

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS
E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

CHAENNE MILENE DOURADO ALVES

**SOLUÇÃO DE AMBIGUIDADES GPS NO
POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO
UTILIZANDO UMA REDE DE ESTAÇÕES**

**Recife
2010**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

CHAENNE MILENE DOURADO ALVES

**SOLUÇÃO DE AMBIGUIDADES GPS NO
POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO
UTILIZANDO UMA REDE DE ESTAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de Concentração Geodésia Aplicada, defendida e aprovada no dia 03/09/2010.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Verônica Maria Costa Romão

Co-orientador: Prof. Dr. João Francisco Galera Monico

**Recife
2010**

A474s

Alves, Chaenne Milene Dourado.

Solução de ambiguidades GPS no posicionamento por ponto preciso utilizando uma rede de estações / Chaenne Milene Dourado Alves. - Recife: O Autor, 2010.

ix, 142 folhas., il., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésica e Tecnologias da Geoinformação, 2010.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Verônica Maria Costa Romão
Inclui Referências, Apêndices e Anexos.

1. Ciências Geodésicas. 2.Posicionamento por Ponto Preciso. 3.Redes de Estações. 4.Solução de Ambiguidades. I. Título.

526.1 CDD (22. Ed.)

UFPE
BCTG/2010-221

SOLUÇÃO DE AMBIGUIDADES GPS NO POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO UTILIZANDO UMA REDE DE ESTAÇÕES

POR

CHAENNE MILENE DOURADO ALVES

Dissertação defendida e aprovada em 03/09/2010.

Banca Examinadora:



Prof. Dra. VERÔNICA MARIA COSTA ROMÃO
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Prof. Dr. SILVIO JACKS DOS ANJOS GARNÊS
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Prof. Dr. JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO
Departamento de Cartografia - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

À minha mãe Conceição, minha avó Constância e minha madrinha Docarmo, pelo esforço contínuo, confiança depositada e dificuldades enfrentadas.

Às minhas priminhas, que muito amo, Maria e Amanda.

A todos que colaboraram para que fosse possível a realização deste trabalho.

Ao querido Jamilson (in memorian).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela criação, salvação e por ser meu guia.

À Prof^ª. Dr^ª. Verônica Maria Costa Romão pela ajuda, orientação, incentivo, conselhos e por acreditar que eu conseguiria chegar até o fim da pesquisa. Agradeço ainda pelas oportunidades criadas, por ter sido sempre paciente e compreensível.

Ao Prof. Dr. João Francisco Galera Monico pela recepção na UNESP, pela dedicação ao desenvolvimento desta pesquisa, por me mostrar os caminhos a seguir, por ter sido presente, pela confiança, pelas dúvidas sanadas, pelas sugestões dadas, pelas críticas sempre construtivas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da UNESP pela parceria, pela infraestrutura e *softwares* disponibilizados para o desenvolvimento da pesquisa.

À CAPES e a FACEPE pelo apoio financeiro destinado ao desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos colegas do mestrado da UFPE pela agradável convivência e por tornarem a sala do mestrado um ambiente alegre e de descontração, mesmo nos momentos de pressão e tensão: Um especial agradecimento ao Thiago Silveira por me incentivar a fazer o mestrado, pela disposição em ajudar e por me receber tão bem em Recife. Ao Alex pelas suas colaborações sempre criativas nas minhas apresentações. Ao Jancerlan, João, Júnio e José Machado pelas conversas, pela força e pelos momentos de alegria. Ao Diego, sempre gentil, carinhoso e calmo, sua tranquilidade me tranquiliza. A Ludimila, Olindina, Vanessa e Lígia: Amigas que vão estar sempre no meu coração. A querida Ângela pela amizade, colaboração, pelas conversas, pela força e pelo incentivo. Ao Francisco Barbosa pelas conversas e ajuda na

retirada de dúvidas referentes às disciplinas. Ao Malheiros, Erison, Rafael e Marcelo pelas conversas e colaborações nas disciplinas.

Aos professores do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE (Decart) na qual tive a oportunidade de aprender e em especial à Prof^ª. Dr. techn. Andréa de Seixas pela colaboração, disposição em ajudar e pela viabilidade nos procedimentos legais com relação a Pós. À Prof^ª. Dr^a. Ana Lúcia Bezerra Candeias pelos direcionamentos no estágio de docência e nas disciplinas ministradas. Ao Prof. Dr. Sílvio Jacks dos Anjos Garnés pelas sugestões e colaborações apresentadas na pesquisa. Ao Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco pelas divertidas aulas de aquisição de dados e pelas conversas descontraídas nos corredores.

Aos funcionários do Decart, em especial a Judite, sempre prestativa e deixando as salas prontas para nossas aulas e apresentações.

Ao meu querido Samuel pela companhia, pelos conselhos, pelas conversas, pelo companheirismo, pela “paciência”, carinho, amor e amizade.

À minha amiga “cutícula” Julia, pela maravilhosa convivência no tempo em que dividimos o apartamento em Recife, por me ajudar, aconselhar e ouvir, pela companhia, pelas agradáveis conversas e desabafos.

Ao meu amigo cearense César que nos momentos mais difíceis em Recife esteve presente e pronto para ajudar. Também agradeço pelos momentos de alegria e descontração que vivemos.

Aos meus queridos amigos e excelentes pesquisadores, Haroldo e Heloisa, pela recepção na UNESP, pelas colaborações e sugestões dadas, por estarem sempre presentes com muita boa vontade e disposição em ajudar. Um casal maravilhoso e que se completa.

Ao Guilherme Poleszuk dos Santos Rosa um excelente pesquisador, um verdadeiro amigo, um bom conselheiro e dedicado em tudo que faz. Agradeço pelas sugestões dadas, pela companhia no LGE/UNESP, por me ajudar a resolver os problemas com

o Linux e GIPSY, por me fazer perceber que “é possível sim” e pelas agradáveis conversas, sejam elas virtuais ou presenciais. Agradeço ainda à família Poleszuk Rosa pelo cuidado, acolhimento e amizade.

À amiga Dr^a. Daniele Barroca pelas sugestões e colaborações dadas na pesquisa.

À minha amiga Tayná Aparecida e ao Vinicius Rofato pelas sugestões e companhia diária no LGE/UNESP.

Aos colegas do time de vôlei da Pós-graduação em Ciências Cartográficas da UNESP pelos bons momentos de descontração e alegria.

Ao meu melhor amigo, Lineardo Melo, pelo incentivo a fazer o mestrado, pelas conversas diárias, pela companhia agradável, pelas viagens e passeios divertidos, pelas críticas e sugestões dadas, por sempre me ouvir e por ficar feliz com minha felicidade.

À tia Lúcia e padrinho Anders, à tia Irene, tia Teresa (meu cristal), ao meu pai Alberto, meu irmão Francisco e demais familiares: minha família... minha base.

Às minhas amigas Lulus (Ile, Fran, Lai e Fê), minha amiga e conselheira Marinalva, minhas amigas Carol, Érica e Pollyane, meus amigos Herberth, Ivan, Marcone e demais amigos que colaboraram para que isso fosse possível.

Muito obrigada a todos citados acima e aos que por ventura eu possa ter esquecido de agradecer. Deus escolhe os momentos certos em que as pessoas passam a fazer parte de nossas vidas... Sem vocês eu não teria chegado até aqui.

EPÍGRAFE

*“Há uma força motriz mais poderosa
que o vapor, a eletricidade e a energia
atômica: a vontade.”*

Albert Einstein

ÍNDICE

RESUMO E PALAVRAS-CHAVE.....	i
ABSTRACT AND KEYWORDS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Estrutura do trabalho.....	4
2. OBSERVÁVEIS GNSS E OS ERROS ENVOLVIDOS.....	6
2.1 Observáveis GNSS.....	6
2.1.1 Pseudodistância.....	6
2.1.2 Fase da onda portadora.....	7
2.2 Erros envolvidos nas observáveis GNSS.....	8
2.2.1 Erros relacionados com os satélites GNSS.....	9
2.2.2 Erros relacionados com a propagação do sinal.....	12
2.2.3 Erros relacionados com o receptor e antena.....	19
2.2.4 Erros relacionados com a estação.....	21
2.3 Combinações lineares das observáveis	24
2.3.1 Simples diferença.....	26
2.3.2 Dupla diferença.....	28
2.3.3 Tripla diferença.....	31
3. POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO.....	32
3.1 Posicionamento por ponto.....	32
3.2 Posicionamento por ponto preciso.....	32
3.3 Modelos Matemáticos do PPP.....	35
3.4 Redes ativas GNSS e referenciais geodésicos.....	36
3.4.1 Variação temporal das coordenadas.....	41
3.4.2 Sistema de referência geodésico local.....	43
4. SOLUÇÃO DE AMBIGUIDADES NO PPP.....	46
4.1 Fundamentos de soluções das ambiguidades no PPP.....	46
4.2 Métodos de solução de ambiguidades no PPP.....	52
4.2.1 Método de estimação dos atrasos de hardware.....	53
4.2.2 Método de eliminação dos atrasos de hardware.....	55
5. METODOLOGIA.....	64
5.1 Introdução.....	64

5.2 Descrição das estações.....	64
5.3 Dados Utilizados.....	68
5.4 <i>Softwares</i> Utilizados.....	69
5.5 Estratégia Adotada.....	72
5.5.1 Estratégia de Processamento dos Dados.....	74
5.5.2 Análise dos Resultados.....	76
6. EXPERIMENTOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	78
6.1 Introdução.....	78
6.2 Estações utilizadas no experimento.....	78
6.3 Arquivos de dados horários acumulativos.....	79
6.4 Arquivos com 20 minutos de dados.....	90
6.5 Arquivos com 25 minutos de dados.....	94
6.6 Arquivos com 30 minutos de dados.....	98
6.7 Arquivos com 40 minutos de dados.....	103
6.8 Arquivos com 50 minutos de dados.....	107
6.9 Arquivos com 60 minutos de dados.....	111
6.10 Resumo dos resultados apresentados.....	115
7. COMENTÁRIOS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	120
7.1 Comentários.....	120
7.2 Conclusões.....	121
7.3 Recomendações.....	124
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126
 APÊNDICE A – Valores calculados para as soluções reais e inteiras estação PPTÉ.....	 131
APÊNDICE B – Valores calculados para as soluções reais e inteiras estação RECF.....	132
APÊNDICE C – Valores calculados para as soluções reais e inteiras estação BRAZ.....	133
APÊNDICE D – Valores calculados para as soluções reais e inteiras estação POAL.....	134
APÊNDICE E – Valores calculados para as soluções reais e inteiras estação NAUS.....	135
ANEXO 1 – Solução SIRGAS SIR09P01.CRD.....	136
ANEXO 2 – Solução SIRGAS SIR09P01.VEL.....	139
ANEXO 3 – Estações que compuseram a Rede suporte.....	142

RESUMO

Alves, Chaenne Milene Dourado. **Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações**. Recife, 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

Várias pesquisas científicas têm sido desenvolvidas para explorar o potencial do posicionamento GNSS, o qual envolve o posicionamento absoluto e relativo. Em termos de posicionamento absoluto na geodésia, maior atenção tem sido dada para o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). Esse método requer órbitas precisas, correções dos relógios dos satélites e modelos matemáticos para os vários erros e fenômenos físicos que afetam as observações. Logo, para realizar o PPP é necessário ter disponível uma boa infraestrutura global, como por exemplo, uma rede de estações como a do IGS, que fornece os produtos GNSS necessários para essa finalidade. As ambiguidades da fase da onda portadora usualmente são calculadas como solução real no processamento PPP e a solução inteira (solução fixa) tem sido um desafio contínuo para a comunidade científica geodésica. Quando as ambiguidades são fixadas corretamente, a alta acurácia no PPP é obtida em curtos intervalos de tempo. Nesta pesquisa, visando à obtenção de melhorias no PPP através da solução de ambiguidades, o Ambizap, algoritmo capaz de solucionar as ambiguidades no contexto de redes GNSS, foi utilizado para resolver as ambiguidades envolvidas em cinco estações de teste com base em soluções de uma rede suporte. Esta rede foi composta por todas as estações da rede GNSS-SP e RBMC com dados disponíveis no período de 08 a 14 de agosto de 2009. A partir dos resultados obtidos e comparados com a solução SIRGAS SIR09P01, verificou-se que a solução de ambiguidades no PPP melhorou significativamente a qualidade do posicionamento com intervalo de tempo de até uma hora. A componente leste chegou a apresentar melhorias acima de 60% em termos de EQM após a solução

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

das ambiguidades. As componentes norte e vertical melhoraram cerca de 40% quando realizado o comparativo das soluções reais com as inteiras. Porém, quando a solução de ambiguidades envolveu estações com mais de 360 km de distância da estação mais próxima da rede, os resultados não foram satisfatórios, caracterizando que essa metodologia ainda dispõe de espaço para investigações e melhorias.

