 76. Neste ponto, com altura da antena de aproximadamente 20 cm, verifica-se que houve considerável influência do efeito de multicaminho. Este ponto é mais afetado entre os azimute 210° e 360° (acima de 15° de elevação). Na direção desta região estão localizadas antenas e uma tampa metálica de acesso ao topo da caixa d'água, que possivelmente causaram reflexões em sinais provindos destes azimutes e elevações. Este ponto foi classificado com efeito de multicaminho muito forte, com índice de intensidade de 34 (FIGURA 77), desvio padrão de 4,0. Nota-se que em dois dias os índices de intensidade



FIGURA 81 – PONTO HORTO

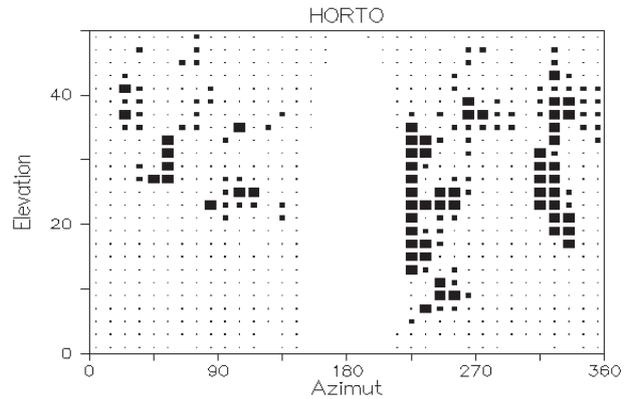


FIGURA 82 – FORMATO VETORIAL DO PONTO HORTO/Q

Comparando os mapas de efeito de multicaminho quando utilizadas três estações (FIGURA 73, FIGURA 76 e FIGURA 79), com observações de doze dias GPS, e quando empregadas quatro estações (FIGURA 84, FIGURA 86 e FIGURA 88), com observações de seis dias GPS, verifica-se que o mapa SANEPAR foi o que obteve uma diminuição das intensidades máximas. Isto ocorreu devido aos dias GPS 049/17 e 050/17, já mencionados anteriormente, que contribuíram com um aumento significativo na influência do efeito de multicaminho. Destaca-se que no estudo, quando utilizadas quatro estações, estes dias GPS citados não estão incluídos.

Assim, fez-se necessária a realização de uma análise utilizando somente as três primeiras campanhas para ambos os conjuntos, de três estações (FIGURA 83, FIGURA 85 e FIGURA 87) e quatro estações (FIGURA 84, FIGURA 86 e FIGURA 88). Na BCAL, observa-se sensível redução de intensidades máximas, quando empregadas quatro estações na análise. O mesmo ocorre nos resultados da estação Curitiba-UFPR e SANEPAR, sendo que esta última é a que apresenta a redução mais significativa.

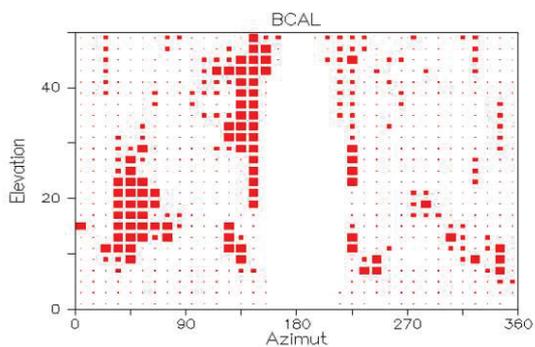


FIGURA 83 – FORMATO VETORIAL DO PONTO BCAL/T

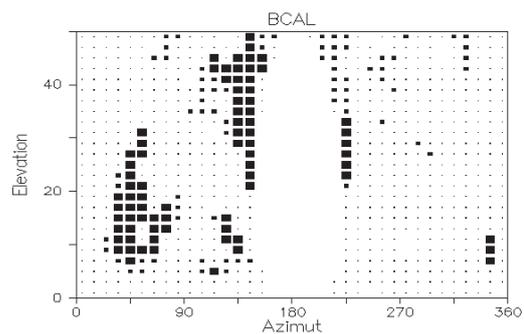


FIGURA 84 – FORMATO VETORIAL DO PONTO BCAL/Q

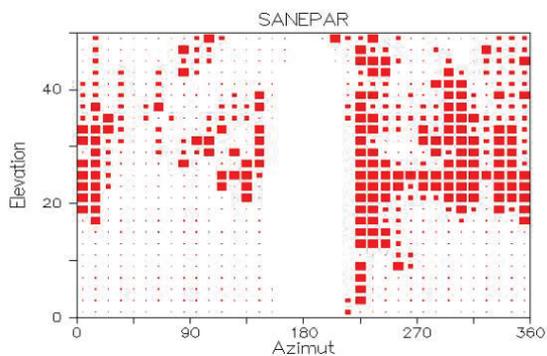


FIGURA 85 – FORMATO VETORIAL DO PONTO SANEPAR/T

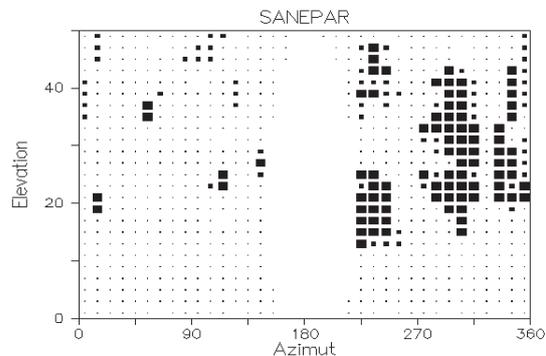


FIGURA 86 – FORMATO VETORIAL DO PONTO SANEPAR/Q

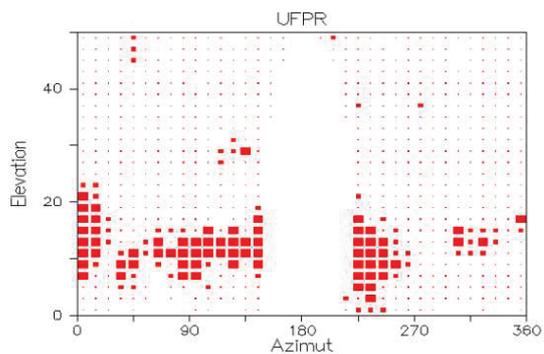


FIGURA 87 – FORMATO VETORIAL A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR/T

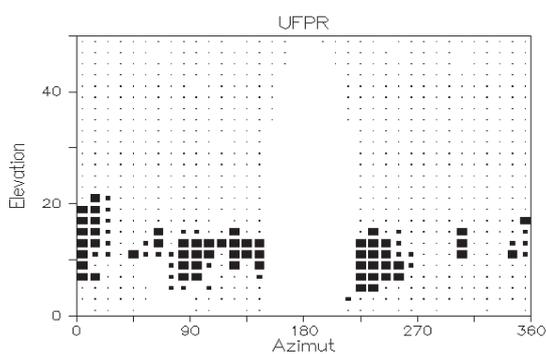


FIGURA 88 – FORMATO VETORIAL A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR/Q

O algoritmo implementado no *Wasoft/Multipath* detecta e localiza as influências do efeito de multicaminho por meio do cálculo de correlação entre as estações. Assim, quando se têm uma estação com forte influência do efeito, este

pode contaminar os resultados das demais estações. O mesmo ocorre ao se adicionar uma estação que destoa das demais, em ter menos influência do efeito de multicaminho. Nesta situação pode acontecer uma suavização das intensidades em uma estação onde se conhece a forte influência deste erro.

A TABELA 12 apresenta os índices de intensidade do efeito de multicaminho, quando empregadas três e quatro estações. Verifica-se que quando utilizadas três estações a média, para as três primeiras campanhas, foi de 21, 30 e 16, para BCAL, SANEPAR e UFPR, respectivamente. Quando incluída a estação HORTO, o índice médio de intensidade, para BCAL, SANEPAR e HORTO foi 19. A estação Curitiba-UFPR continuou com a menor média, 12. A média dos doze dias GPS, quando utilizadas três estações, foi 22, na BCAL; 34, para o ponto SANEPAR e 16 na estação Curitiba-UFPR. Quando empregada quatro estações, houve redução de 9% no índice médio da BCAL, atenuação de 38% para o ponto SANEPAR e de 26% para a estação Curitiba-UFPR. A média da redução foi de 24%. A inclusão de uma estação com menor influência do efeito de multicaminho (HORTO), pode ter mascarado os resultados e por fim suavizou os resultados intensos obtidos no ponto SANEPAR, quando utilizadas somente três estações na análise.

TABELA 12 – INTENSIDADE DO EFEITO DE MULTICAMINHO PARA OS CONJUNTOS FORMADOS

Dia GPS/Ano	Três estações			Quatro estações			
	BCAL/T	SANEPAR/T	UFPR/T	BCAL/Q	SANEPAR/Q	UFPR/Q	HORTO/Q
319/14	22	30	15	17	20	11	15
320/14	23	31	17	22	22	14	16
029/15	20	31	13	18	22	10	19
030/15	17	36	13	15	15	11	15
101/15	24	24	19	23	16	12	25
102/15	22	29	17	21	18	12	25
155/15	24	21	21	-----	-----	-----	-----
156/15	22	23	21	-----	-----	-----	-----
121/16	24	31	17	-----	-----	-----	-----
122/16	26	23	18	-----	-----	-----	-----
049/17	16	61	12	-----	-----	-----	-----
050/17	19	63	14	-----	-----	-----	-----

O TEQC como já mencionado na seção 4.2.2, gera diversos indicadores de qualidade dos dados coletados. Um dos parâmetros são as perdas de ciclo. A FIGURA 89 corrobora com os dados apresentados na TABELA 12. Nela (FIGURA 89) comprova-se que a estação Curitiba-UFPR, uma estação da RBMC, está localizada em um ambiente menos suscetível a ocorrência de perdas de ciclo. Esta estação obteve os menores valores para todos os dias GPS estudados. O ponto SANEPAR atingiu os maiores patamares de perdas de ciclo em todos os doze dias GPS. Verifica-se na TABELA 12, quando utilizadas três estações, em 75% dos dias GPS, o ponto SANEPAR alcançou os maiores valores. Em contra-partida, no emprego de quatro estações, este ponto obteve os maiores valores em somente 33% dos dias GPS. Confirmando que, no estudo apresentado, a análise no programa *Wasoft/Multipath* foi melhor conduzida com a inserção de três estações, BCAL, SANEPAR e UFPR.

Percebe-se nitidamente, que na primeira campanha, dias GPS 319/14 e 320/14 (Novembro), na segunda campanha, dias GPS 028/15 e 029/15, e na última campanha, dias GPS 049/17 e 050/17 (Fevereiro), houve um aumento das perdas de ciclo. Elas ocorreram nos meses de Novembro, Janeiro e Fevereiro, respectivamente, meses compreendidos no período de maiores perturbações da ionosfera, ocasionando o acréscimo nos erros observados (FIGURA 103).

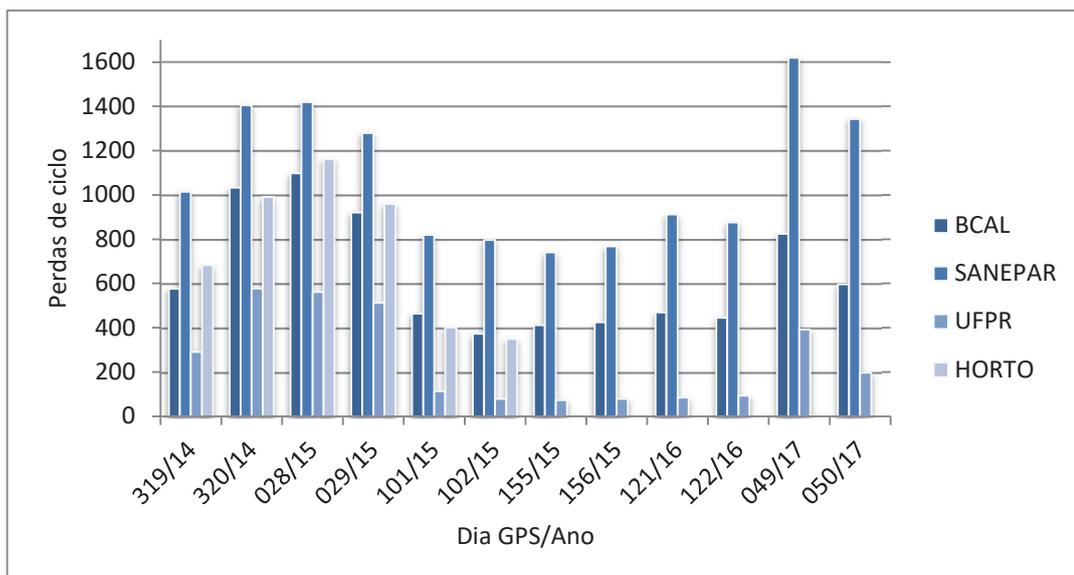


FIGURA 89 – PERDAS DE CICLO DA REDE EXTERNA

Como já visto, as perdas de ciclo são intrinsecamente ligadas ao efeito de multicaminho e possuem forte correlação positiva com as médias deste erro na onda portadora L1 e L2, MP1 e MP2, respectivamente. Estes valores são obtidos através da análise das observações GPS no programa TEQC. Conforme a TABELA 13 a correlação mais fraca, dentre os quatro pontos estudados, foi da estação Curitiba-UFPR. Ela obteve 0,77 de correlação de MP1 com as perdas de ciclo. O ponto HORTO, também em MP1, destacou-se por ter a correlação mais forte, 0,97. Considerando todas as estações atingiu-se uma correlação média de 0,87 com MP1 e 0,86 com MP2, comprovando a relação entre os parâmetros verificados.

TABELA 13 – CORRELAÇÃO ENTRE MP1 E MP2 COM AS PERDAS DE CICLO

Correlação	Estação			
	BCAL	SANEPAR	UFPR	HORTO
MP1/perdas de ciclo	0,85	0,87	0,77	0,97
MP2/perdas de ciclo	0,82	0,92	0,82	0,89

Na FIGURA 77 e na TABELA 12 observaram-se dois valores do índice de intensidade do efeito de multicaminho que destoaram dos demais. Nos dias GPS 049/17 e 050/17 os índices foram de 61 e 63, respectivamente. Com o objetivo de analisar melhor o que ocorreu no ponto SANEPAR nesta última campanha (2017), apresentam-se os gráficos da SNR1 versus elevação dos satélites para o dia GPS 049/17, para SANEPAR (FIGURA 90) e BCAL (FIGURA 91), e do dia GPS 319/14 do ponto SANEPAR (FIGURA 94). A partir destes três gráficos é possível notar, que nos pontos SANEPAR e BCAL, na última campanha, o primeiro se destaca por ter a SNR mais irregular até a elevação de 50°, enquanto que o ponto BCAL tem variações significativas até 42° de elevação dos satélites. Na primeira campanha (FIGURA 94), verifica-se que o comportamento, ao longo da elevação dos satélites, da SNR1 é parecido com o da última campanha (FIGURA 90) no entanto, sofre menos variações da SNR. Estes fatos também podem ser verificados nos gráficos de elevação dos satélites e SNR1. Da primeira campanha, SANEPAR (FIGURA 95) e da última campanha SANEPAR (FIGURA 92) e BCAL (FIGURA 93). Na mesma campanha, SANEPAR e BCAL, são completamente distintos. Com SANEPAR obtendo SRN acima de 45 dBHz somente acima de 38° de elevação dos satélites e BCAL atingindo estes resultados a partir de 10° de elevação. Comparando os

gráficos somente do ponto SANEPAR, observa-se que na primeira campanha os melhores resultados (> 45 dBHz) são atingidos com 22° de elevação dos satélites. Tornando-se assim estas observações melhores que da última campanha. Os gráficos da SNR da onda portadora L2 da SANEPAR (FIGURA 96) e BCAL (FIGURA 97), no dia GPS 049/17, mostram que a degradação nesta onda portadora é maior que na L1. No ponto SANEPAR, observa-se que existem poucas elevações máximas com SNR acima de 45 dBHz. O mesmo ocorre com o ponto SANEPAR, no dia GPS 319/14. A FIGURA 98 apresenta a SNR2 deste dia GPS. Verifica-se que os resultados são melhores que quando comparados com o dia GPS da última campanha (049/17). A onda portadora L2 tem comprimento maior e frequência menor que a L1, este fato afeta o comportamento da SNR, degradando o sinal eletromagnético conforme o comprimento da onda aumenta e a frequência diminui. Isto ocorre pois a onda portadora L2 sofre maior influência da ionosfera.

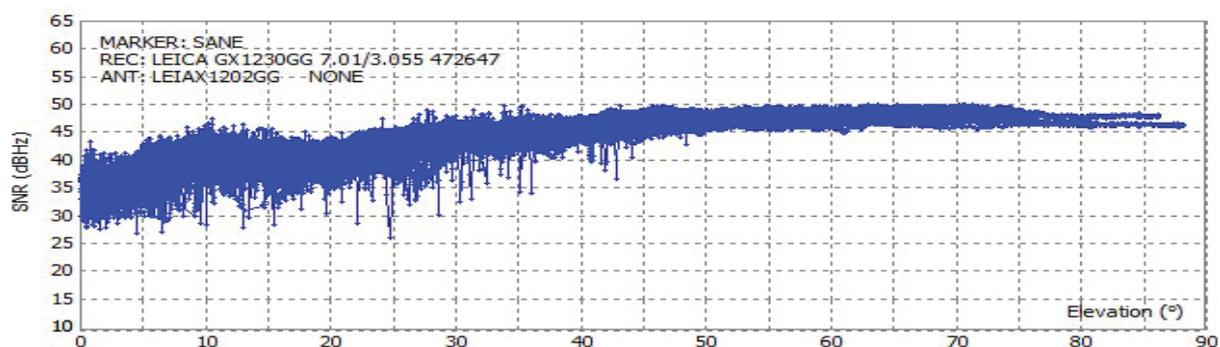


FIGURA 90 – SANEPAR: SNR1 VERSUS ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES, DIA GPS 049/17

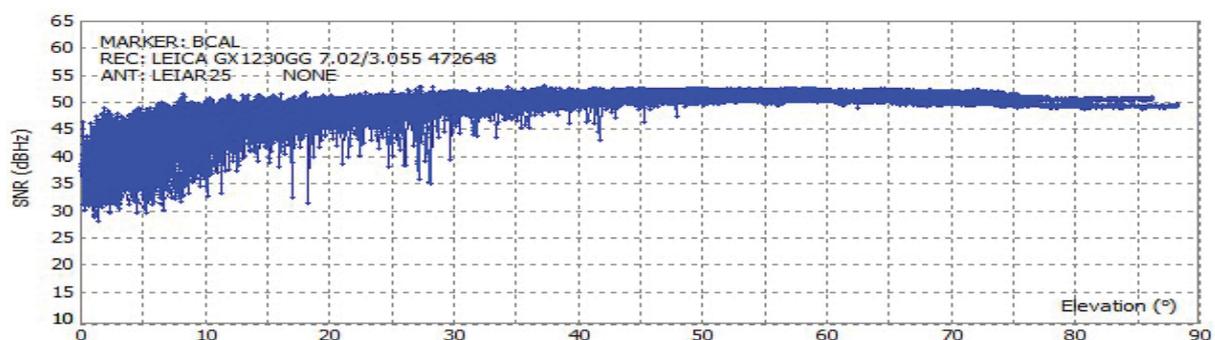


FIGURA 91 – BCAL: SNR1 VERSUS ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES, DIA GPS 049/17

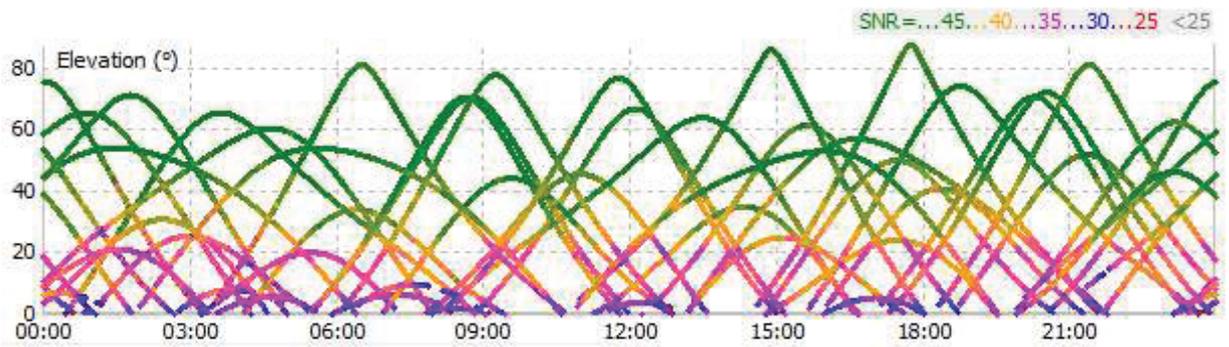


FIGURA 92 – SANEPAR: ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES E SNR1, DIA GPS 049/17

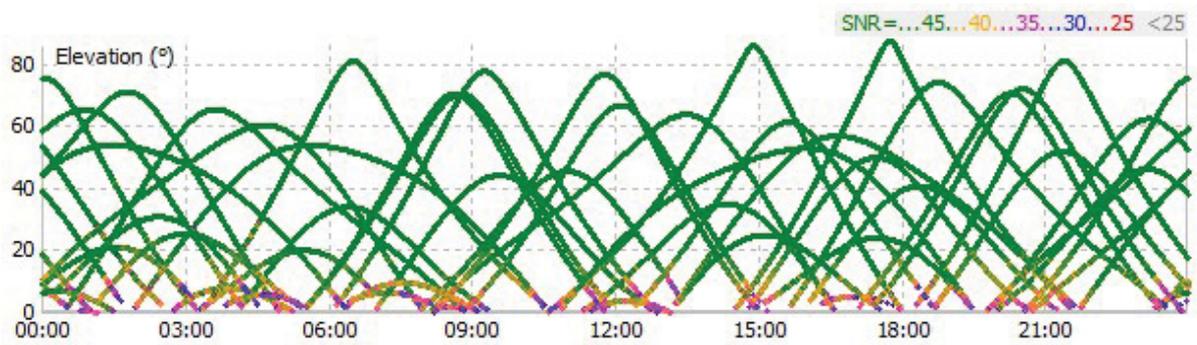


FIGURA 93 – BCAL: ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES E SNR1, DIA GPS 049/17

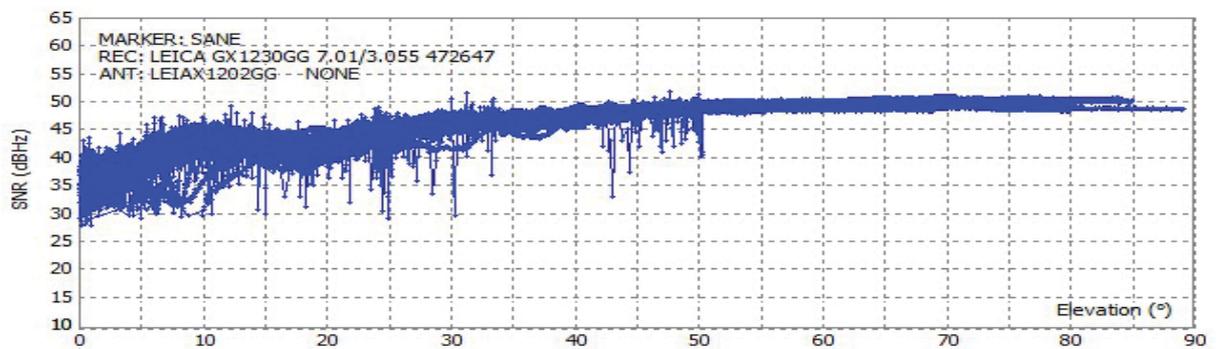


FIGURA 94 – SANEPAR: SNR1 VERSUS ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES, DIA GPS 319/14

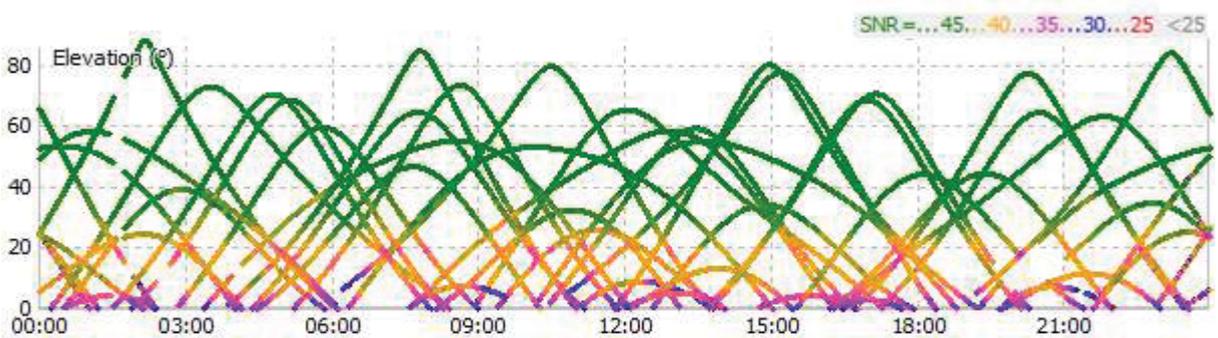


FIGURA 95 – SANEPAR: ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES E SNR1, DIA GPS 319/14

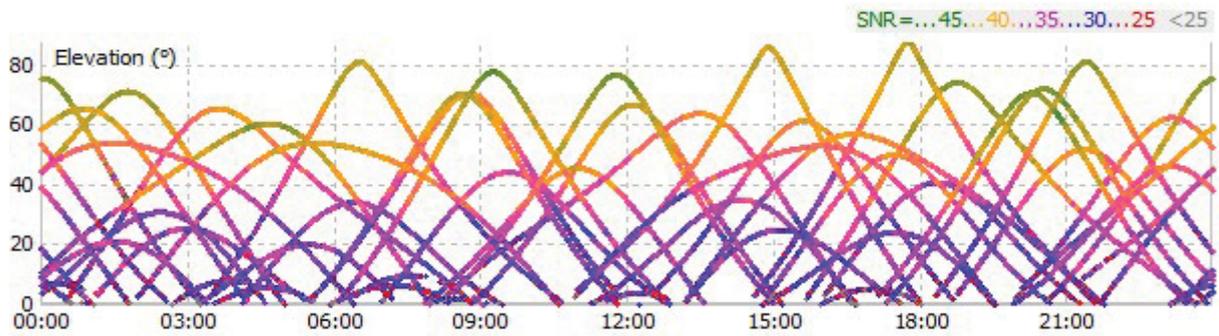


FIGURA 96 – SANEPAR: ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES E SNR2, DIA GPS 049/17

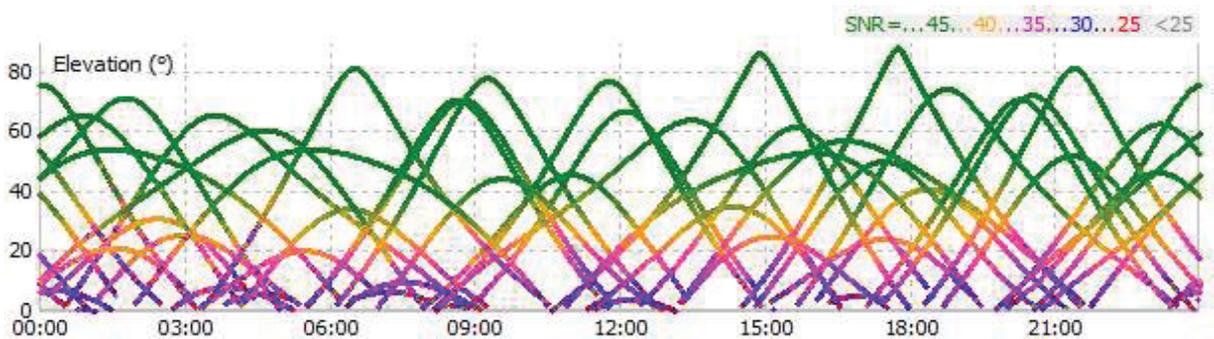


FIGURA 97 – BCAL: ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES E SNR2, DIA GPS 049/17

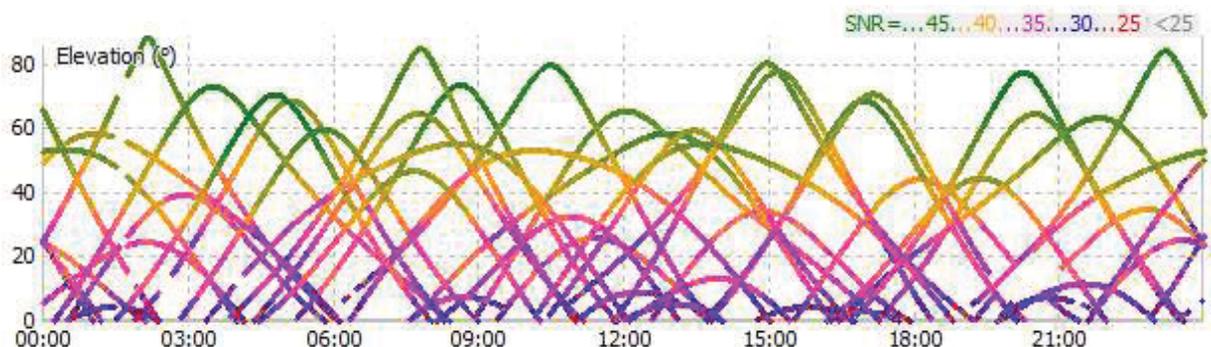


FIGURA 98 – SANEPAR: ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES E SNR2, DIA GPS 319/14

No decorrer da quinta campanha foram instaladas, no topo da caixa d'água da SANEPAR, e portanto, muito próximo à antena GPS, duas antenas de comunicação da polícia civil. Uma antena modelo Yagi (FIGURA 99 e FIGURA 100), que opera entre as frequências 824 - 960 MHz, de cinco elementos, comumente utilizada como amplificadora de sinais com tecnologia GSM. A segunda antena, modelo Colinear (FIGURA 101 e FIGURA 102), trabalha com frequências entre 450 - 470 MHz, possui 2 elementos, é indicada para repetidoras para sistemas de comunicação de alto tráfego. Estas antenas são possivelmente a causa das

discrepâncias encontradas, visto que as mesmas estavam ativas somente na última campanha.



FIGURA 99 – ANTENA YAGI NO PONTO SANEPAR

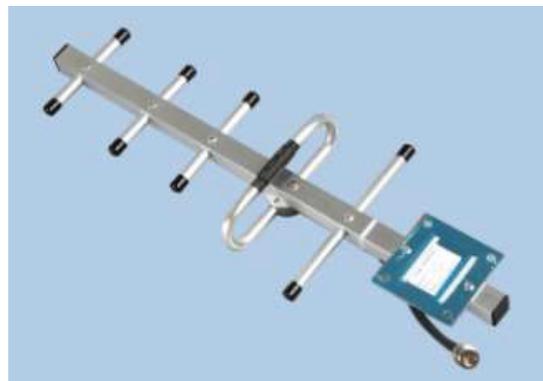


FIGURA 100 – ANTENA MODELO YAGI



FIGURA 101 – ANTENA COLINEAR NO PONTO SANEPAR



FIGURA 102 – ANTENA MODELO COLINEAR

Para um melhor detalhamento dos resultados das observações coletadas, são apresentadas as médias dos indicadores de qualidade, por campanha e por ponto. Os resultados dos pontos BCAL, SANEPAR, estação Curitiba-UFPR e HORTO são apresentados nas seguintes tabelas: TABELA 14, TABELA 15, TABELA 16 e TABELA 17, respectivamente. Nelas são apresentados as médias dos

indicadores de qualidade, gerados no programa TEQC (4.2.2). São eles: o efeito de multicaminho, na onda portadora L1 e L2, MP1 e MP2, respectivamente; a razão sinal/ruído em L1, SNR1, e na portadora L2, SNR2; o número total de observações da seção (OBS), total de perdas de ciclo (IOD/MP) e o indicador O/SLPS. Observando as médias de cada ponto (TABELA 14, TABELA 15, TABELA 16 e TABELA 17), verifica-se que os valores de MP1 e MP2, para todos os pontos, na segunda campanha foram os que atingiram os maiores patamares. O mesmo ocorreu com o número total de perdas de ciclo (IOD/MP). Com exceção do ponto SANEPAR, que obteve, para este indicador, o pior valor na sexta campanha, assim como o indicador de qualidade O/SLPS. O motivo para tal fato foi comentado anteriormente. Checando este indicador para os demais pontos, percebe-se que ele acompanha o que foi verificado no efeito de multicaminho (MP1 e MP2), atingindo os piores resultados na segunda campanha.

TABELA 14 – MÉDIAS DOS INDICADORES DE QUALIDADE, POR CAMPANHA, DA BCAL

Indicador	Campanha					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
MP1 (cm)	72,1	92,4	58,7	61,5	63,1	76,4
MP2 (cm)	81,4	100,5	78,9	64,7	66,7	79,4
SNR1 (dBHz)	47,4	47,3	47,3	47,4	47,3	48,5
SNR2 (dBHz)	42,6	42,6	42,5	42,4	42,6	42,6
OBS	57220	56946	57144	60249	60194	60343
IOD/MP	805	1010	418	419	458	710
O/SLPS	77	57	138	144	132	87

TABELA 15 – MÉDIAS DOS INDICADORES DE QUALIDADE, POR CAMPANHA, DA SANEPAR

Indicador	Campanha					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
MP1 (cm)	72,5	72,2	37,6	40,7	40,5	70,7
MP2 (cm)	93,8	113,5	52,5	54,9	65,1	98,2
SNR1 (dBHz)	44,9	44,9	44,4	44,3	43,5	43,0
SNR2 (dBHz)	39,7	39,5	39,3	39,3	39,1	37,5
OBS	59432	59820	59540	63233	62318	61145
IOD/MP	1210	1349	809	754	894	1481
O/SLPS	50	44	74	84	70	42

TABELA 16 – MÉDIAS DOS INDICADORES DE QUALIDADE, POR CAMPANHA, DA UFPR

Indicador	Campanha					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
MP1 (cm)	73,2	69,5	56,3	57,7	58,2	66,1
MP2 (cm)	67,6	71,1	44,4	42,4	43,1	49,0
SNR1 (dBHz)	49,2	59,6	59,4	59,2	59,2	59,6
SNR2 (dBHz)	67,2	49,5	49,1	49,5	51,5	51,0
OBS	55.077	54.233	55.562	57.599	57.429	56.822
IOD/MP	434	537	96	76	89	295
O/SLPS	143	101	598	759	651	217

TABELA 17 – MÉDIAS DOS INDICADORES DE QUALIDADE, POR CAMPANHA, DO HORTO

Indicador	Campanha					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
MP1 (cm)	59,3	63,4	33,5	-----	-----	-----
MP2 (cm)	83,0	89,6	43,9	-----	-----	-----
SNR1 (dBHz)	46,2	46,2	46,2	-----	-----	-----
SNR2 (dBHz)	41,0	40,8	40,9	-----	-----	-----
OBS	57366	57319	57377	-----	-----	-----
IOD/MP	837	1060	375	-----	-----	-----
O/SLPS	71	55	154	-----	-----	-----

Analisando o número de manchas solares verificou-se que os resultados apresentados anteriormente poderiam ter sido afetados pela atividade solar. A FIGURA 103 apresenta um gráfico com a média das manchas solares, para cada campanha, e a média do número de perdas de ciclo, de cada campanha, para cada ponto estudado. Observa-se que para todas as campanhas, exceto a sexta, existe um acréscimo do número de perdas de ciclo quando há um aumento do número de manchas solares. Nota-se que a segunda campanha é a mais afetada de todas, obtendo uma média de manchas de 144. A sexta campanha atingiu o menor patamar de número de manchas, 19; contudo, esta campanha detêm as maiores discrepâncias com relação ao número de perdas de ciclo. Tendo o ponto SANEPAR atingido 1481 perdas de ciclo.

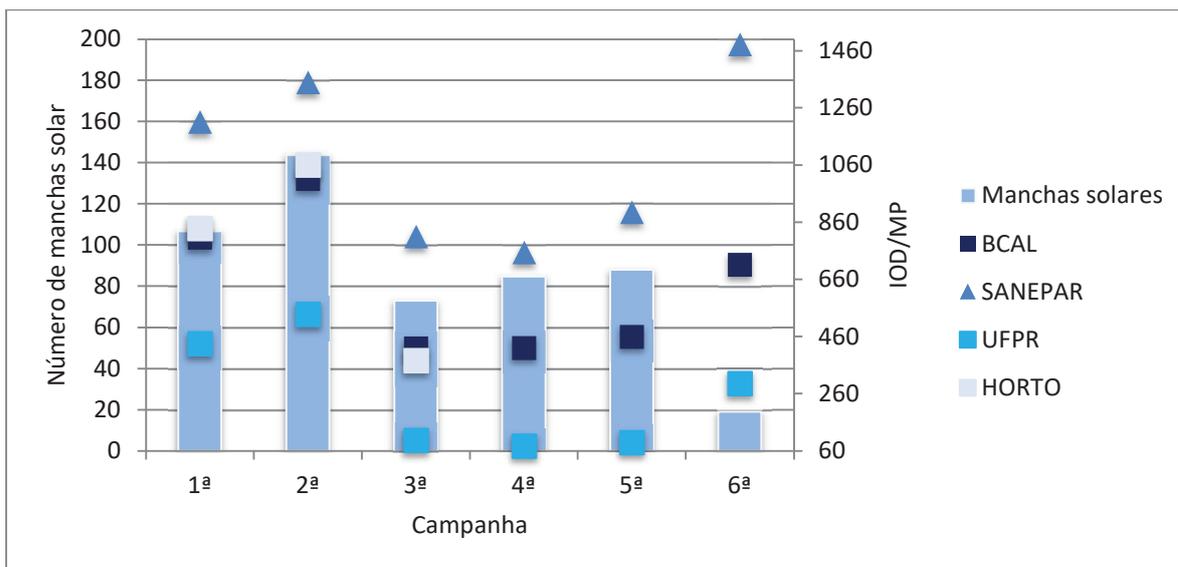


FIGURA 103 – MANCHAS SOLARES VERSUS IOD/MP

Conforme a média total para cada ponto (TABELA 18), o ponto HORTO obteve a menor média de MP1, com o valor de 52,1 cm, e o ponto BCAL atingiu a maior média, 70,7 cm. Como já observado nos gráficos da SNR (FIGURA 92, FIGURA 93, FIGURA 95, FIGURA 96, FIGURA 97 e FIGURA 98) quanto maior o valor da SNR melhor. Logo a estação Curitiba-UFPR atingiu a melhor média para ambas as portadoras e o ponto SANEPAR apresentou as piores médias. Situação idêntica ocorreu quando analisado o total de perdas de ciclo (IOD/MP), e por consequência também no indicador O/SLPS.

TABELA 18 – MÉDIAS DOS INDICADORES DE QUALIDADE DOS PONTOS DA REDE EXTERNA E DA ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR

Indicador	Estação			
	BCAL	SANEPAR	UFPR	HORTO
MP1 (cm)	70,7	55,7	63,5	52,1
MP2 (cm)	78,6	79,7	52,9	72,2
SNR1 (dBHz)	47,5	44,2	57,7	46,2
SNR2 (dBHz)	42,5	39,1	53,0	40,9
OBS	58.682	60.915	56.120	57.354
IOD/MP	636	1083	254	757
O/SLPS	106	61	411	93

Unindo os resultados, do indicador O/SLPS, obtidos com o emprego do programa TEQC e os dados de índice de intensidade de efeito de multicaminho,

provenientes do programa *Wasoft/Multipath*, tem-se o gráfico da FIGURA 104. Nele é possível perceber que o ponto BCAL com configurações, de três e quatro estações, são similares, e obtiveram no máximo 151 perdas de ciclo, e índice de intensidade entre 15 e 26. O ponto SANEPAR alcançou valores similares ao ponto BCAL, exceto nos dias GPS 049/17 e 050/17. Eles se destacam negativamente pelo alto índice de intensidade do efeito de multicaminho e menores valores de O/SLPS, caracterizando muitas perdas de ciclo. Como esperado, os melhores resultados foram atingidos com as observações da estação Curitiba-UFPR. Nela, nas configurações de três e quatro estações, os valores do índice de intensidade foram os mais baixos, variando entre 10 e 21. O ponto HORTO, foi equivalente ao ponto BCAL, alcançando valores medianos. Com estes resultados foi possível verificar a correlação existente entre os índices de intensidade de efeito de multicaminho e o total de perdas de ciclo em cada seção de observação.