Palavras-chave: GNSS; Posicionamento por Ponto Preciso; Solução de Ambiguidades; Ambizap.

ABSTRACT

Several scientific studies have been developed to explore the potential of GNSS positioning, which involves the absolute and relative positioning. In terms of absolute positioning in geodesy more attention has been given to Precise Point Positioning (PPP). This method requires precise orbits, satellite clock corrections and mathematical models for various errors and physical phenomena that affect the observations. Then, to accomplish PPP it is necessary to have available a good global infra-structure, as for example the IGS network, in order to provide the GNSS products. The carrier phase ambiguity, usually, is computed as a float solution in the PPP processing and the integer resolution (fixed solution) has been a continuous challenge for the geodetic scientific communities. When the ambiguity is fixed correctly, high accuracy is obtained in the PPP at short time intervals. In this research, aiming to produce improvements in the PPP through the ambiguity resolution, the Ambizap, algorithm able to solve the ambiguity in the context of GNSS networks, was used to resolve the ambiguities involved in five test stations. It is based on a support network. This network was composed of all stations of the GNSS-SP and RBMC network with available data on the period of 08 to 14 august 2009. From the results obtained and compared with the solution SIRGAS SIR09P01 it was found that the PPP ambiguity resolution significantly improved the quality of the positioning with time span of up to one hour. The east component reached more than 60% of improvements in RMS after the ambiguity resolution. The north and vertical components have improved about 40% when comparing the float and the fixed solutions. However, when the ambiguity resolution involved stations with more than 360 km far from the nearest station of the network, the results were not satisfactory, characterizing that this method still has room for investigations and improvement.

Keywords: GNSS; Precise Point Positioning; Ambiguity resolution; Ambizap.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Efeito do multicaminho	18
Figura 2:	Simple diferença entre satélites	27
Figura 3:	Dupla diferença entre satélites e receptores	29
Figura 4:	Infraestrutura necessária para o PPP	33
Figura 5:	Distribuição das estações da RBMC	39
Figura 6:	Distribuição das estações da Rede GNSS-SP	41
Figura 7:	Sistema geodésico local	43
Figura 8:	Interpretação geométrica das ambiguidades	46
Figura 9:	Método de estimação dos atrasos de hardware	54
Figura 10:	Estações da rede suporte e estações de teste	64
Figura 11:	Localização das estações	65
Figura 12:	Arquivos de dados processados	69
Figura 13:	Diagrama das etapas metodológicas aplicadas	73
Figura 14:	Média do EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente leste	82
Figura 15:	Média do EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente norte	82
Figura 16:	Média do EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente vertical	83
Figura 17:	Média do EQM das soluções reais e inteiras - resultante 3D	83
Figura 18:	Desvio-padrão das soluções reais em relação à componente leste	84
Figura 19:	Desvio-padrão das soluções inteiras em relação à componente leste	84
Figura 20:	Desvio-padrão das soluções reais em relação à componente norte	85
Figura 21:	Desvio-padrão das soluções inteiras em relação à componente norte	85
Figura 22:	Desvio-padrão das soluções reais em relação à componente vertical	86
Figura 23:	Desvio-padrão das soluções inteiras em relação à componente vertical	87
Figura 24:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente leste na estação NAUS	88
Figura 25:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente norte na estação NAUS	89
Figura 26:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente vertical na estação NAUS	89

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

Figura 27:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - resultante 3D na estação NAUS	90
Figura 28:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 20 minutos de dados em relação à componente leste	92
Figura 29:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 20 minutos de dados em relação à componente norte	92
Figura 30:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 20 minutos de dados em relação à componente vertical	93
Figura 31:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 20 minutos de dados em relação à resultante	93
Figura 32:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 25 minutos de dados em relação à componente leste	96
Figura 33:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 25 minutos de dados em relação à componente norte	96
Figura 34:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 25 minutos de dados em relação à componente vertical	97
Figura 35:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 25 minutos de dados em relação à resultante	97
Figura 36:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 30 minutos de dados em relação à componente leste	100
Figura 37:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 30 minutos de dados em relação à componente norte	100
Figura 38:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 30 minutos de dados em relação à componente vertical	101
Figura 39:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 30 minutos de dados em relação à resultante	101
Figura 40:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 40 minutos de dados em relação à componente leste	104
Figura 41:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 40 minutos de dados em relação à componente norte	105
Figura 42:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 40 minutos de dados em relação à componente vertical	105
Figura 43:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 40 minutos de dados em relação à resultante	106
Figura 44:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 50 minutos de dados em relação à componente leste	108
Figura 45:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 50 minutos de dados em relação à componente norte	109
Figura 46:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 50 minutos de dados em relação à componente vertical	109
Figura 47:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 50 minutos de dados em relação à resultante	110
Figura 48:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 60 minutos de dados em relação à componente leste	112
Figura 49:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 60 minutos de dados em relação à componente norte	113
Figura 50:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 60 minutos de dados em relação à componente vertical	113
Figura 51:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 60 minutos de dados em relação à resultante	114

	minutos de dados em relação à resultante	
Figura 52:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente leste	115
Figura 53:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente norte	116
Figura 54:	EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente vertical	117
Figura 55:	Diferença entre as coordenadas obtidas com as soluções inteiras e reais na estação NAUS	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Fontes e erros envolvidos nas observeis GNSS	9
Tabela 2:	Precisão dos produtos IGS	34
Tabela 3:	Descrição da estação de teste NAUS (Região Norte)	66
Tabela 4:	Descrição da estação de teste RECF (Região Nordeste)	66
Tabela 5:	Descrição da estação de teste BRAZ (Região Centro-oeste)	67
Tabela 6:	Descrição da estação de teste PPTE (Região Sudeste)	67
Tabela 7:	Descrição da estação de teste POAL (Região Sul)	68
Tabela 8:	Estratégia adota para processamento	75
Tabela 9:	Linhas de base e distâncias entre as estações de teste e as estações da rede suporte	79
Tabela 10:	Média do EQM, desvio-padrão do EQM das soluções reais e inteiras das estações PPTE, RECF, BRAZ e POAL e a média da porcentagem de fixação das ambiguidades.	81
Tabela 11:	EQM das soluções reais e inteiras quando comparadas com as fornecidas pela solução SIR09P01 e porcentagem de fixação das ambiguidades para a estação NAUS	87
Tabela 12:	EQM calculado para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para 20 minutos de dados	91
Tabela 13:	Erro médio e desvio-padrão formal calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para 20 minutos de dados	94
Tabela 14:	EQM calculado para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para 25 minutos de dados	95
Tabela 15:	Erro médio e desvio-padrão formal calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para 25 minutos de dados	98
Tabela 16:	EQM calculado para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para 30 minutos de dados	99
Tabela 17:	Erro médio e desvio-padrão formal calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução	102

	SIR09P01 para 30 minutos de dados	
Tabela 18:	EQM calculado para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para 40 minutos de dados	103
Tabela 19:	Erro médio e desvio-padrão formal calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para 40 minutos de dados	106
Tabela 20:	EQM calculado para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para 50 minutos de dados	107
Tabela 21:	Erro médio e desvio-padrão formal calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para 50 minutos de dados	110
Tabela 22:	EQM calculado para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para 60 minutos de dados	111
Tabela 23:	Erro médio e desvio-padrão formal calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para 60 minutos de dados	114

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ARP	<i>Antenna Reference Point</i>
C/A	<i>Coarse Acquisition</i>
CIO	Centros Integradores de Órbitas
CODE	<i>Center for Orbit Determination for Europe</i>
DCB	<i>Differential Code Biases</i>
DD	Dupla diferença
e	Leste
ECMWF	<i>European Centre for Medium Range Weather Forecasts</i>
EQM	Erro Quadrático Médio
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologia
FlinnR	Órbitas fiduciais e correções para os relógios dos satélites
FlinnR_nf	Órbitas não fiduciais e correções para os relógios dos satélites
GCRS	<i>Geocentric Celestial Reference System</i>
gd2ppl	<i>GPS Data 2 Position</i>
GEGE	Grupo de Estudos em Geodésia Espacial
GHz	<i>Gigahertz</i>
GIM	<i>Global Ionosphere Map</i>
GIPSY	<i>GPS Inferred Positioning System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GNSS SP	Rede GNSS Ativa do Oeste do Estado de São Paulo
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAG	Associação Internacional de Geodésia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IERS	<i>International Earth Rotation and Reference Systems Service</i>
IfB	<i>Interfrequency biases</i>
IGS	<i>International GNSS Service</i>
IONEX	<i>Ionosphere exchange format</i>
ion-free	<i>Ionospheric free observable</i>

ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame</i>
ITRS	<i>International Terrestrial Reference System</i>
ITRS-PC	<i>ITRS Product Center</i>
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>
<i>l</i>	Leste
MATLAB	<i>Matrix Laboratory</i>
MVC	Matriz Variância-Covariância
<i>n</i>	Norte
NTRIP	<i>Networked Transport of RTCM via Internet Protocol</i>
PCV	<i>Phase Center Variation</i>
PO	<i>Phase Offset</i>
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RINEX	<i>Receiver Independent Exchange format</i>
SD	Simple diferença
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SIRGAS-CON	Rede SIRGAS de funcionamento contínuo
SOAM	Placa sul-americana
TEC	<i>Total Electron Content</i>
TEQC	<i>Translation Edition and Quality Control</i>
<i>u</i>	Vertical
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
UHD	<i>Uncalibrated hardware delays</i>
UNAVCO	<i>University Consortium</i>
UPD	<i>Uncalibrated phase delays</i>
VEMOS2009	<i>Modelo de Velocidades para América del Sur y El Caribe</i>
VMF	<i>Vienna Mapping Function</i>
VMS2009	Programa interpolador de valores de velocidades VEMOS

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Com a popularização dos sistemas de posicionamento por satélites, pesquisas têm se intensificado e, conseqüentemente, desenvolvidos vários métodos para se obter posicionamento mais acurado. Em relação ao posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*), de forma geral, é realizado nos modos absoluto ou relativo.

Até pouco tempo atrás, o posicionamento relativo era o único método de posicionamento GNSS com potencial para fornecer posições com acurácia milimétrica. Esse quadro aos poucos foi se modificando, com o refinamento dos modelos de correção dos erros orbitais e de propagação do sinal, surgindo assim o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). Esse método é classificado como posicionamento absoluto, ou seja, com apenas um receptor, o que o torna independente de distâncias entre estações e bastante atrativo em termos práticos em comparação ao posicionamento relativo.

O PPP é realizado a partir do pós-processamento das observáveis da pseudodistância e da fase da onda portadora, incluindo órbitas precisas e correções para os relógios dos satélites, juntamente com modelos apropriados para vários fenômenos físicos que afetam as observações (ZUMBERGE et al., 1997).

O PPP tem se mostrado uma poderosa ferramenta para aplicações geodésicas e geodinâmicas, dentre as quais se pode citar o controle geodésico, monitoramento de deformações locais e globais, dinâmica do movimento das placas litosféricas, levantamentos cadastrais e outras aplicações como, por exemplo, na aerofotogrametria. É um método de posicionamento atualmente em evidência na área de Geodésia, por apresentar um alto potencial na obtenção de posições acuradas. Estudos têm se intensificado para transformá-lo em um método totalmente

operacional e de uso geral, com acurácia ao nível do centímetro chegando ao milímetro.

As observáveis utilizadas no PPP são a pseudodistância e a fase da onda portadora. A fase da onda portadora é mais precisa que a pseudodistância e para que seja utilizada com precisão torna-se necessário conhecer o número de ciclos inteiros da onda portadora, entre o satélite e o receptor no instante da primeira observação. Esse número de ciclos inteiros é o termo denominado ambiguidade e é algo muito difícil de obter ao nível de apenas uma observável, como é o caso do PPP. A estimativa da ambiguidade é um tópico muito pesquisado mundialmente no campo do posicionamento GNSS.

No modelo atualmente operacional do PPP o vetor das ambiguidades é solucionado juntamente com as coordenadas e outros parâmetros do modelo, ou seja, o vetor que teoricamente é inteiro sofre influências e é sujeito a flutuações. Assim sendo, as ambiguidades são estimadas como solução real (*float*) e a característica de vetor inteiro não é explorada. A convergência da estimativa dos parâmetros está relacionada com o tempo de observação e com a geometria dos satélites.

Em curtos intervalos de tempo de observações, a estimativa real das ambiguidades no ajustamento apresenta baixa precisão e forte correlação, o que dificulta sua solução. A correlação é reduzida quando a geometria dos satélites se altera consideravelmente. Mas isso demanda um longo intervalo de tempo de coleta de dados, tendo em vista que os satélites orbitam com velocidade aproximada de 4km/s, à aproximadamente 22.000km de altitude (MACHADO, 2001). Nessas condições, somente com um longo período de observação, com receptores de dupla frequência, e com todos os erros adequadamente tratados obtém-se alto nível de acurácia no PPP. Dessa forma, é de grande importância a solução de ambiguidades logo no início do levantamento. Isso reduziria o tempo de ocupação e aumentaria a produtividade para algumas aplicações práticas, o que significa a real redução nos custos (MONICO, 2008).

A Comissão 4 da Associação Internacional de Geodésia (IAG) "Posicionamento e Aplicações" se pronunciou a respeito do conjunto de tecnologias e aplicações com que a entidade está envolvida, reconhecendo o papel central que o GNSS desenvolve em muitas dessas aplicações. A comissão centra-se em várias técnicas baseadas nesse sistema. A solução de ambiguidades no PPP foi considerada como um dos aspectos inovadores para o GNSS e de investigação para aplicações nos próximos dez anos (RIZOS, 2006).

No contexto de solução de ambiguidades, no posicionamento relativo várias técnicas foram desenvolvidas para esta finalidade. Essas técnicas são baseadas na combinação linear da dupla diferença (DD) das observáveis GNSS, na qual a ambiguidade tem a característica de inteiro. Essa combinação não é possível de ser realizada com observáveis de apenas um receptor; logo, essas técnicas não podem ser aplicadas no PPP.

Com o trabalho de solução de ambiguidades GPS aplicada a linhas de base geodésicas longas, Blewitt (1989) introduz o conceito de redes geodésicas, onde ambiguidades podem ser sequencialmente resolvidas por linhas de base a partir de soluções de rede. No referido trabalho, recomendações são dadas para a concepção de redes de receptores GPS (*Global Positioning System*), e é discutido como utilizar a natureza inteira da DD de ambiguidades na solução de ambiguidades a partir de uma rede de estações de operação contínua.

A solução de ambiguidades no PPP no contexto de redes GNSS é ainda um assunto com poucas publicações a respeito. Em trabalho desenvolvido por Geng et al. (2009), apresenta-se o método de solução de ambiguidades no PPP a partir da estimação com antecedência dos componentes de atraso de *hardware* não calibrados dentro de uma rede de estações. Esta metodologia foi testada para conjuntos de observações de uma hora, e não se sabe como se comporta para dados decorrentes de menos de uma hora de ocupação (detalhes em GENG et al., 2009).

Blewitt (2006) desenvolveu um algoritmo, denominado de Ambizap, para solução de ambiguidades no PPP, em modo pós-processado, no contexto de redes GNSS. É possível que esse algoritmo permita a solução de ambiguidades com curtos períodos de observação. Desta forma, as investigações neste trabalho foram realizadas com a utilização desse algoritmo, motivadas pela possibilidade de se verificar se a solução de ambiguidades no PPP proporciona alta acurácia em um curto período de observação.

1.2 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa consiste em investigar a solução das ambiguidades GPS no contexto do PPP em diferentes tempos de rastreamento, tendo como infraestrutura um conjunto de estações operando simultaneamente, bem como analisar as melhorias factíveis de serem obtidas.

De forma específica, serão investigados:

- o tempo mínimo necessário para obter uma solução estável sem realizar a solução das ambiguidades;
- o tempo mínimo necessário para alcançar acurácia posicional da ordem centimétrica, levando em consideração a convergência das ambiguidades;
- a influência das distâncias das estações da rede de suporte em relação ao usuário.

1.3 Estrutura do trabalho

Quanto à estruturação deste trabalho, ele está dividido em sete capítulos. No primeiro é realizada uma introdução envolvendo as considerações iniciais salientando a importância do tema, os objetivos da pesquisa e como está estruturado o trabalho.

No segundo capítulo são apresentados conceitos necessários para o desenvolvimento da pesquisa como os relacionados às observáveis GNSS, os erros que as envolvem e as combinações lineares.

No terceiro capítulo o método de posicionamento de uma estação é abordado, iniciando com o posicionamento por ponto e chegando aos modelos matemáticos do PPP. Também é realizada uma abordagem de redes ativas GNSS e referenciais geodésicos, e uma descrição sobre a variação temporal das coordenadas e o sistema de referência geodésico local.

No quarto capítulo é apresentada a solução de ambiguidades no PPP, a partir dos fundamentos, conceitos matemáticos e métodos desenvolvidos.

O quinto capítulo é referente à metodologia aplicada na pesquisa, com estratégias de processamento, seleção das estações e *softwares* utilizados.

No sexto capítulo são expostos os experimentos realizados, a análise dos resultados obtidos de acordo com cada experimento. Também é realizado um resumo dos resultados.

O sétimo capítulo apresenta as conclusões alcançadas e recomendações para trabalhos futuros. Ao final são apresentados as referências bibliográficas, os apêndices e anexos.

2. OBSERVÁVEIS GNSS E OS ERROS ENVOLVIDOS

2.1 Observáveis GNSS

As observáveis básicas GNSS que permitem determinar a posição, velocidade e o tempo, são a pseudodistância e fase da onda portadora ou fase de batimento da onda portadora (SEEBER, 2003).

2.1.1 Pseudodistância

A pseudodistância, a partir de medições de código, é obtida da correlação entre o código gerado pelo satélite no instante de transmissão e sua réplica gerada no receptor no instante de recepção, multiplicado pela velocidade da luz (SEEBER, 2003). É a distância medida entre o satélite e a antena do receptor, referida às épocas de emissão e recepção dos códigos (LEICK, 1995). A equação de observação da pseudodistância é descrita abaixo (adaptada de MONICO, 2008):

$$PD_r^s = \rho_r^s + c[dt_r - dt^s] + I_r^s + T_r^s + b_r + b^s + dm_r^s + \varepsilon_{PD_r}^s \quad (1)$$

onde:

ρ_r^s - distância geométrica entre o centro de fase da antena do receptor, no instante de recepção do sinal, e do satélite no instante de transmissão do sinal;

c - velocidade da luz no vácuo;

dt_r - erro do relógio do receptor no instante t_r em relação ao tempo GPS;

dt^s - erro do relógio do satélite no instante t^s em relação ao tempo GPS;

t_r - instante de recepção do sinal;

t^s - instante de transmissão do sinal;

I_r^s - erro causado pela refração ionosférica;

T_r^s - erro causado pela refração troposférica;

b_r - componentes do atraso de *hardware*, em metros, originados no receptor;

b^s - componentes do atraso de *hardware*, em metros, originados no transmissor do satélite;

dm_r^s - erro causado pelo multicaminhamento;

ϵ_{PDr}^s - resíduo da pseudodistância contendo os erros não modelados.

Na distância geométrica ρ_r^s estão implícitas as coordenadas da antena do receptor e do satélite. A ρ_r^s sendo expressa em função dessas coordenadas é apresentada na expressão abaixo:

$$\rho_r^s(t) = \sqrt{(X^s(t) - X_r)^2 + (Y^s(t) - Y_r)^2 + (Z^s(t) - Z_r)^2} \quad (2)$$

onde:

t - época de interesse;

X^s, Y^s, Z^s - coordenadas da antena do satélite (s);

X_r, Y_r, Z_r - coordenadas da antena do receptor (r);

2.1.2 Fase da onda portadora

A fase da onda portadora é a observável básica para a maioria das atividades geodésicas. Muito mais precisa que a pseudodistância, ela é igual à diferença da fase do sinal do satélite, recebido no receptor, e a fase do sinal gerado no receptor, ambas no instante de recepção do sinal. Os receptores medem a parte fracional da

portadora, restando um número inteiro de ciclos no instante inicial do rastreo, denominado de ambiguidade. A equação de observação da fase da onda portadora, em metros, pode ser escrita como (adaptada de MONICO, 2008):

$$\phi_r^s(t) = f \left(\frac{\rho_r^s - I_r^s + T_r^s + dm_r^s}{c} \right) + f(dt_r - dt^s) + (\phi^s(t_0) - \phi_r(t_0)) + \bar{N}_r^s + \varepsilon_{\phi r}^s \quad (3)$$

onde:

f - frequência da onda portadora

$\phi^s(t_0)$ - fase da portadora gerada no satélite s e recebida no receptor r na época de referência t_0 ;

$\phi_r(t_0)$ - fase gerada no receptor na época de referência t_0 ;

$\bar{N}_r^s$ - é a ambiguidade inteira e os componentes do atraso de *hardware*;

$\varepsilon_{\phi r}^s$ - outros erros não modelados na fase da onda portadora.

2.2 Erros envolvidos nas observáveis GNSS

As observáveis GNSS estão sujeitas a erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros. No posicionamento simples os erros originados de várias fontes, como satélites, propagação do sinal e do receptor se propagam para as coordenadas finais do ponto. Dessa forma, para obter resultados confiáveis, o modelo matemático estabelecido deve ser válido para a realidade física que se tenta descrever, e capaz de detectar problemas (MONICO, 2008). A tabela abaixo apresenta diversos erros envolvidos nas observáveis GNSS, agrupados segundo as possíveis fontes.

Tabela 1 – Fontes e erros envolvidos nas observeis GNSS.

Fontes	Erros
Satélites	Erro da órbita
	Erro do relógio
	Atraso entre as duas portadoras no <i>hardware</i> do satélite
	Centro de fase da antena do satélite
Propagação do sinal	Refração ionosférica
	Refração troposférica
	Perdas de ciclos
	Multicaminho
	Rotação da Terra
Receptor e Antena	Erro do relógio
	Atraso entre as duas portadoras no <i>hardware</i> do receptor
	Centro de fase da antena do receptor
Estação	Multicaminho
	Marés terrestres
	Carga de marés oceânicas
	Movimento do Pólo
	Carga atmosférica

Fonte: Adaptada de MONICO, 2008.

A seguir alguns desses efeitos são relatados de forma breve, pois a revisão completa dos erros que envolvem as observáveis GNSS não constitui o objetivo desta pesquisa. Maiores informações a respeito podem ser encontradas em Monico (2008), Seeber (2003) e Leick (2004).

2.2.1 Erros relacionados com os satélites GNSS

Diversos erros que têm como fonte os satélites GNSS são relativos às órbitas, aos relógios dos satélites, ao atraso entre as portadoras e ao centro de fase da antena.

- **Erro da órbita**

As informações orbitais podem ser obtidas a partir das efemérides. Estas, quando são obtidas a partir dos satélites, são chamadas de efemérides transmitidas e, quando são pós-processadas, são chamadas de efemérides precisas.

As coordenadas X^s, Y^s, Z^s (equação 1) são calculadas a partir das efemérides transmitidas ou precisas. No geral, são injuncionadas como valores fixos durante o processo de ajustamento dos dados dos satélites. Desta forma, erros nas coordenadas dos satélites se propagarão para a posição do usuário. No PPP as coordenadas dos satélites são obtidas a partir das efemérides precisas e os erros orbitais serão propagados quase diretamente para a posição do usuário (MONICO, 2008).

As efemérides precisas são produzidas por diversos centros integradores de órbitas (CIO), podendo-se citar o IGS (*International GNSS Service*). Estes centros estimam esses produtos e também os erros dos relógios dos satélites e os disponibilizam sem custo algum (IGS, 2009). No tratamento dos erros orbitais, para esta pesquisa, foram utilizadas as efemérides precisas do *Jet Propulsion Laboratory* (JPL), um dos centros de análise do IGS.

- **Erro do relógio**

Os satélites GNSS geralmente têm a bordo pares de relógios de Césio e de Rubídio. Os relógios atômicos dos satélites, mesmo sendo altamente precisos, não acompanham o sistema de tempo GPS, GLONASS e Galileo.