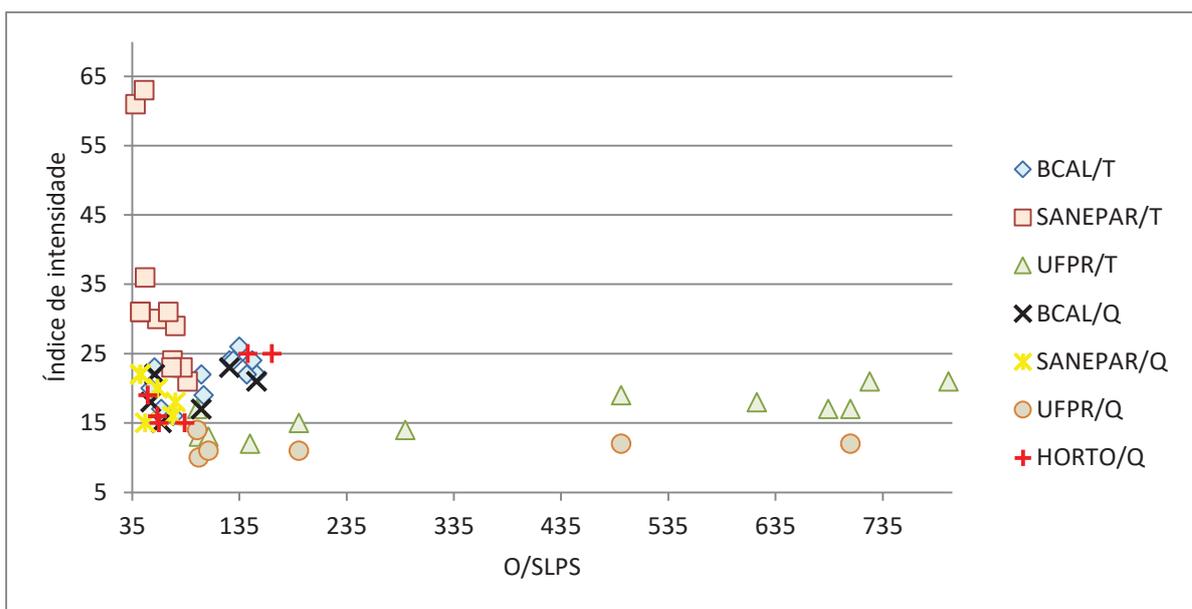


FIGURA 104 – ÍNDICE DE INTENSIDADE DO EFEITO DE MULTICAMINHO DA REDE EXTERNA VERSUS O INDICADOR O/SLPS

Visto que, na TABELA 18 o ponto BCAL atingiu a maior média em MP1 e o ponto SANEPAR alcançou o maior patamar na MP2, gráficos de MP1, MP2 e as respectivas SNR, destes pontos, para todos os doze dias GPS, são apresentados nas FIGURA 105 e FIGURA 106, respectivamente. No ponto BCAL, nota-se que todos os dias GPS, com exceção do dia GPS 029/15, obtiveram valores de MP1

melhores que MP2. Nesta campanha, vale ressaltar, este ponto atingiu o maior valor de perdas de ciclo (TABELA 14). Este fato pode ter influenciado neste resultado. Os valores de SNR, para ambas as portadoras, são regulares para todas as campanhas. O ponto SANEPAR obteve todos os valores de MP1 melhores que os da portadora L2 (MP2), no entanto, manteve valores altos na 1ª, 2ª e 6ª Campanhas, comparadas com as demais. A terceira, quarta e quinta campanhas obtiveram resultados mais satisfatórios devido a fatos já comentados anteriormente. Destaca-se negativamente os valores do dia GPS 028/15, quando a atividade solar emitiu o maior número de manchas solares (FIGURA 103), nos dias estudados. O ponto BCAL obteve dados mais regulares quando comparados com aqueles obtidos para o ponto SANEPAR. Isto já era esperado, visto que o ponto BCAL está localizado em um Pilar, enquanto que o ponto SANEPAR, na laje de uma caixa d'água, ambiente propício para a reflexão dos sinais GPS.

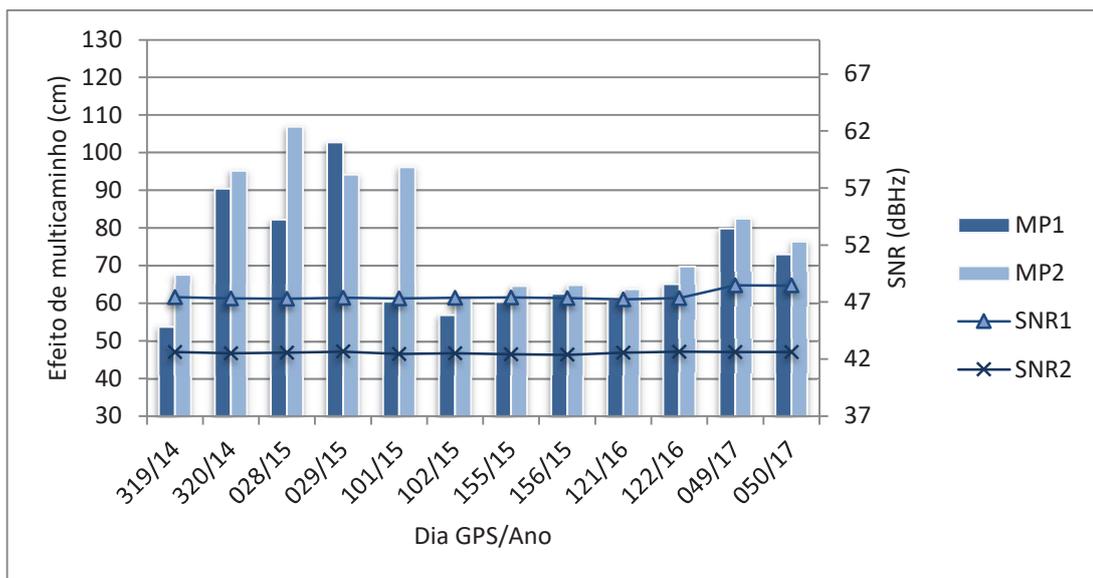


FIGURA 105 – INDICADORES DE EFEITO DE MULTICAMINHO E SNR DO PONTO BCAL

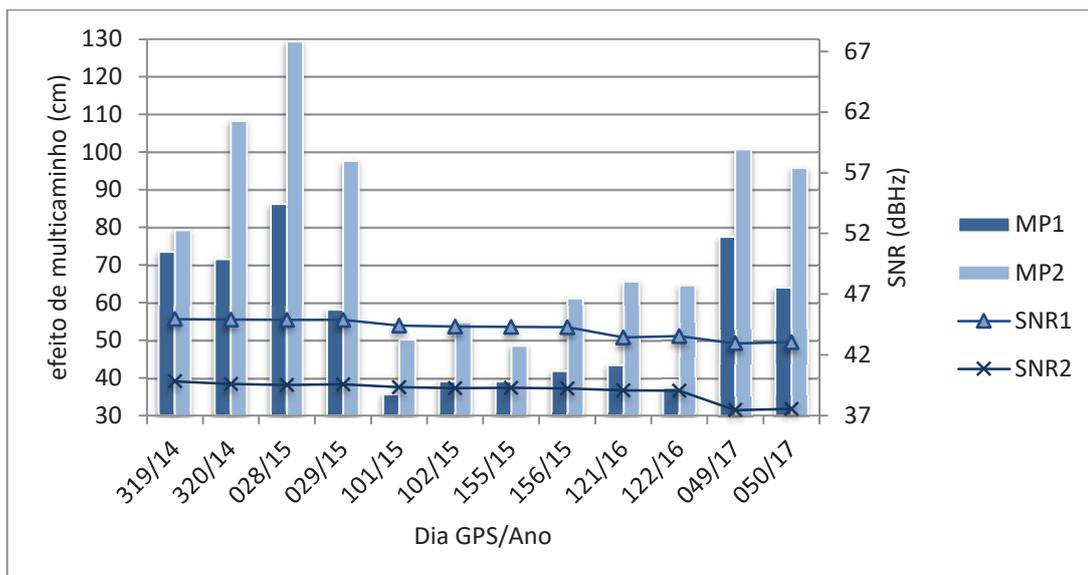


FIGURA 106 – INDICADORES DE EFEITO DE MULTICAMINHO E SNR DO PONTO SANEPAR

5.2.1.1 Experimento em laboratório com os equipamentos empregados na Rede Externa, com diferentes alturas de antenas

Como visto na seção anterior (5.2.1) as alturas das antenas, utilizadas na Rede Externa, variaram entre 10 e 20 cm, aproximadamente. Nos pontos SANEPAR e HORTO, locados no topo de caixas d'água, uma área de no mínimo 6 m² de laje está próxima às antenas em questão. Assim, no presente estudo foram empregadas observações advindas de rastreios conduzidos nos Pilares de centragem forçada da BCAL/UFPR. Neste experimento foram utilizadas as antenas presentes nas campanhas da Rede Externa, porém foram empregadas alturas de antenas diferentes, 0 cm e 50 cm. Na TABELA 19 constam os pontos da Rede Externa, as antenas empregadas e os Pilares da BCAL/UFPR utilizados.

TABELA 19 – ANTENAS, PONTOS DA REDE EXTERNA E PILARES DA BCAL/UFPR

Ponto da Rede Externa	Antena	Pilar da BCAL/UFPR
BCAL	Leica AR 25	2000
SANEPAR	Leica 1202GG	1000
HORTO	Leica 1202GG	3000

A disposição dos Pilares utilizados neste experimento pode ser visualizada na FIGURA 107 e FIGURA 108. Distam no máximo 6 m e se localiza no topo da lage do auditório anexo ao antigo Observatório Camil Gemael, como mencionado na seção 2.3.1.6.1. Eles não possuem obstruções imediatamente próximas, exceto o Pilar 3000 (HORTO), no entanto, há um telhado metálico, antenas da estação do Simepar e árvores no entorno do auditório. O Pilar 3000 têm uma amoreira distante, aproximadamente, 2 m. Cabe salientar estes aspectos, contudo, neste experimento o fator observado são as diferenças nos indicadores de qualidade quando empregada diferentes alturas de antenas.

As análises são realizadas com base nos resultados gerados com os programas *Wasoft/Multipath* e *TEQC*.

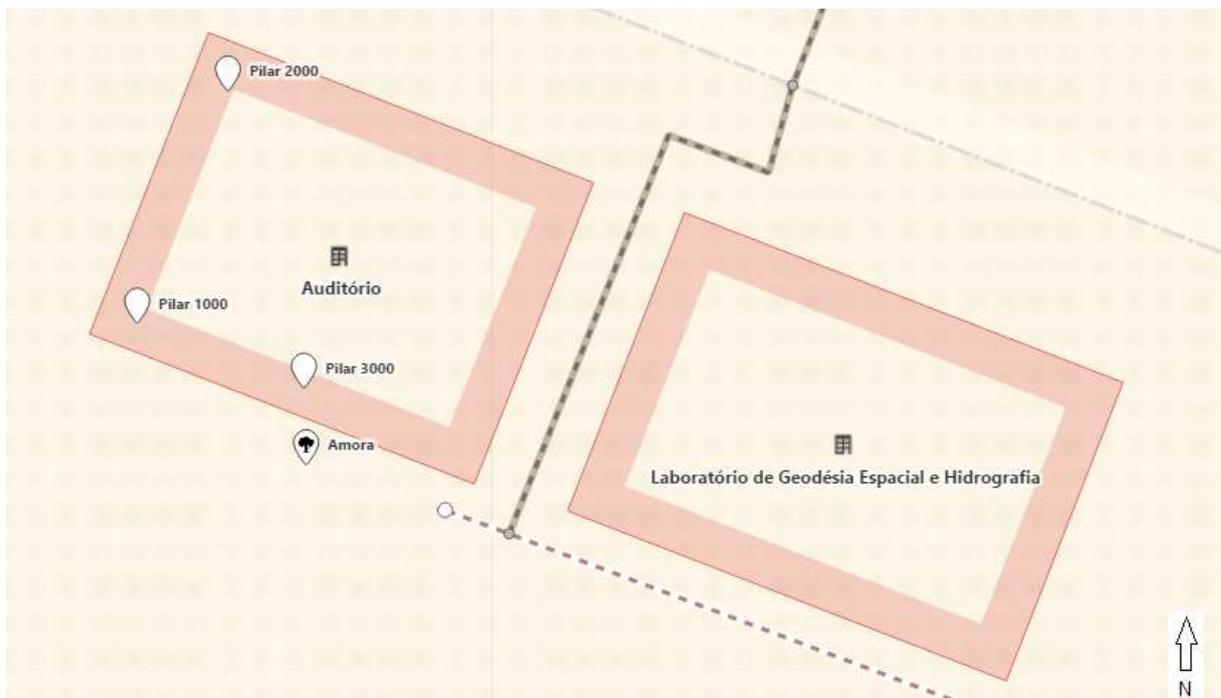


FIGURA 107 – IMAGEM ILUSTRATIVA DA DISPOSIÇÃO DOS PILARES DA BCAL/UFPR
FONTE: ADAPTADO DE OPEN STREET MAP (2017)



FIGURA 108 – PILARES DA BCAL/UFPR

Com os resultados do programa *Wasoft/Multipath* foi gerado um mapa vetorial do efeito de multicaminho, para cada sessão do experimento e para cada ponto. Aqui são apresentados um mapa, para cada ponto, com a combinação das 3 sessões. Com a altura da antena com 0 cm foram gerados os mapas para a antena da BCAL (FIGURA 109), da antena da SANEPAR (FIGURA 111) e do HORTO (FIGURA 113) e para a altura de 50 cm, FIGURA 110, FIGURA 112 e FIGURA 114, BCAL, SANEPAR e HORTO, respectivamente. Observando os gráficos da BCAL, quando utilizada a altura da antena em 50 cm, é possível notar uma redução das regiões com intensidades máximas ($RMS > 15$ mm), para médias, próximo ao azimute 125° . Visualizando os gráficos do Pilar 1000 (SANEPAR), com a haste de 50 cm, o mesmo obteve uma sensível redução das intensidades máximas. Isto é melhor identificado entre os azimutes 45° e 115° . Os mapas de efeito de multicaminho do ponto HORTO parecem ser os mesmos, já que se pode afirmar que quase não houve diferença alguma, quando realizada a troca da altura da antena. Identificou-se uma discreta diferença a partir do azimute 225° , no mapa com altura da antena em 50 cm.

A FIGURA 115 apresenta os índices de intensidade do efeito de multicaminho para todas as sessões realizadas nos Pilares da BCAL/UFPR. Quando não foi utilizada a haste de 50 cm o Pilar 2000, com a antena do ponto BCAL, obteve média 19 de intensidade, se encaixando na categoria de influência forte, segundo a classificação de Bilajbegović *et al.* (2005) (QUADRO 6, seção 4.3.2). Fazendo uso da haste os dados deste Pilar obtiveram melhora de 28%, sendo classificado com

influência média do efeito de multicaminho, com média do índice de 14. Com a altura da antena em 0 cm e em 50 cm, o Pilar 1000, com a antena utilizada no ponto SANEPAR, atingiu classificação média, para ambas as alturas. A média dos índices foram de 13 e 11, obtendo uma melhora de 13% nos resultados, quando utilizada a haste de 50 cm. O Pilar 3000, com o emprego da antena do ponto HORTO, foi também categorizado como um ponto de forte influência do efeito de multicaminho quando estava com a altura da antena em 0 cm e o mesmo ocorreu quando instalada a haste de 50 cm. A média dos índices foi de 18, para ambas as alturas de antenas, com uma melhora de apenas 2%, quando empregada a maior altura.

O que foi verificado nos mapas de efeito de multicaminho se reflete nos índices de intensidade do erro, mostrando coerência e correlação entre os mapas e os índices.

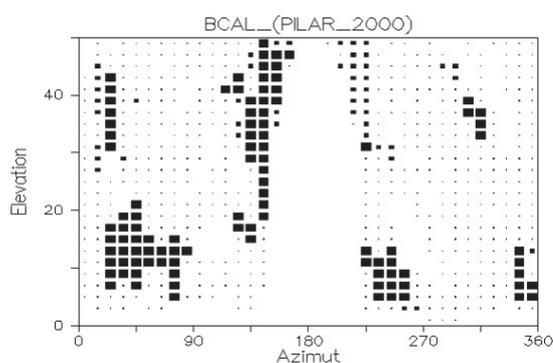


FIGURA 109 – FORMATO VETORIAL DA ANTENA DO PILAR 2000 (BCAL), ALTURA DA ANTENA DE 0 cm

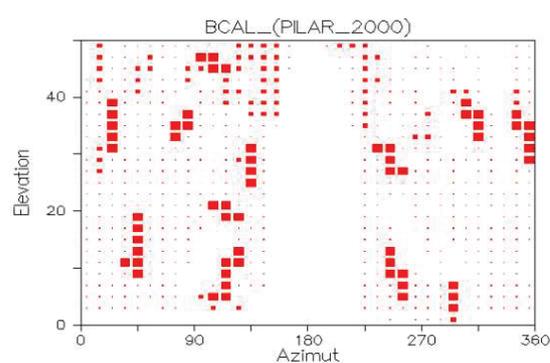


FIGURA 110 – FORMATO VETORIAL DA ANTENA DO PILAR 2000 (BCAL), ALTURA DA ANTENA DE 50 CM

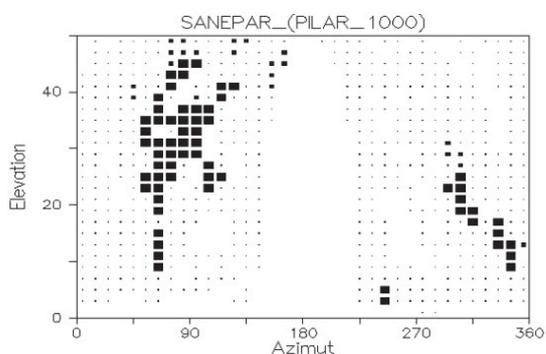


FIGURA 111 – FORMATO VETORIAL DA ANTENA DO PILAR 1000 (SANEPAR), ALTURA DA ANTENA DE 0 cm

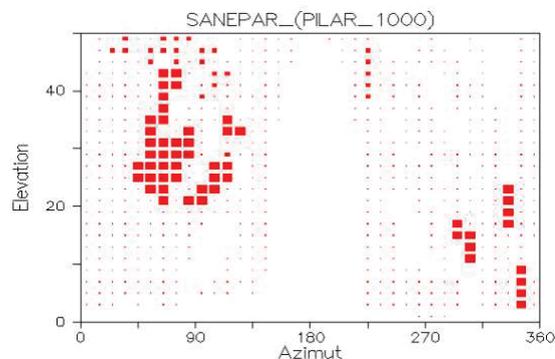


FIGURA 112 – FORMATO VETORIAL DA ANTENA DO PILAR 1000 (SANEPAR), ALTURA DA ANTENA DE 50 cm

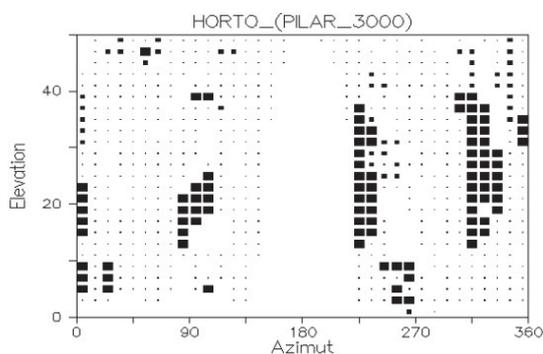


FIGURA 113 – FORMATO VETORIAL DA ANTENA DO PILAR 3000 (HORTO), ALTURA DA ANTENA DE 0 cm

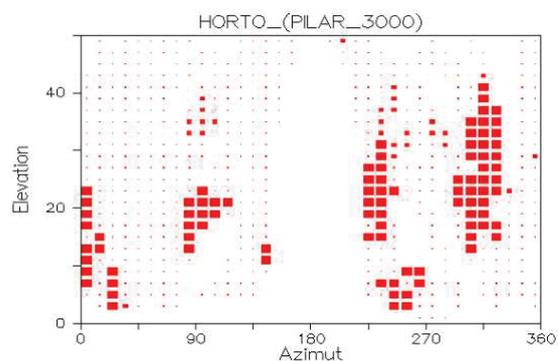


FIGURA 114 – FORMATO VETORIAL DA ANTENA DO PILAR 3000 (HORTO), ALTURA DA ANTENA DE 50 cm

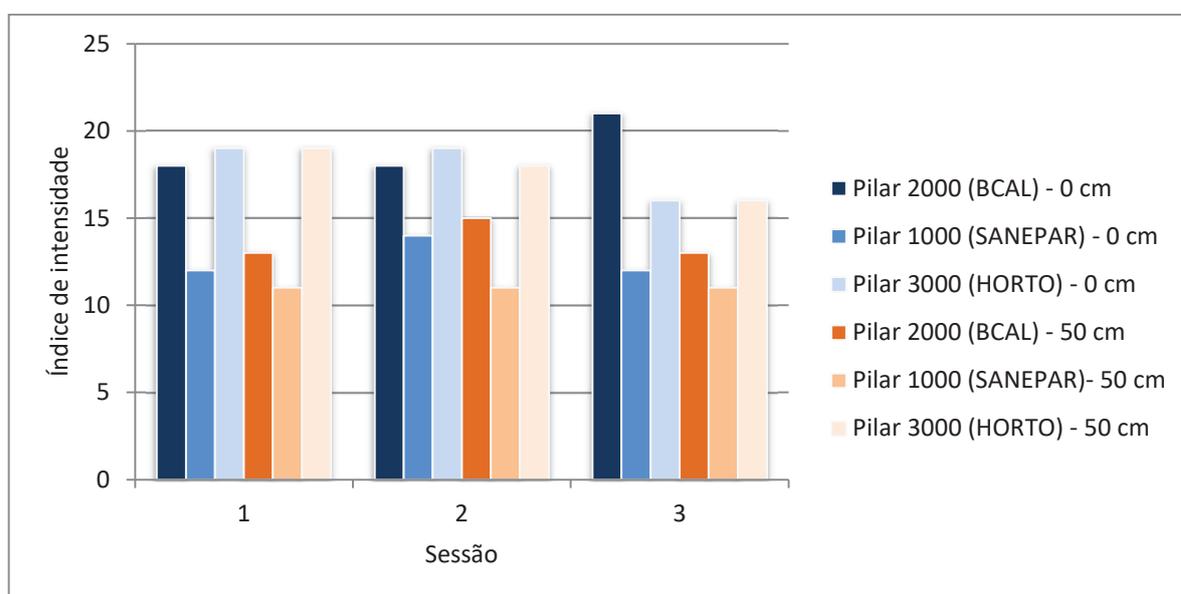


FIGURA 115 – ÍNDICE DE INTENSIDADE: EXPERIMENTO NA BCAL/UFPR COM DIFERENTES ALTURAS DE ANTENAS

Na sequência são apresentados indicadores de qualidade, efeito de multicaminho médios para as ondas portadoras L1 e L2 e as respectivas relações sinais-ruídos, advindos do programa TEQC. A TABELA 20 mostra os resultados quando utilizada a antena com altura de 0 cm. Nela observa-se que o Pilar 3000, com a antena do ponto HORTO, é o mais afetado com o efeito de multicaminho com média, para as três sessões, de 83,66 cm e 90,29 cm, em MP1 e MP2, respectivamente. O Pilar 1000, com a antena empregada nos rastreios do ponto SANEPAR, obteve médias de 65,07 cm e 71,67 cm, em MP1 e MP2,

respectivamente. Os menores erros de multicaminho foram encontrados no Pilar 2000, utilizando a antena do ponto BCAL (mesmo ponto do experimento). As médias para MP1 e MP2 foram de 62,22 cm e 67,90 cm, respectivamente. Todos os valores da razão sinal/ruído seguiram o que a literatura comenta (seção 2.3.1.1 e 4.3.2), destacando que os valores mais baixos estão localizados no ponto HORTO (Pilar 3000). Fazendo uso da haste de 50 cm houve redução de MP1 e MP2 em quase todas as sessões. Conforme a TABELA 21 apresenta, o Pilar 1000, com a antena do ponto SANEPAR, obteve as menores médias, para as três sessões com a haste de 50 cm. Em MP1 a média foi de 52,30 cm e em MP2 a média foi de 68,88 cm. Isto representa uma redução do efeito de multicaminho, entre as médias, de sem e com a haste, de -20%, em MP1, e -4%, em MP2. Este foi o Pilar que atingiu os melhores resultados quando empregada a haste de 50 cm. Os resultados advindos dos rastreios no Pilar 2000 (BCAL), atingiu menores reduções. Cerca de -8%, em MP1, e -7%, em MP2. A antena utilizada neste Pilar é uma antena modelo *Choke Ring 3D*, projetada para a minimização do efeito de multicaminho, assim, há possibilidade de que as reduções, quando empregada a haste de 50 cm, foram menores por se tratar de uma antena com esta característica. Já no Pilar 3000, empregando a antena do ponto HORTO, quando utilizada a haste de 50 cm, o impacto foi inverso, ou seja, o efeito de multicaminho aumentou e a razão sinal/ruído diminuiu. A média em MP1 foi de 92,01 cm, aumento de aproximadamente 10%, e em MP2 a média foi de 100,17 cm, um acréscimo de cerca de 11% no erro.

TABELA 20 – INDICADORES DE QUALIDADE COM ALTURA DA ANTENA EM 0 CM

Ponto	Sessão	MP1 (cm)	MP2 (cm)	SNR1 (dBHz)	SNR2 (dBHz)
Pilar 2000 (BCAL)	1	59,37	68,71	47,27	42,54
	2	61,79	64,61	47,38	42,68
	3	65,52	70,37	47,41	42,80
Pilar 3000 (HORTO)	1	86,07	94,14	43,71	39,52
	2	82,54	83,04	43,90	39,69
	3	82,38	93,69	43,52	39,65
Pilar 1000 (SANEPAR)	1	67,88	72,84	46,04	40,52
	2	65,99	75,75	46,17	40,78
	3	61,32	66,43	46,18	40,83

TABELA 21 – INDICADORES DE QUALIDADE COM ALTURA DA ANTENA EM 50 CM

Ponto	Sessão	MP1 (cm)	MP2 (cm)	SNR1 (dBHz)	SNR2 (dBHz)
Pilar 2000 (BCAL)	1	59,87	62,68	47,40	42,56
	2	57,11	64,10	47,42	42,46
	3	54,70	62,26	47,42	42,50
Pilar 3000 (HORTO)	1	86,62	105,37	43,21	39,11
	2	92,47	90,07	42,79	38,95
	3	96,94	105,06	42,63	38,91
Pilar 1000 (SANEPAR)	1	53,61	68,10	46,14	40,60
	2	53,30	71,11	46,14	40,51
	3	50,00	67,43	46,14	40,48

Em estudos conduzidos na BCAL/UFPR já foi verificado que o Pilar 3000 é o que mais sofre com a influência do efeito de multicaminho, enquanto que o Pilar 2000 é o menos atingido por este erro. Este fato pode ser, novamente, observado neste experimento. Por este motivo foram realizadas comparações, com uma sessão, para ambas as alturas de antenas, com os resultados advindos dos rastreios nos Pilares 2000 e 3000. A seguir são apresentadas, para a portadora L1, a SNR, o MP e a elevação do PRN25, para a terceira sessão de cada altura de antena. Observando a FIGURA 116 e a FIGURA 117, ambas da sessão sem o emprego da haste, e portanto, com a altura da antena em 0 cm, nota-se como de fato os dados adquiridos no Pilar 3000 são mais acometidos com uma variação de amplitude em MP1.

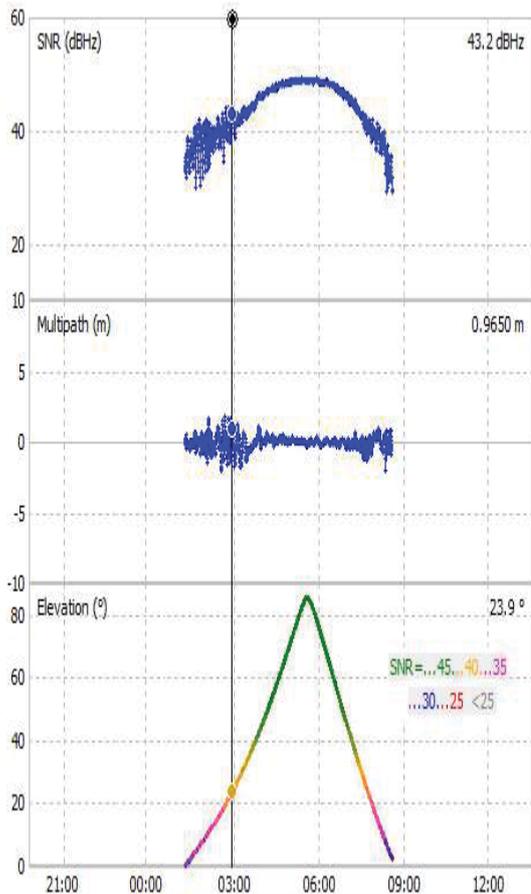


FIGURA 116 – PILAR 3000 (HORTO), SEM HASTE, SESSÃO 3: SNR1, MP1 E ELEVAÇÃO DO PRN25

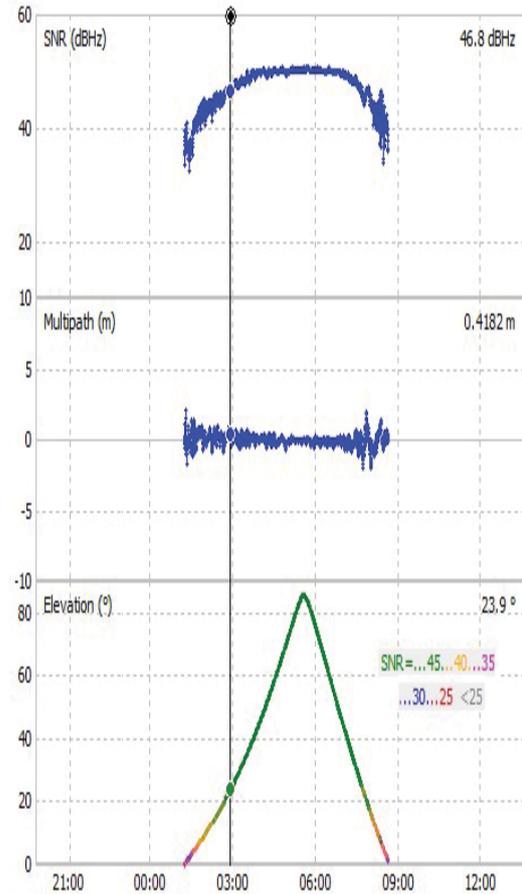


FIGURA 117 – PILAR 2000 (BCAL), SEM HASTE, SESSÃO 3: SNR1, MP1 E ELEVAÇÃO DO PRN25

Destaca-se como, nos dados do Pilar 2000, o gráfico de SNR1 possui a maior parte das observações (acima de 20° de elevação) com SNR acima de 45 dBHz, como pode ser visualizado no gráfico de elevação do PRN25. O mesmo não ocorre com os dados do Pilar 3000. Percebe-se que o arco formado no gráfico de SNR é mais fechado que do gráfico do Pilar 2000. Isto indica que houveram menos observações com SNR acima de 45 dBHz, e portanto o efeito de multicaminho neste Pilar (3000) foi maior. Nos marcadores indicados, em elevação de 23,9°, do PRN25, obteve-se 43,2 dBHz de SNR1 e 96,5 cm em MP1 no Pilar 3000, enquanto que no Pilar 2000, atingiu-se, para o mesmo satélite e elevação, 46,8 dBHz de SNR1 e 41,82 cm em MP1.

A FIGURA 118 e a FIGURA 119 apresentam os mesmos indicadores, já anteriormente comentados, quando utilizada a haste de 50 cm.

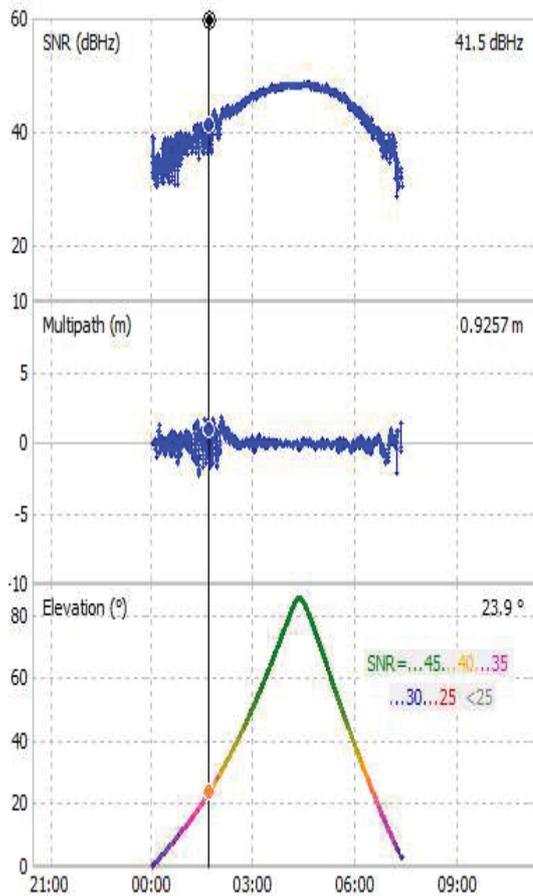


FIGURA 118 – PILAR 3000 (HORTO), COM HASTE, SESSÃO 3: SNR1, MP1 E ELAVAÇÃO DO PRN25

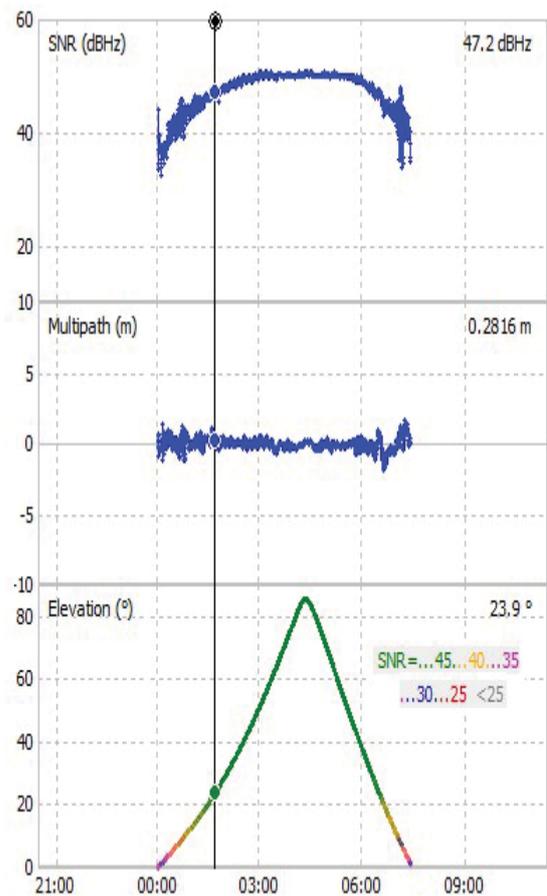


FIGURA 119 – PILAR 2000 (BCAL), COM HASTE, SESSÃO 3: SNR1, MP1 E ELAVAÇÃO DO PRN25

Verifica-se que nos dados advindos do rastreamento no Pilar 2000, os resultados são melhores que quando não foi utilizada a haste. Isto pode ser notado facilmente no gráfico de SNR1, em conjunto com o gráfico de elevação, obteve-se mais observações com SNR acima de 45 dBHz, do que com a altura da antena em 0 cm. Apesar dos indicadores do Pilar 3000 (antena do ponto HORTO), na TABELA 21, não apresentarem melhora quando usada a haste, percebe-se que houve uma sensível melhora na razão sinal/ruído, obtendo-se, agora, um gráfico não tão fechado, indicando SNR mais elevadas que antes. No mesmo marcador, no PRN25 e elevação em 23,9°, nota-se que houve uma discreta melhora em MP1, para o Pilar 3000, atingindo o valor de 92,57 cm. O MP1 do Pilar 2000 obteve significativa redução neste marcador, alcançando o valor de 28,16 cm.

O indicador O/SLPS (seção 4.3.2), como já comentado anteriormente, relaciona o número total de observações com o total de perdas de ciclos. Portanto,

quanto maior o valor deste indicador, melhor. Assim, na FIGURA 120 são apresentados os indicadores para todas as sessões, para ambas as alturas de antenas. Relacionando a TABELA 20 e a TABELA 21 com a FIGURA 120, nota-se que quando analisado a antena do ponto HORTO (Pilar 3000) o indicador O/SLPS está de acordo com os valores das tabelas. Onde, os valores de MP1 e MP2, com a antena com altura de 0 cm, obteve resultados melhores que quando utilizada a haste de 50 cm. O mesmo não ocorreu com a primeira e segunda sessão, de ambas as alturas de antena, para o Pilar 2000 (antena do ponto BCAL) e Pilar 1000 (antena do ponto SANEPAR). Para estes dados advindos dos rastreios nestes Pilares, o indicador O/SLPS foi melhor quando não foi empregada a haste, sendo que os valores de MP1 e MP2 não mostram o mesmo. Quando não foi utilizada a haste, foram obtidas mais observações e o número total de perdas de ciclo não acompanhou o aumento do número total de observações. Assim, o indicador O/SLPS só está corretamente relacionado com os valores do Pilar 3000. Portanto, observando somente o indicador O/SLPS pode-se obter uma falsa informação de que determinados dados são melhores que um segundo conjunto de dados. Nota-se que o ideal é a realização da análise em conjunto.

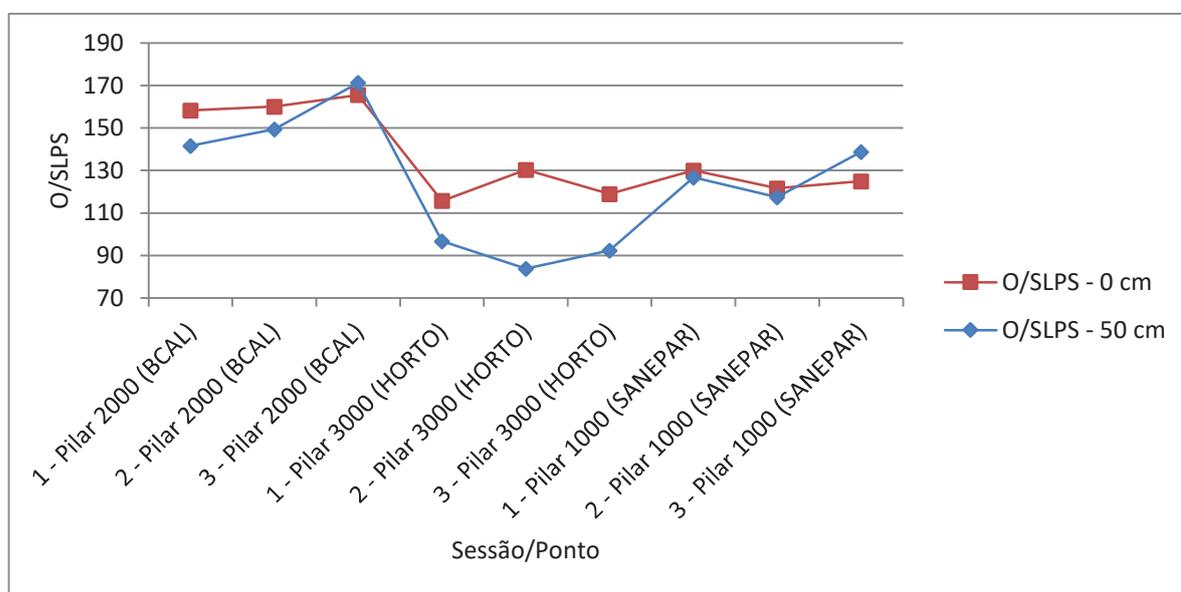


FIGURA 120 – INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES ALTURAS DE ANTENAS

Neste experimento foi possível notar que o aumento da altura da antena e, conseqüentemente, o aumento da distancia da superfície imediatamente abaixo da

antena, que causa reflexão nos sinais eletromagnéticos, não necessariamente foi eficaz na minimização do efeito de multicaminho. *A priori*, já era de conhecimento que o Pilar 3000 sofre maior influência deste erro, e os dados advindos deste Pilar obtiveram não uma redução do erro, mas sim um aumento significativo de cerca de 10% em MP1 e MP2. Nos outros Pilares, onde o efeito de multicaminho foi, nos experimentos, sempre menor que 75 cm, houve um ganho médio de 9%, quando utilizada a haste.

5.2.2 Rede Interna

A qualidade dos dados GPS está inerentemente ligada ao ambiente do entorno do ponto rastreado. Uma área urbana contém muitos obstáculos onde os sinais eletromagnéticos dos satélites GPS podem sofrer algum desvio. Nesse contexto e como descrito na seção 4.3.2, aqui são apresentados os resultados provenientes da análise de qualidade das observações GPS dos pontos da Rede Interna.

Como mencionado na metodologia (seção 4.3.2) a análise da Rede Interna consiste nas diferentes máscaras de elevação empregadas, 10°, 15°, 17° e 20°. Esta rede possui um total de 24 pontos, com observações em seis campanhas, e foram testadas quatro máscaras de elevação, conduzindo a um total de aproximadamente 576 resultados de MP1, MP2, SNR1, SNR2, números de observações, IOD/MP e O/SLPS. Diante da inviabilidade de expor todos os resultados individuais, inicialmente são apresentadas as médias para cada máscara de elevação.

A TABELA 22 traz as médias para a máscara de elevação de 10°. Nela verifica-se que o ponto M11 obteve média de 27,51 cm em MP1 e MP2. Esta é a média mais baixa entre os pontos da Rede Interna, quando empregada a máscara de elevação de 10°. Como as perdas de ciclo são relacionadas ao efeito de multicaminho, observa-se que este ponto também atingiu a menor média de perdas de ciclos, somente 2. Isto também se reflete no indicador O/SLPS, totalizando em uma média de 1905, segunda melhor média dentre os pontos com esta máscara de elevação. O oposto ocorreu no ponto M16, a média em MP1 e MP2 foi de 55,11 cm.

O indicador O/SLPS acompanhou o resultado do efeito de multicaminho, atingindo valor de somente 191.