Os relógios são monitorados pelo segmento de controle, que determinam esse erro e enviam aos satélites na forma de polinômio de segunda ordem juntamente com as mensagens de navegação. A precisão utilizando essas correções é da ordem de 5 ns. O IGS também fornece correções para os relógios dos satélites. Essas correções fornecidas pelo IGS possuem precisão de aproximadamente 75 ps,

isso para os produtos finais disponibilizados com 12 a 18 dias de latência. Mais informações a respeito desses produtos podem ser encontradas em IGS (2009).

Uma forma de minimizar o erro do relógio do satélite é através das combinações lineares de simples diferença (SD) ou de DD. Este procedimento é utilizado no posicionamento relativo. No PPP geralmente se utilizam as correções fornecidas pelos CIO, como as disponibilizadas pelo IGS, que são as mais utilizadas atualmente. Nesta pesquisa, foram utilizadas as correções para os relógios dos satélites fornecidas pelo JPL.

- **Atraso entre as duas portadoras no hardware do satélite**

O atraso entre as duas portadoras no *hardware* do satélite é denominado como *Interfrequency biases* (IfB) ou *Differential Code Biases* (DCB). Esse erro decorre devido aos sinais das portadoras L1 e L2 percorrerem diferentes caminhos no *hardware* do satélite. O mesmo também acontece no receptor, durante o rastreamento do sinal do satélite. A magnitude do atraso é determinada durante a fase de testes dos satélites e introduzida como parte das mensagens de navegação designada por T_{GD} e distinto para cada satélite. Os valores de T_{GD} são estimados com base em estações terrestres pelo fato de se alterarem com o tempo (MONICO, 2008).

- **Centro de fase da antena do satélite**

O centro de fase da antena do satélite é ponto de referência da emissão dos sinais. Este, por sua vez difere do centro de massa que é o ponto de referência para as coordenadas. Os deslocamentos do centro de fase são calculados por alguns centros de análises do IGS. São dados em um sistema de coordenadas fixo no satélite, com origem no seu centro de massa e convertidos para o sistema fixo na Terra, atualmente o ITRF2005 (*International Terrestrial Reference Frame*), a atual realização do ITRS (*International Terrestrial Reference System*). Essas correções estão disponíveis, no formato ANTEX, com extensão .atx, em < <http://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/>>.

As calibrações IGS para antena dos satélites foram utilizadas nesta pesquisa em formato adotado pelo *software* GIPSY (*GPS Inferred Positioning System*), capaz de realizar PPP. Essas calibrações são usadas com as efemérides precisas JPL, estendidas ao campo de visão de orbitas baixas da terra, e são disponibilizadas na forma de suporte automatizado (*download* e atualizações) no próprio GIPSY por meio da internet.

2.2.2 Erros relacionados com a propagação do sinal

Os sinais propagam-se através da atmosfera no trajeto entre os satélites e estações terrestres e assim sofrem diferentes tipos de influência. Os impactos nas observáveis são, em muitos casos, maiores do que a acurácia requerida pelo posicionamento por satélite (SEEBER, 2003). Dos erros decorrentes da propagação do sinal podem-se citar a refração ionosférica e troposférica, perdas de ciclo, rotação da terra e multicaminho. Quanto a este último, de acordo com a tabela 1, também tem a estação como possível fonte, mas será relatado apenas no contexto da propagação do sinal.

- **Refração ionosférica**

A ionosfera abrange aproximadamente a região que compreende entre 50 até 1.000km acima da superfície terrestre. É um meio dispersivo, depende da quantidade de elétrons presentes ao longo do caminho percorrido pelo sinal entre o satélite e o receptor (TEC - *Total Electron Content*) e da frequência do sinal. Isso significa que a fase da portadora e a modulação sobre ela são afetadas de formas diferentes, isto é, enquanto a portadora sofre um avanço, a modulação sobre ela sofre um retardo (SEEBER, 2003).

O efeito ionosférico é uma fonte importante de erro nas observáveis GNSS. A quantidade do atraso ionosférico ou avanço do sinal pode variar de poucos metros a mais de vinte metros. É difícil modelar os efeitos da ionosfera devido à complexa interação física entre o campo geomagnético e a atividade solar (XU, 2007).

Para receptores com capacidade de rastreamento de dupla frequência, uma das possíveis combinações de serem realizadas entre observáveis coletadas em uma única estação, das equações da pseudodistância e da fase da onda portadora, é a da observável *ion-free* (*ionospheric free observable*), tanto para a pseudodistância, como para a fase da onda portadora. Com essa combinação os efeitos de primeira ordem da ionosfera são reduzidos consideravelmente. Para os erros de ordem superior pode ser adotada a metodologia proposta por Marques (2008).

O índice de refração ionosférica é proporcional ao quadrado da frequência. Desta forma, frequências mais altas são menos afetadas com o efeito da ionosfera (SEEBER, 2003). Assim sendo, o comprimento da observável *ion-free* é normalmente condicionado a ser igual ao da portadora L1, menos afetadas do que as outras frequências. A combinação linear da *ion-free* pode ser dada por:

$$\phi_{IF} = m_1\phi_{L1} + m_2\phi_{L2} \quad (4)$$

onde:

$$m_1 = f_1^2 / (f_1^2 - f_2^2)$$

$$m_2 = -f_1 f_2 / (f_1^2 - f_2^2)$$

f_1 e f_2 - frequência das portadoras

ϕ_{L1} e ϕ_{L2} - fase das ondas portadoras L1 e L2

Com relação aos usuários com receptores de frequência simples, a DD no posicionamento relativo é uma solução, mas no posicionamento com apenas uma estação, como é o caso do PPP, é comum empregar algum modelo para reduzir os efeitos da ionosfera. Nesses modelos, medidas de fase coletadas com receptores de dupla frequência são usadas para estimar as correções a serem utilizadas pelos usuários de frequência simples operando na área (MONICO, 2008).

O IGS disponibiliza os valores do TEC, em um *grid* com dimensões de 2,5 graus de latitude por 5 de longitude com intervalo de tempo de duas horas e latência de 11 dias, no formato denominado IONEX (*Ionosphere exchange format*). Mapas

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

Globais da Ionosfera (*GIM – Global Ionosphere Map*) são disponibilizados pela agência CODE (*Center for Orbit Determination for Europe*) na internet no endereço <<ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/>>. Para maiores informações sobre o formato IONEX acesse <<http://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/data/format/ionex1.pdf>>.

- **Refração troposférica**

A troposfera, para frequências abaixo de 30 GHz, comporta-se como um meio não dispersivo, ou seja, a refração é independente da frequência do sinal transmitido, dependendo apenas das propriedades termodinâmicas do ar. Ela estende-se da superfície terrestre até aproximadamente 50km. O efeito troposférico pode chegar a valores maiores que 30 metros, dependendo da densidade atmosférica e do ângulo de elevação do satélite (MONICO, 2008).

Desde o início da determinação das distâncias a partir da utilização das ondas eletromagnéticas já se estudava a influência da troposfera na propagação dos sinais e as formas de redução do seu efeito. A partir daí, vários efeitos causados pela troposfera sobre os sinais GNSS tornaram-se conhecidos, dentre os quais podem-se citar a atenuação troposférica, cintilação troposférica e atraso troposférico (SAPUCCI, 2001).

A atenuação é a diminuição da potência da onda eletromagnética, exercida pelos elementos que constituem a atmosfera, sendo diferente para cada frequência. No posicionamento GNSS recomenda-se não utilizar observações abaixo do ângulo de elevação de 5 graus. A cintilação é uma oscilação na amplitude da onda eletromagnética, causada por irregularidades e variações bruscas no índice de refatividade atmosférica. Na frequência empregada pelo GNSS, esses efeitos são, em geral, relativamente pequenos, exceto para pequenos ângulos de elevação (MONICO, 2008).

O atraso troposférico gera erros nas observáveis GNSS em escalas maiores e, por isso, deve ser tratado de forma adequada. Esse efeito pode ser dividido em duas componentes: hidrostática e úmida. Com relação à primeira o efeito é

principalmente pela influência do nitrogênio e oxigênio. Esse atraso corresponde a cerca de 2,3m no zênite e varia com a temperatura e pressão atmosférica local, sendo predito com razoável precisão, por ter a variação pequena de 1% durante várias horas. O segundo efeito é ocasionado pela atmosfera úmida, ou seja, pela influência do vapor d'água na atmosfera. Esse atraso é pequeno se comparado ao outro, 1 a 35cm no zênite, porém sua variação é cerca de 20% em poucas horas o que torna impossível sua predição com boa precisão (SAPUCCI, 2001; MONICO, 2008; SEEBER, 2003).

Como a espessura da camada troposférica, que a trajetória do sinal atravessa, é proporcional ao ângulo de elevação do satélite, ocorre à necessidade de relacionar o atraso zenital das diferentes componentes da atmosfera com o ângulo de elevação do satélite observado. Portanto, o atraso troposférico é aproximado como a soma dos efeitos das componentes hidrostática e úmida, multiplicadas por suas respectivas funções de mapeamento. De forma simplificada tem-se (SAPUCCI, 2001):

$$D_{TROP_r}^s = D_{ZH} \cdot mh(E) + D_{ZW} \cdot mw(E) \quad (5)$$

onde:

$D_{TROP_r}^s$ representa o atraso troposférico total para um ângulo de elevação (E) entre o satélite s e o receptor r ;

D_{ZH} representa o atraso troposférico na direção zenital para a componente hidrostática;

D_{ZW} representa o atraso troposférico na direção zenital para a componente úmida;

$mh(E)$ e $mw(E)$ são as funções de mapeamento que relacionam o atraso das componentes hidrostática e úmida, respectivamente, com o ângulo de elevação (E) do satélite.

Para a determinação do atraso troposférico é comum o uso de modelos específicos. Os modelos troposféricos representam a simplificação da própria atmosfera neutra da Terra, pois se baseiam no comportamento da refratividade do ar assumindo que seus constituintes obedecem a leis que já se configuram como modelos (SILVA et al., 1999). Existem vários modelos que procuram estimar o atraso troposférico, como por exemplo, o de Hopfield (SEEBER, 2003), o de Saastamoinen (SAASTAMOINEN, 1973 apud SILVA et al., 1999) e o de Lanyi (LANYI, 1984 apud SILVA et al., 1999).

A função de mapeamento relaciona o atraso vertical com o atraso para outros ângulos de elevação. Ela é distintamente tratada para as componentes hidrostática e úmida. A componente hidrostática representa cerca de 90% da refração troposférica (MONICO, 2008). Como algumas funções de mapeamento pode-se citar a de Chão, Davis, Herring, Niell e a VMF.

A VMF (*Vienna Mapping Function*) é uma função de mapeamento que foi desenvolvida baseada em modelos de predição numérica do tempo do ECMWF (*European Centre for Medium Range Weather Forecasts*). Esta função foi melhorada e denominada de VMF1 (KOUBA, 2008). A VMF1 encontra-se implementada em *softwares* científicos como, por exemplo, o GIPSY. Esta função de mapeamento troposférico foi utilizada nesta pesquisa.

Os parâmetros da VMF1 estão disponíveis para as estações IGS após 2004. Uma base de dados de mapeamento, ou seja, um *grid* global, de 2,0 X 2,5 graus, da VMF1(VMF1GRID), disponível desde junho de 2006, torna possível a utilização dessa função, por meio de interpolação, para qualquer local e a qualquer época, após o ano de 1994. Os parâmetros e o VMF1GRID encontram-se disponíveis em <<http://mars.hg.tuwien.ac.at/~ecmwf1/>>. Para mais detalhes sobre a VMF1 consultar Kouba (2008).

- **Perdas de ciclos**

Quando ocorre a obstrução do sinal de um ou mais satélites, impedindo que este chegue até a antena do receptor é ocasionada uma perda na contagem do número inteiro de ciclos medidos no receptor, sendo chamada de perdas de ciclos (*cycle slips*). Esse bloqueio pode estar relacionado a fontes como construções, árvores, montanhas etc. A aceleração da antena, variações bruscas na atmosfera, interferências de outras fontes de rádio e problemas com o receptor e *software* também podem ser fontes causadoras da perda de ciclos (MONICO, 2008).

A correção exige que se localize o instante em que ocorreu o salto, bem como sua dimensão. Pode-se também introduzir uma nova ambiguidade como incógnita no modelo de ajustamento (MONICO, 2008). Várias técnicas têm sido desenvolvidas para detecção e correção das perdas de ciclos dentre as quais pode-se citar o *Turboedit*, desenvolvido por Blewitt (1990).