TABELA 22 – MÉDIA DOS INDICADORES DE QUALIDADE PARA MÁSCARA DE 10°

Ponto	MP1 (cm)	MP2 (cm)	SNR1 (dBHz)	SNR2 (dBHz)	Observações	IOD/MP	O/SLPS
M01	38,67	45,76	47,21	38,72	2926	10	794
M02	41,86	48,35	47,38	38,76	2879	7	1093
M03	44,88	49,42	45,73	37,91	3038	12	463
M04	48,29	55,73	46,86	38,64	2906	17	243
M05	46,62	51,13	45,96	36,75	3043	16	215
M06	48,83	58,21	46,15	38,40	2431	9	459
M07	50,30	51,75	46,28	40,18	3003	22	678
M08	34,73	37,07	47,12	40,07	3234	18	244
M09	30,59	35,08	47,10	40,81	2678	7	1095
M10	30,44	33,88	48,34	39,03	3027	3	1919
M11	22,19	32,83	47,50	40,98	2627	2	1905
M12	41,80	45,43	48,80	38,64	3122	12	525
M13	35,71	38,07	48,93	39,70	2684	12	408
M14	50,14	47,96	47,07	39,23	2895	31	142
M15	44,33	43,35	48,93	39,35	2765	11	727
M16	40,50	69,71	47,07	39,17	3024	18	191
M17	49,07	57,75	47,02	38,65	3058	10	339
M18	40,24	54,36	48,20	38,64	2938	17	218
M19	39,48	41,01	46,78	37,43	3056	6	716
M20	42,00	48,22	46,86	37,23	2678	10	458
M21	49,44	50,40	45,53	37,65	2986	7	927
M22	41,87	47,35	46,25	38,47	2843	10	403
MARCO 1	49,39	58,17	46,27	37,59	3238	15	251
MARCO 2	45,03	49,58	46,60	37,86	2892	17	227

Com a segunda máscara de elevação (15°) foram geradas as médias para cada ponto, utilizando para tanto todas as seis campanhas. Estes resultados são encontrados na TABELA 23. O ponto com a maior média, considerando MP1 e MP2, é o M06, com valor de 51,11 cm. Obteve ainda 7 perdas de ciclos e atingiu o valor de 497 no indicador O/SLPS, o quinto indicador mais baixo. Em contrapartida o ponto com melhor indicador O/SLPS foi o M11. Ele assumiu a menor média de MP1 e MP2, com o valor de 23,09 cm, e um dos valores mais altos de razão sinal/ruído. Este ponto obteve melhora de 15,2% nos indicadores MP1 e MP2, redução de 50% nas perdas de ciclos e melhora de 26,2% no indicador O/SLPS.

TABELA 23 – MÉDIA DOS INDICADORES DE QUALIDADE PARA MÁSCARA DE 15°

Ponto	MP1 (cm)	MP2 (cm)	SNR1 (dBHz)	SNR2 (dBHz)	Observações	IOD/MP	O/SLPS
M01	36,82	42,94	47,66	39,30	2632	7	759
M02	39,37	45,17	48,28	39,62	2622	2	2048
M03	43,82	46,72	46,28	38,33	2719	6	793
M04	43,47	52,24	47,48	39,36	2629	12	424
M05	41,13	46,04	46,57	37,36	2788	11	323
M06	46,12	56,09	46,52	38,60	2219	7	497
M07	42,59	44,58	105,81	93,27	2697	12	845
M08	30,46	30,95	47,83	40,79	2931	5	1316
M09	26,23	30,75	47,80	41,59	2414	2	1992
M10	27,74	30,68	49,07	39,92	2722	2	2395
M11	19,83	26,34	48,07	41,67	2405	1	2405
M12	35,59	38,78	49,50	39,41	2822	3	1914
M13	32,25	33,19	50,00	40,88	2406	2	1900
M14	45,56	43,14	47,75	39,80	2601	17	833
M15	36,33	37,43	49,86	40,50	2529	4	1305
M16	35,02	54,40	47,84	39,99	2707	3	1330
M17	44,08	50,62	47,75	39,54	2746	5	917
M18	34,06	39,68	49,41	40,03	2652	6	797
M19	33,74	35,21	47,45	38,12	2761	3	1623
M20	39,50	44,11	47,79	38,31	2437	7	700
M21	46,33	43,17	46,22	38,41	2687	3	1433
M22	38,09	41,81	46,79	39,04	2569	6	1023
MARCO 1	46,47	51,35	47,03	38,41	2896	11	311
MARCO 2	41,53	46,92	47,11	38,37	2640	14	267

Com a aplicação da máscara de elevação de 17° novamente o ponto M11 possui a menor média do efeito de multicaminho. Conforme mostra a TABELA 24, a média de MP1 e MP2 para este ponto é de 22,09 cm. Melhora média de 14,8% e 23%, em MP1 e MP2, respectivamente. A razão sinal/ruído acompanha esta evolução e apresenta que houve melhora média de 2,1%. Em compensação o ponto M06 continua a ser o ponto com a maior média do erro de multicaminho. Porém ainda assim obteve melhora média de 7,4% e 1,1%, nos indicadores de MP e SNR, respectivamente. Para ambos os pontos o indicador O/SLPS sofreu aumento significativo. Com relação aos resultados quando utilizada a máscara de elevação de 10°, o índice do ponto M06 melhorou 55,4% e o do ponto M11 21%.

TABELA 24 – MÉDIA DOS INDICADORES DE QUALIDADE PARA MÁSCARA DE 17°

Ponto	MP1 (cm)	MP2 (cm)	SNR1 (dBHz)	SNR2 (dBHz)	Observações	IOD/MP	O/SLPS
M01	35,21	41,18	47,95	39,61	2533	3	1406
M02	38,16	42,79	48,73	40,09	2509	1	2229
M03	41,70	45,05	46,71	38,69	2595	3	1462
M04	42,56	51,11	47,82	39,69	2498	11	424
M05	39,93	44,41	46,87	37,64	2675	10	657
M06	45,01	54,13	46,70	38,75	2138	7	713
M07	40,58	41,18	47,18	41,11	2570	8	1850
M08	27,87	30,11	48,05	41,01	2830	3	1508
M09	24,87	29,63	48,02	41,86	2322	1	1964
M10	26,35	29,33	49,36	40,27	2618	2	2305
M11	18,90	25,28	48,32	41,98	2306	1	2306
M12	34,11	37,13	49,80	39,78	2720	2	2275
M13	30,00	31,07	50,29	41,28	2312	1	2312
M14	44,00	41,44	48,08	40,08	2480	14	918
M15	34,24	34,97	50,34	41,14	2415	1	2165
M16	30,56	37,97	48,18	40,42	2572	1	2089
M17	40,80	47,27	48,01	39,88	2621	4	931
M18	32,11	36,38	49,96	40,67	2523	4	1451
M19	31,40	33,28	47,77	38,47	2663	2	2148
M20	37,50	42,26	48,24	38,70	2338	4	1293
M21	45,13	41,12	46,43	38,64	2571	2	1757
M22	36,98	39,52	47,11	39,45	2475	5	1009
MARCO 1	45,38	49,38	47,40	38,88	2758	8	368
MARCO 2	39,66	45,45	47,37	38,63	2534	11	404

As médias dos indicadores quando empregada a máscara de elevação de 20° são apresentadas na TABELA 25. Nela percebe-se que mesmo com a mudança da máscara de elevação, os pontos M06 e M11 continuam em destaque. O ponto M06 alcançou melhora média de 13% em MP1 e MP2, atingindo o valor médio de 46,52 cm. O M06 obteve o melhor valor de efeito de multicaminho, com média de 20,88 e isto significa uma melhora de 23,2%, quando comparado com a média obtida com a máscara de 10°.

TABELA 25 – MÉDIA DOS INDICADORES DE QUALIDADE PARA MÁSCARA DE 20°

Ponto	MP1 (cm)	MP2 (cm)	SNR1 (dBHz)	SNR2 (dBHz)	Observações	IOD/MP	O/SLPS
M01	32,68	38,53	48,46	40,31	2368	2	1529
M02	35,85	40,66	49,17	40,67	2349	1	2156
M03	38,55	42,38	47,31	39,40	2402	1	2402
M04	41,51	48,50	48,09	40,03	2338	9	484
M05	38,16	42,20	47,34	38,10	2506	9	672
M06	43,06	49,98	47,05	38,96	2016	3	935
M07	37,40	38,21	47,59	41,53	2378	5	1726
M08	26,77	28,33	48,37	41,34	2672	1	2672
M09	22,50	27,84	48,31	42,21	2187	1	1855
M10	24,67	27,76	49,84	40,86	2453	2	2169
M11	18,09	23,67	48,65	42,40	2163	1	2163
M12	31,56	34,06	50,22	40,36	2559	1	2559
M13	27,91	29,38	50,59	41,77	2181	1	2181
M14	40,22	39,13	48,52	40,60	2298	11	857
M15	32,11	33,56	50,83	41,82	2269	1	2269
M16	24,53	26,31	48,79	41,21	2368	1	2368
M17	35,41	41,84	48,43	40,47	2436	2	1695
M18	29,96	32,80	50,40	41,37	2346	3	1486
M19	29,18	31,46	48,27	39,01	2506	2	2249
M20	35,39	39,72	48,75	39,33	2207	2	1740
M21	41,15	37,98	46,72	39,04	2388	2	1737
M22	35,62	38,00	47,57	39,94	2326	3	1455
MARCO 1	43,33	46,85	48,03	39,61	2547	7	491
MARCO 2	36,50	41,03	47,85	39,11	2368	8	467

Como visto na seção 4.3.2 o indicador O/SLPS relaciona o número de observações com as perdas de ciclos. A quantidade de observações está diretamente relacionada com o tempo de rastreio. Neste sentido a média de tempo dos rastreios da Rede Interna foi de 83 minutos, conforme a TABELA 3 da seção 4.3.1.1. Além disto, como também comentado na seção 2.3.1.2, as perdas de ciclos estão diretamente vinculadas ao efeito de multicaminho. Assim, o indicador O/SLPS é uma forma de apresentar a qualidade das observações de maneira individual. Gráficos deste indicador para cada ponto em cada campanha, para as diferentes máscaras de elevação utilizadas, podem ser visualizados na FIGURA 121, FIGURA 122, FIGURA 123, FIGURA 124, FIGURA 125 e FIGURA 126.

No caso da 1ª Campanha nota-se que há pontos que mesmo com o corte das observações em maior ângulo de elevação, ainda sim, continuam com os

indicadores O/SLPS em níveis baixos. Este é o caso dos pontos M20, M21, M22, MARCO 1 e MARCO 2. Nota-se que os valores de O/SLPS da 2ª Campanha, conforme a FIGURA 122 apresenta, têm no geral patamares mais baixos que os demais gráficos. Isto ocorreu devido a alta atividade solar nesta campanha. Conforme a FIGURA 103 (seção 5.2.1), onde são apresentados os números de manchas solares por campanha, verifica-se que a 2ª Campanha atingiu o maior número dentre todas as efetuadas, fator que influenciou na qualidade das observações desta campanha. A 3ª e 5ª Campanhas (FIGURA 123 e FIGURA 125) obtiveram valores similares, com valores de O/SLPS melhores que os das campanhas anteriormente comentadas. Nota-se melhoras significativas, quando empregada a máscara de elevação de 15°, 17° e 20° nos pontos M08, M09, M12, M14, M15, M16 e M19. Para estes pontos pode-se afirmar que qualquer uma destas máscaras é melhor que a de 10°. Conforme a FIGURA 124, com os indicadores de O/SLPS da 4ª Campanha, os pontos M02, M10, M11, M12, M13, M15 e M16 obtiveram melhora significativa quando empregada a máscara de elevação de 15°, quando comparada com a de 10°. Na 6ª Campanha (FIGURA 126), os pontos M10 e M11 alcançaram o melhor índice de O/SLPS quando empregada a máscara de 10°. Exceções quando comparados com os demais pontos.

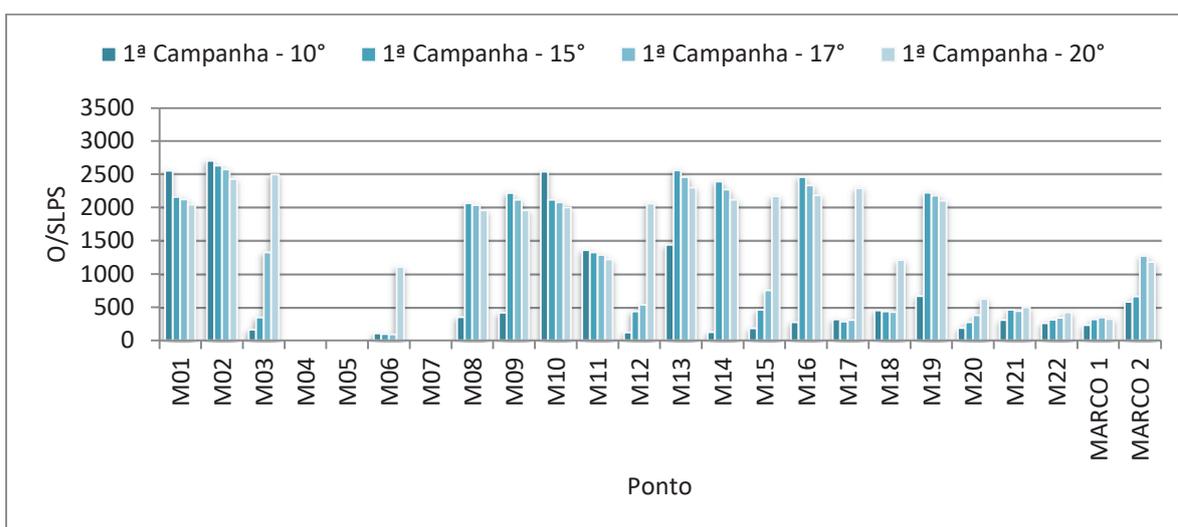


FIGURA 121 – 1ª CAMPANHA: INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES MÁSCARAS

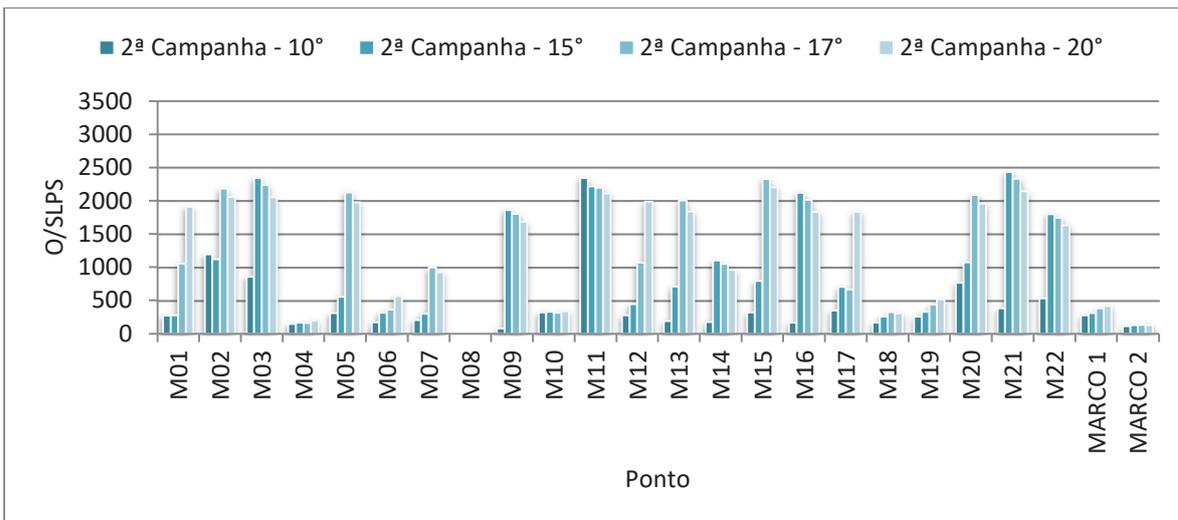


FIGURA 122 – 2ª CAMPANHA: INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES MÁSCARAS

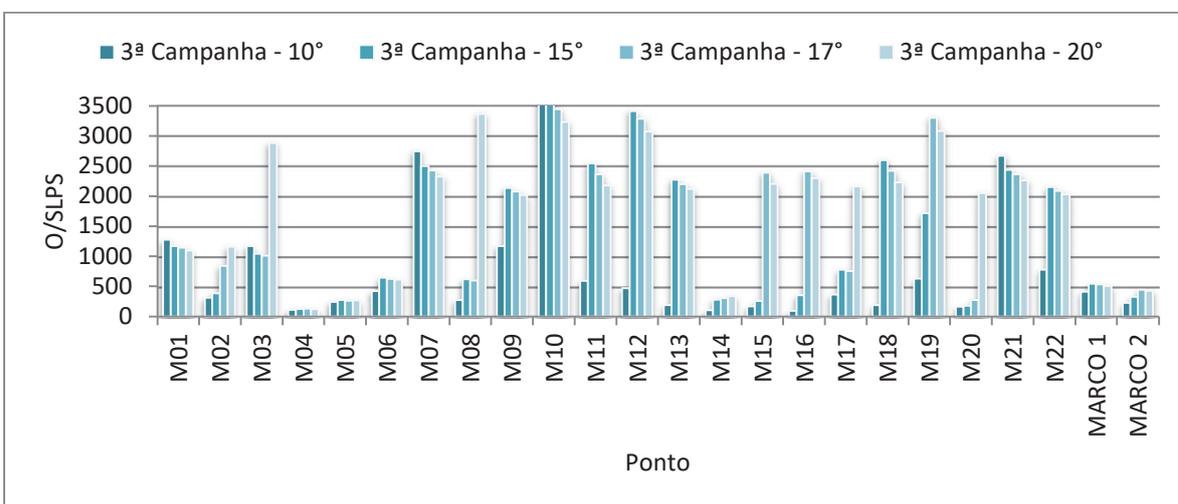


FIGURA 123 – 3ª CAMPANHA: INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES MÁSCARAS

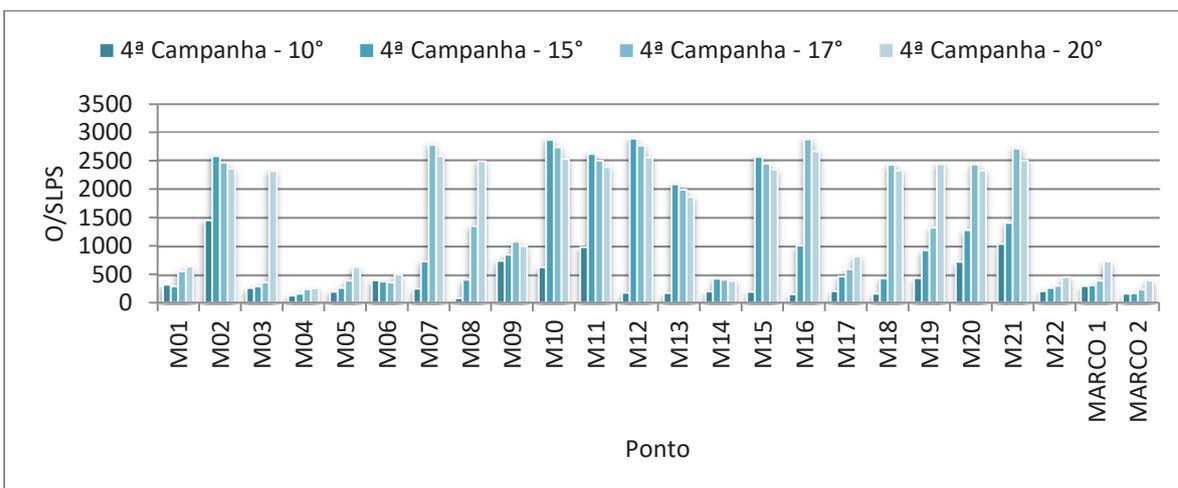


FIGURA 124 – 4ª CAMPANHA: INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES MÁSCARAS

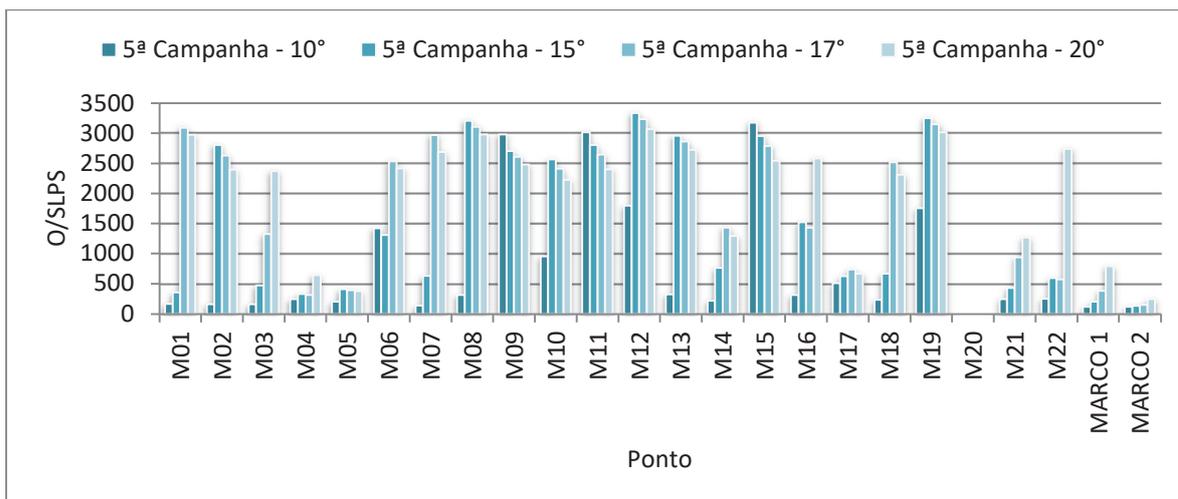


FIGURA 125 – 5ª CAMPANHA: INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES MÁSCARAS

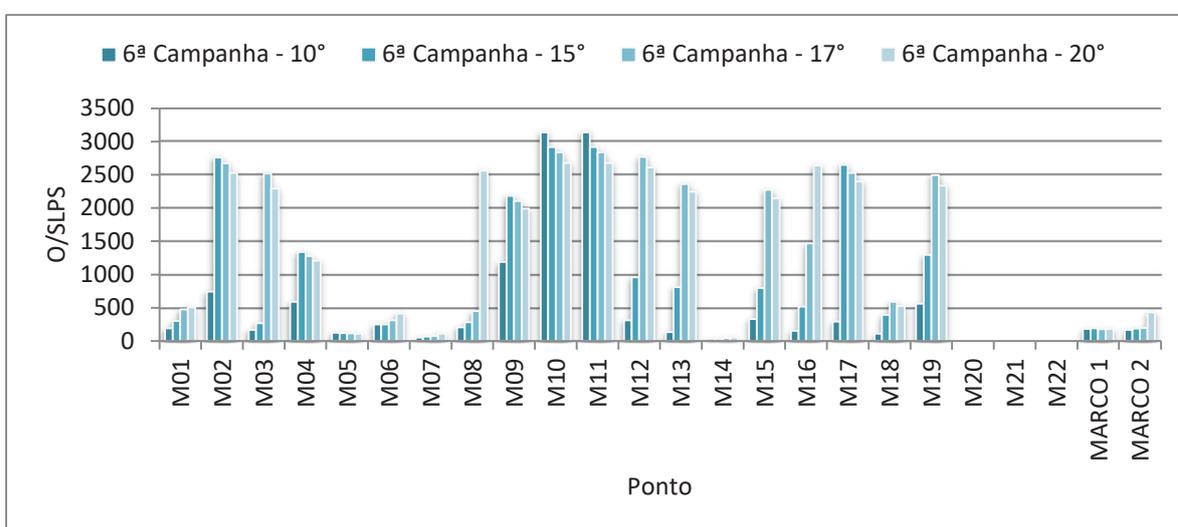


FIGURA 126 – 6ª CAMPANHA: INDICADOR O/SLPS COM DIFERENTES MÁSCARAS

Na FIGURA 127 é possível visualizar a média geral, para cada ponto, do indicador O/SLPS. Nele observa-se que seis pontos se destacam por atingir menos que o valor 700 no índice. Estes são os pontos M04, M05, M06, M14, MARCO 1 e MARCO 2. Eles também são os pontos que obtiveram, na média geral, entre 10 e 18 perdas de ciclos. Todos os outros pontos garantiram menos que 7 perdas de ciclos, na média geral. Considerando a média de MP pode-se afirmar que o MARCO 1 detêm as maiores influências do efeito de multicaminho, com média de 46,14 cm e 51,44 cm, em MP1 e MP2, respectivamente. Este, assim como o MARCO 2, foram materializados em um local com uma cobertura metálica de uma escola a menos de 50 metros de distância. Esta pode ser a razão para os elevados índices.

Os pontos M10 e M11 são os que menos sofrem com o efeito de multicaminho, e têm melhores indicadores de qualidade. Ambos obtiveram média de O/SLPS de 2197 e 2195, respectivamente. A razão sinal/ruído acompanha os resultados expostos, e estes pontos possuem as maiores médias de SNR. O ponto M10 possui média de 2 perdas de ciclos, concomitantemente o ponto M11 possui média de apenas 1 perda de ciclo. A localização destes pontos de fato é mais favorável que a dos demais, não existindo obstruções tão próximas quanto há para os outros pontos da Rede Interna.

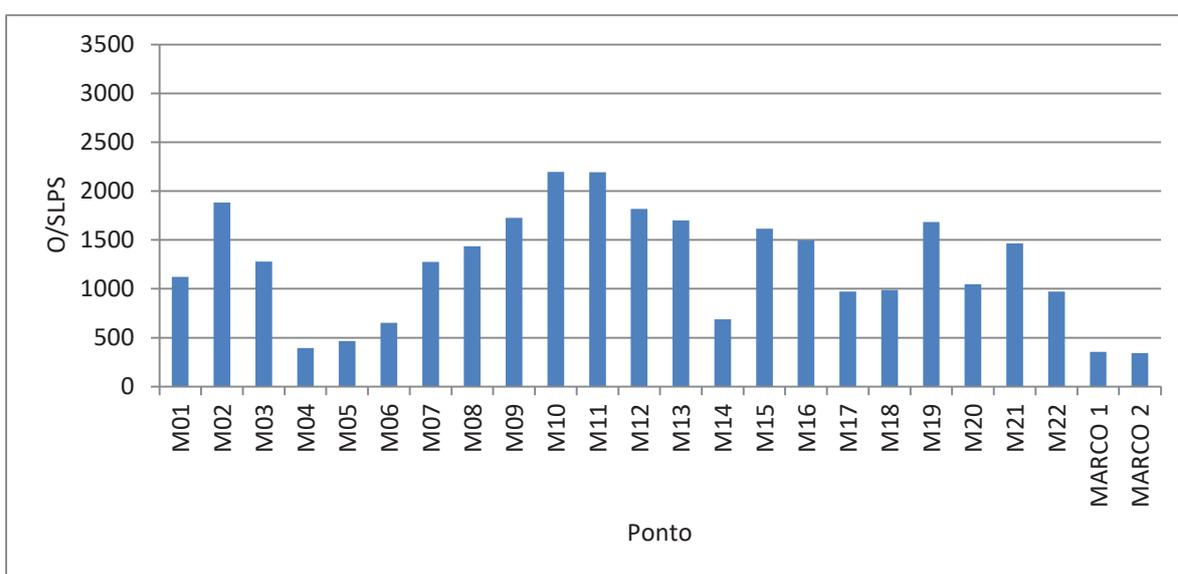


FIGURA 127 – MÉDIA GERAL DO INDICADOR O/SLPS

Como visto nos resultados já apresentados, os pontos M06 e M11 se destacaram opostamente. É de conhecimento que com o aumento do ângulo de elevação da máscara o número de observações diminui e por consequência, por vezes, algum satélite pode ser excluído, por estar abaixo da máscara de elevação. Assim, a decorrência deste processo pode ser o aumento dos indicadores de diluição da precisão. Gráficos dos DOPs, destes pontos, na 2ª Campanha, para as diversas máscaras de elevação utilizadas, podem ser visualizados da FIGURA 128 à FIGURA 135. Analisando os dados do ponto M06 nota-se que, quando empregada a máscara de 10°, o DOP máximo foi de 3,2 de GDOP, sendo o VDOP de 2,3. Quando se fez uso de uma máscara mais elevada, 17° o GDOP saltou para 5,7, assim como o VDOP foi para 4,1. Aumento significativo também ocorreu quando empregada a

máscara de 20°. Comparando os gráficos de máscara de elevação de 10° e 20° nota-se que, com esta última foram cortadas as observações de dois satélites. Com o ponto M11, o que sofreu menos influência do efeito de muticaminho, na média geral das campanhas, não foi diferente, no entanto, os aumentos não são tão expressivos. Nota-se que o VDOP, quando utilizada a máscara de 10°, foi de 1,9, enquanto que com o corte na elevação de 20°, o valor deste DOP foi de 2,2. Quando utilizada a máscara de 10°, pode-se observar que foram coletadas 56 épocas com 6 satélites, 16,6% do total. No aumento do ângulo de corte (20°) com os mesmos 6 satélites foram armazenadas 198 épocas, 58,6% do total.

Com o exposto verificou-se que em locais onde existem maior probabilidade de se obter observações com qualidade não tão boas, ou seja, muitas perdas de ciclos, MP1 e MP2 elevados, baixos valores de SNR e do indicador O/SLPS, o emprego de uma máscara de elevação maior pode não garantir melhoria nas observações GPS.

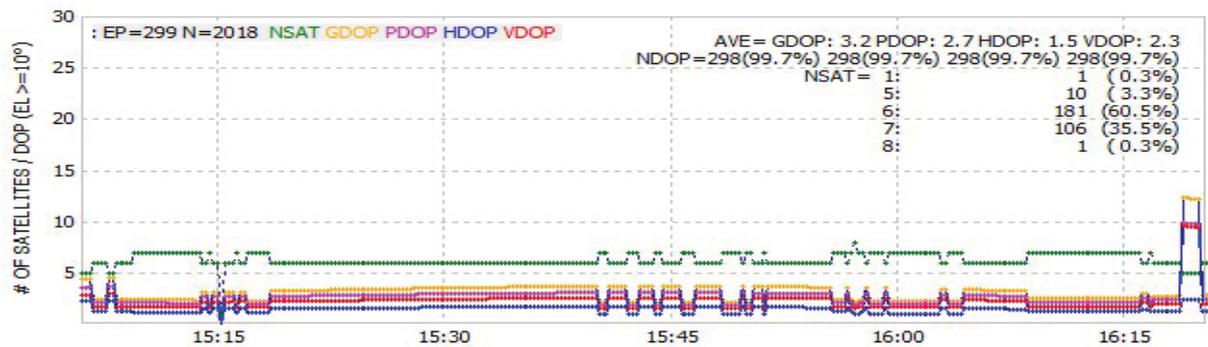


FIGURA 128 – PONTO M06, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 10°

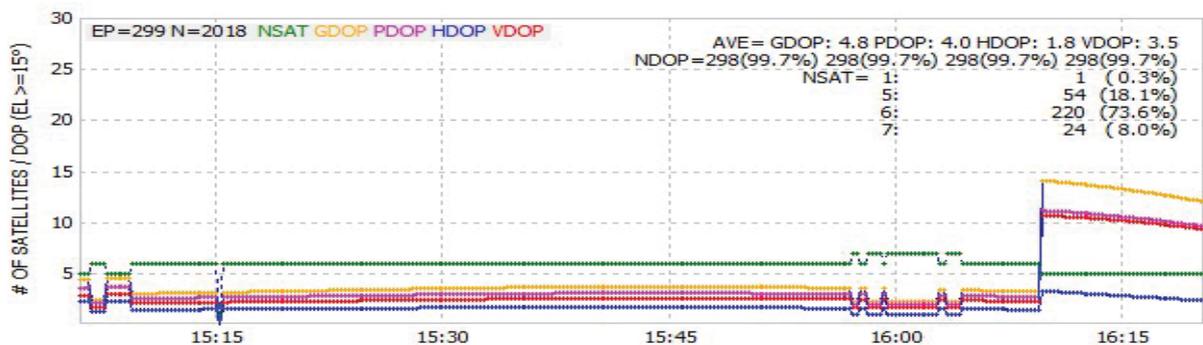


FIGURA 129 – PONTO M06, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 15°

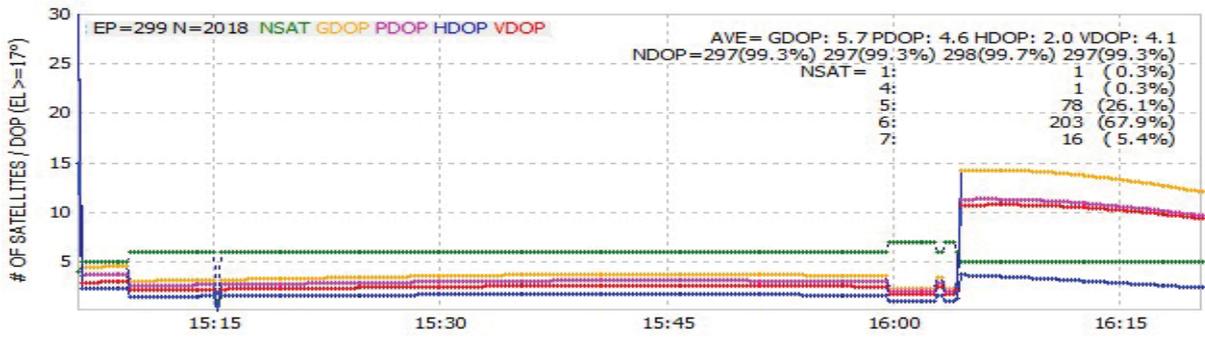


FIGURA 130 – PONTO M06, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 17°

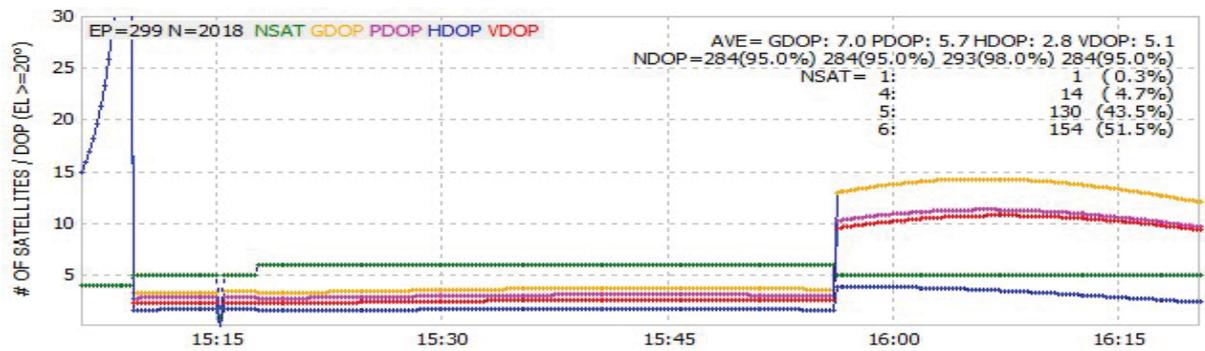


FIGURA 131 – PONTO M06, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 20°

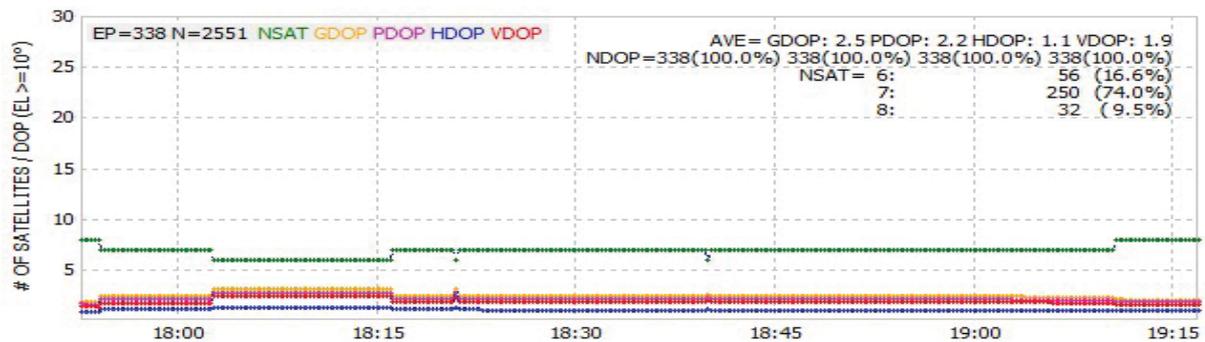


FIGURA 132 – PONTO M11, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 10°

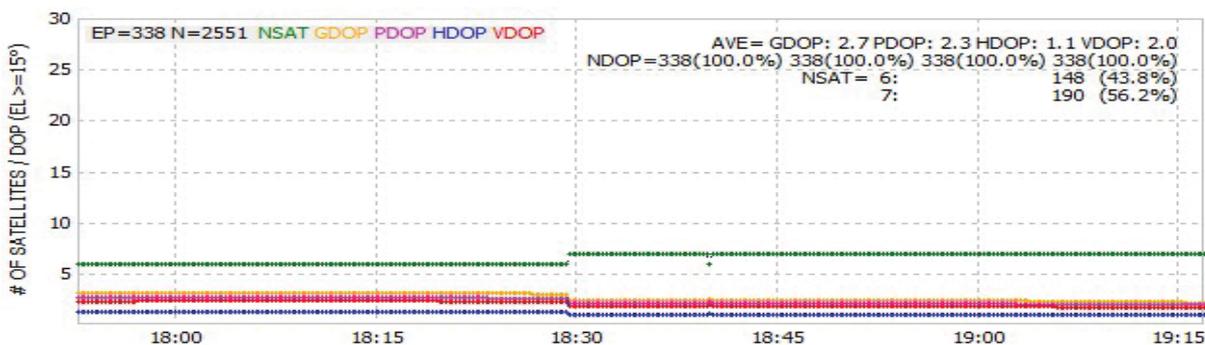


FIGURA 133 – PONTO M11, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 15°

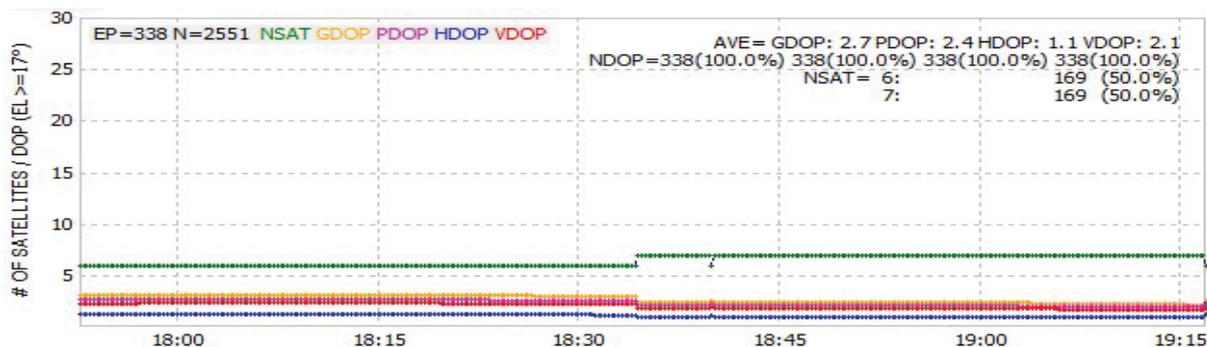


FIGURA 134 – PONTO M11, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 17°

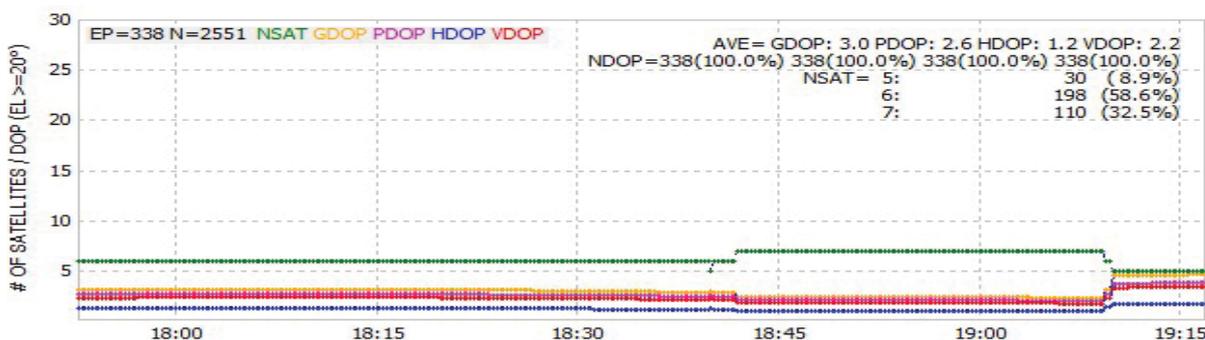


FIGURA 135 – PONTO M11, 2ª CAMPANHA: MÁSCARA DE 20°

Para as máscaras de elevação de 15°, 17° e 20° foram geradas percentagens de ganho (TABELA 26, TABELA 27 e TABELA 28) em relação aos resultados quando empregada a máscara de 10°, utilizando para tanto a média de todos os pontos por campanha. Nota-se que os valores de MP2 obtêm melhores ganhos que comparados com os de MP1, chegando a atingir 26,9%, quando empregada a máscara de 20°. Os ganhos de SNR1 e SNR foram discretos, mas acompanharam os valores de MP1 e MP2, aumentando se o efeito de multicaminho diminuiu e vice versa. Como citado anteriormente, conforme o ângulo de corte é elevado, o número de observações decai gradativamente. Isto pode agravar uma situação que já não é favorável. O indicador O/SLPS, como já visto em exceções, pode atingir melhores resultados quando utilizadas máscaras de menor ângulo de elevação. Isto está totalmente relacionado com o número de observações. Em contrapartida não se notou aumento do número de perdas de ciclos quando aumentada a máscara de elevação.