A perda de ciclos pode ser facilmente detectada através de duplas e triplas diferenças no posicionamento relativo, o que não é possível no PPP. Contudo, existem alternativas para a detecção da perda de ciclos, como o uso de combinações lineares entre as observáveis e foi utilizado em trabalho desenvolvido por Faustino (2006).

- **Multicaminho**

O multicaminho é o efeito correspondente à chegada do sinal na antena do receptor, por diferentes caminhos, devido à reflexão no meio. Além de influenciar na acurácia do posicionamento pode fazer com que haja perdas de ciclo na fase da portadora (GARNÉS, 2001).

Durante a propagação do sinal entre as antenas do satélite e do receptor pode ocorrer um desvio, fazendo com que o sinal chegue à antena do receptor por dois caminhos distintos, um que é direto do satélite e outro que foi “desviado” por algumas superfícies vizinhas (COSTA et al., 2008). Em resumo, o receptor pode em

algumas circunstâncias, receber além do sinal que chega diretamente à antena, sinais refletidos em superfícies vizinhas a ela, tais como construções, carros, árvores, corpos d'água, cercas etc. (MONICO, 2008). A figura 1 ilustra o efeito do multicaminho.

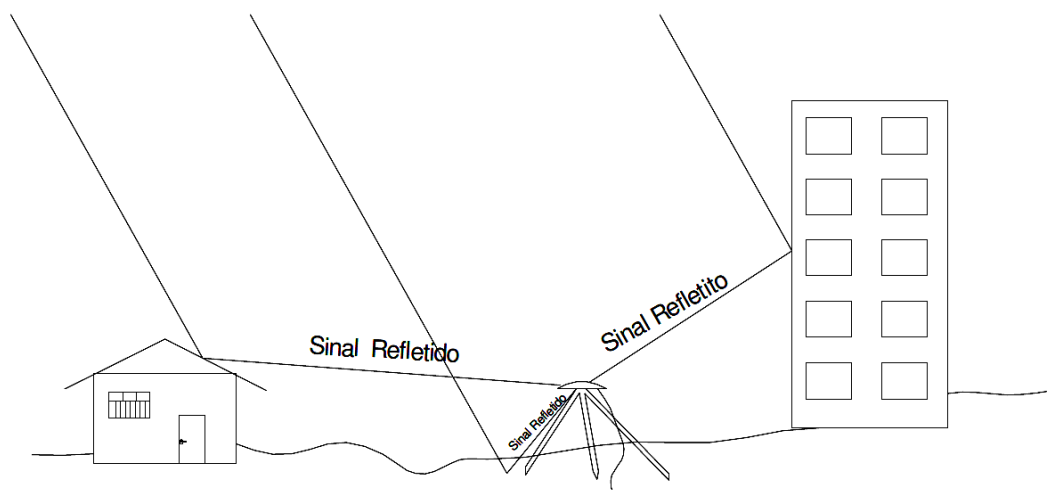


Figura 1 – Efeito do multicaminho.

Fonte: GARNÉS, 2001

A ocorrência do multicaminho depende da refratividade do meio onde se posiciona a antena, das características da antena e das técnicas empregadas nos receptores para reduzir os sinais refletidos (MONICO, 2008).

O problema do multicaminho pode ser minimizado com a realização de um rastreamento por um período de tempo maior, utilizando de maneira estratégica a variação na geometria do satélite e evitando, se possível, locais onde a ocorrência do multicaminho é mais propícia. Outras técnicas podem ser usadas como, por exemplo, o uso de antenas que propiciam uma redução deste efeito, como por exemplo, *Choke ring* e *pinwheel*, que são projetadas com base na polarização de sinais (COSTA et al., 2008).

- **Rotação da Terra**

O eixo de rotação da terra e seu plano equatorial não estão fixos no espaço, mas rotacionam com respeito a um sistema inercial como o GCRS (*Geocentric*

Celestial Reference System). Isso se deve a atração gravitacional da Lua e do Sol sobre a protuberância equatorial da Terra. Em virtude do cálculo das coordenadas do satélite no instante de transmissão ser efetuado em um sistema de coordenadas fixo à Terra, torna-se necessário corrigir estas coordenadas do movimento de rotação da Terra, já que durante a propagação do sinal o sistema de coordenadas terrestre rotaciona com relação ao satélite, alterando suas coordenadas. Esse efeito pode ser corrigido rotacionando sobre o eixo Z as coordenadas dos satélites, conforme mostra a equação 6 (MONICO, 2000).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & 0 \\ -\alpha & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} \quad (6)$$

onde:

X', Y', Z' - coordenadas originais dos satélites;

X, Y, Z - coordenadas corrigidas dos satélites;

α - ângulo em radianos ($\cong 1,25''$), definido pelo produto do tempo de propagação com a velocidade de rotação da Terra.

2.2.3 Erros relacionados com o receptor e antena

Dos erros cujas possíveis fontes são o receptor e antena GNSS pode-se citar os ocasionados pelo relógio, atraso entre as duas portadoras no *hardware* do receptor e o centro de fase da antena do receptor. Esses erros são relacionados ao *hardware* do receptor e da antena.

- **Erro do relógio do receptor**

Os receptores GNSS são normalmente equipados com osciladores de cristal de quartzo. As vantagens desses osciladores é que eles são pequenos, consomem pouca energia e são relativamente baratos. Além disso também possuem boa estabilidade interna, mas se comparados aos relógios dos satélites possuem baixa qualidade (SHEN, 2002).

Por conta do não sincronismo dos relógios dos receptores com relação ao sistema de tempo GNSS ocorre à necessidade de se rastrear no mínimo 4 satélites para que se possa solucionar, de forma simultânea, a posição da antena e o erro do relógio do receptor. No método de posicionamento relativo, este erro é praticamente eliminado. No PPP o erro do relógio do receptor é uma das incógnitas do modelo, sendo estimado no ajustamento juntamente com as outras componentes da estação. As redes de alta precisão utilizam receptores GNSS com osciladores altamente estáveis, porém de custo bastante elevado (MONICO, 2008).

- **Atraso entre as duas portadoras no hardware do receptor**

O atraso entre as duas portadoras no *hardware* do receptor ocorre de forma semelhante ao satélite e também recebe a mesma denominação (IFB ou DCB). É decorrente da diferença entre os caminhos percorridos pelas portadoras L1 e L2 e pelo *hardware* do receptor. Os valores de DCB são importantes para o cálculo do valor absoluto do TEC a partir de receptores de dupla frequência. Esses valores devem ser estimados durante o processamento ou calibrados de forma independente (MONICO, 2008).

- **Centro de fase da antena do receptor**

O centro de fase eletrônico da antena na qual as medidas dos sinais são referenciadas geralmente não coincide com centro mecânico da antena. O centro de fase, por ser virtual, não pode ser acessado diretamente por medidas, logo é necessário que se conheça a relação entre o centro de fase e um ponto físico de referência na antena que seja acessível às medidas. Esse ponto de referência é denominado de ARP (*Antenna Reference Point*) e o deslocamento do centro de fase em relação ao ARP é denominado PO (*Phase Offset*) (MONICO, 2008).

O centro de fase da antena sofre variações, pois dependente da intensidade e do ângulo de incidência dos sinais, ou seja, do azimute e ângulo de elevação dos satélites. Essas variações são denominadas de PCV (*Phase Center Variation*).

Em levantamentos de alta precisão, as antenas envolvidas devem ser calibradas. Os parâmetros de calibração relacionam o ARP e o centro de fase. Essa relação é usualmente parametrizada segundo o PO e o PCV (MONICO, 2008).

O método de calibração das antenas pode ser definido como relativo ou absoluto. Na calibração relativa todas as antenas são calibradas com relação a uma única antena. O IGS realizava calibração relativa com utilizando a antena *Dorne Margolin*. As correções absolutas passaram a ser recomendadas desde a adoção do ITRF 2005 pelo IGS. Para realizar a calibração absoluta das antenas dos receptores é necessária a calibração das antenas dos satélites. O IGS disponibiliza correções absolutas do centro de fase das antenas GNSS dos receptores e satélites no endereço < <ftp://igsb.jpl.nasa.gov/pub/station/general/> > .

Nesta pesquisa foram utilizadas calibrações IGS para a antena dos receptores com relação ao azimute e elevação dos satélites a partir do arquivo IGS05.atx convertido para o formato utilizado pelo *software* GIPSY(.xyz).

2.2.4 Erros relacionados com a estação

Dos erros relacionados com a estação podem-se citar os ocasionados pelo movimento do pólo e o multicaminho. Quanto ao multicaminho, este já foi apresentado no contexto da propagação do sinal e embora também tenha a estação como possível fonte, pois também é influenciado localização da mesma, não será mais abordado. No PPP como se busca um posicionamento de alta precisão os efeitos de marés terrestres, carga de marés oceânicas e carga da atmosfera devem ser considerados e estão relacionados com a estação. Esses efeitos não são erros, mas variações de fenômenos geofísicos que afetam as observações.

- **Marés terrestres**

As deformações da crosta terrestre, sob a ação gravitacional do Sol e da Lua, são denominadas de marés terrestres (*Earth body tides*). Próximo ao equador a superfície desloca-se quase 40 cm durante um período de 6 horas. Essa variação

apesar de ser em função do tempo, também depende da posição da estação (MONICO, 2008).

As marés terrestres e as cargas oceânicas poderiam estar inseridas no contexto de fonte de erros relacionadas com os satélites, pois alteram o potencial gravitacional da terra e podem causar acelerações adicionais que atuam sobre os satélites, alterando suas órbitas. Porém essa aceleração é bastante pequena, sendo 2.10^{-9} m/s^2 (SEEBER, 2003).

As variações ocasionadas pelas marés terrestres só podem ser medidas a partir das observações do sistema de satélites ou gravímetros de alta sensibilidade. No posicionamento relativo são desprezadas por conta do seu comportamento suave ao longo da superfície terrestre. No PPP seus efeitos devem ser considerados (MONICO, 2008).

Após a realização da convenção de 2003 o IERS (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*) apresentou o documento que se destina a definir o sistema de referência realizado pelo IERS e os modelos e procedimentos utilizados para esta finalidade. Neste documento é apresentado um modelo convencional para cálculo das variações das coordenadas da estação devido às marés terrestres. Este modelo é baseado nos referências do modelo geopotencial, referenciais terrestres e em harmônicos esféricos de grau (n) e ordem (m), que são caracterizados por números (*Love e Shida*) que se referem a forças distribuídas na terra que refletem no campo da terra devido à força das marés. Os valores eficazes desses números dependem da latitude da estação e da frequência da maré (IERS, 2003).

Nesta pesquisa, para correção dos efeitos de marés terrestres foi utilizado o modelo proposto pela IERS. As informações a respeito desse modelo podem ser encontradas em IERS (2003).

- **Carga de marés oceânicas**

A carga que as marés oceânicas exercem sobre a crosta terrestre produz deslocamentos periódicos sobre a superfície. A magnitude do deslocamento depende das características elásticas da crosta e das posições do sol, da lua e do local da estação, podendo alcançar cerca de 10 cm na componente vertical em algumas partes do globo terrestre (BAKER, 1984 apud MONICO, 2008).

Em trabalho desenvolvido por Rosa (2008) foram apresentados os resultados do efeito de cargas de marés oceânicas, calculados para o ano de 2008, com o intuito de apresentar como esse efeito se desenvolve. Para a estação Presidente Prudente (PPTE) que se encontra dentro da placa sul-americana (SOAM), o valor máximo do deslocamento foi na componente vertical e chegou a aproximadamente 1,5cm. No entanto, para estações localizadas próximas ao litoral, o efeito tem maior influência sobre a estação. Isso foi comprovado através da estação Fortaleza (BRFT) que se encontra próxima ao litoral brasileiro e alcançou valores próximos a 6cm na componente vertical.

Existem vários modelos para a correção dos efeitos de carga de marés oceânicas, dentre os quais se podem citar o TPXO.7.2, GOT00.2, EOT08a e FES2004. Para auxiliar a comunidade geodésica esses e outros modelos foram implementados em um aplicativo e disponibilizados no endereço < <http://froste.oso.chalmers.se/loading//>>.

Para utilizar o aplicativo é necessário selecionar o modelo de cargas de marés oceânicas, o tipo de carga, fornecer o nome e as coordenadas da estação de interesse e o endereço de e-mail para que as correções sejam enviadas. As coordenadas podem ser X, Y e Z ou latitude, longitude e altitude. O modelo FES2004 tem 0,125 graus de resolução, o que corresponde a 7,5 km. Ele é o modelo utilizado pelos centros de análise IGS e foi o modelo utilizado nesta pesquisa para tais correções.

- **Movimento do Pólo**

O movimento do pólo refere-se ao movimento de rotação do pólo celeste verdadeiro em relação ao pólo de um sistema de referência convencional fixo a Terra (SEEBER, 2003). O movimento do pólo causa uma variação das coordenadas da estação. Esse efeito é praticamente eliminado no posicionamento relativo, mas no PPP deve ser considerado. A variação causada nas coordenadas pelo movimento do pólo pode ser corrigida com base nas informações disponibilizadas pelo IERS em seus boletins A e B. Os boletins da IERS podem ser encontrados endereço na internet < <http://www.iers.org> >.

- **Carga atmosférica**

O efeito da carga atmosférica pode ser considerado como uma resposta elástica da crosta terrestre a uma massa atmosférica distribuída sobre a superfície terrestre e variante no tempo (PEREZ, 2002).

Variações da distribuição da massa atmosférica, que podem ser inferidas com base na medida de pressão atmosférica, induzem deformações sobre a crosta, sobretudo na direção vertical. A maioria dos programas de processamento de dados GNSS ainda não apresentam modelos implementados para correções dessa natureza (MONICO, 2008). A correção para esse efeito não foi aplicada nesta pesquisa.

No documento referente à convenção de 1996 do IERS encontram-se formulações matemáticas que permitem, de forma simplificada, o cálculo destes deslocamentos. Maiores informações podem ser encontradas em IERS (1996).

2.3 Combinações lineares das observáveis

Em princípio, existe um número ilimitado de possibilidades para combinar as diferentes observáveis formando observáveis derivadas, mas apenas algumas combinações são significativas no contexto do posicionamento geodésico. Uma

vantagem nas observações derivadas é que os erros presentes nas observações originais são eliminados ou reduzidos quando as diferenças são formadas entre as observáveis. Podem ser destacadas as combinações (SEEBER, 2003):

- Entre as observações em diferentes estações;
- Entre as observações de diferentes satélites;
- Entre as observações em diferentes épocas;
- Entre as observações do mesmo tipo;
- Entre as observações de tipo diferente;

Em alguns casos, as ambiguidades de observações derivadas são mais fáceis de resolver do que para aquelas das observações originais. Por outro lado, o nível de ruído pode ser aumentado consideravelmente. O uso de combinações lineares no processo de estimação de parâmetros, portanto, deve ser cuidadosamente estudada (SEEBER, 2003).

Combinações lineares entre as observações do mesmo tipo podem ser formadas entre a fase da onda portadora e entre os códigos da fase. Os principais usos dessas combinações lineares são para eliminação do atraso ionosférico, exemplifica-se a *ion-free* e para a solução de ambiguidades fase da portadora (SEEBER, 2003).

O processamento envolvendo a *ion-free* e a combinação da *wide-lane* ($L\Delta$) é muito útil na etapa de detecção de perdas de ciclos e de erros grosseiros. Isso se dá devido à primeira ter efeitos ionosféricos praticamente nulos e a segunda com comprimento de onda longo ($\sim 86\text{cm}$). Já a observável *narrow-lane* ($L\Sigma$) apresenta um ruído baixo em todas as combinações lineares apresentadas, mas seu curto comprimento de onda ($\sim 10,7\text{ cm}$) dificulta o processo de solução de ambiguidades. As combinações lineares da $L\Delta$ e $L\Sigma$ para as duas portadoras são dadas por (MONICO, 2008):

$$L\Delta = \phi_{L1} - \phi_{L2} \quad (7)$$

$$L\Sigma = \phi_{L1} + \phi_{L2} \quad (8)$$

As ambiguidades das combinações $L\Delta$ e $L\Sigma$ são dependentes e são dadas por:

$$N\Delta = N1 - N2 \quad (9)$$

$$N\Sigma = N1 + N2 \quad (10)$$

Usam-se as combinações lineares de observáveis de tipo diferente, por exemplo, como forma de melhorar a qualidade da pseudodistância do código C/A, combinando as medidas da pseudodistância com as da fase da onda portadora (SILVA et al., 2006). Os sinais não ambíguos do código podem ser usados na estimativa de ambiguidades da fase da onda portadora. A combinação linear de *Melbourne-Wübbena*, é um exemplo disso, envolve o código e a fase e elimina os efeitos da ionosfera, relógio, troposfera e geometria. Ela é determinada pela equação abaixo (MONICO, 2008):

$$L_{MW} = (\phi_{L1} - \phi_{L2}) - \frac{f_1 - f_2}{f_1 + f_2} \left(\frac{f_1}{c} PD_1 + \frac{f_2}{c} PD_2 \right) \quad (11)$$

2.3.1 Simples diferença

A SD pode ser formada entre dois receptores, entre dois satélites, ou entre duas épocas. A diferenciação para um par de receptores observando simultaneamente um satélite é chamada de SD entre receptores. A diferenciação das observações de dois satélites medidas simultaneamente em uma única estação é chamada de SD entre satélites (figura 2). Já na diferenciação entre duas épocas tem-se a SD entre épocas (WELLS et al., 1986).

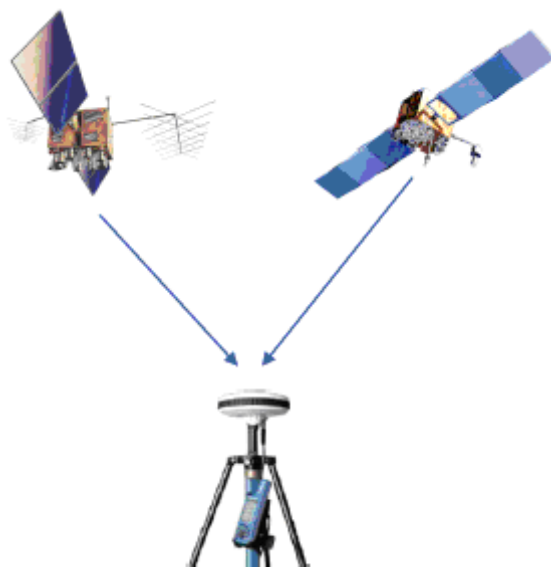


Figura 2 – Simples diferença entre satélites.

Fonte: Adaptada de Geng et al. (2008).

Se o estado do relógio do satélite fosse constante, a SD entre receptores cancelaria esse erro. Como não é constante exige-se a simultaneidade entre as observações. Contudo, mesmo sendo simultâneas as observações nos dois receptores, por conta da diferença de distância entre elas e os satélites, os sinais recebidos simultaneamente nesses receptores, teriam sido transmitidos em instantes diferentes, e, com o aumento da linha de base, torna-se necessário fazer as correções apropriadas (GARNÉS, 2001).

Se as SD entre satélites são formadas, ou seja, as diferenças das observações de dois satélites gravadas simultaneamente em uma única estação, o erro do relógio do receptor e a parte fracional dos componentes do atraso do *hardware* são cancelados (SEEBER, 2003; GENG et al., 2008). Os demais erros não são cancelados porque o caminho de propagação do sinal de dois satélites, até um mesmo receptor, é bastante diferente (GARNÉS, 2001).

A equação de observação da SD entre satélites para a pseudodistância é definida de forma simplificada por:

$$\Delta PD_r^{s,j} = \Delta \rho_r^{s,j} - \varepsilon_{PD} \quad (12)$$

onde:

$\Delta PD_r^{s,j} = (PD_r^s - PD_r^j)$ - SD da pseudodistância;

$\Delta \rho_r^{s,j} = (\rho_r^s - \rho_r^j)$ - SD da distância geométrica;

ε_{PD} - erros sistemáticos não modelados e resíduos aleatórios da $\Delta PD_r^{s,j}$.

A equação de observação para a SD da fase da onda portadora é definida simplificada por:

$$\Delta \varphi_r^{s,j} = \frac{f}{c} (\Delta \rho_r^{s,j}) + \overline{N}_r^{s,j} + \varepsilon_\varphi \quad (13)$$

onde:

$\Delta \varphi_r^{s,j} = (\varphi_r^s - \varphi_r^j)$ - SD da fase da onda portadora;

$\overline{N}_r^{s,j} = \overline{N}_r^s - \overline{N}_r^j$ - ambiguidade da SD da fase da onda portadora;

ε_φ - erros sistemáticos não modelados e resíduos aleatórios da $\Delta \varphi_r^{s,j}$.

Com a SD entre as duas épocas para o mesmo satélite a ambiguidade é cancelada. Isso ocorre porque a ambiguidade da fase inicial não muda com o tempo, desde que não ocorram perdas de ciclos (SEEBER, 2003).

2.3.2 Dupla diferença

Considerando dois receptores e dois satélites na mesma época, há as possibilidades de operações (WELLS et al., 1986):

- Duas simples diferenças entre receptores, cada uma envolvendo um satélite diferente.
- Duas simples diferenças entre satélites, cada uma envolvendo um receptor diferente.
- Uma dupla diferença entre o receptor e o satélite, envolvendo ambos receptores e satélites.

A DD entre o receptor e o satélite pode ser construída por duas SDs entre receptores e diferenciação entre dois satélites ou por duas SDs entre satélites e a diferenciação entre dois receptores.

As DD estão livres dos erros dos relógios do satélite e do receptor e os erros de propagação e órbita são reduzidos (SEEBER, 2003). A figura 3 ilustra a combinação linear da DD entre satélites e receptores.

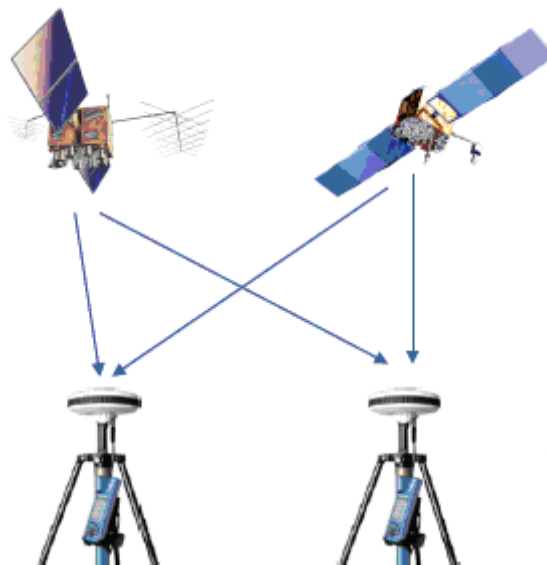


Figura 3 – Dupla diferença entre satélites e receptores.

Fonte: Adaptada de Geng et al. (2008).

Se n satélites estão sendo rastreados simultaneamente por dois receptores, é possível calcular $n-1$ DDs independentes para cada tipo de observação, pseudodistância e/ou fase, por instante (MARQUES, 2008). A equação de observação da DD para a pseudodistância é definida por (MONICO, 2000a):

$$\Delta PD_{r,l}^{s,j} = \Delta \rho_{r,l}^{s,j} - \varepsilon_{PD} \quad (14)$$

onde:

$\Delta PD_{r,l}^{s,j} = (PD_r^s - PD_l^s) - (PD_r^j - PD_l^j)$ - DD da pseudodistância;

$\Delta \rho_{r,l}^{s,j} = (\rho_r^s - \rho_l^s) - (\rho_r^j - \rho_l^j)$ - DD da distância geométrica;

ε_{PD} - erros não modelados e resíduos aleatórios da $\Delta PD_{r,l}^{s,j}$.

A equação de observação para a DD da fase da onda portadora é definida com (MONICO, 2000a):

$$\Delta \phi_{r,l}^{s,j} = \frac{f}{c} (\Delta \rho_{r,l}^{s,j}) + \overline{N}_{r,l}^{s,j} + \varepsilon_{\phi} \quad (15)$$

onde:

$\Delta \phi_{r,l}^{s,j} = (\phi_r^s - \phi_l^s) - (\phi_r^j - \phi_l^j)$ - DD da fase portadora;

$\overline{N}_{r,l}^{s,j}$ - ambiguidade da DD;

ε_{ϕ} - erros não modelados e resíduos aleatórios da $\Delta \phi_{r,l}^{s,j}$.

A equação da DD parece proporcionar relação melhor entre o ruído resultante da combinação linear e a eliminação de erros sistemáticos envolvidos nas observáveis de origem. É a observável mais utilizada no processamento de dados GNSS envolvendo a fase da onda portadora (MONICO, 2008).