TABELA 26 – MÉDIA DE GANHO (%) QUANDO EMPREGADA A MÁSCARA DE 15°

Ponto	MP1	MP2	SNR1	SNR2	Observações	IOD/MP	O/SLPS
1ª Campanha	-9,6	-12,9	1,6	1,9	-10,0	-51,0	71,2
2ª Campanha	-9,4	-10,2	1,2	1,4	-9,5	-51,5	120,2
3ª Campanha	-9,6	-11,9	1,9	2,7	-10,0	-52,2	72,9
4ª Campanha	-13,6	-14,7	1,6	2,2	-9,5	-54,5	170,2
5ª Campanha	-8,8	-10,1	1,0	1,2	-9,6	-60,7	86,3
6ª Campanha	-8,3	-12,4	1,5	2,0	-9,3	-37,8	76,1

TABELA 27 – MÉDIA DE GANHO (%) QUANDO EMPREGADA A MÁSCARA DE 17°

Ponto	MP1	MP2	SNR1	SNR2	Observações	IOD/MP	O/SLPS
1ª Campanha	-14,3	-19,3	2,0	2,3	-13,0	-59,8	80,6
2ª Campanha	-13,7	-14,8	1,5	1,8	-13,0	-65,0	204,7
3ª Campanha	-13,7	-19,1	2,6	3,8	-13,7	-64,3	101,5
4ª Campanha	-18,9	-20,2	2,4	3,2	-13,5	-69,5	277,2
5ª Campanha	-13,2	-14,3	1,5	1,8	-13,9	-74,2	135,1
6ª Campanha	-11,5	-16,5	2,2	3,0	-13,3	-52,4	153,4

TABELA 28 – MÉDIA DE GANHO (%) QUANDO EMPREGADA A MÁSCARA DE 20°

Ponto	MP1	MP2	SNR1	SNR2	Observações	IOD/MP	O/SLPS
1ª Campanha	-19,4	-26,9	2,6	3,1	-17,9	-78,4	126,5
2ª Campanha	-20,9	-21,9	2,2	2,7	-19,1	-70,5	220,4
3ª Campanha	-18,4	-23,6	3,5	5,3	-18,5	-71,9	135,4
4ª Campanha	-25,3	-25,3	3,4	4,7	-19,3	-79,4	317,1
5ª Campanha	-19,3	-21,0	2,3	2,7	-20,1	-82,5	151,0
6ª Campanha	-18,5	-23,7	3,3	4,8	-19,3	-65,2	170,8

Para visualização geral dos indicadores de qualidade expostos, os gráficos de ganho médio, quando comparadas as máscaras de elevação de 15°, 17° e 20° com os resultados do corte de 10°, para todos os pontos e todas as campanhas são apresentados na FIGURA 136 e FIGURA 137. Quando empregada a máscara de elevação de 20° observa-se expressivos ganhos em relação aos indicadores de MP1, MP2, no número de perdas de ciclos e no índice de O/SLPS. Porém, há que se considerar a percentagem da redução das observações quando empregada esta máscara. A percentagem de ganho em MP1 e de perdas de observações obtiveram o mesmo patamar, cerca de 20%. Quando comparado os mesmos indicadores, no entanto, com a máscara de elevação de 17°, este patamar recuou 5%. Como visto, anteriormente, que para pontos com obstruções elevadas e com baixa qualidade nos dados, a quantidade de observações pode ser fundamental. Assim, diante da análise

realizada pode-se concluir que máscara de elevação 15° pode conduzir a resultados de coordenadas geodésicas mais confiáveis.

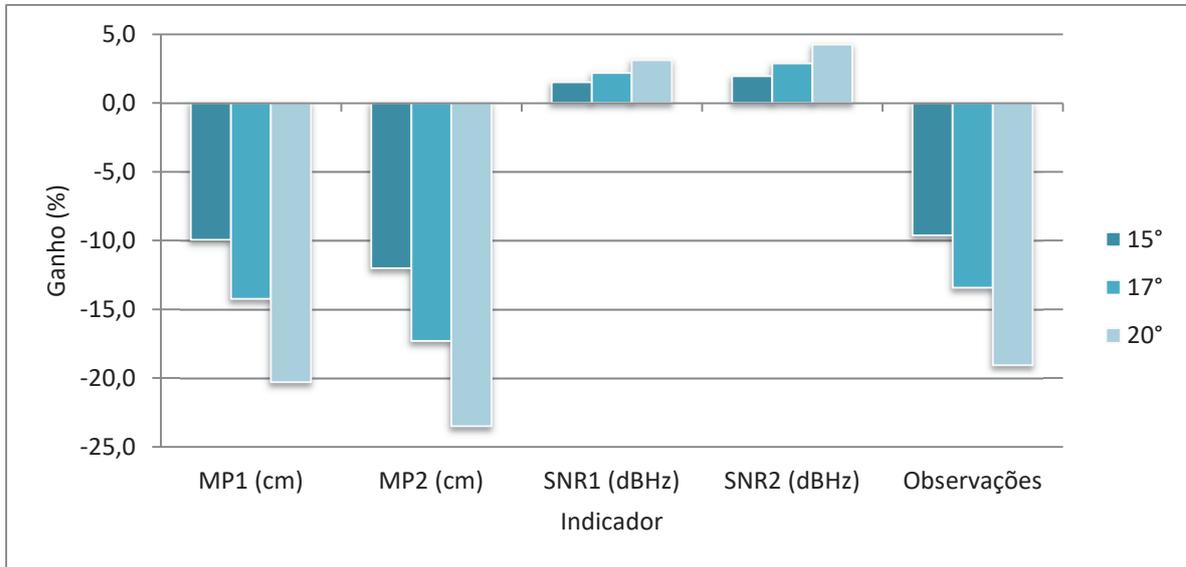


FIGURA 136 – GANHO (%) MÉDIO DE MP1, MP2, SNR1, SNR2 E NÚMERO DE OBSERVAÇÕES

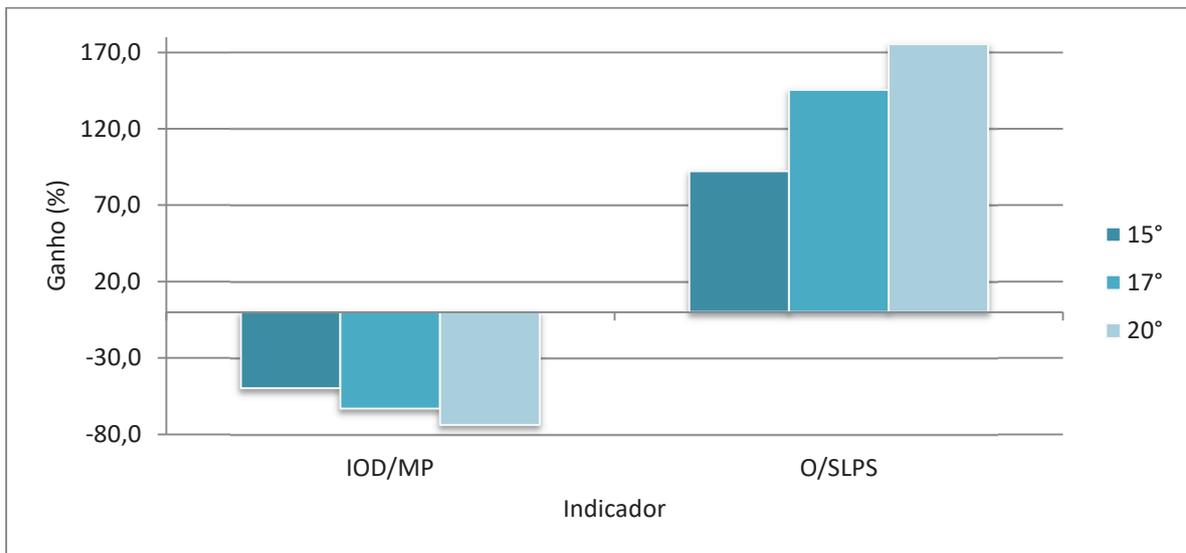


FIGURA 137 – GANHO (%) MÉDIO DE IOD/MP E O/SLPS

5.3 RESULTADOS DAS CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Nesta seção são apresentados os resultados do transporte da altitude ortométrica e os provenientes das campanhas de nivelamento geométrico na Rede Interna. Estes resultados, mais acurados que os advindos dos processamentos GPS, são utilizados para validar onde de fato estão ocorrendo os deslocamentos verticais.

5.3.1 Transporte da altitude ortométrica

O transporte da altitude ortométrica, ocorreu como descrito na seção 4.3.1.2. Através deste foram determinadas as altitudes ortométricas dos pontos M07 e MARCO 2 (FIGURA 61). Estes foram definidos como os *benchmarks* da Rede Interna.

O transporte, partiu da RN 2053D, com altitude ortométrica, no Datum de Imbituba, de 914,3833 m e desvio-padrão de 0,04 m. Em um percurso de aproximadamente 2 km com tolerância de 3 mm \sqrt{k} , conforme (QUADRO 5, seção 2.5). Após o ajustamento com o método dos correlatos, as altitudes ortométricas, no mesmo Datum, dos benchmarks foram determinadas conforme consta na TABELA 29.

TABELA 29 – ALTITUDES ORTOMÉTRICAS DOS BENCHMARKS DA REDE INTERNA

Benchmark	Altitude ortométrica (m)	σ (m)
M07	910,9819	0,040053
MARCO 2	916,0604	0,040047

5.3.2 Nivelamento geométrico da Rede Interna

Conforme descrito na metodologia (seção 4.3.1.3), o nivelamento geométrico da Rede Interna ao longo dos dois anos e dois meses de levantamentos, ocorreu em oito oportunidades. A 5ª Campanha, como já mencionado, não participa do ajustamento e tampouco dos cálculos dos desníveis. Além disso, os pontos M01, M02, M03, M21, M22 e MARCO 1, da 6ª Campanha, não foram nivelados, pois nesta campanha o foco eram os pontos mais sujeitos a deslocamentos verticais. A partir da referida campanha, as linhas de nivelamento que partiam do ponto M20 não foram mais realizadas. Isto ocorreu pois, tal ponto foi removido por transeuntes.

A Rede Interna contou com um percurso total médio de 1,5 km e tolerância de $3 \text{ mm } \sqrt{k}$, conforme (QUADRO 5, seção 2.5). Os erros permitidos médios, assim como os cometidos médios, por campanha, podem ser visualizados na FIGURA 138. Nota-se que em todas as campanhas o erro permitido foi maior que o cometido, descartando a possibilidade de quaisquer erros grosseiros nas medidas.

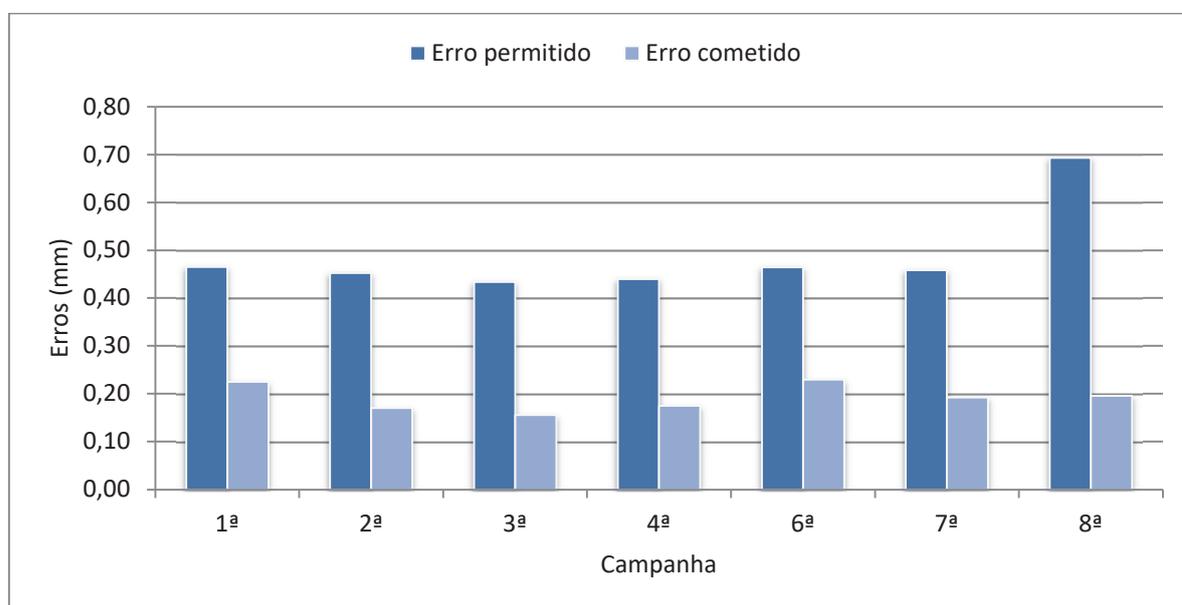


FIGURA 138 – MÉDIA DOS ERROS PERMITIDOS E COMETIDOS NAS CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO NA REDE INTERNA

Fixando a 1ª Campanha como referência, os desníveis são apresentados na TABELA 30. Considerando-se a acurácia local da rede (TABELA 31), nota-se que os pontos M01, M02 e M03 podem estar em processo de deslocamentos verticais, vide comparação da última campanha com a primeira (em laranja na FIGURA 139). Os maiores deslocamentos verticais foram encontrados próximo a área em verde no mapa. Nesta região existe um pequeno córrego, onde verificou-se, em campo, deslocamentos da contenção de pedras na calha do mesmo. Os pontos com os maiores deslocamentos são nos pontos M12, M13, M14, M15 e M16. Este último se destaca, pois ele obteve deslocamento negativo total de 4,1 cm.

TABELA 30 – DESNÍVEIS ENTRE AS CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO NA REDE INTERNA

Ponto	Δ Alt. ort. (mm) 1-2	Δ Alt. ort. (mm) 1-3	Δ Alt. ort. (mm) 1-4	Δ Alt. ort. (mm) 1-6	Δ Alt. ort. (mm) 1-7	Δ Alt. ort. (mm) 1-8
	15- 16/12/2014	26- 27/01/2015	14- 19/03/2015	17/10/2015	02- 03/04/2016	12- 14/02/2017
M01	-2,19	-1,54	-1,10	---	-1,74	-10,45
M02	-1,93	-1,20	-0,30	---	0,46	-9,25
M03	-2,03	-1,32	-0,30	---	1,16	-8,75
M04	-1,90	-1,79	-0,60	-5,9	-6,68	-9,25
M05	-1,84	-1,64	-0,70	0,00	-0,28	-2,25
M06	-1,53	-0,81	-0,70	-0,18	-0,52	-0,69
M08	1,81	1,69	3,90	3,42	3,57	3,35
M09	1,12	1,65	3,40	3,06	3,34	2,55
M10	0,91	1,45	3,00	2,86	3,18	2,45
M11	0,72	-0,35	2,10	2,14	2,61	1,05
M12	-2,07	-3,23	-1,30	-0,90	-1,92	-4,05
M13	-2,23	-2,94	-1,20	-1,74	-1,94	-3,15
M14	-0,44	-2,45	-1,30	-3,45	-6,34	-8,3
M15	-2,71	-2,29	-0,80	-14,19	-13,97	-15,85
M16	-10,40	-11,11	-14,70	-20,32	-33,04	-41,95
M17	-4,78	-1,46	-1,80	-2,70	-1,5	-2,95
M19	-1,83	0,38	0,40	1,18	2,62	0,65
M20	-1,22	0,83	0,40	---	---	---
M21	-0,82	0,71	0,80	---	1,45	4,85
M22	-0,58	0,53	1,10	---	1,05	1,85
MARCO 1	-0,11	0,02	1,68	---	1,54	1,63

TABELA 31 – ACURÁCIA LOCAL DA REDE INTERNA EM CADA CAMPANHA

Campanha	Acurácia local da rede (mm)
1ª	3,640
2ª	2,546
3ª	3,739
4ª	0,560
6ª	0,837
7ª	0,674
8ª	2,012



FIGURA 139 – PONTOS COM OS MAIORES DESLOCAMENTOS VERTICAIS

Conforme a FIGURA 140 ilustra, percebe-se como a região é íngreme, e a diferença entre o ponto com maior altitude (MARCO 2) e a menor (M14) é de 18 m. Na região onde se têm o desnível mais acentuado, localizam-se os pontos onde foram detectados os maiores deslocamentos verticais, justamente perto do córrego. O ponto M16, que obteve o maior deslocamento vertical identificado, foi materializado em um talude. Nesta mesma área existem postes de iluminação

pública que como apresentado na justificativa do trabalho (FIGURA 2, seção 1.2) estão inclinando, fruto dos deslocamentos que estão sendo determinados.

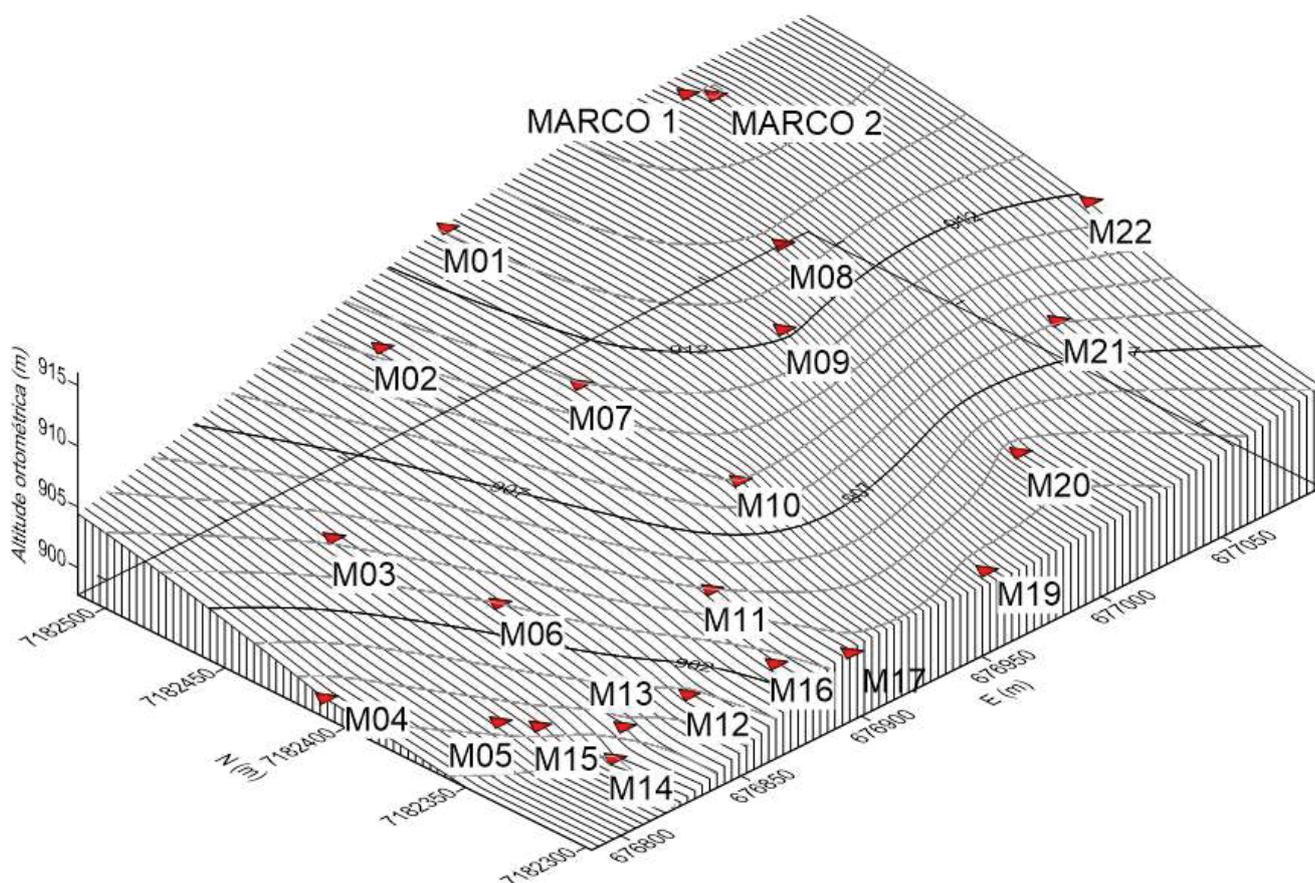


FIGURA 140 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS DOS PONTOS DA REDE INTERNA

5.4 PROCESSAMENTOS COM O SERVIÇO PPP-IBGE

De acordo com o que foi exposto na seção 4.3.3, também foram incluídos processamentos com o serviço PPP-IBGE. Aqui o objetivo foi avaliar somente os resultados do PPP entre si. Inicialmente são apresentados os resultados da Rede Interna, posteriormente os resultados provenientes da Rede Externa. Optou-se por esta sequência, visando avaliar o quanto o tempo de rastreamento pode influenciar nas coordenadas geodésicas, neste caso principalmente na componente altitude elipsoidal.

5.4.1 Rede Interna

Nos processamentos com o serviço PPP-IBGE a proposta foi investigar se é possível manter um monitoramento comparando coordenadas geodésicas advindas somente do serviço PPP-IBGE. Além disto, também utilizou-se diferentes intervalos de gravação dos dados, 15 segundos e 1 segundo. Todos os resultados aqui apresentados são provenientes de coordenadas geodésicas em SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) época 2000,4. Ao longo da análise dos resultados observou-se que as altitudes elipsoidais geradas nas datas dos levantamentos e na época referida, são exatamente iguais.

Com os resultados provenientes dos processamentos com intervalo de gravação de 15 segundos foram calculadas as diferenças entre as coordenadas geodésicas. A 6ª Campanha foi utilizada como campanha de referência. Na TABELA 32 estão contidas as diferenças médias absolutas, máximas e mínimas. Nota-se que a diferença máxima observada foi de 32 cm no ponto M15 para a altitude elipsoidal e 32,40 cm na longitude para o ponto M07. Observa-se que em alguns pontos as diferenças são satisfatórias, menos de 1 cm. A altitude elipsoidal possui a maior média das diferenças máximas, atingindo 14,15 cm, seguida da média da componente longitude, com valor de 13,98 cm. Com relação as diferenças mínimas, observou-se que a latitude obteve a menor média geral, 1,13 cm.

TABELA 32 – DIFERENÇAS MÉDIAS, MÁXIMAS E MÍNIMAS, DAS COORDENADAS GEODÉSICAS COM O PPP-IBGE, PARA AS DIFERENTES CAMPANHAS, COM 15 SEGUNDOS

Ponto	Mínimo			Máximo		
	Δ Latitude (cm)	Δ Longitude (cm)	Δ Altitude elipsoidal (cm)	Δ Latitude (cm)	Δ Longitude (cm)	Δ Altitude elipsoidal (cm)
M01	0,92	3,07	2,00	4,00	8,94	25,00
M02	0,31	2,23	1,00	7,39	5,03	22,00
M03	0,31	3,63	0,00	2,46	8,94	11,00
M04	1,23	29,33	2,14	3,69	32,12	8,00
M05	0,31	1,12	4,00	1,54	7,26	13,42
M06	2,46	7,54	2,64	7,39	20,67	18,00
M07	0,92	3,35	4,00	3,69	32,40	16,00
M08	4,62	0,28	0,00	6,77	12,85	7,00
M09	0,92	4,75	9,00	3,08	9,50	14,00
M10	0,62	0,56	2,00	3,38	4,47	9,92
M11	2,77	3,07	0,00	5,85	8,10	12,00
M12	1,23	1,12	3,00	6,46	12,01	9,00
M13	0,31	3,63	2,00	1,23	15,36	10,00
M14	0,62	4,19	7,00	4,92	16,48	27,00
M15	1,54	17,32	2,38	9,54	29,89	32,00
M16	2,15	1,96	2,00	5,85	6,70	7,00
M17	0,00	0,28	0,00	4,00	11,17	6,00
M18	1,85	11,17	1,00	9,23	18,72	11,00
M19	0,00	0,28	0,00	2,46	5,31	6,64
M20	0,92	1,12	4,00	1,85	5,31	8,00
M21	0,31	0,28	2,04	1,85	20,95	16,04
M22	0,00	0,28	1,47	2,77	5,31	17,53
MARCO 1	0,62	3,35	1,00	6,77	13,13	21,00
MARCO 2	2,15	0,28	3,00	21,23	24,86	12,00

Para melhor análise das diferenças é apresentado o gráfico da FIGURA 141. Ele mostra a percentagem das diferenças classificadas por onze categorias. A primeira com nenhuma diferença entre a componente da campanha de referência e a analisada, a segunda com discrepâncias de até 0,99 cm, a terceira entre 1 e 2,99 cm, a quarta entre 3 e 4,99 cm, a quinta categoria entre 5 e 6,99 cm, a sexta entre 7 e 9,99 cm, a sétima entre 10 e 14,99 cm, a oitava entre 15 e 19,99 cm, a nona entre 20 e 29,99 cm, a décima entre 30 e 34,99 cm, e a última categoria acima de 35 cm.

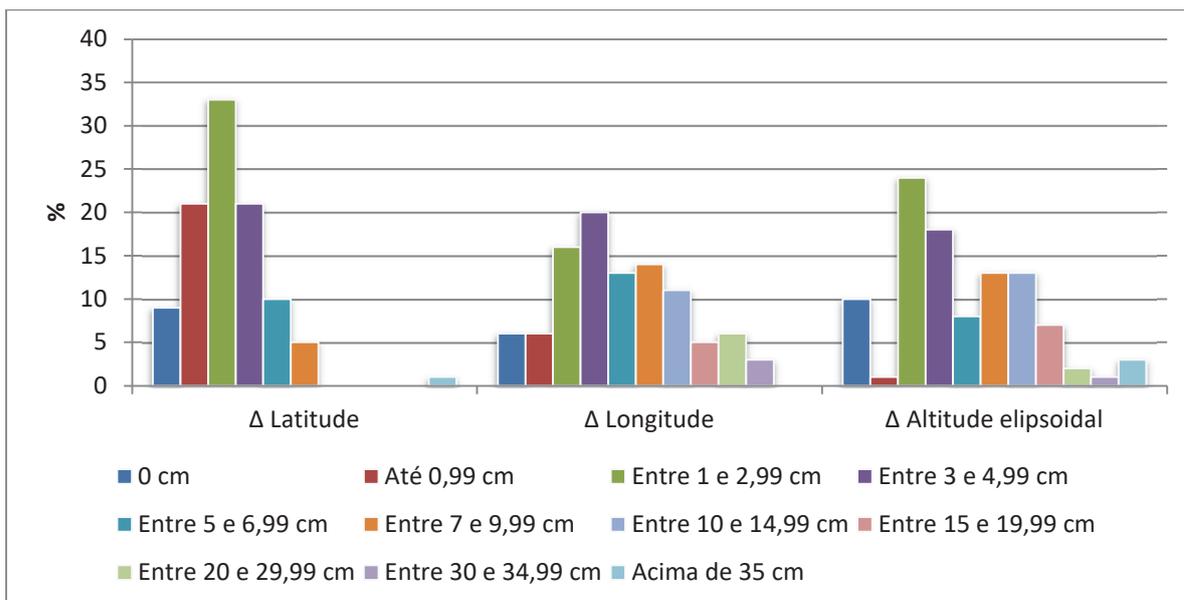


FIGURA 141 – PERCENTAGEM DAS DIFERENÇAS, DOS RESULTADOS DE 15 SEGUNDOS

As menores diferenças são encontradas na componente latitude. Nela observa-se que mais de 30% das diferenças são entre 1 e 2,99 cm. As diferenças de latitude e longitude têm distribuições semelhantes, ficando a altitude elipsoidal com cerca de 24% com diferenças entre 1 e 2,99 cm. A componente latitude têm a maioria das suas discrepâncias, cerca de 20%, entre 3 e 4,99 cm.

Os desvios-padrão fornecidos nos resultados dos processamentos do serviço PPP-IBGE representam a confiabilidade interna dos processamentos e não a exatidão das coordenadas geodésicas. Mesmo assim este é um parâmetro importante na análise aqui realizada. A TABELA 33 contém os desvios-padrão médio para cada ponto da Rede Interna. Nela observa-se que os desvios-padrão acompanham as percentagens de diferenças apresentadas anteriormente. A média dos desvios-padrão na altitude elipsoidal são os maiores valores encontrados, enquanto que na componente latitude os desvios-padrão são os menores. A média dos desvios-padrão para a latitude é de 1,66 cm, para a componente longitude é de 4,82 cm e para a altitude elipsoidal é de 6,65 cm.

TABELA 33 – MÉDIAS DOS DESVIOS-PADRÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS, DOS RESULTADOS DE 15 SEGUNDOS

Ponto	σ (cm)		
	Latitude	Longitude	Altitude elipsoidal
M01	1,50	4,60	4,90
M02	1,80	3,40	7,70
M03	1,70	5,00	6,50
M04	1,90	4,40	7,80
M05	1,30	5,70	5,20
M06	2,30	7,80	12,60
M07	1,50	5,10	6,10
M08	1,50	4,90	5,20
M09	1,60	5,20	6,20
M10	2,30	6,70	6,60
M11	1,80	4,40	6,70
M12	1,30	3,90	4,50
M13	1,50	4,90	6,00
M14	2,00	6,10	8,10
M15	1,50	3,80	6,50
M16	1,50	4,60	5,50
M17	1,70	5,40	5,70
M18	1,50	3,30	6,10
M19	1,30	3,90	4,50
M20	2,10	4,10	9,30
M21	1,60	5,00	7,30
M22	1,60	5,10	8,30
MARCO 1	1,50	4,00	5,40
MARCO 2	1,60	4,30	6,90

A TABELA 34 mostra as diferenças absolutas, máximas e mínimas, quando empregadas épocas coletadas a cada 1 segundo. Comparando estes resultados com os obtidos com épocas a cada 15 segundos nota-se que houveram mudanças não regulares. Ou seja, a diferença máxima da longitude do ponto M07 aumentou e agora obteve valor de 33,50 cm, em contrapartida o ponto M15, na altitude elipsoidal atingiu diferença máxima de 18 cm. Verifica-se que, na média das diferenças, para as coordenadas geodésicas, houve aumento de 29% nas diferenças mínimas e de 1% nas diferenças máximas.

TABELA 34 – DIFERENÇAS MÉDIAS, MÁXIMAS E MÍNIMAS, DAS COORDENADAS GEODÉSICAS COM O PPP-IBGE, PARA AS DIFERENTES CAMPANHAS, COM 1 SEGUNDO

Ponto	Mínimo			Máximo		
	Δ Latitude (cm)	Δ Longitude (cm)	Δ Altitude elipsoidal (cm)	Δ Latitude (cm)	Δ Longitude (cm)	Δ Altitude elipsoidal (cm)
M01	0,31	2,23	3,00	2,46	7,54	22,00
M02	0,62	0,00	2,00	2,46	6,98	25,00
M03	0,60	3,10	1,00	2,20	7,50	5,00
M04	0,90	32,10	4,00	6,80	33,80	16,00
M05	0,00	1,10	7,00	1,20	9,50	19,00
M06	7,70	12,60	3,00	10,20	25,70	27,00
M07	0,30	3,10	17,00	3,10	33,50	25,00
M08	4,30	0,60	2,00	5,20	13,40	7,00
M09	1,20	6,40	10,00	2,80	9,80	18,00
M10	2,20	0,30	1,00	3,70	3,40	14,00
M11	2,80	3,10	1,00	5,90	8,40	13,00
M12	1,20	2,20	0,00	6,20	12,60	8,00
M13	0,60	2,80	3,00	0,90	16,80	15,00
M14	1,50	1,70	20,00	4,90	13,70	37,00
M15	0,30	9,80	3,00	8,00	14,30	18,00
M16	1,90	0,60	0,00	5,90	5,90	10,00
M17	0,30	4,80	1,00	1,90	13,40	4,00
M18	1,90	11,20	0,00	8,30	17,00	6,00
M19	0,00	0,60	0,00	1,90	4,50	6,00
M20	2,20	2,20	7,00	2,20	4,20	19,00
M21	0,60	0,00	5,00	1,90	25,40	18,00
M22	0,30	2,00	4,00	4,00	9,20	28,00
MARCO 1	0,31	2,23	2,00	4,92	11,45	16,00
MARCO 2	2,77	0,28	6,00	4,92	9,22	13,00

Continuando a comparação, foi gerado o gráfico das porcentagens das diferenças classificadas por onze categorias (FIGURA 142). Nota-se que a tendência de cada categoria é bastante similar ao gráfico das diferenças com intervalo de dados a cada 15 segundos. As porcentagens da altitude elipsoidal agora obtiveram distribuição mais regular entre as categorias, com 15 segundos as diferenças estavam mais concentradas na terceira categoria. A componente latitude atingiu maior porcentagem, cerca de 36% na categoria entre 1 e 2,99 cm, assim como nos resultados com o outro intervalo de tempo. As porcentagens das diferenças da latitude não sofreram muitas alterações e obtiveram regularidade, comparadas com os resultados anteriores.

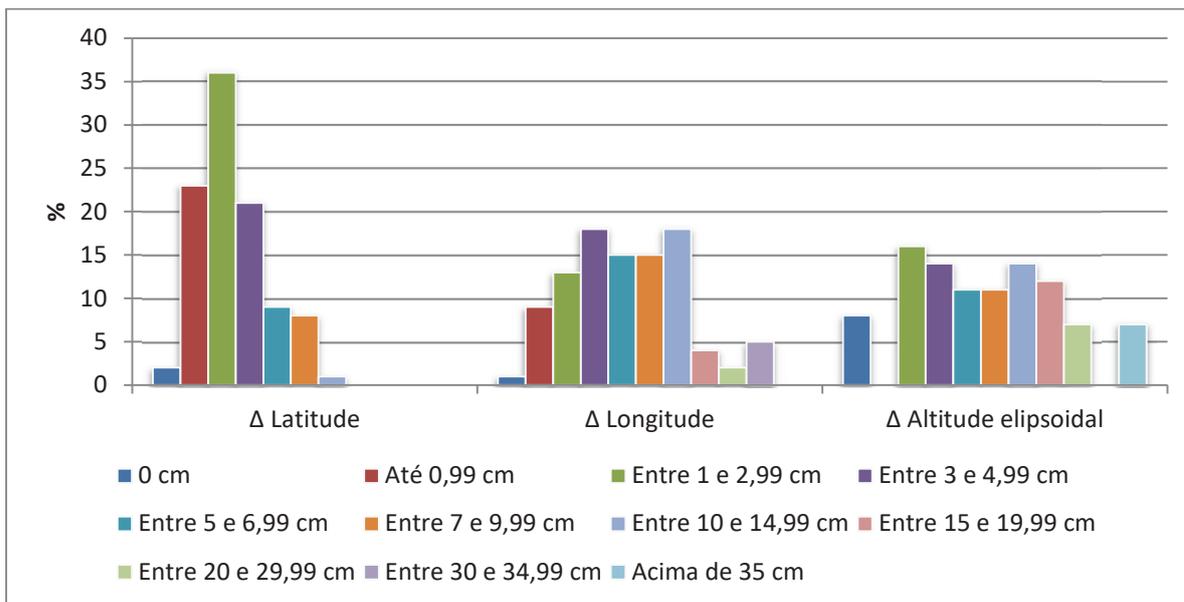


FIGURA 142 – PERCENTAGEM DAS DIFERENÇAS, DOS RESULTADOS DE 1 SEGUNDO

A TABELA 35 contém os desvios-padrão médio para cada ponto da Rede Interna. De imediato nota-se que os valores são significativamente menores que os obtidos com épocas coletadas a cada 15 segundos. Isto já era o esperado, visto que houve uma abundância de observações. Saltou-se de, em média, 332 épocas para 1245 épocas com a coleta a cada 1 segundo. A média dos desvios-padrão na altitude elipsoidal continua a ser o maior valor, enquanto que na componente latitude os desvios-padrão são os menores. A média dos desvios-padrão para a latitude é de 0,43 cm, para a componente longitude é de 1,38 cm e para a altitude elipsoidal é de 1,75 cm. Isto significa uma melhor confiabilidade no processamento e não na determinação das coordenadas geodésicas.

TABELA 35 – MÉDIAS DOS DESVIOS-PADRÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS, DOS RESULTADOS DE 1 SEGUNDO

Ponto	σ (cm)		
	Latitude	Longitude	Altitude elipsoidal
M01	0,30	1,30	1,20
M02	0,40	1,00	2,00
M03	0,40	1,80	2,00
M04	0,50	1,20	2,30
M05	0,40	1,50	1,30
M06	0,60	1,80	2,80
M07	0,40	1,40	1,80
M08	0,40	1,50	1,50
M09	0,50	1,60	1,60
M10	0,60	2,00	1,90
M11	0,40	0,80	1,50
M12	0,30	1,00	1,10
M13	0,50	1,60	1,70
M14	0,40	2,00	2,20
M15	0,40	1,00	1,50
M16	0,30	1,30	1,50
M17	0,50	1,50	1,50
M18	0,30	0,90	1,60
M19	0,30	1,10	1,20
M20	0,40	1,00	2,20
M21	0,60	1,80	1,80
M22	0,60	1,50	2,40
MARCO 1	0,30	1,20	1,50
MARCO 2	0,50	1,20	1,90

A FIGURA 143 apresenta um gráfico com os desvios-padrão e altitude elipsoidal *a priori* para o ponto M07, da 2ª Campanha, com intervalo das épocas de 15 segundos. A mesma informação, porém para épocas a cada 1 segundo, pode ser visualizado na FIGURA 144. Comparando os gráficos nota-se que, de fato os desvios-padrão sofrem significativa redução logo nas primeiras épocas, mantendo-se estável ao longo do tempo. Esta redução é maior quando utilizadas as épocas de 1 segundo. Nas diferenças das coordenadas observa-se que, existe instabilidade das diferenças até a hora 12h00min, aproximadamente. Elas são as mesmas, independente da quantidade de épocas empregadas. Confirmando os resultados anteriormente apresentados.

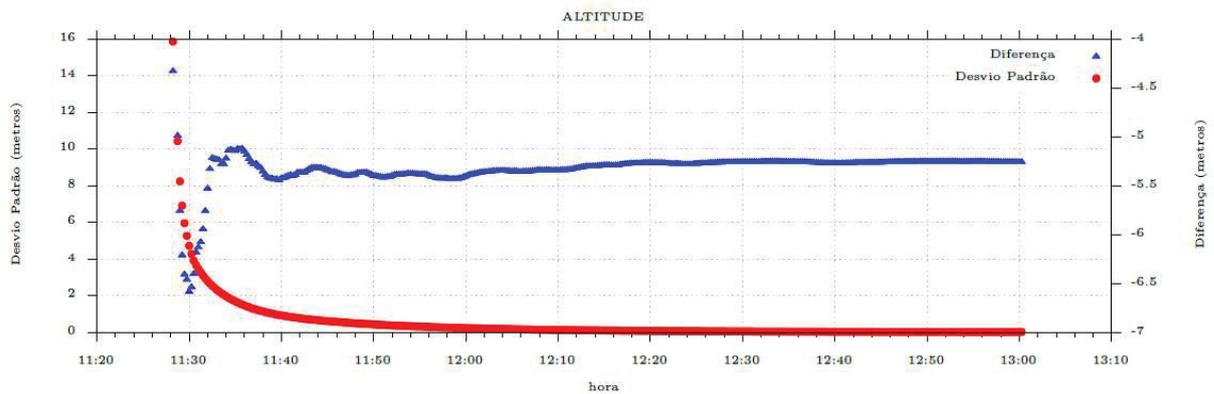


FIGURA 143 – DESVIO-PADRÃO E DIFERENÇA DA COORDENADA A *PRIORI*, COM 15 SEGUNDOS

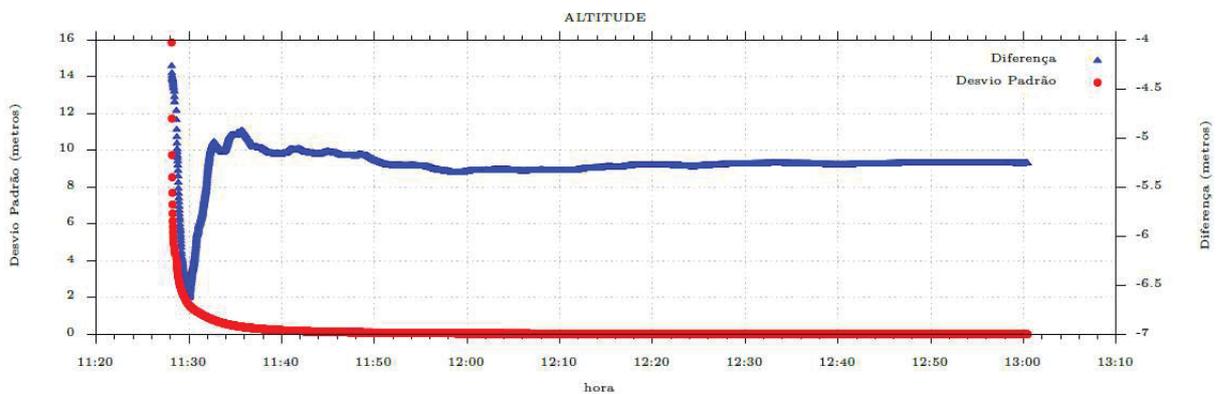


FIGURA 144 – DESVIO-PADRÃO E DIFERENÇA DA COORDENADA A *PRIORI*, COM 1 SEGUNDO

Diante do que foi exposto, conclui-se que, considerando os tempos de rastreios, média de 83 minutos, o serviço PPP-IBGE não se mostrou uma ferramenta favorável para o monitoramento. Mesmo quando o intervalo de gravação dos dados foi de 1 segundo, aumentando significativamente a quantidade de épocas, o processamento por PPP não foi eficaz no propósito do trabalho. As diferenças encontradas nas coordenadas geodésicas, na maioria dos pontos, não condizem com a realidade. Com relação a altitude elipsoidal os desníveis acurados e precisos são apresentados na seção 5.3.

5.4.2 Rede Externa

Como visto na seção anterior o aumento do número de épocas em um mesmo intervalo de tempo não conduziu em diferenças favoráveis ao monitoramento. Assim, visto que na Rede Externa foram coletadas no mínimo 24 horas de dados, neste momento a proposta é verificar o comportamento do processamento na determinação das coordenadas geodésicas quando empregados diferentes intervalos de tempo de rastreo.

Com o auxílio do programa TEQC, os arquivos RINEX foram editados em vários intervalos de tempo de dados. Para definir a partir de quantas horas os resultados passam a ser mais estáveis, foi inicialmente realizado um estudo com um ponto, BCAL. O processamento de 24 horas foi utilizado como referência para dois processamentos de 12 horas, três de 8 horas, quatro de 6 horas, seis de 4 horas, doze de 2 horas e vinte e quatro de 1 hora. As discrepâncias absolutas da altitude elipsoidal são apresentadas na FIGURA 145. Nota-se uma certa estabilidade, em todas as componentes das coordenadas geodésicas, até as diferenças com 6 horas de dados.

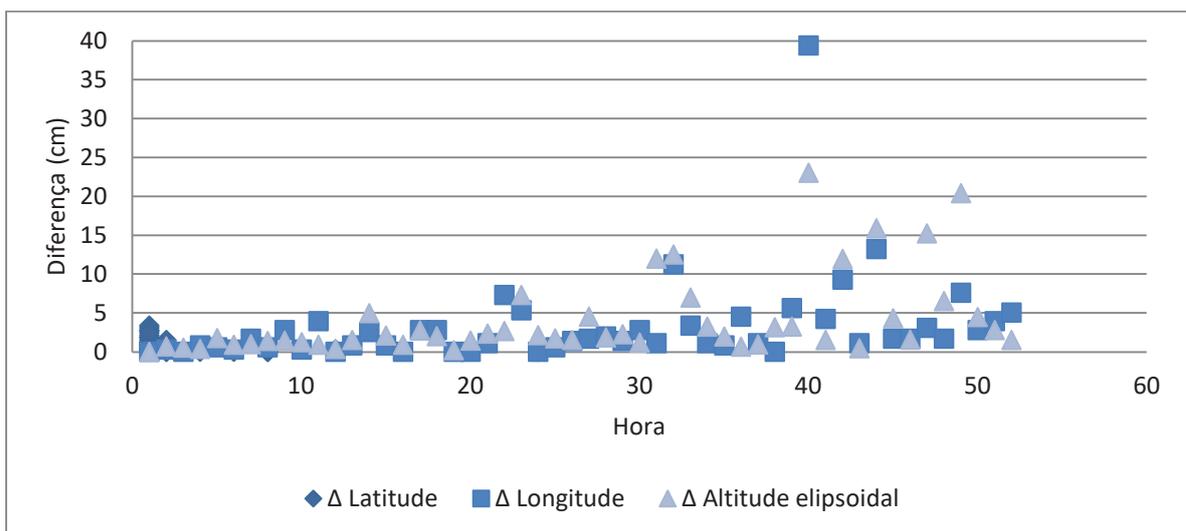


FIGURA 145 –DIFERENÇAS DAS COORDENADAS GEODÉSICAS COM DIFERENTES INTERVALOS DE TEMPO

Diante do que foi verificado, os arquivos RINEX dos pontos da Rede Externa e a estação Curitiba-UFPR, das seis campanhas, foram editados em dois arquivos de 12 horas, três de 8 horas e quatro de 6 horas. As diferenças máximas e mínimas, das coordenadas geodésicas, são encontradas na TABELA 36. Na altitude elipsoidal, para todos os pontos, existiram somente diferenças mínimas nulas. Nas máximas observa-se que os maiores valores, nas três componentes, são encontrados na 6ª Campanha.

TABELA 36 – DIFERENÇAS, MÁXIMAS E MÍNIMAS, DAS COORDENADAS GEODÉSICAS COM O PPP-IBGE, PARA AS DIFERENTES CAMPANHAS E PONTOS

Campanha	Ponto	Mínimo			Máximo		
		Δ Latitude (cm)	Δ Longitude (cm)	Δ Altitude elipsoidal (cm)	Δ Latitude (cm)	Δ Longitude (cm)	Δ Altitude elipsoidal (cm)
1ª	BCAL	0,00	0,00	0,00	0,31	0,84	1,00
2ª		0,00	0,00	0,00	0,31	2,79	2,00
4ª		0,00	0,00	0,00	0,62	1,96	2,00
5ª		0,00	0,00	0,00	0,31	0,56	1,00
6ª		0,30	0,00	0,00	2,46	2,24	4,00
1ª	HORTO	0,00	0,30	0,00	0,62	1,40	2,00
2ª		0,00	0,00	0,00	0,62	2,79	2,00
3ª		0,00	0,00	0,00	0,31	1,40	1,00
1ª	SANEPAR	0,00	0,00	0,00	0,31	2,51	1,00
2ª		0,00	0,00	0,00	0,62	1,40	3,00
3ª		0,00	0,00	0,00	0,31	1,40	1,00
4ª		0,00	0,00	0,00	0,62	2,51	3,00
5ª		0,00	0,30	0,00	0,31	0,84	2,00
6ª		0,00	0,30	0,00	0,92	2,51	5,00
1ª	Curitiba - UFPR	0,00	0,00	0,00	0,31	0,56	1,00
2ª		0,00	0,00	0,00	0,31	1,12	2,00
3ª		0,00	0,00	0,00	0,31	0,84	2,00
4ª		0,00	0,00	0,00	0,62	1,12	1,00
5ª		0,00	0,00	0,00	0,31	1,12	1,00
6ª		0,00	0,30	0,00	0,62	1,68	2,00

As médias dos resíduos da fase da onda portadora podem ser visualizadas na FIGURA 146. Nota-se que a média dos resíduos da 6ª Campanha foi a mais elevada, em torno de 1 cm. Lembra-se que, nesta campanha, como citado na seção

5.2.1, os valores de efeito de multicaminho e perdas de ciclos no ponto SANEPAR foram afetados por duas antenas ativas. Todavia, os resíduos do ponto BCAL também se elevaram nesta campanha, em comparação com a 2ª Campanha, utilizada como referência pois têm o segundo pior resultado neste quesito. Assim, nota-se que o ponto SANEPAR não foi o único fator determinante para a elevação desta média de resíduos. Além disto, a 2ª Campanha obteve a segunda pior média de 0,93 cm dos resíduos, e também a segunda pior média das diferenças máximas. Desta forma, este possivelmente é o motivo para a instabilidade verificada.

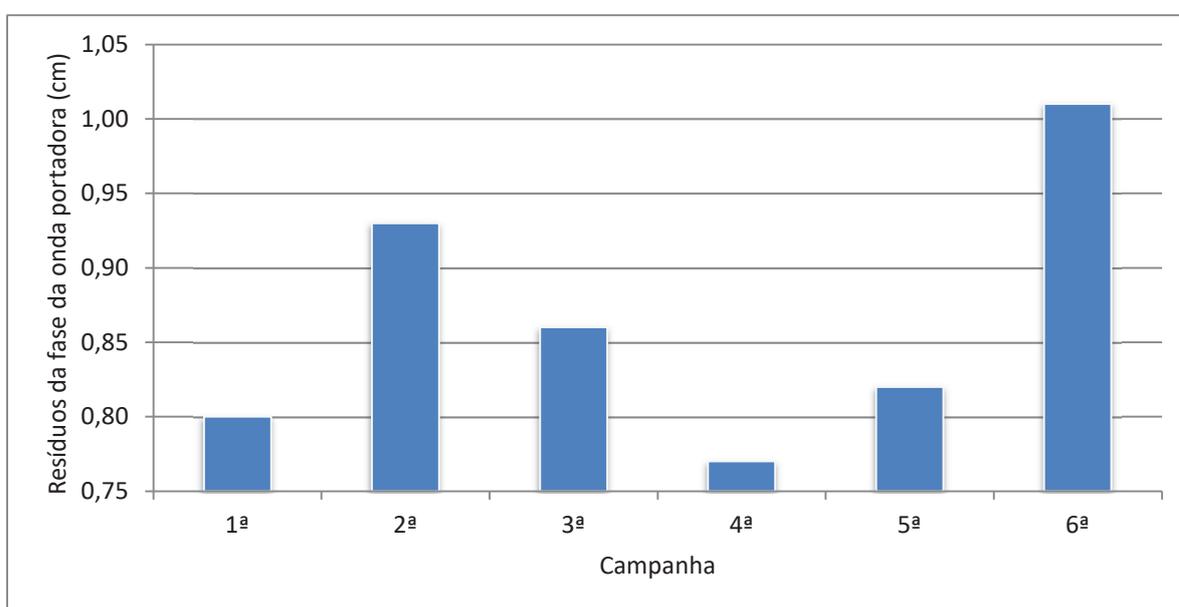


FIGURA 146 – MÉDIA POR CAMPANHA DOS RESÍDUOS DA FASE DA ONDA PORTADORA

Para melhor análise das diferenças encontradas são apresentados os gráficos da FIGURA 147, FIGURA 148 e FIGURA 149. Nelas podem ser visualizadas as porcentagens das diferenças classificadas em sete categorias. A primeira com diferença nula, a segunda com até 0,99 cm de diferença, a terceira entre 1 e 1,99 cm, a quarta entre 2 e 2,99 cm, a quinta entre 3 e 3,99 cm, a sexta entre 4 e 4,99 cm e a sétima com diferença acima de 5 cm. Entre os arquivos de 6 horas de dados nota-se que as diferenças da latitude se concentram em duas categorias, diferenças nulas e até 0,99 cm. A componente longitude têm parte das diferenças concentradas na categoria de até 0,99 cm. Na altitude elipsoidal as diferenças entre 1 e 1,99 cm se destacam. Quando analisadas as porcentagens dos arquivos de 8 horas nota-se que houveram melhoras, principalmente na componente

longitude. Nas percentagens dos arquivos de 12 horas nota-se que houve melhora significativa quando comparados com os resultados anteriores. Agora as percentagens se concentram, na latitude e longitude, nas duas primeira categorias. Na altitude elipsoidal a quinta e sexta categoria não contemplam nenhuma diferença.

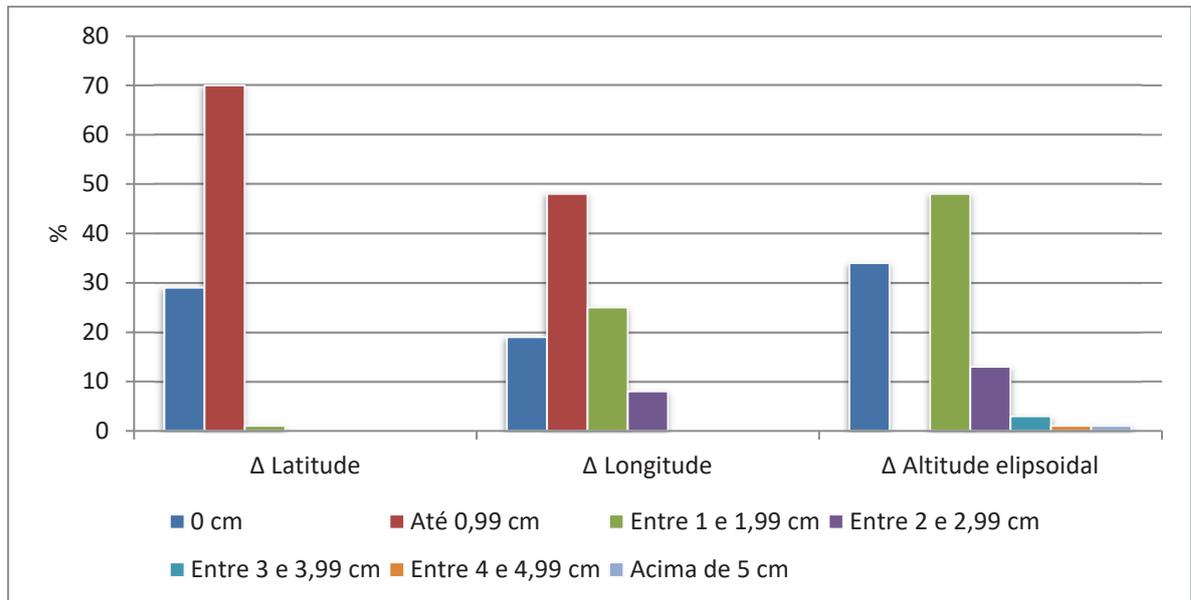


FIGURA 147 – PERCENTAGEM DAS DIFERENÇAS, DOS RESULTADOS COM 6 HORAS

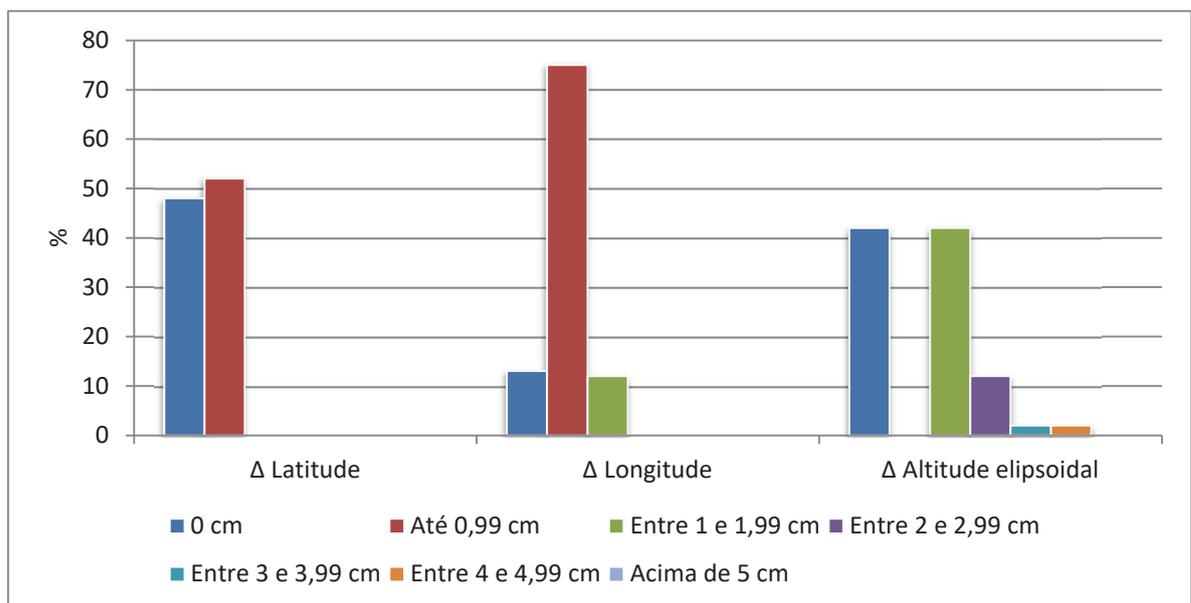


FIGURA 148 – PERCENTAGEM DAS DIFERENÇAS, DOS RESULTADOS COM 8 HORAS

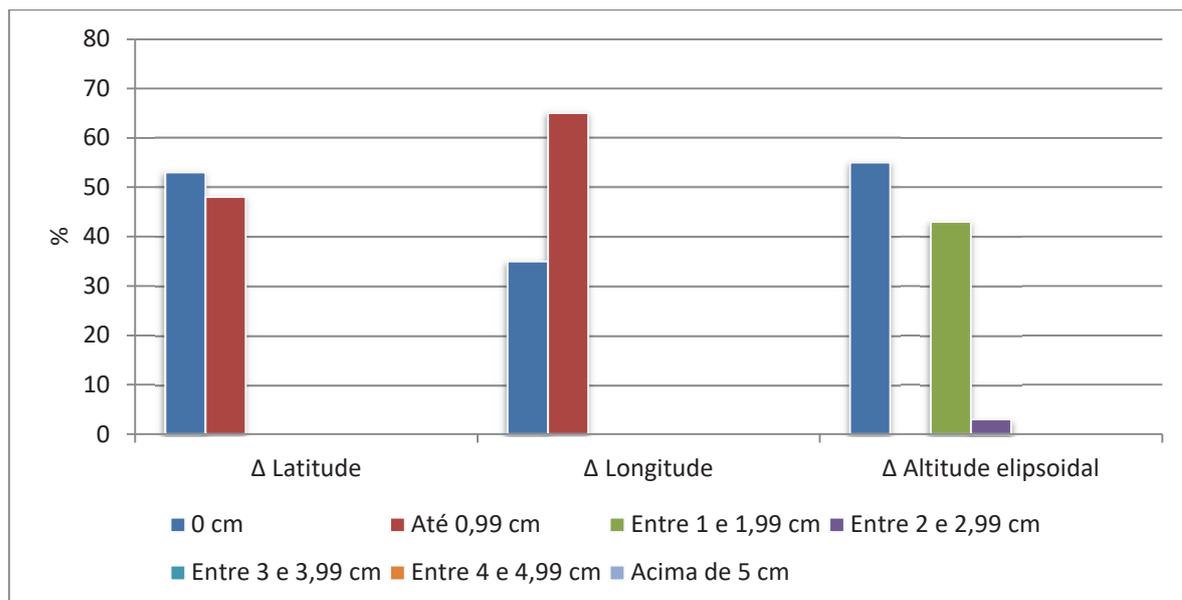


FIGURA 149 – PERCENTAGEM DAS DIFERENÇAS, DOS RESULTADOS COM 12 HORAS

Assim, verificou-se que quanto mais horas de observações GPS em um arquivo RINEX, menores são as diferenças, quando comparados os resultados entre os de 24 horas e os outros com menos horas. Desta forma, diante do que foi exposto em ambas as seções 5.4.1 e 5.4.2, nota-se que com o serviço PPP-IBGE a exatidão das coordenadas geodésicas é mais influenciada pela quantidade de horas que pela quantidade de épocas, concentradas em um intervalo de tempo menor. Ou seja, um ponto crucial para um resultado mais acuradas das coordenadas geodésicas é a mudança da geometria dos satélites, e isto só se obtêm com intervalos de tempo de rastreo mais longos.

5.5 PÓS-PROCESSAMENTOS RELATIVOS

Conforme apresentado na metodologia (seção 4.3.3), nesta seção são apresentados os resultados dos pós-processamentos relativos elaborados. Para tanto os programas empregados são: *Bernese* (seção 4.2.3) e *Leica Geo Office* (seção 4.2.4).

5.5.1 Rede Externa

Conforme exposto na seção 4.3.3.1 os processamentos da Rede Externa foram conduzidos no programa *Bernese* e contemplam as redes definidas por A1, A2, B1, B2, C e D (TABELA 7, seção 4.3.3.1). Sabendo que a rede SIRGAS-CON (Rede SIRGAS de operação contínua), gera soluções semanais, optou-se por realizar o mesmo. Assim, para cada campanha foi realizado o *download*, dos arquivos RINEX das estações da RBMC, de 14 dias, totalizando 84 soluções diárias por configuração de rede. Lembra-se que nem todas as soluções diárias incluem os pontos da Rede Externa (TABELA 1, seção 4.3.1.1). Estas soluções foram acumuladas para soluções semanais e posteriormente para soluções por campanha. Inicialmente a avaliação destas foi realizada por parâmetros de verificação dos processamentos e são eles:

- *Sigma a posteriori*;
- Número de graus de liberdade do ajustamento; e
- Teste Qui-quadrado (χ^2) reduzido da qualidade do ajustamento. Neste teste o valor desejado é o mais próximo possível de 1 (TAYLOR, 1997).

Os resultados de *sigma a posteriori*, graus de liberdade e teste χ^2 reduzido, para as configurações dos processamentos realizados, para todas as campanhas, constam na FIGURA 150, FIGURA 151 e FIGURA 152, respectivamente. Observando o gráfico do *sigma a posteriori* e do teste χ^2 reduzido verifica-se que, a 6ª Campanha é a que se destaca por atingir os maiores valores em ambos os critérios. Esta campanha, realizada em Fevereiro de 2017, sofreu com as perturbações intensas da ionosfera. Como visto na seção 5.4.2, os resíduos da onda portadora atingiram os maiores valores nesta campanha. A 2ª Campanha, como também era esperado, vide a análise de qualidade dos dados GPS (seção 5.2.1), atingiu os piores resultados dos itens descritos acima.

Como previsto os graus de liberdade corroboram com a quantidade de estações conhecidas empregadas em cada configuração dos processamentos da Rede Externa. A configuração A1 foi a que atingiu os maiores valores de graus de liberdade, em contrapartida, a configuração D obteve as menores quantidades.

Analisando os resultados de sigma *a posteriori* e do teste χ^2 reduzido como um todo observa-se que, a configuração D obteve os menores valores para ambos os critérios. A média, utilizando todas as seis campanhas, do sigma *a posteriori* foi de 1,31 e o teste χ^2 reduzido atingiu o valor de 1,72 mm. Analisando as configurações B1 e B2, que se distinguem por somente uma estação conhecida (seção 4.3.3.1), nota-se que, a rede B2 atingiu os menores resultados.

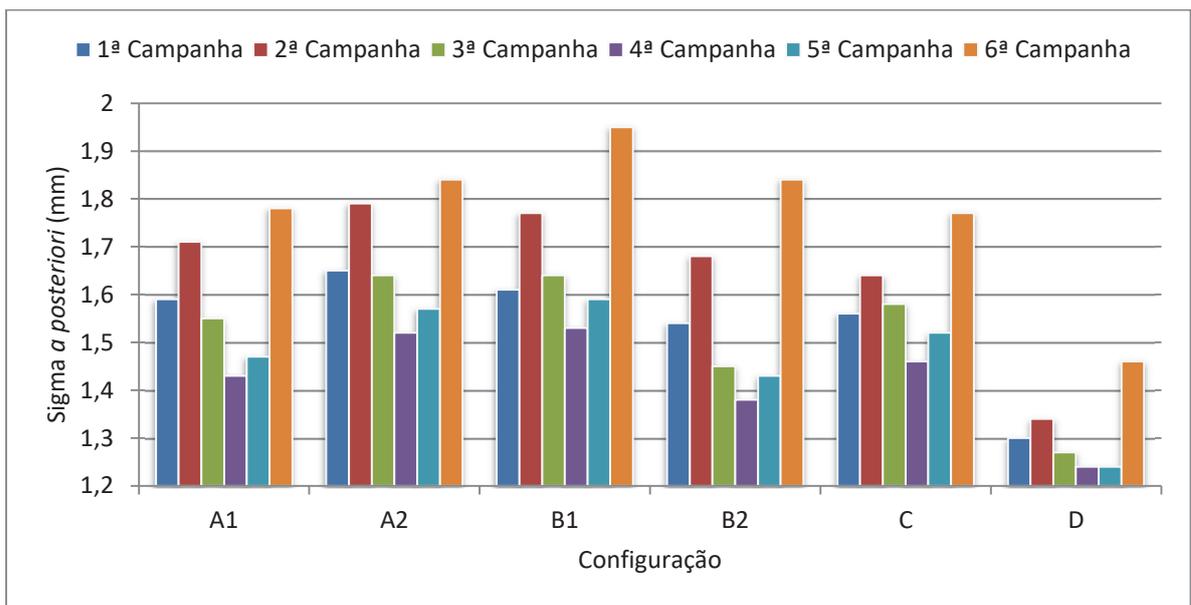


FIGURA 150 – SIGMA A POSTERIORI DAS CONFIGURAÇÕES DA REDE EXTERNA

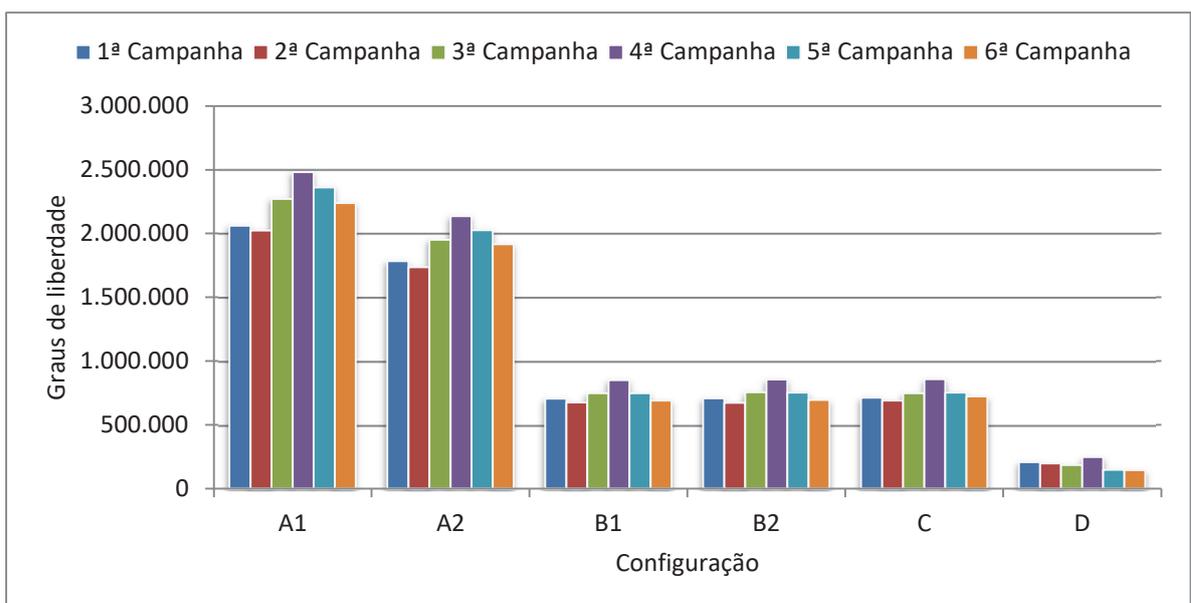


FIGURA 151 – GRAUS DE LIBERDADE DAS CONFIGURAÇÕES DA REDE EXTERNA

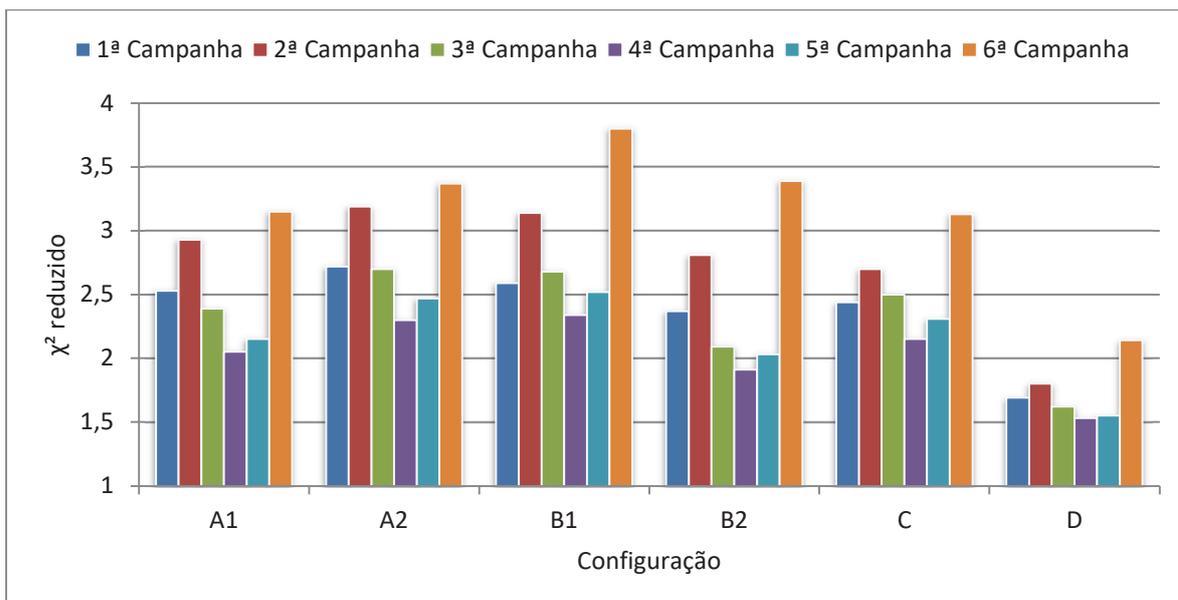


FIGURA 152 – χ^2 REDUZIDO DAS CONFIGURAÇÕES DA REDE EXTERNA

Segundo Dach (2015), uma avaliação da qualidade das coordenadas geodésicas obtidas pode ser efetuada com o módulo COMPAR (seção 4.3.3.1.1) do programa *Bernese*. Ele calcula uma média das coordenadas geodésicas de cada ponto/estação e realiza a diferença de cada solução diária com a solução por campanha. Seu resultado é a repetibilidade das soluções diárias, para cada componente, assim como o respectivo RMS por campanha. Foram realizadas seis campanhas e seis configurações de processamentos relativos, conduzindo a um total de aproximadamente 2800 repetibilidades de cada componente. Diante da inviabilidade de exibir todos estes resultados optou-se por apresentar as médias dos RMS da repetibilidade de cada configuração de rede, indicados na FIGURA 153. Nota-se que a configuração D (com uma estação conhecida) atingiu os menores valores nas três componentes. Obteve média, das três componentes, de 1,67 mm. Enquanto que a configuração A2, esta que contemplou todas as estações conhecidas, com exceção da estação Curitiba-UFPR, alcançou os piores resultados e sua média tridimensional é de 4,78 mm. Estes RMS corroboram com os resultados anteriores e fortalecem a escolha da melhor configuração.

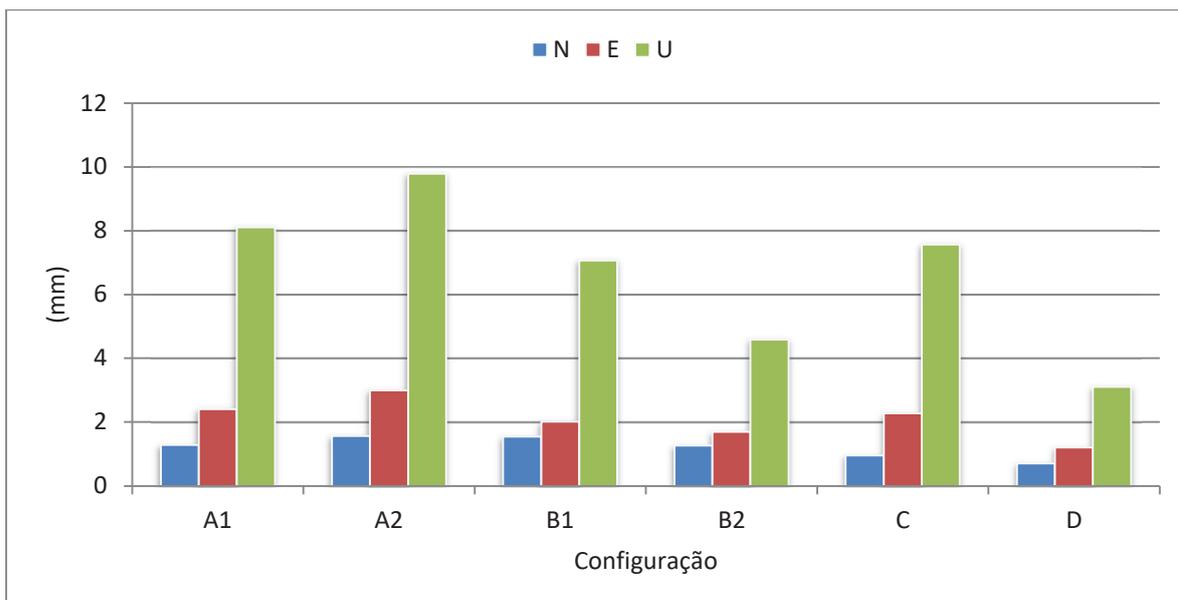


FIGURA 153 – MÉDIAS DOS RMS DAS REPETIBILIDADES DAS COORDENADAS GEODÉSICAS

Diante dos resultados apresentados pode-se notar que quando empregadas diversas estações conhecidas (configuração A1), com média das linhas de base de 242 km, o acréscimo de uma linha de base (configuração A2), extremamente curta (estação Curitiba-UFPR), foi de grande valia, visto que os parâmetros analisados (sigma *a posteriori* e do teste χ^2 reduzido), sofreram redução.

Avaliando as configurações B1 e B2 notou-se que, a utilização de uma estação conhecida que difere, como neste caso, aproximadamente em média 850 m na componente altitude elipsoidal, pode acarretar em prejuízos na qualidade das coordenadas geodésicas finais, visto que, os critérios analisados sofreram acréscimos na configuração B1. Esta configuração empregou a estação conhecida SCFL, com altitude elipsoidal de 17,072 m, enquanto que os pontos da Rede Externa possuem altitude elipsoidal média de 920 m.

A configuração C não atingiu valores satisfatórios apesar de ser a rede com menores linhas de base, média de 161 km. No entanto, contou com altitudes elipsoidais muito discrepantes, vide TABELA 6, seção 4.3.3.1. A configuração C empregou no seu processamento duas estações conhecidas com altitudes elipsoidais médias de 6,5 m e uma com mais de 1.000 m. Esta configuração também foi prejudicada pelas discrepâncias nas altitudes elipsoidais. Por fim, a configuração D, com a estação Curitiba-UFPR, foi a que atingiu os melhores valores dos critérios adotados. Desta forma, esta é a configuração que forneceu as melhores

coordenadas geodésicas para os processamentos da Rede Interna. As coordenadas geodésicas da Rede Externa, em ITRF08, para as épocas das campanhas, são apresentadas da TABELA 37 à

TABELA 42.

TABELA 37 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA 1ª CAMPANHA, ÉPOCA 2014,9

Ponto/ Estação	Latitude (° ' ")	σ (m)	Longitude (° ' ")	σ (m)	Altitude Elipsoidal (m)	σ (m)
BCAL	-25°26'54,8761	0,00011	-49°13'52,2307	0,00026	927,2640	0,00046
HORTO	-25°27'43,1435	0,00018	-49°14'54,0870	0,00042	896,8059	0,00077
SANEPAR	-25°28'12,7247	0,00017	-49°14'08,2954	0,00038	958,9258	0,00071

TABELA 38 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA 2ª CAMPANHA, ÉPOCA 2015,1

Ponto/ Estação	Latitude (° ' ")	σ (m)	Longitude (° ' ")	σ (m)	Altitude Elipsoidal (m)	σ (m)
BCAL	-25°26'54,8761	0,00010	-49°13'52,2307	0,00022	927,2679	0,00044
HORTO	-25°27'43,1431	0,00023	-49°14'54,0870	0,00049	896,8265	0,00096
SANEPAR	-25°28'12,7247	0,00021	-49°14'08,2954	0,00041	958,9421	0,00087

TABELA 39 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA 3ª CAMPANHA, ÉPOCA 2015,3

Ponto/ Estação	Latitude (° ' ")	σ (m)	Longitude (° ' ")	σ (m)	Altitude Elipsoidal (m)	σ (m)
BCAL	---	---	---	---	---	---
HORTO	-25°27'43,1431	0,00013	-49°14'54,0870	0,00031	896,7824	0,00058
SANEPAR	-25°28'12,7247	0,00011	-49°14'08,2954	0,00024	958,9273	0,00048

TABELA 40 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA 4ª CAMPANHA, ÉPOCA 2015,4

Ponto/ Estação	Latitude (° ' ")	σ (m)	Longitude (° ' ")	σ (m)	Altitude Elipsoidal (m)	σ (m)
BCAL	-25°26'54,8758	0,00009	-49°13'52,2307	0,00019	927,2742	0,00036
HORTO	---	---	---	---	---	---
SANEPAR	-25°28'12,7247	0,00009	-49°14'08,2954	0,00018	958,9232	0,00039

TABELA 41 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA 5ª CAMPANHA, ÉPOCA 2016,4

Ponto/ Estação	Latitude (° ' ")	σ (m)	Longitude (° ' ")	σ (m)	Altitude Elipsoidal (m)	σ (m)
BCAL	-25°26'54,8758	0,00010	-49°13'52,2307	0,00023	927,2687	0,00042
HORTO	---	---	---	---	---	---
SANEPAR	-25°28'12,7243	0,00016	-49°14'08,2954	0,00034	958,9395	0,00067

TABELA 42 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA 6ª CAMPANHA, ÉPOCA 2017,1

Ponto/ Estação	Latitude (° ' ")	σ (m)	Longitude (° ' ")	σ (m)	Altitude Elipsoidal (m)	σ (m)
BCAL	-25°26'54,8754	0,00012	-49°13'52,2310	0,00028	927,2762	0,00050
HORTO	---	---	---	---	---	---

SANEPAR	-25°28'12,7239	0,00019	-49°14'08,2957	0,00041	958,9319	0,00082
---------	----------------	---------	----------------	---------	----------	---------

5.5.2 Rede Interna

Nesta seção são apresentados os resultados dos processamentos relativos, que constam na metodologia (FIGURA 68, seção 4.3.3.2). Não são exibidos e comentados todos os resultados, visto que por vezes são semelhantes entre uma campanha e outra. Assim, optou-se por apresentar as campanhas que se destacaram.

5.5.2.1 Análise com Relação a Máscara de Elevação

Esta análise complementa a iniciada na seção 5.2.2, onde foram analisados o efeito de multicaminho, a razão sinal/ruído e as perdas de ciclos com diferentes máscaras de elevação. Neste caso, 10°, 15°, 17° e 20°. Neste momento o objetivo foi efetuar o processamento relativo dos pontos da Rede Interna, com a estação conhecida Curitiba-UFPR, com estas mesmas máscaras de elevação. Este procedimento foi realizado com todas as campanhas, e seus comportamentos são semelhantes. Assim, optou-se por apresentar os resultados da 2ª e 4ª Campanhas. A 2ª Campanha foi a que obteve maior número de manchas solares (FIGURA 103, seção 5.2.1). A 4ª Campanha atingiu os maiores ganhos (redução) de MP1 e MP2, na seção 5.2.2 mencionada.

As percentagens das soluções das ambiguidades com cada máscara de elevação, para a 2ª e 4ª Campanhas, são apresentadas na TABELA 43. Quando empregada a máscara de elevação de 10°, a solução das ambiguidades atingiu 100% somente em 4 dos 24 pontos, na 2ª Campanha. Nota-se que, quando alcançada 100% das soluções das ambiguidades, com a máscara de 10°, ela se mantém neste mesmo nível com todos os outros ângulos de corte das observações, em ambas as campanhas. Observando os valores dos pontos, por exemplo, M01 e

M18, na 2ª Campanha, que com o emprego da máscara de elevação de 10° alcançaram solução das ambiguidades de 95% e 96%, e com o corte mais elevado, em 15°, atingiram os valores de 99% e 100%.

TABELA 43 – SOLUÇÕES DAS AMBIGUIDADES PARA CADA MÁSCARA DE ELEVAÇÃO DA 2ª E 4ª CAMPANHAS

Ponto	2ª Campanha				4ª Campanha			
	Máscara de elevação				Máscara de elevação			
	10° (%)	15° (%)	17° (%)	20° (%)	10° (%)	15° (%)	17° (%)	20° (%)
M01	95	99	99	100	98	98	99	100
M02	99	100	100	100	98	100	100	100
M03	100	100	100	100	98	98	99	100
M04	95	96	96	96	95	98	98	98
M05	99	100	100	100	97	99	99	100
M06	96	99	99	99	98	100	98	99
M07	99	99	100	100	100	100	100	100
M08	98	100	99	100	98	100	100	100
M09	95	100	100	100	100	100	100	100
M10	99	98	97	98	100	100	100	100
M11	99	100	100	100	99	100	100	100
M12	97	99	100	100	99	100	100	100
M13	97	98	100	100	99	100	100	100
M14	100	100	100	100	99	99	100	100
M15	99	99	100	100	97	99	100	100
M16	100	100	100	100	98	100	100	100
M17	98	99	100	100	100	100	100	100
M18	96	100	100	100	99	99	100	100
M19	98	99	99	100	97	99	99	100
M20	99	100	100	100	97	100	100	100
M21	100	100	100	100	100	100	100	100
M22	99	100	100	100	95	96	96	98
MARCO 1	98	100	100	100	94	99	100	100
MARCO 2	94	96	97	97	99	98	97	99

Para melhor visualizar a distribuição das soluções das ambiguidades, são apresentados os gráficos da FIGURA 154 e FIGURA 155, da 2ª Campanha e 4ª Campanha, respectivamente. Foram criadas quatro categorias para classificar as soluções. A primeira com 100%, a segunda com 99%, a terceira com 98% e a última categoria com 97% ou menos. Nitidamente nota-se que, a medida em que é elevado o ângulo de corte das observações, há um aumento na quantidade de pontos que

obtiveram 100% de solução das ambiguidades. Quando analisadas as médias das percentagens das soluções das ambiguidades, nota-se que o aumento não é tão significativo assim. A média, para ambas as campanhas, com a máscara de elevação de 10° é de 97,98%, com a máscara de 15° o valor foi de 99,23%, com o corte em 17° atingiu média de 99,40%, e com a máscara de 20° alcançou média de 99,67%. Os valores dos DOPs se elevaram conforme as FIGURA 128, FIGURA 129, FIGURA 130 e FIGURA 131, seção 5.2.2, apresentam.