2.3.3 Tripla diferença

A combinação da tripla diferença é obtida pela diferença entre duas DDs envolvendo os mesmos receptores e satélites, mas em épocas diferentes. Em geral não é usada na solução final por que apesar da eliminação das ambiguidades, deixando como incógnitas apenas as coordenadas dos receptores, ocorre um maior ruído na observável resultante e passa a ter correlação temporal entre as combinações em épocas diferentes (MONICO, 2008).

Maiores esclarecimentos sobre as combinações lineares das observáveis podem ser encontrados em Wells et al.(1986), Seeber (2003) e Monico (2008).

Embora as combinações lineares da Simples, Dupla e Tripla diferença das observáveis não sejam diretamente utilizadas neste trabalho, seus conceitos são importantes para a contextualização da solução de ambiguidades no PPP, uma vez que esses conceitos são utilizados no espaço das ambiguidades.

3. POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO

Antes de apresentar os conceitos relacionados ao PPP, apresenta-se brevemente o conceito de Posicionamento por ponto.

3.1 Posicionamento por ponto

O posicionamento absoluto ou posicionamento por ponto (PP) é o método de posicionamento GNSS em que as coordenadas de um ponto são obtidas com a utilização de somente um receptor. Para tal, o receptor necessita coletar medidas da pseudodistância derivada do código C/A. Esse código é modulado na portadora L1. As orbitas e correções para os relógios dos satélites são obtidos a partir das efemérides transmitidas (NRCAN, 1995).

O PP não é adequado para posicionamentos que necessitem de acurácia ao nível do metro, ou melhor. Com a modernização do GPS tem-se disponível para os usuários civis o código L2C presente na portadora L2, o que possibilita o alcance de melhorias no posicionamento simples a partir de combinações entre as observáveis derivadas dos códigos nas portadoras L1 e L2. Em breve ter-se-á ainda a pseudodistância advinda da portadora L5, haja vista que um satélite com essa capacidade já está em operação. Logo, a qualidade do PP deverá melhorar.

3.2 Posicionamento por ponto preciso

O PPP é realizado de modo absoluto, ou seja, com apenas um receptor. Nesse método se utiliza as observações das pseudodistância e da fase da onda portadora. Também se fazem uso de efemérides precisas e correções para os relógios dos satélites. Os erros que afetam as observáveis GNSS se propagam diretamente para as coordenadas do ponto, logo, é necessário que sejam considerados e tratados (BERNESE, 2007).

A idéia por trás de PPP é: Órbitas precisas e relógios dos satélites estimados com base em observações de uma rede global de confiança e alta qualidade, como

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

por exemplo, a rede do IGS. Estas informações são tomadas para resolver parâmetros de estações em qualquer local do mundo sem a necessidade de formar dados diferenciados a partir de estações de referência. Trata-se de parâmetros globais (SEEBER, 2003). O desenvolvimento do PPP tornou-se possível com a disponibilização e facilidade de acesso a esses produtos, ou seja, com o desenvolvimento de uma infraestrutura global, organizada e de qualidade, disponível ao usuário, conforme ilustra a figura 4.



Figura 4 – Infraestrutura necessária para o PPP.

Tendo estações de monitoramento contínuo distribuídas no mundo e vários centros de análises, o IGS tem fornecido, sem custo algum, produtos como órbitas pós-processadas e correções para os relógios dos satélites, bem como modelo global para erros provenientes da ionosfera (IONEX) e modelo para correção residual da troposfera, com rapidez e precisão.

O IGS produz três tipos de efemérides e correções para os relógios: IGS final, disponível com doze dias de latência; IGS rápida com 17 horas de latência; IGS ultra-rápida, disponível quatro vezes por dia, podendo essa ser observada, com latência de 3 horas, ou predita, disponível em tempo real. As precisões dos produtos IGS são apresentadas na tabela 2. Maiores informações podem ser encontradas na página do IGS na internet, onde é feita uma descrição de cada produto disponibilizado e suas respectivas precisões (<http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>).

Tabela 2 – Precisão dos produtos IGS.

Produto IGS	Parâmetro	Precisão
Final	Órbita	~ 2,5cm
	Relógio	~ 75ps
Rápida	Órbita	~ 2,5cm
	Relógio	~ 75ps
Ultra-rápida (observada)	Órbita	~ 3cm
	Relógio	~150ps
Ultra-rápida (predita)	Órbita	~ 5cm
	Relógio	~ 3ns

Fonte: IGS, 2009.

Atualmente o IGS tem como referencial, das estações envolvidas na produção das órbitas e correções dos relógios, o IGS05, uma realização do ITRF corrente - ITRF2005.

O JPL também disponibiliza órbitas e correções para os relógios dos satélites. Os produtos JPL podem ser não fiduciais, ou seja, não se encontram vinculados a um sistema de referência ou fiduciais, vinculados ao sistema de referência IGS05. Esses produtos eram chamados de *legacy Flinn_nf* e *legacy Flinn*. Com a versão 5.0 do *software* GIPSY, o JPL parou de produzir produtos *legacy Flinn* e *Flinn_nf* em 15 de agosto de 2009, último dia da semana GPS 1544.

Os novos produtos, *FlinnR* (órbitas fiduciais e correções para os relógios dos satélites) e *FlinnR_nf* (órbitas não fiduciais e correções para os relógios dos satélites), são postados com 11 dias de latência, assim como os anteriores. Os produtos *legacy* foram reprocessados para os anos de 1996 a 2009. Esses produtos têm novo formato de órbita e relógio, igual ao requerido pelo GIPSY versão 5.0 ou superior. No presente trabalho foram utilizados os produtos *FlinnR_nf*. Os produtos JPL encontram-se disponíveis em ftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/JPL_GPS_Products/.

3.3 Modelos Matemáticos do PPP

De uma forma geral, o objetivo do PPP é a obtenção de coordenadas acuradas com a utilização de somente um receptor. É mais comum recorrer a dados de receptores de dupla frequência tanto para pseudodistância como para a fase.

Os modelos matemáticos utilizados no PPP são resultantes de uma combinação para produzir à observável *ion-free* da pseudodistância e da fase da onda portadora respectivamente (adaptado de MONICO, 2008):

$$PD_{rIF}^s = \rho_r^s + c[dt_r - dt^s] + T_{r0}^s + dT_r^s m(E) \quad (16)$$

$$\phi_{IFr}^s = \frac{f_1}{c} \rho_r^s + f_1(dt_r - dt^s) + \bar{N}_{IFr}^s + \frac{f_1}{c} T_{r0}^s + \frac{f_1}{c} dT_r^s m(E) \quad (17)$$

onde:

PD_{rIF}^s - observável *ion-free* da pseudodistância;

ϕ_{IFr}^s - observável *ion-free* da fase portadora em ciclos;

f_1 - frequência da observável *ion-free* (igual à portadora L1);

$\bar{N}_{IFr}^s$ - ambiguidade da observável *ion-free*;

T_{r0}^s - atraso troposférico aproximado a partir de algum modelo disponível;

dT_r^s - correção residual de T_{r0}^s a ser estimada no modelo;

$m(E)$ - função de mapeamento utilizada.

As ambiguidades desse modelo não preservam a característica de inteiro e o nível de ruído é aproximadamente três vezes maior do que o correspondente do código e observações da fase originais. Os efeitos ionosféricos de ordem superior e quaisquer outros erros não modelados normalmente são fundidos no termo de medição do ruído. Geralmente, a convergência dos parâmetros de ambiguidades, juntamente com a convergência dos parâmetros de posição, é uma função de número de incógnitas, níveis totais de ruído e erros não-modelados. (SHEN, 2002).

3.4 Redes ativas GNSS e referenciais geodésicos

A definição de um sistema de referência é caracterizada pela idéia conceitual do mesmo. Para fins operacionais, torna-se necessário adotar um referencial por convenção, quer seja terrestre ou inercial, dando origem ao sistema de referência convencional. Nesse caso, todos os modelos, constantes numéricas e algoritmos são claramente especificados, pois proporcionam a origem, escala e orientação do sistema, bem como sua evolução temporal (MONICO, 2008).

Quando um referencial é definido e adotado convencionalmente, a etapa seguinte é caracterizada pela coleta de observações a partir de pontos sobre a superfície terrestre, ou próximos a ela, devidamente monumentalizados. Fazem parte ainda, o processamento e análise, bem como a divulgação dos resultados, que é, essencialmente, um catálogo de coordenadas associadas a uma época particular. As coordenadas podem vir acompanhadas de suas respectivas velocidades e precisão. Esse conjunto materializa o sistema de referência (MONICO, 2008).

A realização, para o caso de um referencial terrestre, nada mais é que uma lista de coordenadas e velocidades das estações que compõem o sistema, também denominada de conjunto de coordenadas de referência. As informações sobre a qualidade dessas coordenadas e velocidades também fazem parte da realização, bem como as estações e a descrição das mesmas (MONICO, 2005).

O Sistema de Referência Terrestre do IERS, o ITRS (*International Terrestrial Reference System*), é um sistema fixo na Terra que rotaciona com ela. As materializações do ITRS são produzidas pelo IERS ITRS-PC (*ITRS Product Center*). A cada realização são publicados as coordenadas das estações IERS, as velocidades, e os parâmetros de transformação da realização atual para as anteriores. A atual realização do ITRS é denominada ITRF2005. Em breve se terá uma nova realização: o ITRF2008.

Através de observações levadas a efeito a partir de pontos devidamente materializados na superfície da Terra, se estabelece um conjunto de coordenadas de referência para os pontos. Este conjunto materializa uma rede de referência,

utilizada para vincular outras determinações. Um exemplo de rede de referência global materializada é a rede do IGS (BLITZKOW e MATOS, 2005).

As redes com características globais implicam numa distribuição de pontos separados por centenas e até milhares de quilômetros. As necessidades práticas, bem como, as técnicas de obtenção de coordenadas vinculadas a uma referência global exigem o estabelecimento de redes com um espaçamento menor entre os pontos materializados. Isto implica na implantação de pontos de densificação, os quais compõem as redes de referência continentais, nacionais ou regionais. Como exemplo de rede continental pode-se citar a rede SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) (BLITZKOW e MATOS, 2005).

A materialização de um sistema de referência, através de estações geodésicas distribuídas adequadamente pelo país, constitui-se na infraestrutura de referência a partir da qual as atividades geodésicas são efetuadas. No Brasil, a definição, implantação, e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) são de responsabilidade do IBGE, assim como o estabelecimento das especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos (IBGE, 2010b).

No posicionamento por satélite, os referenciais de interesse são geocêntricos, pois os satélites têm como origem de seu movimento o centro de massa da Terra. No ajustamento dos dados provenientes do posicionamento por satélite é essencial que posições dos satélites e estações terrestres sejam representadas no mesmo sistema de referência (MONICO, 2005).

Com o advento dos GNSS, tornou-se necessário para o Brasil, a adoção de um novo sistema de referência, geocêntrico e compatível com a precisão dos métodos de posicionamento correspondentes e também com os sistemas adotados no restante do globo terrestre. Diante disso, após a resolução 01/2005 do IBGE, ficou estabelecido o SIRGAS, em sua realização do ano de 2000 e época de referência 2000,4, como novo sistema de referência geodésico para o SGB e para o Sistema Cartográfico Nacional (IBGE, 2010b).

O SIRGAS se define idêntico ao ITRS e sua realização é a densificação regional do marco global de referência terrestre ITRF. As coordenadas SIRGAS estão associadas a uma época específica de referência e suas variações no tempo são tomadas quer seja pelas velocidades individuais das estações SIRGAS ou mediante um modelo contínuo de velocidades que cobre todo o continente (SIRGAS, 2010).

Atualmente o SIRGAS está materializado por uma rede de estações GNSS de funcionamento contínuo com coordenadas de alta precisão e velocidades, associadas a uma época específica de referência - a Rede SIRGAS de funcionamento contínuo (SIRGAS-CON). Essa rede é composta atualmente por mais de 200 estações, das quais 48 pertencem à rede global do IGS (SIRGAS, 2010).

Define-se por redes ativas GNSS, o conjunto de estações geodésicas estabelecidas em locais estáveis da superfície terrestre ou litosfera, materializadas por uma estrutura rígida, nas quais são instalados receptores GNSS de dupla-frequência, os quais coletam dados continuamente (COSTA et al., 2009).

A operacionalização da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) em 1996 implantou, em âmbito nacional, o conceito de redes ativas através do monitoramento contínuo de satélites GNSS. Diariamente todos os dados coletados nas estações da RBMC são transferidos automaticamente e disponibilizados aos usuários em formato RINEX (IBGE, 2010a).