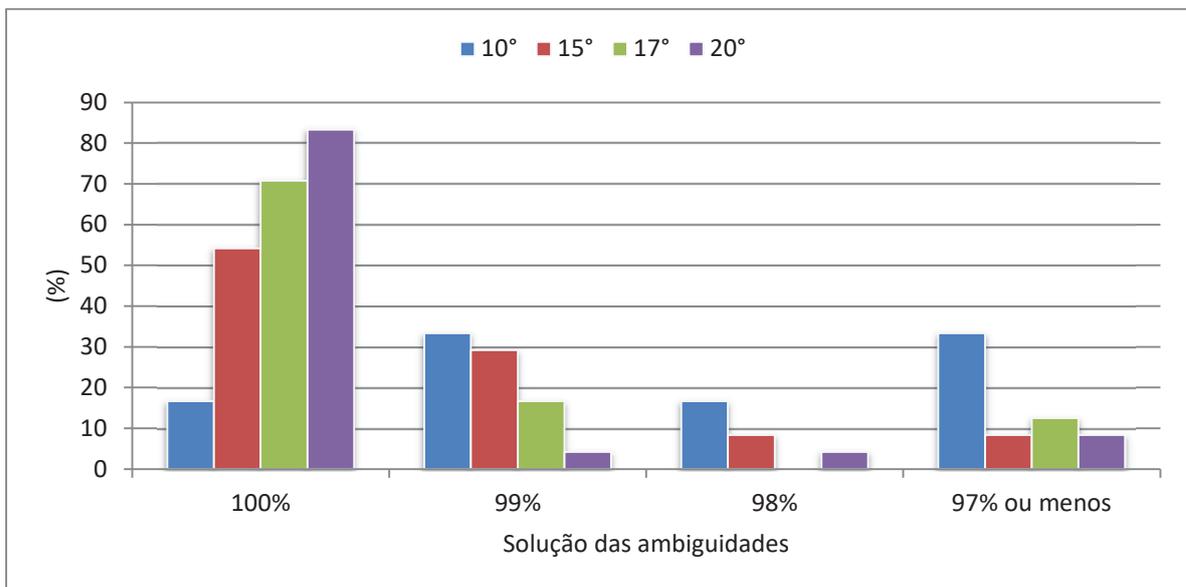


FIGURA 154 – PERCENTAGENS DAS SOLUÇÕES DAS AMBIGUIDADES DA 2ª CAMPANHA

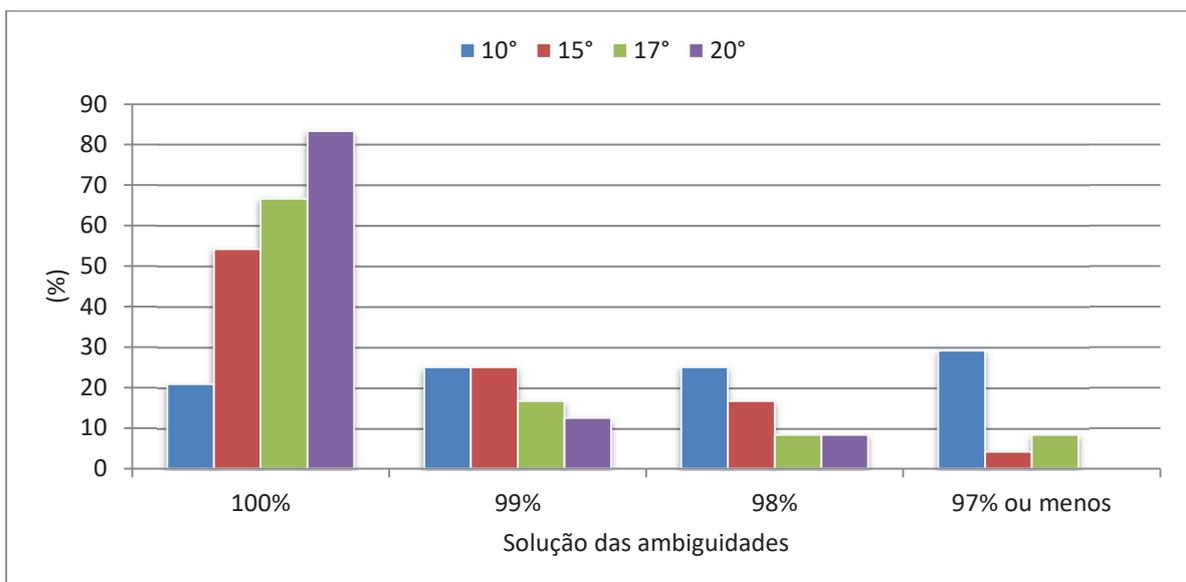


FIGURA 155 – PERCENTAGENS DAS SOLUÇÕES DAS AMBIGUIDADES DA 4ª CAMPANHA

Na FIGURA 156 e FIGURA 157 constam, para o ponto M05 da 4ª Campanha, a média dos resíduos da onda portadora L1 e os seus desvios-padrão, respectivamente. Quando empregada a máscara de elevação de 10° os resíduos das duplas diferenças apresentados são os mais elevados, com média para todos os PRNs de -0,17 cm. Com os outros ângulos de corte de observações, os valores encontrados são similares, ou destoam poucos milímetros, com média de -0,05 cm, -0,05 cm e -0,06 cm, para as máscaras de 15°, 17° e 20°, respectivamente.

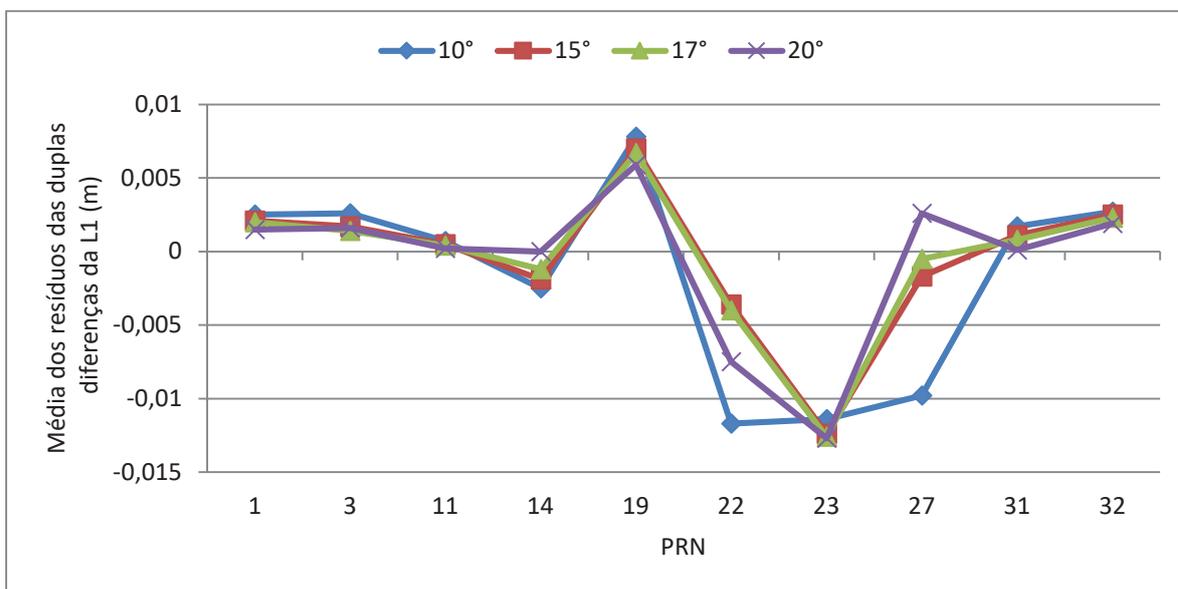


FIGURA 156 – MÉDIA DOS RESÍDUOS DE CADA PRN DO PONTO M05, 4ª CAMPANHA

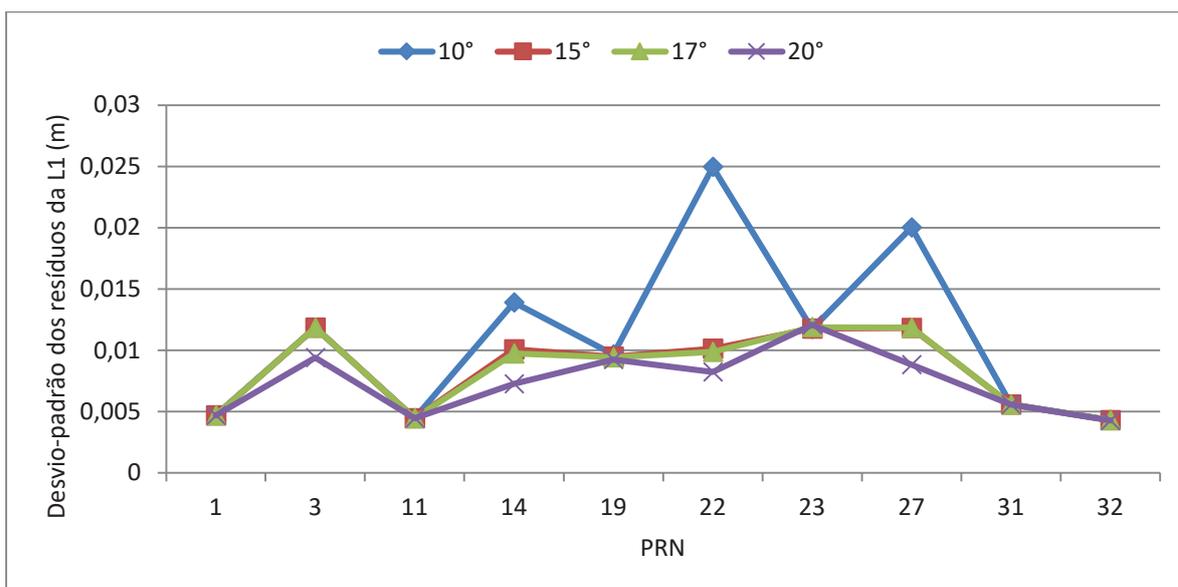


FIGURA 157 – DESVIOS-PADRÃO DE CADA PRN DO PONTO M05, 4ª CAMPANHA

Todas as ambiguidades foram fixas, independente de qual máscara de elevação foi empregada. Com a análise realizada notou-se que, a máscara de elevação de 10° deve ser totalmente descartada em investigações com esta finalidade. Observou-se que, as demais máscaras de elevação têm comportamentos similares entre si, ou diferem poucos milímetros, nos resíduos das duplas diferenças da onda portadora L1. Sendo assim, as máscaras de elevação de 17° e 20°, não acarretam em melhores resultados que a de 15° já o faz. Além disto, levando em consideração a análise apresentada sobre a qualidade dos dados GPS, elas (17° e 20°), podem até prejudicar pontos que sofrem mais com o efeito de multicaminho. Assim, esta análise corrobora com a anterior e também aponta que a máscara de elevação de 15° é a mais indicada a ser utilizada.

5.5.2.2 Análise com Relação a Perdas de Ciclos

Como visto na seção 4.3.2 observou-se que as perdas de ciclos estão relacionadas com a qualidade dos dados. Desta forma, pelas mesmas razões da seção anterior (5.5.2.1), nesta também optou-se por exibir e comentar os resultados da 2ª e 4ª Campanhas.

Nesta análise foram empregados arquivos de observações originais e outro conjunto os arquivos modificados, conforme descrito na seção 4.3.3.2. Na TABELA 44 são apresentadas as percentagens das ambiguidades e o tipo de solução, dos arquivos não modificados e modificados, para cada campanha aqui analisada. Nota-se que houve a solução foi fixa para todos os pontos, com os arquivos não modificados. O mesmo não ocorreu quando foram retiradas as perdas de ciclos. O ponto M01 obteve solução flutuante, na 2ª Campanha. Na 4ª Campanha o resultado foi pior, com três pontos com soluções flutuantes. Nesta campanha as percentagens das ambiguidades se destacam, com os arquivos modificados. Os pontos com soluções flutuantes diminuíram significativamente os valores das ambiguidades, reduzindo de 99% para 0% e 27%, nos pontos M17 e M07, respectivamente. Nota-se que, para alguns poucos pontos houve melhora na percentagem das ambiguidades, como foi o caso do M04 da 2ª Campanha.

TABELA 44 – SOLUÇÕES DAS AMBIGUIDADES COM ARQUIVOS NÃO MODIFICADOS E MODIFICADOS, DA 2ª E 4ª CAMPANHA

Ponto	2ª Campanha				4ª Campanha			
	Não modificado		Modificado		Não modificado		Modificado	
	Amb. (%)	Solução	Amb. (%)	Solução	Amb. (%)	Solução	Amb. (%)	Solução
M01	99	Fixa	0	Flutuante	98	Fixa	99	Fixa
M02	100	Fixa	100	Fixa	100	Fixa	100	Fixa
M03	100	Fixa	100	Fixa	98	Fixa	84	Flutuante
M04	96	Fixa	99	Fixa	98	Fixa	98	Fixa
M05	100	Fixa	100	Fixa	99	Fixa	99	Fixa
M06	99	Fixa	98	Fixa	100	Fixa	98	Fixa
M07	99	Fixa	99	Fixa	100	Fixa	27	Flutuante
M08	100	Fixa	100	Fixa	100	Fixa	99	Fixa
M09	100	Fixa	100	Fixa	100	Fixa	99	Fixa
M10	98	Fixa	98	Fixa	100	Fixa	100	Fixa
M11	100	Fixa	100	Fixa	100	Fixa	100	Fixa
M12	99	Fixa	99	Fixa	100	Fixa	100	Fixa
M13	98	Fixa	91	Fixa	100	Fixa	100	Fixa
M14	100	Fixa	100	Fixa	99	Fixa	97	Fixa
M15	99	Fixa	100	Fixa	99	Fixa	99	Fixa
M16	100	Fixa	100	Fixa	100	Fixa	100	Fixa
M17	99	Fixa	99	Fixa	100	Fixa	0	Flutuante
M18	100	Fixa	100	Fixa	99	Fixa	99	Fixa
M19	99	Fixa	99	Fixa	99	Fixa	100	Fixa
M20	100	Fixa	100	Fixa	100	Fixa	100	Fixa
M21	100	Fixa	100	Fixa	100	Fixa	100	Fixa
M22	100	Fixa	99	Fixa	96	Fixa	98	Fixa
MARCO 1	100	Fixa	99	Fixa	99	Fixa	99	Fixa
MARCO 2	96	Fixa	96	Fixa	98	Fixa	99	Fixa

Com o objetivo de melhor visualizar as percentagens das ambiguidades pode-se observar a FIGURA 158 e FIGURA 159, com os dados da 2ª Campanha e 4ª Campanha, respectivamente. Foram criadas quatro categorias para classificar as soluções. A primeira com 100%, a segunda com 99%, a terceira com 98% e a última categoria com 97% ou menos. Nota-se que, quando analisados os dois gráficos em conjunto, empregando os arquivos modificados a percentagens de 97% ou menos das soluções das ambiguidades, aumentou para ambas as campanhas. Houve também significativa redução nos pontos que obtiveram 100% das soluções das ambiguidades com os arquivos não modificados.

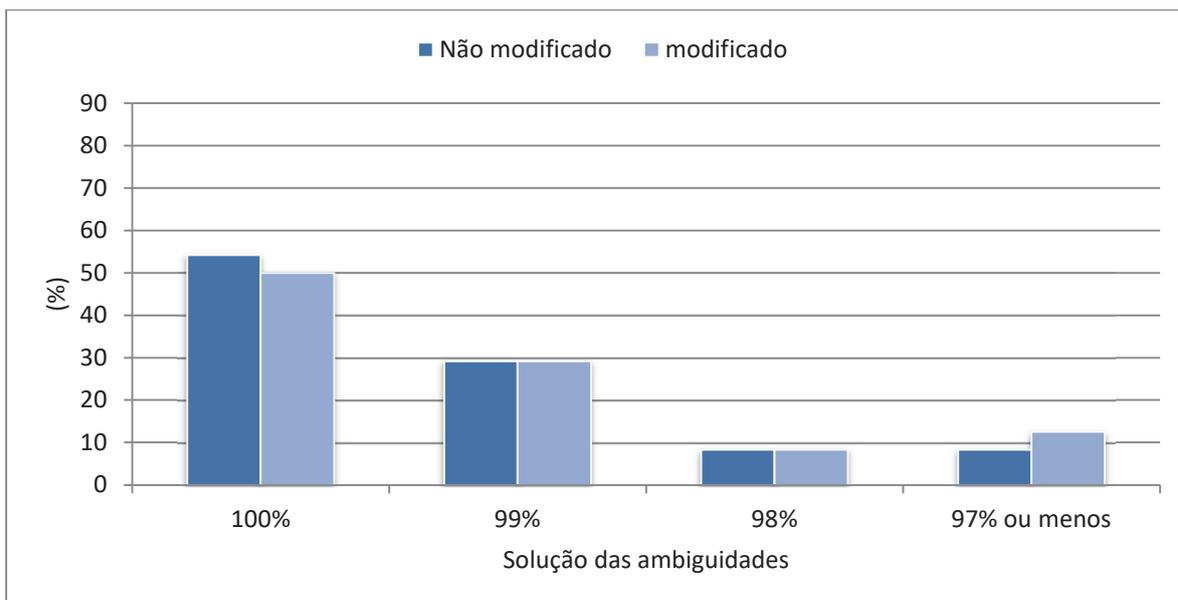


FIGURA 158 – PERCENTAGENS DAS SOLUÇÕES DAS AMBIGUIDADES DA 2ª CAMPANHA

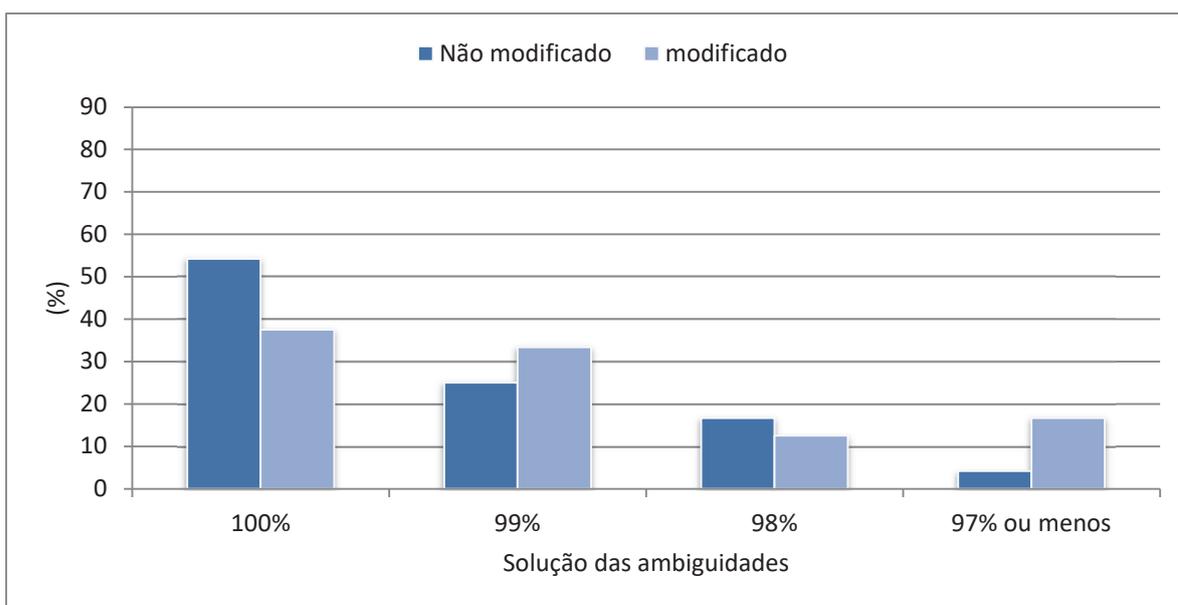


FIGURA 159 – PERCENTAGENS DAS SOLUÇÕES DAS AMBIGUIDADES DA 4ª CAMPANHA

Para ratificar os dados anteriormente analisados, são apresentados os resíduos das duplas diferenças de fase da onda portadora L1 do ponto M17, 4ª Campanha, para o arquivo não modificado (FIGURA 160) e para o arquivo modificado (FIGURA 161). Para ambos fixou-se o PRN 18 para o cálculo dos resíduos. Nota-se que, quando empregado o arquivo original, a média dos resíduos foi de -0,33 cm com desvio-padrão médio de 0,80 cm, em contrapartida, quando

utilizado o arquivo modificado a média dos resíduos das duplas diferenças da L1 foi de 31,40 cm, com desvio-padrão médio de 22,84 cm.

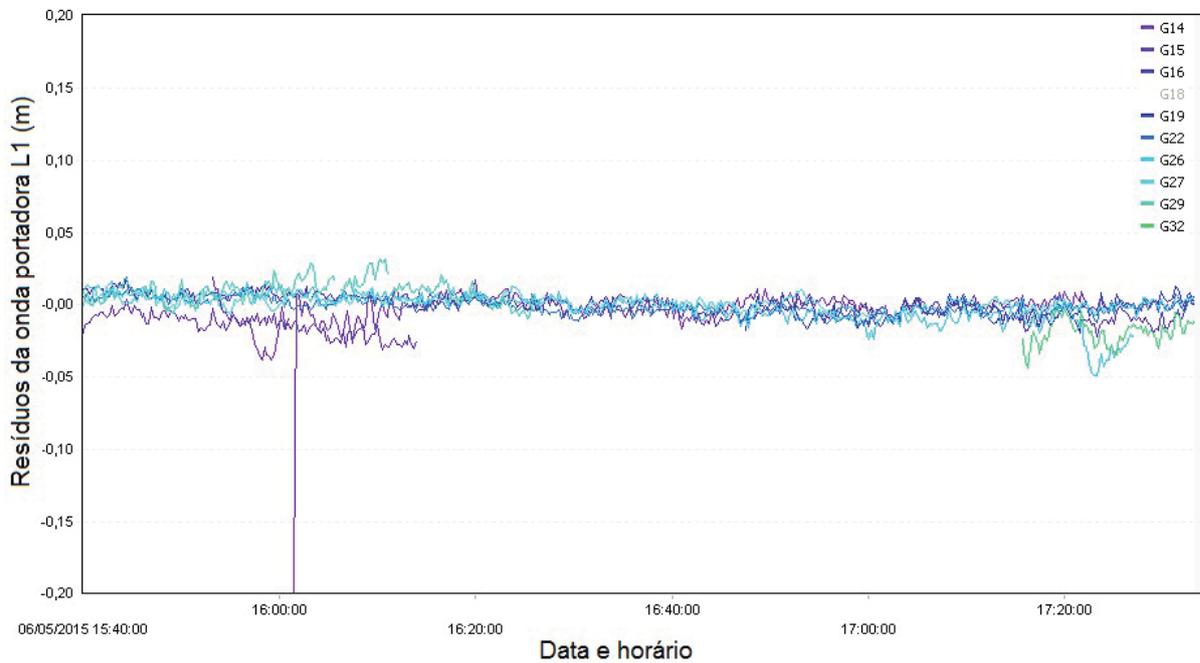


FIGURA 160 – ARQUIVO NÃO MODIFICADO: RESÍDUOS DAS DUPLAS DIFERENÇAS DE FASE, PONTO M17, 4ª CAMPANHA

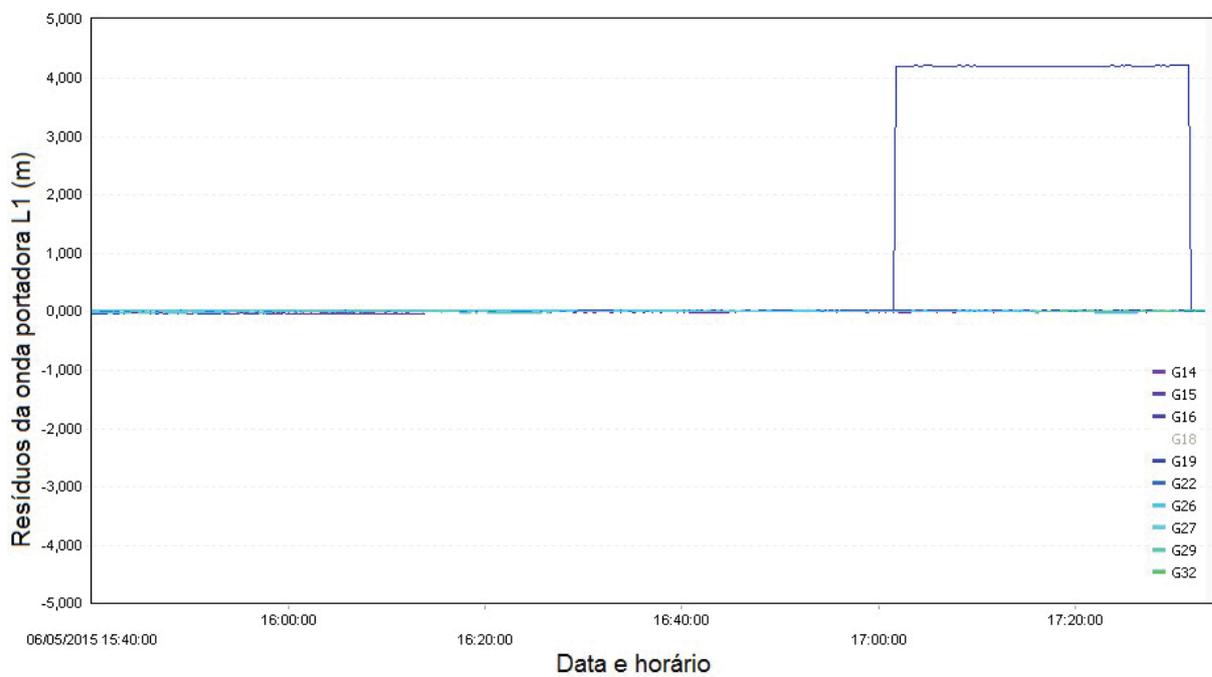


FIGURA 161 – ARQUIVO MODIFICADO: RESÍDUOS DAS DUPLAS DIFERENÇAS DE FASE, PONTO M17, 4ª CAMPANHA

Assim, empregando a estratégia com somente a L1, refuta-se a possibilidade do emprego do módulo RNXSMT do programa *Bernese*. Para o objetivo proposto, notou-se que a modificação dos arquivos acarretou, na maior parte dos pontos, prejuízo com a elevação dos resíduos das duplas diferenças de fase da L1. Desta forma, para a proposta do presente trabalho o mais indicado é a utilização dos arquivos RINEX originais.

5.5.2.3 Análise com Relação ao Número de Estações Conhecidas

De acordo com a seção 4.3.3.2, que descreve a metodologia aqui empregada, na análise com relação ao número de estações conhecidas foram realizados processamentos relativos com injeção mínima e até com quatro estações conhecidas. Conforme as seções anteriores, definiu-se que para o objetivo proposto do trabalho, a melhor máscara de elevação é de 15° e que os arquivos modificados sem as perdas de ciclos não são indicados. Visto que foi empregada a estação Curitiba-UFPR e a mesma não possui parâmetros próprios de calibração gerados pela BCAL/UFPR, ficou impossibilitado o uso destes parâmetros nas redes criadas. Assim, as altitudes elipsoidais aqui apresentadas são resultantes dos arquivos originais, máscara de elevação de 15° e parâmetros médios de calibração provenientes do NGS. As coordenadas em ITRF08, definidas na seção 5.5.1, foram atualizadas com o emprego do programa on-line TREVel (Transformação entre Referenciais e cálculo de Velocidades) para a 1ª Campanha. De antemão há que se destacar que para todas as campanhas, independentemente da rede arranjada, as soluções foram fixas, não entrando nos detalhes das percentagens das soluções das ambiguidades.

A FIGURA 162 apresenta a rede formada com a Rede Interna e a estação Curitiba-UFPR. As altitudes elipsoidais, com o emprego desta rede podem ser observadas na TABELA 45. Estas altitudes elipsoidais são utilizadas como referência, para as comparações com as demais redes formadas. Conforme comentado (TABELA 3, seção 4.3.1.1), os pontos M04, M05 e M07, da 1ª Campanha, M20, da 5ª Campanha e M20, M21 e M22, da 6ª Campanha, não

possuem suas altitudes elipsoidais determinadas. No geral nota-se que, as altitudes elipsoidais entre uma campanha e a subsequente diferem poucos centímetros. A exceção é a comparação entre a 1ª Campanha e a 2ª, onde encontram-se, como no MARCO 2, diferença de 11 cm. Isto ocorreu devido a uma incerteza na altura da antena dos pontos M01, M02, M09, M10, M12, M13, MARCO 1 e MARCO 2. Observando o ponto M11, que atingiu os melhores resultados na análise de qualidade dos dados GPS, nota-se que, a diferença entre a 1ª Campanha e a última foi de -4 mm.

TABELA 45 – ALTITUDES ELPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR

Ponto	Altitude elipsoidal (m)					
	Campanha					
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
M01	913,204	913,139	913,149	913,138	913,154	913,154
M02	910,419	910,373	910,385	910,374	910,394	910,371
M03	904,289	904,281	904,283	904,309	904,293	904,295
M04	---	899,440	899,470	899,476	899,471	899,526
M05	---	899,451	899,459	899,474	899,448	899,478
M06	903,070	903,071	903,075	903,099	903,069	903,099
M07	---	911,034	911,045	911,043	911,047	911,040
M08	913,844	913,842	913,842	913,849	913,839	913,864
M09	912,431	912,438	912,423	912,430	912,426	912,441
M10	909,175	909,176	909,192	909,171	909,166	909,162
M11	905,099	905,104	905,112	905,104	905,118	905,103
M12	900,875	900,928	900,918	900,922	900,860	900,883
M13	899,870	899,929	899,914	899,917	899,861	899,864
M14	897,868	897,859	897,924	897,907	897,861	897,883
M15	899,504	899,568	899,568	899,551	899,514	899,574
M16	902,717	902,754	902,723	902,700	902,683	902,684
M17	903,768	903,766	903,780	903,763	903,758	903,778
M18	900,831	900,839	900,863	900,838	900,854	900,865
M19	903,624	903,622	903,612	903,617	903,608	903,637
M20	904,653	904,650	904,661	904,657	---	---
M21	908,147	908,156	908,163	908,165	908,158	---
M22	911,914	911,917	911,900	911,909	911,899	---
MARCO 1	915,987	915,926	915,939	915,934	915,948	915,946
MARCO 2	916,031	916,137	916,126	916,120	916,136	916,120

Posteriormente foi realizado um processamento com os dados da Rede Interna e um ponto da Rede Externa, simulando a mesma situação anterior, porém

com uma estação conhecida materializada no presente trabalho, conforme a FIGURA 163 ilustra. As altitudes elipsoidais, com a Rede Interna e o ponto SANEPAR, são apresentadas na TABELA 46. Utilizando a mesma comparação da rede anterior, o ponto M11, nesta rede obteve diferença, entre a 1ª e última Campanha, de -5 mm, aumento de 1 mm. Isto reflete o que no geral ocorreu. Fixando a 2ª Campanha e comparando com as demais, nota-se que as diferenças máximas são de até 8 cm, no ponto M16.

TABELA 46 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM SANEPAR

Ponto	Altitude elipsoidal (m)					
	Campanha					
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
M01	913,213	913,209	913,155	913,140	913,162	913,163
M02	910,426	910,395	910,392	910,374	910,407	910,381
M03	904,301	904,302	904,298	904,311	904,314	904,308
M04	---	899,457	899,466	899,473	899,483	899,468
M05	---	899,458	899,468	899,474	899,454	899,463
M06	903,080	903,080	903,091	903,104	903,079	903,114
M07	---	911,040	911,060	911,046	911,067	911,053
M08	913,852	913,850	913,851	913,852	913,848	913,853
M09	912,441	912,454	912,438	912,433	912,436	912,454
M10	909,184	909,183	909,201	909,172	909,179	909,172
M11	905,108	905,125	905,120	905,104	905,131	905,113
M12	900,881	900,934	900,926	900,923	900,869	900,872
M13	899,881	899,944	899,929	899,924	899,871	899,877
M14	897,882	897,881	897,938	897,908	897,882	897,888
M15	899,512	899,589	899,576	899,551	899,527	899,491
M16	902,731	902,776	902,738	902,703	902,696	902,693
M17	903,778	903,781	903,794	903,771	903,771	903,759
M18	900,838	900,860	900,872	900,839	900,867	900,874
M19	903,633	903,629	903,621	903,618	903,616	903,623
M20	904,660	904,675	904,666	904,657	---	---
M21	908,160	908,177	908,179	908,167	908,178	---
M22	911,923	911,925	911,916	911,915	911,910	---
MARCO 1	916,000	915,946	915,954	915,938	915,968	915,959
MARCO 2	916,043	916,157	916,140	916,121	916,149	916,129

Empregando duas estações conhecidas, Curitiba-UFPR e o ponto SANEPAR, foi arranjada a rede da FIGURA 164. As altitudes elipsoidais desta rede são apresentadas na TABELA 47. Comparando estas altitudes elipsoidais com as

obtidas com somente a estação conhecida Curitiba-UFPR, observa-se que, no geral que elas variam de 1 a 2 cm. No entanto, quando são realizadas as diferenças entre as campanhas, a maior parte dos pontos e campanhas compartilham das mesmas discrepâncias. Este é o caso, por exemplo, do MARCO 2.

TABELA 47 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR E SANEPAR

Ponto	Altitude elipsoidal (m)					
	Campanha					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
M01	913,208	913,147	913,151	913,139	913,158	913,160
M02	910,424	910,385	910,392	910,374	910,400	910,377
M03	904,292	904,289	904,288	904,310	904,303	904,301
M04	---	899,451	899,473	899,474	899,478	899,468
M05	---	899,456	899,463	899,474	899,451	899,470
M06	903,074	903,075	903,080	903,101	903,074	903,107
M07	---	911,038	911,050	911,044	911,056	911,046
M08	913,848	913,850	913,846	913,851	913,844	913,858
M09	912,435	912,444	912,427	912,431	912,431	912,448
M10	909,179	909,180	909,196	909,171	909,181	909,168
M11	905,106	905,116	905,120	905,104	905,126	905,110
M12	900,878	900,933	900,921	900,923	900,864	900,876
M13	899,875	899,936	899,919	899,918	899,866	899,870
M14	897,872	897,868	897,930	897,907	897,871	897,885
M15	899,509	899,580	899,576	899,551	899,522	899,491
M16	902,720	902,762	902,728	902,701	902,688	902,690
M17	903,772	903,774	903,785	903,766	903,763	903,759
M18	900,837	900,851	900,872	900,839	900,870	900,871
M19	903,627	903,628	903,615	903,618	903,612	903,629
M20	904,658	904,664	904,669	904,657	---	---
M21	908,152	908,165	908,169	908,166	908,168	---
M22	911,917	911,920	911,906	911,911	911,905	---
MARCO 1	915,990	915,934	915,944	915,935	915,957	915,954
MARCO 2	916,037	916,146	916,132	916,120	916,142	916,125

Com a estação conhecida Curitiba-UFPR e dois pontos da Rede Externa, SANEPAR e BCAL, foi montada a rede da FIGURA 165. Na TABELA 48 constam as altitudes elipsoidais, de todas as campanhas, com exceção da 3^a, conforme mencionado na seção 4.3.1.1. Comparando, com a rede com somente a estação conhecida Curitiba-UFPR, as altitudes elipsoidais médias, por campanha, nota-se

que, a diferença média ficou em 1 cm. Comparando com a rede anterior, observa-se que as diferenças, entre as altitudes da outra rede e desta, diferem em milímetros.

TABELA 48 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR, SANEPAR E BCAL

Ponto	Altitude elipsoidal (m)					
	Campanha					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
M01	913,208	913,148	---	913,141	913,159	913,163
M02	910,424	910,384	---	910,377	910,401	910,379
M03	904,293	904,289	---	904,312	904,303	904,304
M04	---	899,450	---	899,477	899,478	899,468
M05	---	899,456	---	899,476	899,452	899,476
M06	903,074	903,075	---	903,103	903,075	903,110
M07	---	911,038	---	911,046	911,056	911,049
M08	913,848	913,850	---	913,853	913,845	913,864
M09	912,435	912,445	---	912,434	912,432	912,451
M10	909,179	909,181	---	909,174	909,182	909,170
M11	905,105	905,115	---	905,106	905,126	905,112
M12	900,879	900,933	---	900,925	900,865	900,882
M13	899,875	899,936	---	899,920	899,867	899,874
M14	897,873	897,868	---	897,911	897,871	897,891
M15	899,509	899,579	---	899,554	899,522	899,491
M16	902,721	902,762	---	902,703	902,690	902,693
M17	903,772	903,774	---	903,768	903,764	903,759
M18	900,836	900,850	---	900,841	900,871	900,874
M19	903,628	903,628	---	903,620	903,613	903,635
M20	904,658	904,662	---	904,660	---	---
M21	908,152	908,165	---	908,168	908,167	---
M22	911,917	911,921	---	911,913	911,905	---
MARCO 1	915,991	915,934	---	915,938	915,957	915,957
MARCO 2	916,037	916,145	---	916,122	916,143	916,127

A FIGURA 166 apresenta a rede formada com a Rede Interna, a Rede Externa completa e a estação Curitiba-UFPR. Nesta rede são apresentadas na TABELA 49, somente as altitudes elipsoidais da 1^a e 2^a Campanhas, conforme mencionado na seção 4.3.1.1. Novamente, quando comparadas as médias por campanha, entre a primeira rede (estação conhecida Curitiba-UFPR) e esta, nota-se que, as discrepâncias ficam em mm.

TABELA 49 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR, SANEPAR, BCAL E HORTO

Ponto	Altitude elipsoidal (m)					
	Campanha					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
M01	913,200	913,140	---	---	---	---
M02	910,419	910,377	---	---	---	---
M03	904,285	904,282	---	---	---	---
M04	---	899,443	---	---	---	---
M05	---	899,447	---	---	---	---
M06	903,067	903,067	---	---	---	---
M07	---	911,033	---	---	---	---
M08	913,839	913,842	---	---	---	---
M09	912,427	912,436	---	---	---	---
M10	909,171	909,172	---	---	---	---
M11	905,098	905,107	---	---	---	---
M12	900,869	900,924	---	---	---	---
M13	899,865	899,926	---	---	---	---
M14	897,866	897,857	---	---	---	---
M15	899,503	899,571	---	---	---	---
M16	902,711	902,754	---	---	---	---
M17	903,764	903,766	---	---	---	---
M18	900,831	900,843	---	---	---	---
M19	903,620	903,620	---	---	---	---
M20	904,652	904,655	---	---	---	---
M21	908,146	908,159	---	---	---	---
M22	911,908	911,913	---	---	---	---
MARCO 1	915,983	915,926	---	---	---	---
MARCO 2	916,029	916,138	---	---	---	---

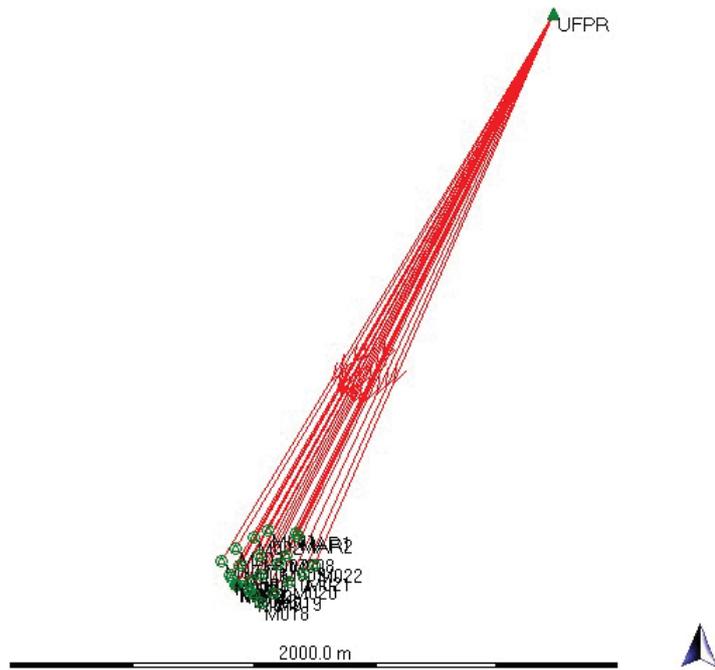


FIGURA 162 – REDE INTERNA COM UFPR-CURITIBA

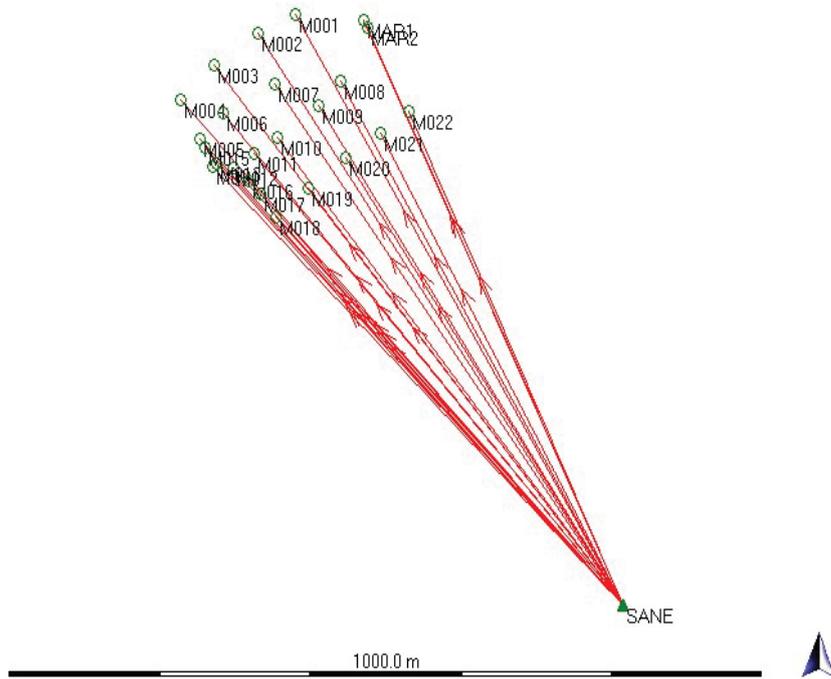


FIGURA 163 – REDE INTERNA COM SANEPAR

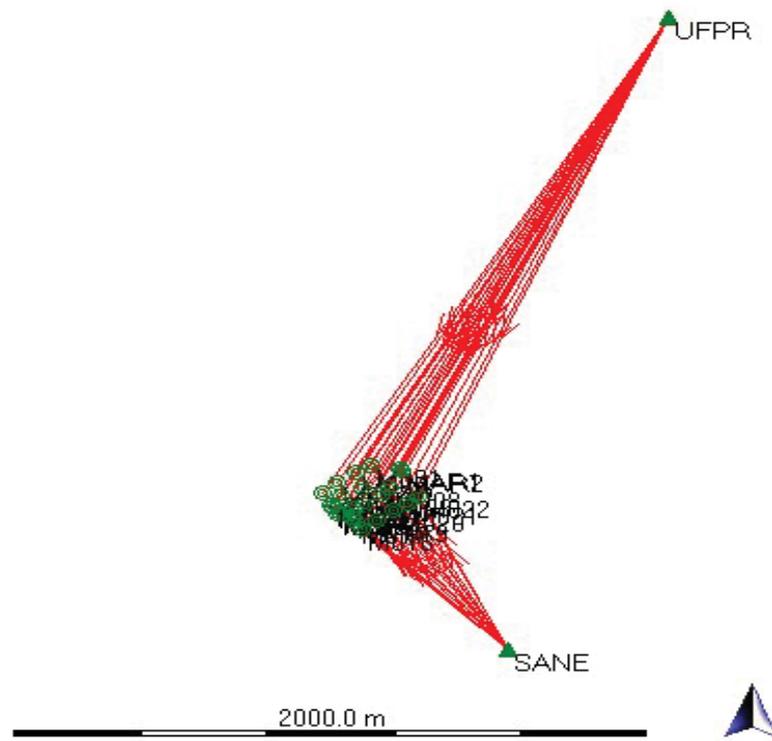


FIGURA 164 – REDE INTERNA COM UFPR-CURITIBA E SANEPAR

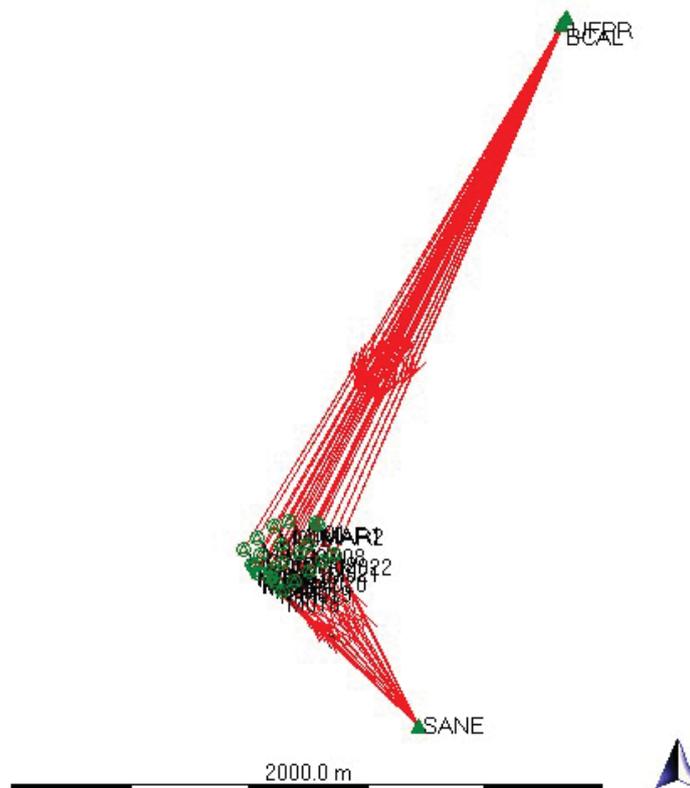


FIGURA 165 – REDE INTERNA COM UFPR-CURITIBA, SANEPAR E BCAL

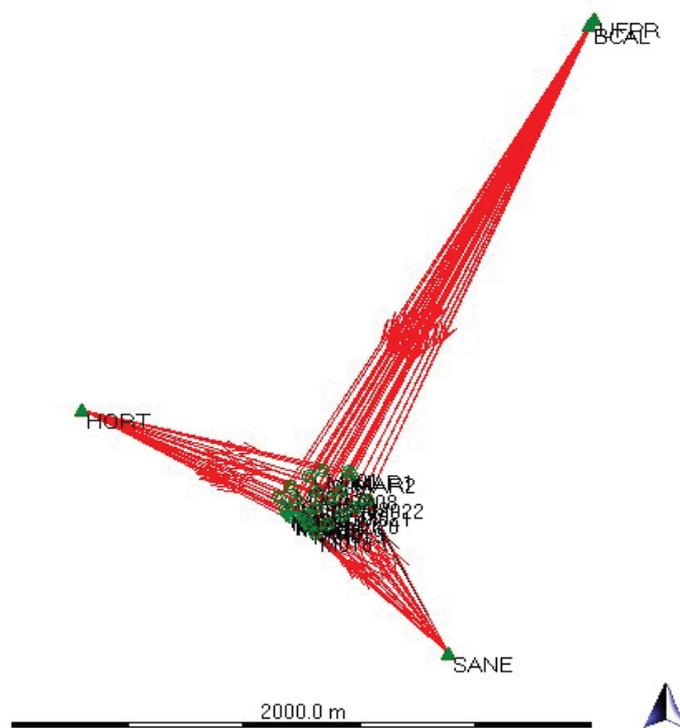


FIGURA 166 – REDE INTERNA COM UFPR-CURITIBA, SANEPAR, BCAL E HORTO

Como visto as diferenças das altitudes elipsoidais entre as redes formadas, muitas vezes ficaram na casa dos milímetros. Quando comparadas as diferenças entre as campanhas, entre as redes, notou-se poucas mudanças. Assim, os desvios-padrão, provenientes de cada processamento, é uma possibilidade de avaliar as altitudes elipsoidais. Na FIGURA 167 são apresentadas as médias dos desvios-padrão, por campanha, das redes formadas. Nele observa-se claramente que as redes com somente uma injunção, estação Curitiba-UFPR ou o ponto da Rede Externa, SANEPAR, obtiveram as melhores médias, com média geral para todas as campanhas de 0,95 mm e 0,97 mm, respectivamente. Quando comparadas as redes onde o ponto SANEPAR esteve presente, nota-se que, na 6ª Campanha, os valores atingiram cerca de 1 cm. Isto provavelmente é reflexo do que foi constatado na análise de qualidade dos dados GPS, onde nesta campanha o ponto SANEPAR obteve altos níveis de perdas de ciclos e nos indicadores de MP1 e MP2. Quando adicionado o ponto HORTO, nas 1ª e 2ª Campanhas, houve um aumento de aproximadamente 33% nos desvios-padrão médios. Este ponto também sofreu com o efeito de multicaminho, e atingiu a segunda pior média do índice de intensidade deste erro.

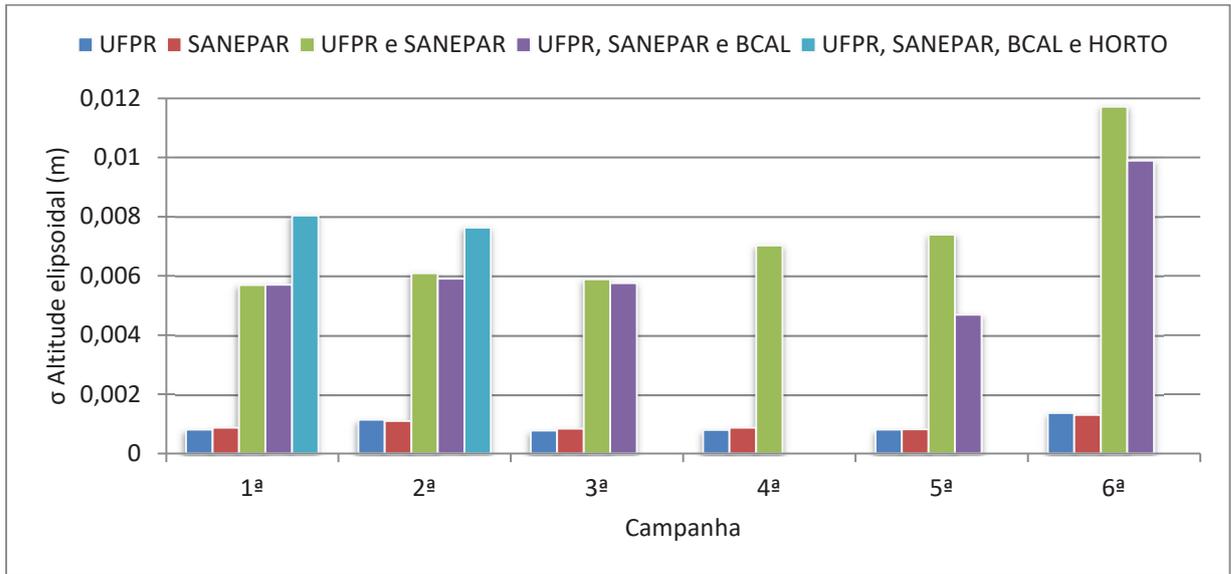


FIGURA 167 – MÉDIAS DOS DESVIOS-PADRÃO DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS DAS REDES FORMADAS

Levando em consideração a análise até aqui realizada, foi aplicado o teste F de *Snedecor* uni-caudal para comparar as variâncias entre as campanhas. A hipótese H_0 , com nível de significância α de 5%, aceita a hipótese de que as variâncias são iguais. A hipótese alternativa H_1 mostra que as variâncias são diferentes. Visto que, na primeira rede foi somente empregada a estação Curitiba-UFPR e esta é uma estação da RBMC, optou-se por definir esta como a referência para os testes. Desta forma, o teste foi aplicado entre esta rede e as demais.

Assim, obteve-se os valores dos testes e os valores críticos. Comparando a rede com a estação Curitiba-UFPR e a rede com o ponto SANEPAR, nota-se que, a hipótese nula foi rejeitada em todas as campanhas. A segunda comparação, entre a rede com a estação Curitiba-UFPR e a rede com esta estação e o ponto SANEPAR, obteve a hipótese nula rejeitada nas 4ª e 6ª Campanhas. Com a adição do ponto BCAL a rede anterior, as variâncias não foram iguais novamente nas 4ª e 6ª Campanhas. No último arranjo de rede, empregando também o ponto HORTO, a hipótese nula foi aceita somente na 1ª Campanha.

As variâncias na maior parte das campanhas, das redes formadas, não são iguais as variâncias da rede formada somente com a estação Curitiba-UFPR e que esta alcançou um dos melhores valores nas médias dos desvios-padrão. A rede formada com o ponto da Rede Externa, SANEPAR, atingiu médias satisfatórias de

desvios-padrão das campanhas, no entanto, obteve variâncias diferentes da rede de referência (estação Curitiba-UFPR). Desta forma, conclui-se que, para esta linha de base, extremamente curta, a melhor rede formada inclui somente uma estação conhecida.

TABELA 50 – TESTE F DE SNEDECOR COM AS DIFERENTES REDES ARRANJADAS

Campanha	Teste/ Valor crítico	UFPR x SANEPAR	UFPR x UFPR e SANEPAR	UFPR x UFPR, SANEPAR e BCAL	UFPR x UFPR, SANEPAR, BCAL e HORTO
1 ^a	F	1,0000	1,0001	1,0000	1,0001
	F crítico	0,4708	2,1242	2,1242	2,1242
2 ^a	F	0,9992	1,0002	1,0001	0,9999
	F crítico	0,4964	2,0144	2,0144	0,4964
3 ^a	F	0,9996	1,0001	---	---
	F crítico	0,4964	2,0144	---	---
4 ^a	F	0,9999	0,9999	1,0000	---
	F crítico	0,4964	0,4964	0,4964	---
5 ^a	F	0,9999	1,0001	1,0001	---
	F crítico	0,4883	2,0478	2,0478	---
6 ^a	F	0,9965	0,9969	0,9969	---
	F crítico	0,4708	0,4708	0,4708	---

5.5.2.4 Análise Quanto aos Parâmetros de Calibração de Antenas GPS da BCAL/UFPR e NGS

Em Werlich (2012) verificou-se que em linhas de base médias e longas as diferenças, entre altitudes elipsoidais advindas de processamentos com parâmetros NGS e BCAL/UFPR, são maiores que em linhas de base curtas, no entanto, essas menores diferenças não devem ser desprezadas.

No presente trabalho as linhas de base são inferiores a 2 km e aqui a proposta é identificar diferenças nas altitudes elipsoidais quando empregados os parâmetros do NGS e da BCAL/UFPR. Esta comparação é realizada com somente uma injunção, só com o ponto da Rede Externa, SANEPAR, e em uma segunda análise, com dois pontos da Rede Externa, SANEPAR e HORTO. Não englobou-se

o ponto BCAL pois, este não têm os parâmetros de calibração da antena definidos pela BCAL/UFPR, pois está é a antena de referência empregada nas calibrações na base referida. Os processamentos foram realizados conforme descrito na seção 4.3.3.2 e com as configurações relatadas na seção anterior, com exceção da questão dos parâmetros de calibração. Novamente, todas as soluções foram fixas, independentemente dos parâmetros de calibração empregados.

Na TABELA 51 são apresentadas as altitudes elipsoidais, com o emprego do ponto SANEPAR, e somente parâmetros próprios da BCAL/UFPR. Esta deve ser comparada com as altitudes elipsoidais da TABELA 46, que somente diferiu a fonte dos parâmetros de calibração, neste caso, NGS. Conforme consta na TABELA 4, seção 4.3.1.1, devido a problemas técnicos não foi possível utilizar sempre o mesmo equipamento em cada ponto. Somente os pontos M08, M09, M11, M12, M13, M14, M15, M19, M20, M21 e M22, empregaram, em todas as campanhas, o mesmo equipamento. Assim, notou-se que, a diferença média para estes pontos, com BCAL/UFPR e NGS, foi de 1,3 cm, em contrapartida, para os demais pontos que não obtiveram regularidade no tipo de equipamento, a diferença foi menor, 0,9 cm. Comparando as altitudes elipsoidais no geral, atingiu-se diferença média de 1 cm entre as campanhas, com parâmetros BCAL/UFPR e NGS.

TABELA 51 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM SANEPAR COM PARÂMETROS DA BCAL/UFPR

Ponto	Altitude elipsoidal (m)					
	Campanha					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
M01	913,224	913,175	913,168	913,154	913,161	913,168
M02	910,446	910,410	910,402	910,392	910,407	910,397
M03	904,310	904,313	904,308	904,311	904,316	904,320
M04	---	899,478	899,480	899,473	899,484	899,483
M05	---	899,471	899,480	899,474	899,466	899,479
M06	903,088	903,091	903,106	903,101	903,098	903,123
M07	---	911,053	911,075	911,060	911,074	911,067
M08	913,863	913,867	913,868	913,865	913,862	913,871
M09	912,449	912,465	912,454	912,450	912,455	912,464
M10	909,194	909,198	909,201	909,186	909,188	909,188
M11	905,129	905,141	905,132	905,122	905,134	905,133
M12	900,892	900,948	900,940	900,935	900,881	900,887
M13	899,888	899,954	899,944	899,940	899,887	899,886
M14	897,889	897,893	897,952	897,923	897,888	897,903
M15	899,532	899,603	899,585	899,568	899,529	899,506
M16	902,741	902,789	902,739	902,717	902,707	902,699
M17	903,789	903,792	903,795	903,782	903,778	903,775
M18	900,859	900,876	900,872	900,858	900,877	900,879
M19	903,643	903,644	903,634	903,631	903,629	903,640
M20	904,680	904,689	904,677	904,673	---	---
M21	908,172	908,190	908,192	908,182	908,183	---
M22	911,932	911,937	911,932	911,932	911,928	---
MARCO 1	916,011	915,960	915,966	915,951	915,966	915,963
MARCO 2	916,056	916,170	916,159	916,141	916,149	916,148

Em uma segunda comparação são empregadas duas injunções. A primeira rede com o emprego dos PCO-PCV provenientes do NGS e a segunda rede com os parâmetros da BCAL/UFPR. Esta rede, apresentada na FIGURA 168, conforme mencionado na seção 4.3.1.1, só foi possível nas três primeiras campanhas. A TABELA 52 apresenta as altitudes elipsoidais, para estas campanhas, com o emprego somente dos parâmetros do NGS e, em outro processamento, a utilização somente dos valores da BCAL/UFPR. Quando comparados os pontos com os mesmos equipamentos em todas as campanhas (M08, M09, M11, M12, M13, M14, M15, M19, M20, M21 e M22), calculou-se diferença média de 1,7 cm. Para os demais pontos a diferença foi de 1,5 cm. Ambas médias aumentaram com relação a

análise anterior. Comparando campanha por campanha, observou-se que a 2ª Campanha apresentou a maior diferença média, atingindo o valor de 2 cm. As demais diferiam, em média, 1 cm.

TABELA 52 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS DA REDE INTERNA COM SANEPAR E HORTO, COM PARÂMETROS DO NGS E BCAL/UFPR

Ponto	Altitude elipsoidal (m)					
	Parâmetros NGS			Parâmetros BCAL/UFPR		
	Campanha					
	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
M01	913,181	913,121	913,131	913,196	913,144	913,147
M02	910,398	910,364	910,372	910,423	910,381	910,385
M03	904,267	904,265	904,267	904,282	904,285	904,282
M04	---	899,428	899,452	---	899,447	899,465
M05	---	899,430	899,442	---	899,446	899,456
M06	903,053	903,052	903,060	903,065	903,065	903,079
M07	---	911,019	911,027	---	911,034	911,047
M08	913,822	913,828	913,825	913,837	913,848	913,847
M09	912,413	912,421	912,404	912,426	912,435	912,427
M10	909,153	909,155	909,176	909,168	909,175	909,178
M11	905,079	905,093	905,096	905,107	905,112	905,112
M12	900,851	900,906	900,898	900,863	900,923	900,916
M13	899,852	899,911	899,893	899,862	899,924	899,912
M14	897,851	897,842	897,909	897,861	897,856	897,925
M15	899,484	899,559	899,556	899,507	899,575	899,568
M16	902,694	902,735	902,705	902,709	902,757	902,709
M17	903,749	903,753	903,765	903,762	903,768	903,767
M18	900,811	900,831	900,854	900,837	900,851	900,855
M19	903,602	903,604	903,593	903,616	903,621	903,610
M20	904,633	904,644	904,648	904,656	904,662	904,661
M21	908,130	908,145	908,148	908,144	908,164	908,165
M22	911,893	911,897	911,884	911,905	911,911	911,906
MARCO 1	915,963	915,907	915,921	915,980	915,931	915,936
MARCO 2	916,015	916,126	916,112	916,026	916,140	916,131

Os desvios-padrão, médios para cada campanha, com o emprego do ponto SANEPAR e parâmetros do NGS e em outro processamento os provenientes da BCAL/UFPR, podem ser visualizados no gráfico da FIGURA 169. Nele verifica-se que, para todas as campanhas, os desvios-padrão médios foram menores quando empregados os parâmetros próprios de calibração de antenas GPS.

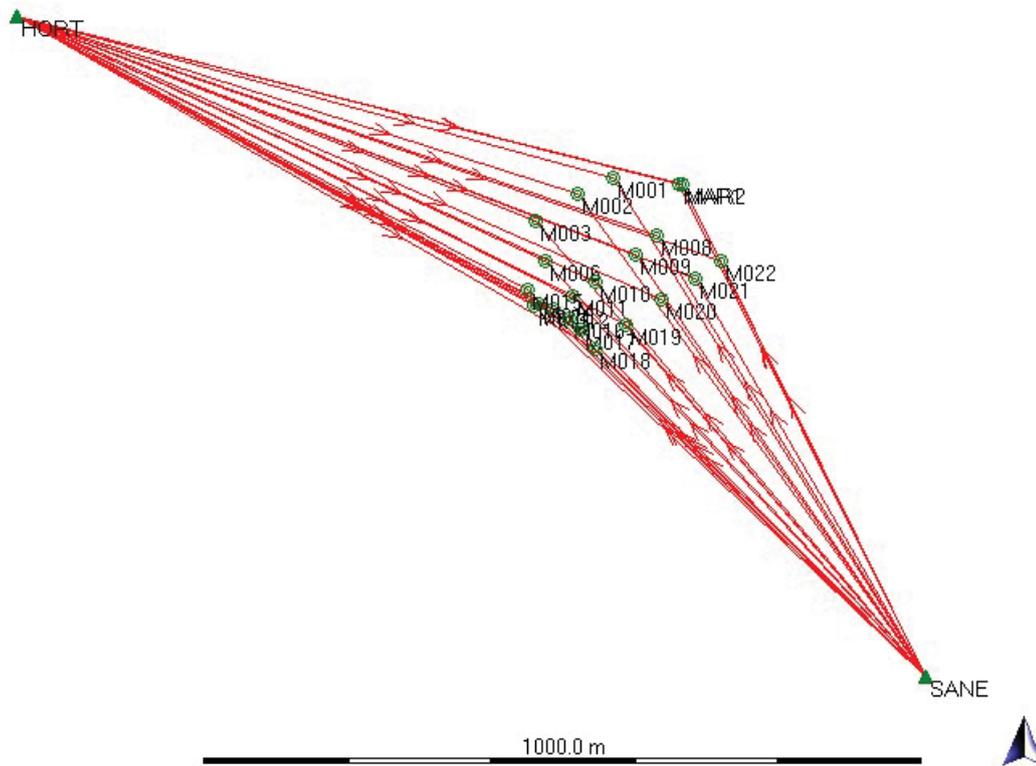


FIGURA 168 – REDE INTERNA COM SANEPAR E HORTO

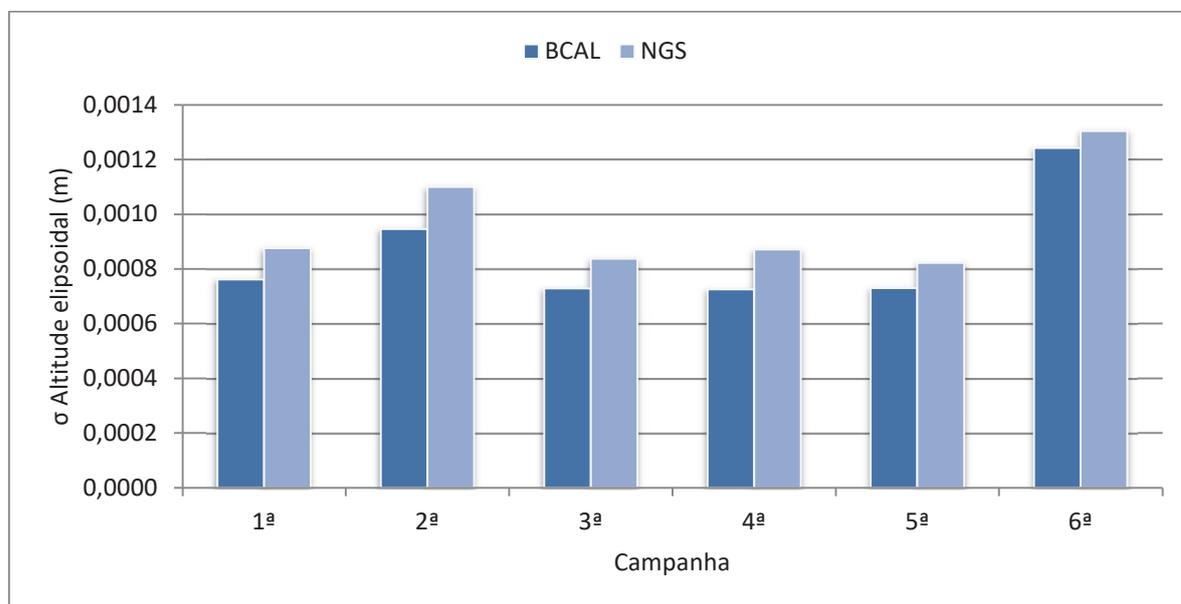


FIGURA 169 – MÉDIAS DOS DESVIOS-PADRÃO DAS ALTITUDES ELIPSÓIDAIAS COM O EMPREGO DE DIFERENTES PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GPS, COM SANEPAR

Analisando os desvios-padrão, quando arranjadas as redes, dos pontos da Rede Externa, SANEPAR e HORTO, com parâmetros do NGS e posteriormente da BCAL/UFPR são apresentados na FIGURA 170. Desta vez, observa-se que, independentemente da fonte dos parâmetros, os desvios-padrão foram iguais.

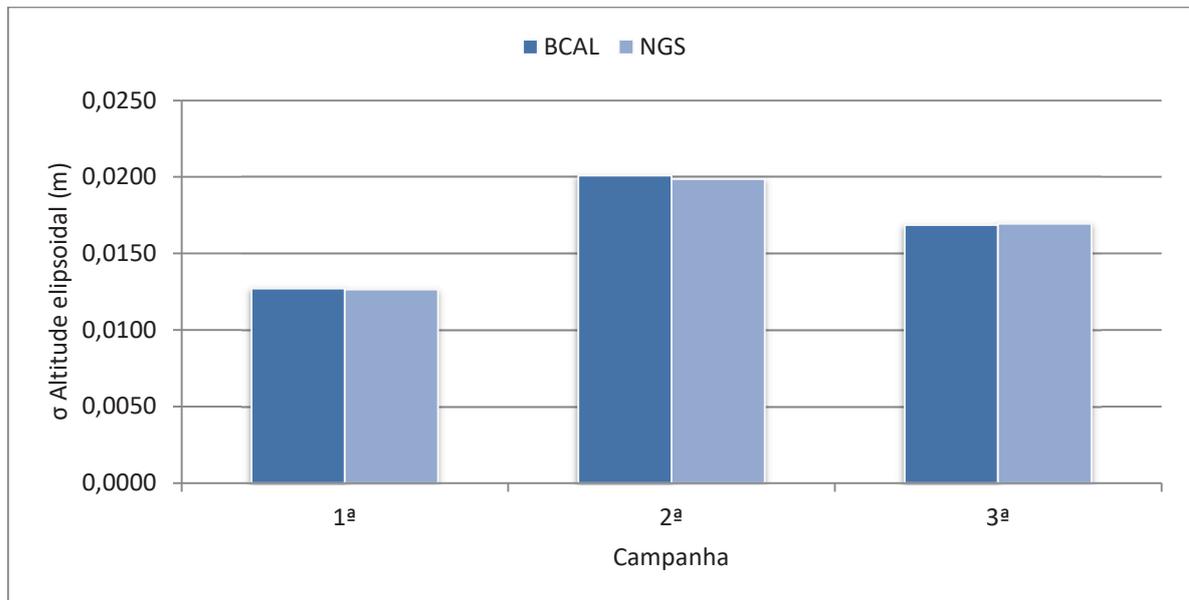


FIGURA 170 – MÉDIAS DOS DESVIOS-PADRÃO DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS COM O EMPREGO DE DIFERENTES PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GPS, COM SANEPAR E HORTO

Seguindo a mesma metodologia da análise da seção anterior, foi aplicado o teste F de *Snedecor* uni-caudal para comparar as variâncias entre as campanhas. A hipótese H_0 , com nível de significância α de 5%, aceita a hipótese de que as variâncias são iguais. A hipótese alternativa H_1 mostra que as variâncias são diferentes. Os conjuntos utilizados como referência são as altitudes elipsoidais com as quais foram obtidas com o emprego dos PCO-PCV próprios da BCAL/UFPR.

Assim, avaliando a rede somente com o ponto SANEPAR e a Rede Interna, observa-se que somente na 4ª e 5ª Campanhas as variâncias foram iguais. Analisados os valores dos testes, quando empregados os dois pontos da Rede Externa, SANEPAR e HORTO, observa-se que, somente na 1ª Campanha as variâncias foram distintas. As demais campanhas obtiveram as mesmas variâncias.

Desta forma, considerando os testes aplicados e os desvios-padrão médios nota-se que, para esta linha de base, cerca de 2 km, o uso de duas injunções, o emprego de qualquer dos parâmetros do NGS ou da BCAL/UFPR, não acarretou em

discrepâncias. Em contrapartida, quando analisada a rede com o ponto SANEPAR e a Rede Interna, a rede com o uso dos parâmetros da BCAL/UFPR alcançou os melhores resultados.

TABELA 53 – TESTE F DE SNEDECOR COM AS DIFERENTES REDES ARRANJADAS E PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GPS

Campanha	Teste/ Valor crítico	Parâmetros BCAL x Parâmetros NGS	
		SANEPAR	SANEPAR e HORTO
1ª	F	0,9999	0,9998
	F crítico	0,4708	0,4708
2ª	F	0,9991	1,0002
	F crítico	0,4964	2,0144
3ª	F	1,0005	1,0007
	F crítico	2,0144	2,0144
4ª	F	1,0008	---
	F crítico	2,0144	---
5ª	F	0,9996	---
	F crítico	0,4883	---
6ª	F	0,9999	---
	F crítico	0,4708	---

5.6 COMPARAÇÃO DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS ENTRE AS CAMPANHAS

Como visto, quando analisada a quantidade de estações conhecidas, com o emprego somente de parâmetros de calibração de antenas GPS do NGS, as redes com os melhores resultados foram as com injunções mínimas. Da mesma forma que, na análise quanto aos parâmetros, os melhores resultados são provenientes da rede, com injunção mínima, com os PCO-PCV da BCAL/UFPR. Assim, optou-se por apresentar as diferenças entre as campanhas destes dois processamentos.

Para tanto, devido a incertezas na altura da antena de alguns pontos, mencionados na seção 5.5.2.3, e alguns pontos em que não foram realizados rastreios na 1ª Campanha, para estes pontos fixou-se a 2ª Campanha como referência. Para os demais pontos, a 1ª Campanha foi tomada como referência. Na TABELA 54 são apresentadas as diferenças, quando empregada a estação Curitiba-

UFPR. Verifica-se que ocorreram diferenças de até -70 mm, no ponto M15. Como descrito na seção 5.3.2, TABELA 30, lembra-se que, neste ponto o deslocamento vertical máximo foi de -16 mm. O MARCO 2, utilizado como *benchmark* no nivelamento geométrico, alcançou diferença entre a 2ª Campanha e a última, de 17 mm.

TABELA 54 – DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS, COM A REDE INTERNA E A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR, ENTRE AS CAMPANHAS

Ponto	Δ Alt. elip. (mm) 1-2	Δ Alt. elip. (mm) 1-3 / 2-3*	Δ Alt. elip. (mm) 1-4 / 2-4*	Δ Alt. elip. (mm) 1-5 / 2-5*	Δ Alt. elip. (mm) 1-6 / 2-6*
M01*	---	-10	1	-15	-15
M02*	---	-12	-1	-21	2
M03	8	6	-20	-4	-6
M04*	---	-30	-36	-31	-86
M05*	---	-8	-23	3	-27
M06	-1	-5	-29	1	-29
M07*	---	-11	-9	-13	-6
M08	2	2	-5	5	-20
M09*	---	15	8	12	-3
M10*	---	-16	5	10	14
M11	-5	-13	-5	-19	-4
M12*	---	10	6	68	45
M13*	---	15	12	68	65
M14	9	-56	-39	7	-15
M15	-64	-64	-47	-10	-70
M16	-37	-6	17	34	33
M17	2	-12	5	10	-10
M18	-8	-32	-7	-23	-34
M19	2	12	7	16	-13
M20	3	-8	-4	---	---
M21	-9	-16	-18	-11	---
M22	-3	14	5	15	---
MARCO 1*	---	-13	-8	-22	-20
MARCO 2*	---	11	17	1	17

Comparando os resultados, quando empregada a rede com o ponto SANEPAR e os valores de PCO-PCV da BCAL/UFPR, têm-se a TABELA 55. O ponto M15 obteve significativa redução da diferença, atingindo máximo de 26 mm.

Nota-se que, pontos que sofreram menos com a influência do efeito de multicaminho apresentam resultados mais realistas, caso dos pontos M10 e M11.

TABELA 55 – DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS, COM A REDE INTERNA E A ESTAÇÃO CURITIBA-UFPR, ENTRE AS CAMPANHAS

Ponto	Δ Alt. elip. (mm) 1-2	Δ Alt. elip. (mm) 1-3 / 2-3*	Δ Alt. elip. (mm) 1-4 / 2-4*	Δ Alt. elip. (mm) 1-5 / 2-5*	Δ Alt. elip. (mm) 1-6 / 2-6*
M01*	---	7	21	14	7
M02*	---	8	18	3	13
M03	-3	2	-1	-6	-10
M04*	---	-2	5	-6	-5
M05*	---	-9	-3	5	-8
M06	-3	-18	-13	-10	-35
M07*	---	-22	-7	-21	-14
M08	-4	-5	-2	1	-8
M09*	---	11	15	10	1
M10*	---	-3	12	10	10
M11	-12	-3	7	-5	-4
M12*	---	8	13	67	61
M13*	---	10	14	67	68
M14	-4	-63	-34	1	-14
M15	-71	-53	-36	3	26
M16	-48	2	24	34	42
M17	-3	-6	7	11	14
M18	-17	-13	1	-18	-20
M19	-1	9	12	14	3
M20	-9	3	7	---	---
M21	-18	-20	-10	-11	---
M22	-5	0	0	4	---
MARCO 1*	---	-6	9	-6	-3
MARCO 2*	---	11	29	21	22

Realizando médias gerais para os dois resultados apresentados, quando empregada a estação Curitiba-UFPR obteve-se média absoluta de 6 mm, para todos os pontos. Utilizando o ponto SANEPAR e parâmetros da BCAL/UFPR a média geral absoluta foi de 1 mm. Assim, considera-se que os valores provenientes da rede com os PCO-PCV da BCAL/UFPR podem conduzir a resultados mais confiáveis.

5.7 COMPARAÇÃO ENTRE OS DESNÍVEIS PROVENIENTES DOS PROCESSAMENTOS RELATIVOS, SERVIÇO PPP-IBGE E NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Conforme apresentado, a comparação das altitudes elipsoidais, entre as campanhas, não conduziu a resultados satisfatórios. Nesta análise passa-se para a abordagem com relação aos desníveis. Para tanto foram escolhidas a 2^a, 5^a e 6^a Campanhas GPS e a 2^a, 7^a e 8^a Campanhas de nivelamento geométrico. A razão para esta seleção deu-se devido ao ano de realização de cada uma destas campanhas, 2015, 2016 e 2017, respectivamente.

Assim como na seção anterior, nesta foram utilizadas as altitudes elipsoidais do processamento relativo com a estação Curitiba-UFPR e do processamento relativo com o ponto SANEPAR com parâmetros da BCAL/UFPR. Além, disto são apresentados os desníveis dos processamentos com o serviço PPP-IBGE, com intervalo entre as épocas de 15 segundos.

Os desníveis foram calculados entre o MARCO 2 e cada ponto da Rede Interna, com exceção de cinco pontos. O ponto M07, *benchmark* da rede; M18, com problema na materialização; M20, que foi extraviado; M21 e M22, que por problemas técnicos não foi realizado o posicionamento GPS, na última campanha.

Os desníveis utilizados como referência são os provenientes do nivelamento geométrico. Para tanto foram empregadas as altitudes ortométricas ajustadas das campanhas realizadas.

Na TABELA 56 constam os desníveis dos pontos, com relação ao MARCO 2, da 2^a Campanha de posicionamento GPS, assim como a mesma campanha de nivelamento geométrico. Comparando o processamento relativo com a estação Curitiba-UFPR com a referência, nota-se que, o ponto M05 alcançou a menor diferença, somente 1,1 mm. Com o segundo processamento relativo, a menor diferença foi de 7,8 mm, no ponto M04. Os desníveis advindos dos processamentos com o serviço PPP-IBGE atingiram as maiores diferenças, com média de 40 mm. Com relação aos desvios-padrão, nota-se que, há regularidade entre os desníveis provenientes dos rastreios GPS. Lembra-se que esta campanha obteve uma das menores média de efeito de multicaminho em MP1 e MP2, 36,77 cm e 41,11 cm, respectivamente.

TABELA 56 – DESNÍVEIS DA 2ª CAMPANHA COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS E NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Ponto	Relativo UFPR	Relativo SANEPAR Par. BCAL/UFPR	PPP-IBGE	Nivelamento geométrico
	Δh (m)			ΔH (m)
M01	-2,997	-2,995	-2,960	-2,976
M02	-5,763	-5,760	-5,640	-5,750
M03	-11,856	-11,857	-11,830	-11,846
M04	-16,697	-16,692	-16,630	-16,684
M05	-16,686	-16,699	-16,700	-16,687
M06	-13,066	-13,079	-13,130	-13,055
M08	-2,295	-2,303	-2,350	-2,278
M09	-3,698	-3,705	-3,710	-3,688
M10	-6,961	-6,971	-6,890	-6,954
M11	-11,032	-11,029	-10,870	-11,017
M12	-15,209	-15,222	-15,220	-15,265
M13	-16,207	-16,216	-16,290	-16,267
M14	-18,277	-18,276	-18,230	-18,284
M15	-16,569	-16,567	-16,380	-16,622
M16	-13,383	-13,381	-13,320	-13,423
M17	-12,371	-12,377	-12,370	-12,362
M19	-12,515	-12,526	-12,470	-12,513

A 7ª Campanha de nivelamento é a equivalente a 5ª Campanha de rastreamento GPS, conforme TABELA 5, seção 4.3.1.3, assim, na TABELA 57 são apresentados os desníveis, com relação ao MARCO 2, da 5ª Campanha de posicionamento GPS e da 7ª Campanha de nivelamento geométrico. Com o primeiro processamento relativo, estação Curitiba-UFPR, a diferença entre os desníveis deste com os do nivelamento geométrico, no ponto M05, alcançou o valor de 23,8 mm. Com o segundo processamento, ponto SANEPAR, agora a diferença no ponto M04, aumentou também e atingiu o valor de 10,1 mm. A diferença média geral dos desníveis com os resultados do PPP e os de referência diferiram 60 mm, em contrapartida, os relativos obtiveram, discrepâncias médias gerais de 6 mm e 0 mm, com a estação Curitiba-UFPR e o ponto SANEPAR, respectivamente. Os valores de desvios-padrão acompanharam estes resultados. A 5ª Campanha GPS, em conjunto

com a 2ª Campanha, atingiu também reduzidos valores de MP1 e MP2, 35,88 cm e 41,98 cm, respectivamente.

TABELA 57 – DESNÍVEIS DA 5ª CAMPANHA COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS E 7ª CAMPANHA DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Ponto	Relativo UFPR	Relativo SANEPAR Par. BCAL/UFPR	PPP-IBGE	Nivelamento geométrico
	Δh (m)			ΔH (m)
M01	-2,982	-2,976	-3,040	-2,976
M02	-5,742	-5,748	-5,820	-5,748
M03	-11,843	-11,843	-11,741	-11,843
M04	-16,665	-16,689	-16,611	-16,689
M05	-16,689	-16,685	-16,634	-16,685
M06	-13,067	-13,054	-12,906	-13,054
M08	-2,297	-2,276	-2,205	-2,276
M09	-3,710	-3,685	-3,594	-3,685
M10	-6,970	-6,952	-6,919	-6,952
M11	-11,019	-11,015	-10,981	-11,015
M12	-15,277	-15,265	-15,214	-15,265
M13	-16,276	-16,267	-16,178	-16,267
M14	-18,275	-18,290	-18,209	-18,290
M15	-16,622	-16,633	-16,586	-16,633
M16	-13,453	-13,446	-13,326	-13,446
M17	-12,379	-12,358	-12,259	-12,358
M19	-12,529	-12,509	-12,446	-12,509
Média	-11,517	-11,511	-11,451	-11,511
Desvio- padrão	5,10	5,11	5,09	5,11

Os desníveis das últimas campanhas, 6ª Campanha GPS e 8ª Campanha de nivelamento geométrico, encontram-se na TABELA 58. Os pontos anteriormente comentados, M05 e M04, dos processamentos com a estação Curitiba-UFPR e ponto SANEPAR, respectivamente, sofreram significativos aumentos das diferenças, 97,5 mm e 24,2 mm. Quando analisadas as médias gerais dos desníveis têm-se que, a diferença entre os resultados provenientes do primeiro e segundo processamento relativo e o nivelamento geométrico foi de 29 mm e 8 mm, respectivamente. Novamente os desníveis resultantes dos processamentos com o PPP obtiveram a maior diferença da média geral, 96 mm, assim como o desvio-

padrão. A última campanha GPS atingiu as maiores médias em MP1 e MP2, 41,86 cm e 42,37 cm, respectivamente.

TABELA 58 – DESNÍVEIS DA 6ª CAMPANHA GPS COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS E 8ª CAMPANHA DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Ponto	Relativo UFPR	Relativo SANEPAR Par. BCAL/UFPR	PPP-IBGE	Nivelamento geométrico
	Δh (m)			ΔH (m)
M01	-2,966	-2,980	-2,820	-2,985
M02	-5,749	-5,751	-5,630	-5,757
M03	-11,824	-11,828	-11,760	-11,853
M04	-16,594	-16,665	-16,620	-16,691
M05	-16,642	-16,669	-16,530	-16,687
M06	-13,020	-13,025	-12,910	-13,054
M08	-2,256	-2,277	-2,220	-2,276
M09	-3,679	-3,685	-3,510	-3,686
M10	-6,958	-6,960	-6,850	-6,953
M11	-11,017	-11,015	-10,930	-11,016
M12	-15,237	-15,261	-15,200	-15,267
M13	-16,256	-16,262	-16,130	-16,268
M14	-18,237	-18,245	-18,330	-18,292
M15	-16,546	-16,642	-16,640	-16,635
M16	-13,436	-13,449	-13,330	-13,454
M17	-12,342	-12,373	-12,280	-12,360
M19	-12,483	-12,508	-12,410	-12,511
Média	-11,485	-11,506	-11,418	-11,514
Desvio- padrão	5,09	5,10	5,13	5,11

Os valores das diferenças dos desníveis, entre a 2ª e 5ª Campanhas GPS, e 2ª e 7ª Campanhas de nivelamento geométrico, são apresentados na TABELA 59, e graficamente podem-se visualizados na FIGURA 171 e FIGURA 172. A diferença máxima encontrada no nivelamento geométrico foi no ponto M16 de -22,64 mm. Para este ponto, os demais resultados também obtiveram deslocamentos negativos. Para 65% dos desníveis advindos dos processamentos relativos com a estação Curitiba-UFPR, os deslocamentos, quando comparados com a referência, foram de sentidos inversos. Para as diferenças entre os desníveis dos resultados provenientes dos processamentos com o ponto SANEPAR e parâmetros de

calibração da BCAL/UFPR, somente 24% dos pontos os deslocamentos foram inversos. No entanto, para o ponto M16 a diferença entre a referência e o resultado proveniente deste processamento foi de cerca de 48 mm. Percebe-se que, os resultados do PPP-IBGE foram os que atingiram as maiores diferenças, com relação aos desníveis de referência. No entanto, como comparado anteriormente, para somente 29% dos desníveis, os mesmos foram inversos aos da referência.

TABELA 59 – DIFERENÇAS ENTRE OS DESNÍVEIS DA 2ª E 5ª CAMPANHAS GPS COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS E 2ª E 7ª CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Ponto	Relativo UFPR	Relativo SANEPAR Par. BCAL/UFPR	PPP-IBGE	Nivelamento geométrico
	Δh (mm)			ΔH (mm)
M01	14,80	7,20	-80,00	0,45
M02	21,10	17,90	-180,00	2,39
M03	12,60	24,10	88,60	3,19
M04	31,60	26,80	18,60	-4,78
M05	-2,70	16,30	65,80	1,56
M06	-1,70	28,50	223,60	1,01
M08	-2,60	15,70	145,20	1,76
M09	-11,90	11,50	115,80	2,22
M10	-9,50	10,80	-29,20	2,27
M11	13,50	14,30	-111,30	1,89
M12	-67,50	-46,10	5,80	0,15
M13	-68,10	-45,40	112,40	0,29
M14	2,40	15,30	20,50	-5,90
M15	-53,50	-53,10	-206,20	-11,26
M16	-70,60	-61,30	-5,50	-22,64
M17	-8,10	6,20	110,60	3,28
M19	-14,00	5,80	23,60	4,45

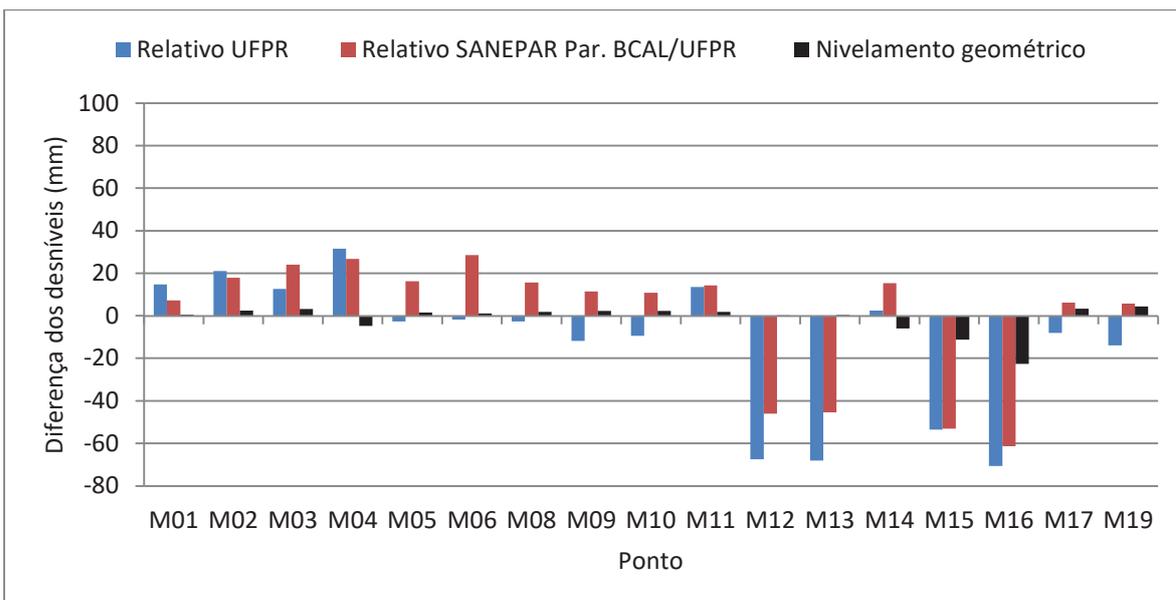


FIGURA 171 – DIFERENÇAS ENTRE OS DESNÍVEIS DA 2ª E 5ª CAMPANHAS GPS COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS RELATIVOS E 2ª E 7ª CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

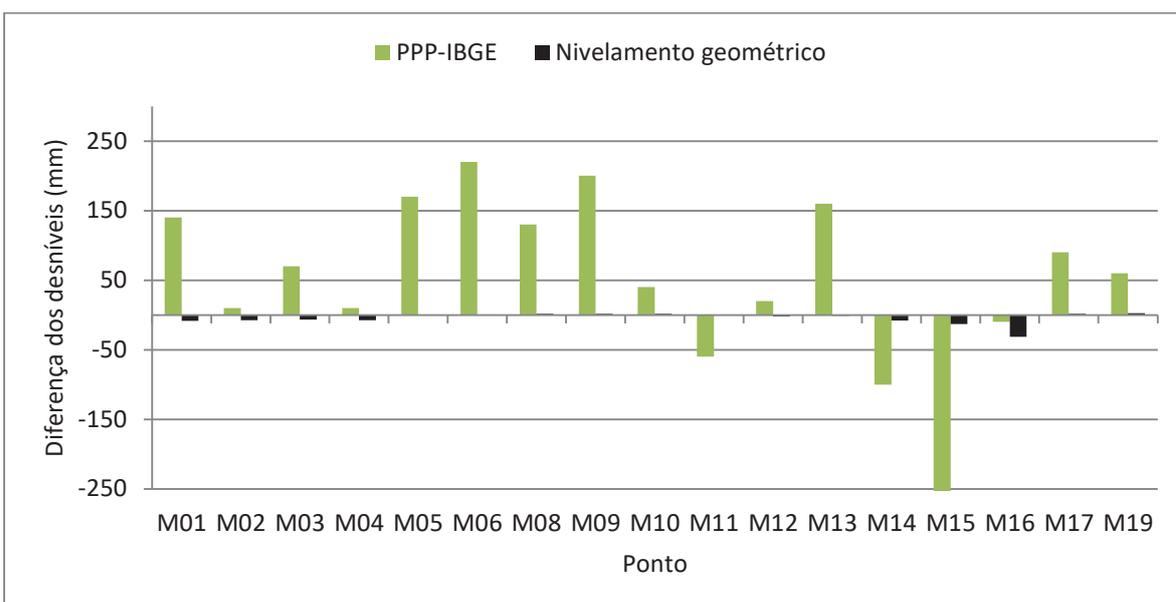


FIGURA 172 – DIFERENÇAS ENTRE OS DESNÍVEIS DA 2ª E 5ª CAMPANHAS GPS COM PROCESSAMENTO PPP-IBGE E 2ª E 7ª CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

As diferenças dos desníveis, entre a 2ª e 6ª Campanhas GPS, e 2ª e 8ª Campanhas de nivelamento geométrico, são apresentadas na TABELA 60. Para melhor visualização das diferenças são apresentadas as FIGURA 173 e FIGURA 174, que contêm as diferenças dos desníveis dos processamentos relativos e do nivelamento geométrico e do PPP-IBGE e a referência, respectivamente.

Novamente a maior diferença entre os desníveis ocorreu no ponto M16, com valor de -31,55 mm, e o mesmo sentido do deslocamento foi detectado pelos processamentos com dados GPS. Nas diferenças dos desníveis quando advindos dos processamentos com a estação Curitiba-UFPR, os sentidos dos deslocamentos foram inversos em 41%. Atingindo diferença de até 110,05 mm no ponto M04. As diferenças dos desníveis do segundo processamento relativo, não alcançaram tamanha diferença, a diferença máxima entre eles e a referência foi de 61,66 mm no ponto M15. Os sentidos dos deslocamentos tiveram sentidos inversos em 35% dos desníveis. Novamente as diferenças dos desníveis entre os dados do PPP-IBGE e os da referência são bastante distintos, atingindo diferença máxima de aproximadamente, 247 mm no ponto M15. Os sentidos dos deslocamentos foram inversos em 47% dos pontos analisados.

TABELA 60 – DIFERENÇAS ENTRE OS DESNÍVEIS DA 2ª E 6ª CAMPANHAS GPS COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS E 2ª E 8ª CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Ponto	Relativo UFPR	Relativo SANEPAR Par. BCAL/UFPR	PPP-IBGE	Nivelamento geométrico
	Δh (mm)			ΔH (mm)
M01	31,30	15,20	140,00	-8,26
M02	14,00	8,70	10,00	-7,32
M03	31,50	28,30	70,00	-6,72
M04	102,70	27,10	10,00	-7,35
M05	44,30	29,50	170,00	-0,41
M06	45,20	53,50	220,00	0,84
M08	38,90	25,50	130,00	1,54
M09	19,70	20,30	200,00	1,43
M10	2,70	11,30	40,00	1,54
M11	15,60	13,50	-60,00	0,33
M12	-28,00	-39,70	20,00	-1,98
M13	-48,60	-46,20	160,00	-0,92
M14	40,50	31,60	-100,00	-7,86
M15	22,80	-74,80	-260,00	-13,14
M16	-53,00	-68,20	-10,00	-31,55
M17	28,80	3,80	90,00	1,83
M19	31,80	17,80	60,00	2,48

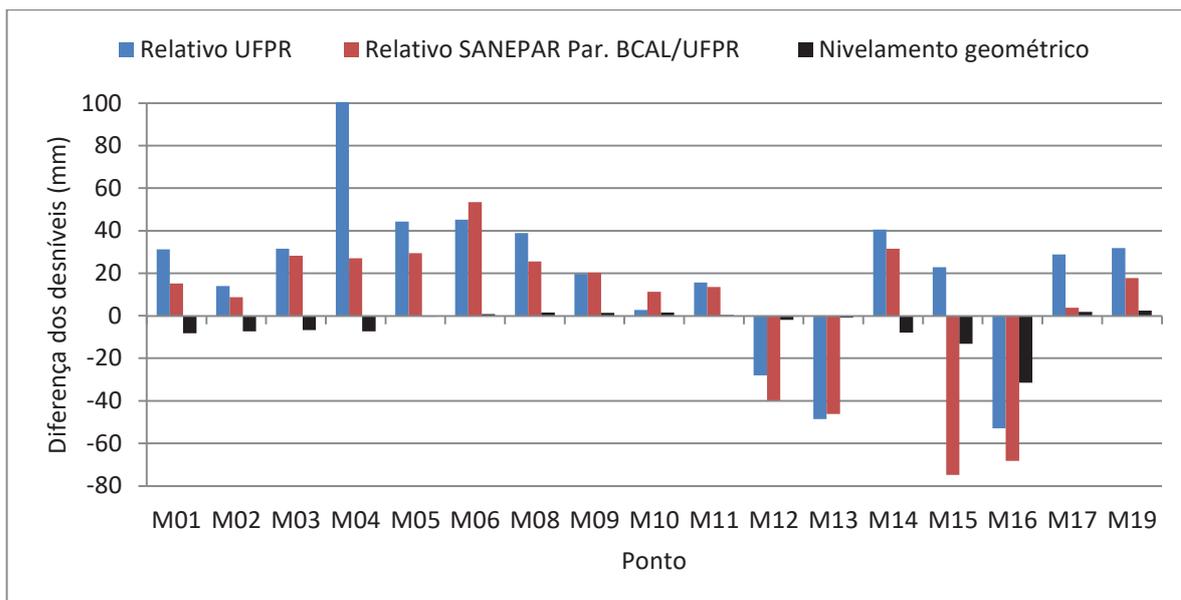


FIGURA 173 – DIFERENÇAS ENTRE OS DESNÍVEIS DA 2ª E 6ª CAMPANHAS GPS COM DIFERENTES PROCESSAMENTOS RELATIVOS E 2ª E 8ª CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

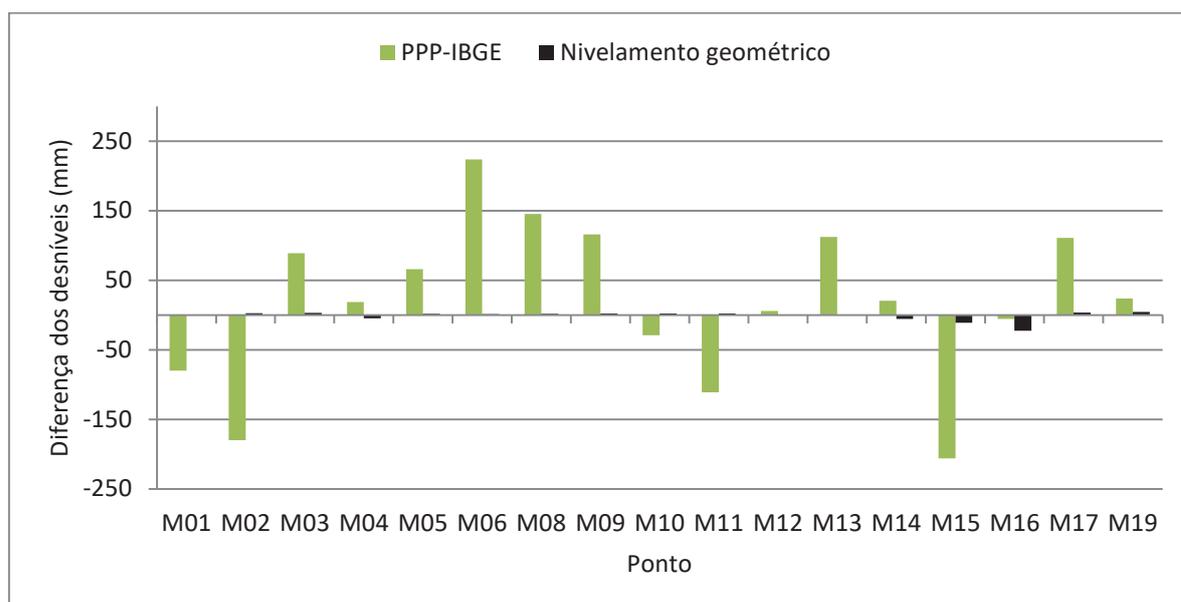


FIGURA 174 – DIFERENÇAS ENTRE OS DESNÍVEIS DA 2ª E 6ª CAMPANHAS GPS COM PROCESSAMENTO PPP-IBGE E 2ª E 8ª CAMPANHAS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Diante dos resultados aqui expostos foi possível perceber que, quantitativamente a diferença dos desníveis entre os resultantes das campanhas de nivelamento geométrico e os provenientes dos processamentos GPS não se equivalem. No entanto, nota-se que as menores diferenças, na maior parte dos

casos, foram encontradas com o processamento relativo com o ponto SANEPAR e os parâmetros da BCAL/UFPR.

Considerando somente obter o mesmo sentido do deslocamento, negativo ou positivo, foi observado que, para os dois desníveis analisados, com os dados provenientes do processamento relativo com a estação Curitiba-UFPR, 53% dos desníveis obtiveram sentidos opostos. Com os desníveis advindos dos processamentos com o PPP-IBGE, a percentagem foi menor, 38%. Quando empregado o ponto SANEPAR e os valores de PCO-PCV da BCAL/UFPR, os desníveis foram inversos a referência em somente 29% dos pontos.

Portanto para 71% dos desníveis analisados, qualitativamente, pode-se afirmar que, em condições mais favoráveis aos rastreios GPS, ou seja, com menos efeito de multicaminho, em períodos com menor atividade ionosférica, sem objetos que interfiram no campo magnético das antenas GPS, e empregando parâmetros próprios de calibração de antenas GPS, o posicionamento com esta técnica pode indicar o sentido do deslocamento que está ocorrendo na área em estudo.

5.8 CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO DA REDE INTERNA

Apresentados os resultados da seção anterior, nota-se que, com o tempo de rastreio médio, na Rede Interna, de 83 minutos ficou evidente que deslocamentos verticais inferiores à 10 cm não podem ser detectados.

Desta forma, a classificação quanto ao processo (seção 2.2), de acordo com Cruden e Varnes (1996), é realizada empregando para tanto os desníveis calculados utilizando as altitudes ortométricas provenientes do nivelamento geométrico na Rede Interna. O ponto que mais sofreu deslocamento vertical foi o M16, no entanto, considera-se também que existem evidências físicas de um processo, vide seção 1.2, FIGURA 1, FIGURA 2, FIGURA 3 e FIGURA 4. Desta forma, aponta-se que na classificação dos referidos autores o processo é muito lento, com velocidade de até 16 mm/ano. A segunda classificação diz respeito ao tipo de processo. Esta só pode ser realizada com melhor acurácia com dados de planimetria do local. No entanto, de acordo com o que foi visualizado em campo e pela velocidade dos

deslocamentos até agora levantados, considerando a classificação de Augusto Filho (1992) (seção 2.2), define-se como sendo um processo de rastejo.

Estes deslocamentos foram observados ao longo de somente dois anos e dois meses, desta forma acredita-se que os demais pontos podem vir a apresentar mudanças significativas na continuidade do monitoramento.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos experimentos e análises realizadas conclui-se que os objetivos, geral e específicos foram alcançados. Esta pesquisa possibilitou o estudo de variáveis que interferem no posicionamento GPS assim como, configurações de processamentos relativos mais favoráveis ao objetivo do trabalho, terminando por definir a melhor estratégia. Também foi possível apresentar a indicação da utilização da técnica para a detecção de deslocamentos de terra.

A primeira análise foi a cerca dos parâmetros próprios de calibração de antenas GPS. Nela foi constatado que de fato as variáveis meteorológicas influenciam na determinação dos PCO-PCV. Além disso, averiguou-se que, a quantidade extra de dados, ou seja, mais que 24 horas de rastreo não acarretou na melhor determinação dos parâmetros.

Com relação à análise da qualidade dos dados GPS, foi possível observar que, com o programa *Wasoft/Multipath* quando empregadas quatro estações, e sendo uma fortemente influenciada pelo efeito de multicaminho, esta pode elevar os efeitos nas demais estações. Sendo assim, por vezes, é melhor utilizar a configuração mínima e os resultados tendem a ser melhores nesta situação. Com os dados da última campanha GPS, na Rede Externa, foi possível verificar a interferência de antenas de comunicação nos dados GPS. Nos dias 049/17 e 050/17, o índice de intensidade do efeito de multicaminho, do ponto SANEPAR, foi muito forte, de acordo com a classificação empregada. Com os dados da Rede Externa observou-se forte correlação entre os valores de MP1 e MP2 e as perdas de ciclos, atingindo valores de até 0,97, para o ponto HORTO e MP1.

No experimento realizado na BCAL/UFPR para testar diferentes alturas de antenas GPS, 0 cm e 50 cm, foi atestado que se os ângulos de reflexão do efeito de multicaminho não são necessariamente abaixo do plano de terra da antena, o emprego de uma altura mais elevada pode não gerar uma redução deste efeito. Este foi o caso do Pilar 3000 da base de calibração que obteve aumento de 10% do efeito quando empregada a antena com altura em 50 cm. Este Pilar sofre com a obstrução do tipo árvore imediatamente ao seu lado.

Na análise de qualidade dos dados GPS da Rede Interna a análise foi realizada com as máscaras de elevação de 10°, 15°, 17° e 20°. Diante dos estudos conduzidos foi confirmado que a melhor máscara de elevação, para o propósito deste trabalho, é a de 15°. O emprego da máscara de 17° ficou em desvantagem quando analisado os valores dos DOPs, atingindo o valor de 4,6 no PDOP. Verificou-se ainda que os pontos que menos sofrem com a influência do efeito de multicaminho são os pontos M10 e M11, de fato a localização parece mais favorável que dos demais pontos.

O nivelamento geométrico foi realizado para servir de referência no cálculo dos deslocamentos verticais. Com ele foi possível verificar que, de fato existe um processo de deslocamento e ele foi mais acentuado no ponto M16, que atingiu desnível, entre a 1ª Campanha e a última campanha, de 41,95 mm. Este ponto localiza-se em um talude, próximo a postes inclinados e realmente está mais sujeito a estes movimentos na área estudada.

Os processamentos, na Rede Interna, com o PPP-IBGE foram realizados com intervalos entre as épocas de 1 segundo e 15 segundos. Notou-se que, com a média de 83 minutos de rastreamento este processamento não foi eficaz quando foram comparadas as altitudes elipsoidais de diferentes campanhas. Com os dados da Rede Externa foi verificado que, a exatidão das coordenadas geodésicas é mais influenciada pela quantidade de horas que pela quantidade de épocas, concentradas em um intervalo de tempo menor.

Nos processamentos relativos da Rede Externa pode-se concluir que, o emprego de uma linha de base extremamente curta, quando utilizadas somente linhas de base longas, com média de 242 km, acarretou em melhoria da rede. Notou-se também que, quando utilizada uma estação com grande diferença na altitude elipsoidal, neste caso, média das estações de 850 m e uma única estação com 17 m, a mesma pode influenciar negativamente, trazendo prejuízos para a qualidade das coordenadas geodésicas. Por fim, a melhor rede para o presente trabalho foi a rede com somente uma junção e com linha de base curta, aproximadamente 2km.

Com os dados da Rede Interna foram realizados processamentos com as mesmas máscaras de elevação empregadas na análise da qualidade dos dados GPS. Com os resultados foi possível descartar o emprego da máscara de 10°. Esta

análise corroborou com a anterior, afirmando que os resultados provenientes das máscaras de elevação de 17° e 20° não acarretam em melhores resultados que a de 15°.

Na análise das perdas de ciclos foi utilizado o módulo RNXSMT do programa *Bernese*, nos dados da Rede Interna. Ele eliminou as perdas de ciclos das observações, no entanto, com o processamento relativo empregando a combinação linear L1 os resultados com os arquivos modificados foram de pior qualidade. Fixando-se o PRN18, para o cálculo dos resíduos das duplas diferenças, no ponto M17, foi verificado que, com o arquivo modificado a média dos mesmos foi de 31,40 cm, em contrapartida, com o arquivo original a média foi de -0,33 cm.

Com relação à análise quanto ao número de estações conhecidas foram empregadas até quatro estações na rede. Para esta análise foram utilizadas as médias dos desvios-padrão para cada campanha, para cada rede formada, além do teste F de *Snedecor* uni-caudal. Com eles foi possível verificar que, para esta linhas de base, cerca de 2 km, a melhor opção foi com uma injunção, estação Curitiba-UFPR ou o ponto SANEPAR.

Na análise quanto aos parâmetros de calibração de antenas GPS da BCAL/UFPR e NGS foi verificado que, quando empregada duas injunções, com esta linha de base, cerca de 2 km, o uso dos PCO-PCV da BCAL/UFPR não acarretou em melhores resultados, foram iguais aos obtidos com os parâmetros do NGS. Quando utilizada somente uma injunção, os resultados alcançados com os parâmetros da BCAL/UFPR foram melhores, reduzindo os valores dos desvios-padrão de cada campanha analisada.

Quando realizada a comparação entre as altitudes elipsoidais entre as campanhas notou-se que, os resultados não foram satisfatórios para o monitoramento. Atingiram-se diferenças de até 71 mm comparando a 1ª com a 2ª campanha. O que de fato não ocorreu, de acordo com os dados do nivelamento geométrico.

Na comparação dos desníveis entre as campanhas percebeu-se que, quando em condições favoráveis, efeito de multicaminho reduzido, livre de interferências de outras antenas, períodos com menor atividade ionosférica e o emprego dos parâmetros próprios de calibração de antenas GPS, o posicionamento GPS pode indicar ao menos, com certa margem de erro, o sentido do deslocamento.

A menor margem de erro foi de 24%, com o processamento relativo e parâmetros da BCAL/UFPR, em contrapartida, a maior margem de erro foi de 65%, no processamento relativo com a estação Curitiba-UFPR.

Por fim, com os deslocamentos encontrados e os indícios levantados em campo, define-se que o processo é do tipo rastejo. A velocidade do movimento pode ser definida como muito lenta, levando em consideração o ponto que atingiu o maior deslocamento, M16.

As recomendações deste trabalho para futuras investigações são:

- a) Dar continuidade nas campanhas de rastreamento GPS e nivelamento geométrico com intervalos de 6 meses à 12 meses;
- b) Realizar o transporte da altitude ortométrica uma vez ao ano a fim de garantir a estabilidade do MARCO 2;
- c) Priorizar nas futuras campanhas os pontos próximos ao córrego, visto que estes pontos alcançaram os maiores deslocamentos;
- d) Realizar campanhas GPS na Rede Interna com duração dos rastreios de 3 horas ou 3 horas com reocupação ou com 6 horas, com o objetivo de alcançar altitudes elipsoidais mais acuradas;
- e) Realizar rastreios de 7 dias nos pontos da Rede Externa, para que junto com as estações da RBMC possam ser acumuladas 7 soluções diárias para gerar uma solução semanal completa;
- f) Não utilizar base calante nos pontos da Rede Externa ou empregar bases com os calantes fixos para todas as campanhas subsequentes, fazendo com que as alturas das antenas de cada ponto da Rede Externa sejam as mesmas para todas as campanhas, evitando que se tenha algum erro grosseiro da medição da altura da antena;
- g) Utilizar bastões com alturas fixas nos pontos da Rede Interna, evitando erros grosseiros nesta medida;
- h) Fazer o possível para empregar o mesmo equipamento em cada ponto;
- i) Realizar maiores investigações a cerca do ponto SANEPAR, visto que no mesmo foram instaladas antenas que afetaram a razão sinal/ruído e os índices de intensidade do efeito de multicaminho do programa *Wasoft/Multipath*;

- j) Utilizar material isolante do efeito de multicaminho nos pontos SANEPAR e HORTO;
- k) Processar os pontos da Rede Interna com o programa Bernese; e
- l) Realizar levantamentos planimétricos nos pontos próximos ao córrego na Rede Interna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKROUR, B.; SANTERRE, R.; GEIGER, A. Calibrating Antenna Phase Centers. *GPS World*, Santa Ana, Canadá, p. 49-53, 01 fevereiro 2005. Disponível em: <<http://www.gpsworld.com/gps/calibrating-antenna-phase-centers-943>>. Acesso em: 15/10/2011.

ALBUQUERQUE, R. O. *Análise de Circuitos em Corrente Alternada*. São Paulo: Erica, 1989.

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, v. 47, n. 2-4, p. 107–124, 2002.

BAARDA, W. A testing procedure for use in geodetic networks. Netherlands Geodetic Commission. *Publications on Geodesy*. Série 2. N. 5. Delft, Netherlands, 1968, 97p.

BARBIERI, M. J.; FARRET, J. C.; MORAES, C. V.; CARNEIRO, M. Ruído, Multicaminho e Ângulo de Elevação: Qual a Melhor Máscara para Trabalhos com GPS? *RevistaGeomática*, Santa Maria, v.1, n.1 – 2006.

BILAJBEGOVIĆ, A., BILAJBEGOVIĆ, D., MULIĆ, M. (2005): Systematization GPS-Errors and Multipath-Effects in B&H CEGRN05, BIHPOS and SAPOS-Sachsen Networks. Proceedings of the CERGOP-2/Environment Semi-Annual Conference, Sarajevo, November 11-12, 2005. Reports on Geodesy, Warsaw University of Technology, No. 4(75), 2005, page 207-219, Warsaw 2005.

BILICH, A.; MADER, G. L. GNSS Absolute Antenna Calibration at the National Geodetic Survey. In: ION GNSS 2010, 23., 2010, Portland, Estados Unidos. Proceedings of the 23rd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation. p. 1369-1377. Disponível em: <<ftp://www.ngs.noaa.gov/dist/abilich/>>. Acesso em: 12/10/2011.

BILICH, A., LARSON, K. M. (2007), Mapping the GPS multipath environment using the signal-to-noise ratio (SNR), *Radio Sci.*, 42, RS6003.

BOYLESTAD, R. L. *Introdução a Análise de Circuitos*. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2004.

BRUNNER, F. K., HARTINGER, H., RICHTER, B., Continuous Monitoring of Landslides using GPS: A progress report; Geophysical Aspects of Mass Movements, Austrian Academy of Sciences, Vienna; pp 75-87, 2000.

CARVALHO, A.S. Avaliação do desempenho de técnicas de ajustamento para análise de deslocamentos em redes GPS. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2009.

CASSETI, V. Geomorfologia. [S.l.]: [2005]. Disponível em: < <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>. Acesso em 05 de dezembro de 2014.

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Disponível em: < <http://www.cemaden.gov.br/missao.php> >. Acesso em: 28 de junho de 2012.

CHAVES, J. C. Uso da tecnologia GPS na monitoração de deformação: sistemas, etapas e experimentos. Tese em Engenharia Civil. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

CHEN, P. Y.; POPOVICH, P. M. (2002) Correlation: Parametric and nonparametric measures. Sage University Papers Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 07-139, Thousand Oaks, CA: Sage.

CRUDEN D.M., VARNES D. J. (1996) - Landslide types and processes. In: Turner A.K.; Shuster R.L. (eds) Landslides: Investigation and Mitigation. Transp Res Board, Spec Rep 247, pp 36–75.

CUNHA, M. A. (Coord.) Ocupação de encostas. São Paulo: IPT, 1991.

DACH, R., S. LUTZ, P. WALSER, P. FRIDEZ (Eds); 2015: *Bernese GNSS Software Version 5.2*. User manual, Astronomical Institute, University of Bern, Bern Open Publishing. DOI: 10.7892/boris.72297; ISBN: 978-3-906813-05-9.

DALMOLIN, Q. Ajustamento por mínimos quadrados. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. Curso de pós-graduação em Ciências Geodésicas. Editora da UFPR, Curitiba, 2002.

DEMETS, C.; GORDON, R.G; ARGUS, D.F; STEIN, S. Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, Geophys. Res. Lett.,21, 2191-2194, 1994.

DANNI-OLIVEIRA, I.M. Aspectos Climáticos de Curitiba-PR: uma contribuição para o ensino médio. In: RA'EGA, Curitiba, n. 03, p. 229-253, 1999.

DEPENTHAL, C., SCHMITT, G. Monitoring of a Landslide in Vorarlberg/Austria. Proceedings, 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece, 2003.

DREWES H., HEIDBACH O. The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. Submitted to C. Pacino *et al.* (Eds.). IAG Scientific Assembly "Geodesy for Planet Earth". Buenos Aires, August 31 to September 4, 2009. IAG Symposia.

Emergency Events Database (EM-DATA, 2004). Disponível em: <http://www.emdat.net/documents/Publication/publication_2004_emdat.pdf > . Acesso em: 28 de junho de 2012.

Emergency Events Database (EM-DATA, 2012). Disponível em: <<http://www.emdat.be/disaster-profiles> > . Acesso em: 28 de junho de 2012.

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, Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

FELIPE, R. S. Características geológico-geotécnicas na formação guabirota Curitiba. MINEROPAR, 2011 (1ª Edição). 48p.

FERNANDES, G. Caracterização geológico – geotécnica e propostas de estabilização da encosta do Morro do Curral – Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

FREIBERGER JUNIOR. Antenas de Receptores GPS: Características Gerais. Material teórico de apoio ao Curso de Extensão ErrorSources in Highly Precise GPS Positioning, 2004. Disponível em: <http://www.geomatica.ufpr.br/docentes/ckrueger/pessoal/D_antenas.pdf>. Acesso em: 12/10/2011.

FREIBERGER JUNIOR, J. Investigações Da Calibração Relativa de Antenas GNSS. 222 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

GEMAEL, C. Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas. Curitiba: Editora da UFPR, 2004.

GHILANI, C. D., WOLF, P.R. Adjustment computations: spatial data analysis. 4thed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.

GHILANI, C. D., WOLF, P.R. Elementary surveying: an introduction to geomatics. 13th ed. New Jersey: Pearson, 2012.

GOMEZ, F., GAJA, E., REIG, A., 1998: *Vegetation and climatic changes in a city*, Ecological Engineering 10, pp. 355-360.

GÖRRES, B.; CAMPBELL, J.; SIEMES, M. New Anechoic Chamber Results and Comparison with Field and Robot Techniques. IGS Meeting Bern, 2006.

GRANEMANN, D. C. Implantação de uma Rede Geodésica para o Monitoramento de Estruturas: Estudo de Caso na Usina Hidrelétrica de Salto Caxias. Curitiba, 2005. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná.

HARTINGER, H., BRUNNER, F. K. Development of a Monitoring System of Landslide Motions Using GPS Proc. 9th FIG Symposium on Deformation Monitoring, Olsztyn, pp 29-38. 1999.

HÖNTZSCH, D. (2005): Untersuchung der Multipath-Effekte mit WaSoft/Multipath Software. Diplomarbeit an der HTWD, S. 1-124

HUINCA, S. C. M. Calibração Relativa de Antenas GNSS na BCAL/UFPR. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2009.

HUINCA, S. C. M.; KRUEGER, C. P. Determinação de Parâmetros de Calibração Relativos em Nível Absoluto de Antenas de Receptores GPS. Revista Brasileira de Cartografia, n° 63 Ed. Especial – Geodésia e Topografia. 2011.

HUINCA, S. C. M. Análise de Influências Ambientais na Calibração de Antenas de Receptores GPS. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2014.

HUINCA, S. C. M.; KRUEGER, C. P.; MAYER, M.; KNÖPFLER, A.; HECK, B.. First Results of Relative Field Calibration of a GPS Antenna at BCAL/UFPR (Baseline

Calibration Station for GNSS Antennas at UFPR/Brazil). In: International Association of Geodesy Symposia. (Org.). Geodesy for Planet Earth. New York: Springer Heidelberg Dordrecht, 2012, v. 136, p. 739-744.

KELLER, W. Wavelets in Geodesy and Geodynamics, Walter de Gruyter, 2004, 279 p.

KENNETH W. H., BEHR, J. A. Continuous GPS monitoring of Structural Deformation at Pacoima Dam, California July/August 1998 issue (vol. 69, No. 4; pp. 299-308) of Seismological Research Letters, a journal published by the Seismological Society of America.

IBGE. Resolução - PR nº 22, de 21-07-83 - Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos, 1983.

International GNSS Service. IGS Products. Disponível em: <<http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>>. Acesso em: 11/02/2017.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2015, 2016 e 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em: 07 de maio de 2017.

IPPUC. Curitiba em dados (2012). Disponível em: <http://curitibaemdados.ippuc.org.br/anexos/2001%20desde%201998_Caracter%C3%ADsticas%20Clim%C3%A1ticas%20de%20Curitiba.pdf>. Acesso em: 02 de abril de 2015.

IPPUC. Base cartográfica da cidade de Curitiba – Divisa de Bairros (2013). Disponível em: <<http://ippuc.org.br/geodownloads/geo.html>>. Acesso em: 05 de abril de 2015.

JÄGER, R., KÄLBER, S., OSWALD, M., BERTGES, M. GNSS/GPS/LPS based Online Control and Alarm System (GOCA) - Mathematical Models and Technical Realisation 11 of a System for Natural and Geotechnical Deformation Monitoring and Analysis. 3rd IAG/12th FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006.

LEAL, L. A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba – PR. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

LEICK, A. GPS Satellite Surveying. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.

LEICK, A. GPS Satellite Surveying. 3. ed. Hoboken; New Jersey: John Wiley eSons, 2004.

MACHADO, W. C. Solução Rápida das Ambiguidades GPS para Aplicações no Posicionamento Relativo de Bases Curtas. Dissertação. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2002.

MADER, G. GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey. GPS Solutions, v. 3, n. 1, p. 50-58, 1999.

MARCELINO, E. V. Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos. São José dos Campos: INPE, 2008.

MARQUES, H. A.; MONICO, J. F. G.; AQUINO M. RINEX_HO: Second- and Third-Order Ionospheric Corrections for RINEX Observation Files. GPS Solutions, v. 15, n. 3, p. 305-314, 2011.

MATSUOKA, M. T., CAMARGO, P. O. Ciclo de Manchas Solares e o Posicionamento por Ponto com GPS. In: Souza, S.F, Matsuoka, M.T (Org.). Série em Geomática: II Seminário Anual de Pesquisas Geodésicas na UFRGS. 1 ed. Porto Alegre/RS: Instituto de Geociências-UFRGS, v.1, p. 1-8, 2007.

MENDES, V. B. Modeling the Neutral-Atmosphere Propagation Delay in Radiometric Space Techniques. 353 f. (Dissertação de Mestrado) – Departamento de Geodésia e Geomática, Universidade de New Brunswick, Fredericton, Canada, 1999.

MENG, X., DODSON, A., ROBERTS, G., COSSER, E., 2004 Hybrid Sensor System for Bridge Deformation Monitoring: Interfacing with Structural Engineers. In: "A Window on the Future of Geodesy". Disponível em: < <http://www.iag-aig.org/attach/89239e4fcab8a1098cedfc494a7eb67b/G01-Meng.pdf> >. Acesso em: 28 de junho de 2012.

MONICO, J.F.G. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora Unesp, 476 p., 2008.

National Geodetic Survey (NGS). Disponível em: <<http://www.ngs.noaa.gov/>>. Acesso em: 15 de Junho de 2011.

OLIVEIRA, L.C. Realizações do sistema geodésico brasileiro associadas ao SAD69 – uma proposta metodológica de transformação – Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

OLIVEIRA, A. B. V. Uso do GPS para o Estudo da Anomalia Equatorial. 167f. Dissertação (Mestrado em Telecomunicações) – Centro Técnico Aeroespacial, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2003.

PROL, F. S.; MARCATO JUNIOR, J.; NIEVINSK, F. G.; GOMES, R. L.; PARANHOS FILHO, A. C. Transformação entre referenciais e cálculo de velocidades através do aplicativo web TREVel. Revista Brasileira de Cartografia, N° 66/3, p. 569-579, 2014.

RAY, J. K.; CANNON, M. E. Mitigation of Static Carrier Phase Multipath Effects Using Multiple Closely-Spaced Antennas. In: ION GPS-98, Nashville, 1998.

RAY, J.K. (2000), Mitigation of GPS Code and Carrier Phase Effects Using a Multi-Antenna System, Report No. 20136, Geomatics Engineering, University of Calgary.

RIZOS, C., CRANENBROECK, J., LUI, V. Advances in GNSS-RTK for Structural Deformation Monitoring in Regions of High Ionospheric Activity. FIG Congress 2010 Facing the Challenges – Building the Capacity Sydney, Australia, 11-16 April 2010.

RODRIGUES, D.D. Rede geodésica de precisão no Estado de Minas Gerais: avaliação de diferentes estratégias de processamento e ajustamento. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

RODRIGUES, V. A. Implantação da Rede Geodésica UNESP para Integração ao Sistema Geodésico Brasileiro. 138 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrônomicas) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2006.

ROTHACHER, M. Comparisons of Absolute and Relative Antenna Phase Center Variations. GPS Solutions. v. 4, n. 4, 2000.

SALAMUNI; E. TECTÔNICA DA BACIA SEDIMENTAR DE CURITIBA (PR). Tese de Doutorado em Geologia Regional. Rio Claro: IBGE – Cp de Rio Claro – UNESP, 1998.

SESTINI, M. F. Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba – SP utilizando imagens TM-Landsat e SIG. 1999. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

SCHAAL, R.E. Medições de Deslocamentos em Obras Civas de Grande Porte com GPS. Proposta de Metodologia de Análise dos Resultados e Tratamento dos Dados. São Paulo, 1998. 118p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SCHMITT, G., NUCKELT, A., KNÖPFLER, A., MARCU, C. Three Dimensional Plate Kinematics in Romania. International Symposium on Strong Vrancea Earthquakes and Risk Mitigation Oct. 4-6, 2007, Bucharest, Romania.

SCHMITZ, M., WÜBBENA, G. Precise Kinematic GPS Processing and Rigorous Modeling of GPS in a Block Adjustment. In: BINGO Seminar, BAE Systems, Frankfurt, Alemanha, 2004.

SCHOFIELD, W.; BREACH, M. (2007). Engineering surveying, 6th ed.

SEEBER, G., Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications. Berlin: Walter de Gruyter, 2003.

SEJAS, M. I. Modelagem Ionosférica Local em Redes GPS para o Posicionamento Absoluto de Estações de Uma Frequência. 188 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

Solar Influences Data Analysis Center (SIDC). Disponível em: < http://sidc.oma.be/sunspot-index-graphics/sidc_graphics.php>. Acesso em: 03/05/2017.

SOUZA, E. M. Efeito de Multicaminho de Alta Frequência no posicionamento Relativo GPS Estático: Detecção e atenuação utilizando Wavelets. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004.

SOUZA, E. M. Análise de *Wavelets* para Detecção e Correção do Multicaminho no Posicionamento Relativo GNSS Estático e Cinemático. 171 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

SUCI, F. Estudo sobre a estabilidade da rede geodésica de monitoramento da UHE Salto Caxias. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

Space Weather Prediction Center (SWPC). Disponível em: < <http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/index.html>>. Acesso em: 03/10/2011.

TAKASU, T.; YASUDA, A (2009). Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB. In: International symposium on GPS/GNSS, International Convention Center Jeju, Korea November 4-6.

TAYLOR, J. R. An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements. University Science Books, 1997.

TEIXEIRA, N. N. Análise Geodésica de Deformações da Crosta em Regiões de Grandes Barragens a partir de Deslocamentos Tridimensionais Obtidos pelo Sistema de Posicionamento Global. Curitiba, 2005. 294p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná.

TOMINAGA, L. K., SANTORO, J., AMARAL, R. (ORGS). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo : Instituto Geológico, 2009.

United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2006. Global Survey of Early Warning Systems: An Assessment of capacities, gaps and opportunities towards building a comprehensive global early warning system for all natural hazards. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/ppew/info-resources/ewc3/Global-Survey-of-Early-Warning-Systems.pdf>>. Acesso em: 28 de junho de 2012.

VISKI A. R.; KRUEGER, C.P.; HUINCA, S.C.M. Investigação de Material Isolante para Dissipação de Efeito de Multicaminho em Antenas GNSS. Livro de Resumos do 18º Evinci - 3º Einti. Ciências Exatas e da Terra. Outubro de 2010.

WANNINGER, L.; MAY, M. Carrier phase multipath calibration of GPS reference stations. In: ION GPS 2000, Salt Lake City, UT, Estados Unidos. Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, 2000, p. 19-22.

WANNINGER, L (2009). Anleitung, Wasoft/Multipath 3.44. Ingenieurbüro Wanninger. <http://www.wasoft.de>

WERLICH, R. M. C. Análise da influência dos parâmetros de calibração de antenas de receptores GPS no posicionamento de alta precisão. . 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.