A partir da operacionalização da RBMC o desenvolvimento de pesquisas geodésicas nacionais foi ampliado e alguns métodos de posicionamento se tornaram possíveis no Brasil, como é o caso do método utilizado nesta pesquisa onde a solução de ambiguidades no PPP é realizada com o auxílio de uma rede GNSS.

A RBMC é a estrutura geodésica de referência mais precisa do país, cujas informações atendem tanto a comunidade científica quanto a prática, proporcionando aos usuários um elo ao SGB, tornando-se a principal ligação com as redes geodésicas internacionais (FORTES et al., 2009). Todas as estações da

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

RBMC fazem parte da rede SIRGAS, cujas coordenadas finais têm precisão da ordem de ± 5 mm, configurando-se como uma das redes mais precisas do mundo (IBGE, 2010a).

Outra característica importante da RBMC é que suas observações vêm contribuindo, desde 1997, para a densificação regional da rede do IGS, garantindo uma maior precisão dos produtos IGS sobre o território brasileiro (IBGE, 2010a). Atualmente, oito estações da RBMC fazem parte da rede IGS: Eusébio (BRFT), Brasília (BRAZ), Cachoeira Paulista (CHPI), Porto Velho (POVE), Recife (RECF), São Luis (SALU), Salvador (SAVO) e Curitiba (UFPR). A figura 5 apresenta a distribuição mais atual das estações a RBMC.



Figura 5 – Distribuição das estações da RBMC.

Fonte: IBGE (2010a).

No contexto de redes regionais brasileiras, a Rede GNSS-SP apresenta boa configuração e densidade para a realização de vários experimentos na região sudeste, bem como para propósitos operacionais. Trata-se de uma região com a rede GNSS ativa mais densa do País, quiçá da América do Sul (GEGE, 2010).

A Rede GNSS-SP é mantida pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCT/UNESP) e composta atualmente por 12 estações ativas operando de forma contínua. Os receptores das estações possuem tecnologia que possibilita a sua conexão direta à Internet, e os dados coletados são enviados diretamente a um computador central, responsável pelo gerenciamento e armazenamento dos mesmos, bem como de sua conversão para o formato RINEX e *Hatanaka* (GEGE, 2010).

Os dados das estações da Rede GNSS-SP são compactados e disponibilizados na Internet, na página do Grupo de Estudos em Geodésia Espacial (GEGE), no endereço <<http://gege.fct.unesp.br/>>. A compactação é realizada de duas formas: a cada hora e em vinte e quatro horas, com taxas de coleta de 1 segundo e 15 segundos, respectivamente. Também podem ser acessados em tempo real através do protocolo NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*).

Essa rede contribui com a infraestrutura necessária para o desenvolvimento de pesquisas e atividades relacionadas com o posicionamento geodésico, estudo da troposfera e ionosfera, monitoramento das velocidades das placas, georreferenciamento de imóveis rurais, levantamentos cadastrais, levantamentos topográficos, dentre outras (GEGE, 2010). A figura 6 apresenta a distribuição atual das estações da Rede GNSS-SP.

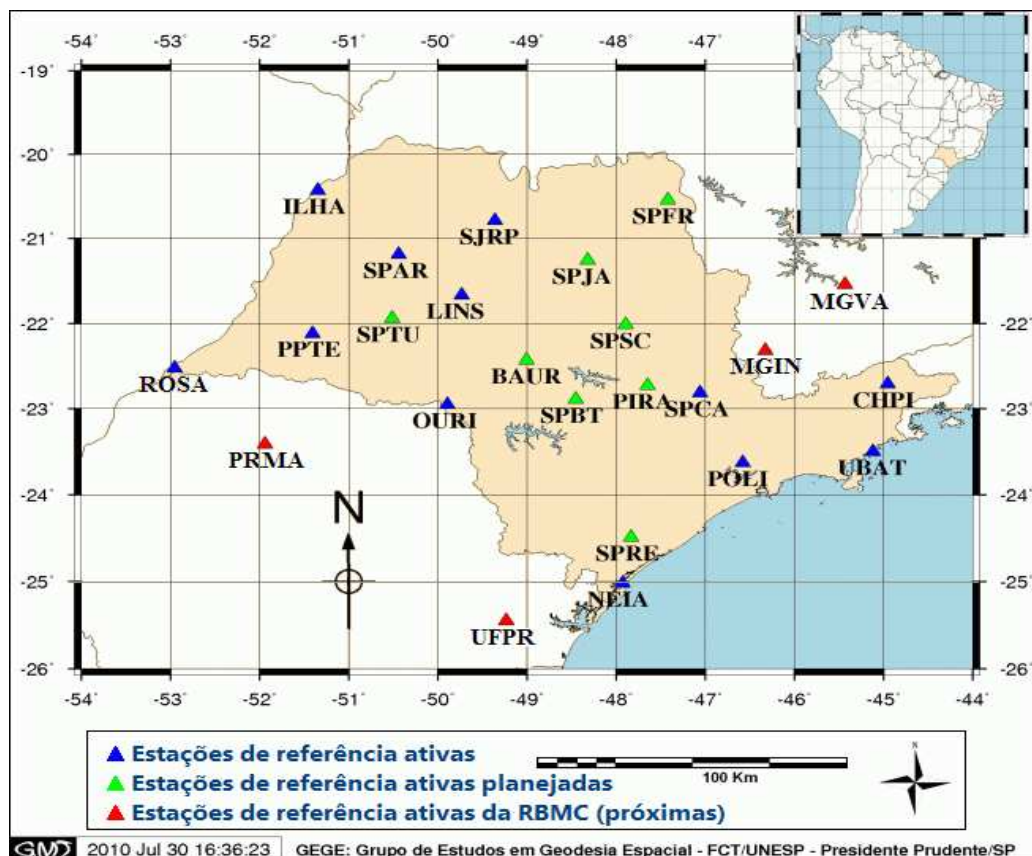


Figura 6 – Distribuição das estações da Rede GNSS-SP.

Fonte: GEGE (2010).

3.4.1 Variação temporal das coordenadas

A época associada ao referencial realizado torna-se de fundamental importância quando trabalhos de posicionamento requerem resultados muito acurados, havendo então a necessidade de se conhecer o campo de velocidade para atualização temporal das coordenadas.

As coordenadas geodésicas dos pontos sobre a superfície terrestre mudam com o tempo devido ao movimento das placas tectônicas, e assim tornam-se dependentes da época em que foram obtidas. Se os elementos de direção e magnitude são conhecidos, é possível determinar a variação da posição do ponto em função do tempo (PEREZ et al., 2003).

Com o conceito de estações geodésicas ativas é possível avaliar sistematicamente as variações ocorridas na realização de um sistema de referência

geodésico ao longo do tempo, possibilitando assim, a determinação de novos parâmetros para esse sistema, assim como o aprimoramento dos modelos de velocidades (COSTA et al.,2009).

A atualização temporal das coordenadas dadas em uma determinada época de referência, para outra época de interesse, pode ser realizada, de forma simplificada, a partir das equações abaixo:

$$\begin{aligned}X(t) &= X(t_0) + (t - t_0) * V_x \\Y(t) &= Y(t_0) + (t - t_0) * V_y \\Z(t) &= Z(t_0) + (t - t_0) * V_z\end{aligned}\tag{18}$$

onde:

t - época de interesse.

t₀ - época de referência;

X(t), Y(t) e Z(t) - coordenadas na época de interesse;

X(t₀), Y(t₀) e Z(t₀) - coordenadas na época de referência;

(t - t₀) - representa o tempo transcorrido entre a época de referência e a época de interesse para as coordenadas;

V_x, V_y e V_z - velocidades da estação.

A partir do monitoramento da variação temporal das coordenadas das estações GNSS de referência, por um longo período de tempo, se obtêm as velocidades das estações. O modelo adotado para o cálculo das velocidades das estações da rede SIRGAS é o modelo VEMOS2009 (*Modelo de Velocidades para América del Sur y El Caribe*), referenciado ao ITRF2005. Antes da adoção desse modelo era utilizado o modelo Velinter - Modelo de velocidades da América do Sul. As velocidades das estações da rede SIRGAS, bem como suas coordenadas, podem ser acessadas na página do SIRGAS na internet, no endereço <<http://www.sirgas.org/index.php?id=148>>.

As velocidades de estações que não pertencem à rede SIRGAS podem ser obtidas a partir do programa VMS2009. Esse programa é um interpolador de valores

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

de velocidades a partir do modelo VEMOS2009 e se encontra disponível em <<http://www.sirgas.org/index.php?id=54>>. Informações detalhadas sobre o modelo VEMOS2009 se encontram em Drewes e Heidbach (2009).

3.4.2 Sistema de Referência Geodésico Local

Um sistema geodésico local em um ponto P da superfície da Terra é definido com sua origem no ponto P da estação de observação, o eixo u coincide com a direção da normal ao elipsóide na estação de observação, o eixo n é definido no plano do meridiano geodésico da estação de observação e aponta para o norte geodésico, o eixo e forma um sistema levógiro (ROMÃO, 2005). A figura 7 ilustra o sistema geodésico local.

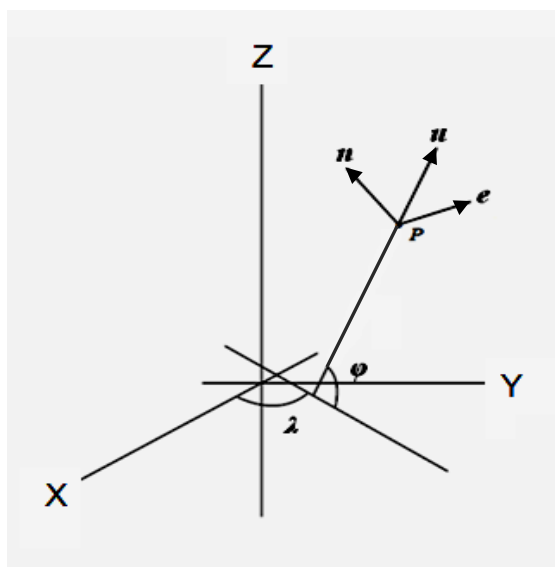


Figura 7 – Sistema geodésico local.

O sistema geodésico local é importante no contexto da análise dos resultados obtidos no posicionamento geodésico. As mudanças nos valores das coordenadas podem ser visualizadas com mais facilidade, sendo uma importante saída na extração de informações relacionadas à qualidade e variação das soluções obtidas. Os resultados obtidos nesta pesquisa foram analisados em função das componentes geodésicas locais e , n , u (leste, norte e vertical, respectivamente).

Considerando as discrepâncias entre as coordenadas cartesianas geocêntricas estimadas em um dado levantamento (X,Y,Z) e as adotadas como referência (X_r,Y_r,Z_r), tem-se:

$$\begin{aligned}\Delta X &= X - X_r \\ \Delta Y &= Y - Y_r \\ \Delta Z &= Z - Z_r\end{aligned}\tag{19}$$

A relação entre o sistema de coordenadas cartesianas geocêntricas e o sistema de coordenadas geodésicas locais pode ser expressa por (RAPP, 1991):

$$\begin{bmatrix} n \\ -e \\ u \end{bmatrix} = R_2(\varphi_r - 90^\circ) R_3(\lambda_r - 180^\circ) \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}\tag{20}$$

Os termos R_2 e R_3 representam as seguintes matrizes de rotação:

$$R_2(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R_3(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Após multiplicar por uma matriz de reflexão no eixo Y tem-se a equação resultante para e n u :

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ u \end{bmatrix} = R(\varphi\lambda) \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}\tag{21}$$

onde:

$$R(\varphi\lambda) = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix}$$

Em termos de componentes individuais:

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ u \end{bmatrix} = R(\varphi\lambda) \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\varphi \cos\lambda & -\sin\varphi \sin\lambda & \cos\varphi \\ -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ \cos\varphi \cos\lambda & \cos\varphi \sin\lambda & \sin\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (22)$$

onde:

$$n = -\sin\varphi \cos\lambda \Delta X - \sin\varphi \sin\lambda \Delta Y + \cos\varphi \Delta Z$$

$$e = -\sin\lambda \Delta X + \cos\lambda \Delta Y$$

$$u = \cos\varphi \cos\lambda \Delta X + \cos\varphi \sin\lambda \Delta Y + \sin\varphi \Delta Z$$

A propagação das covariâncias para essa transformação pode ser feita através da equação abaixo (LEICK, 1995):

$$\Sigma_{n,e,u} = R(\varphi\lambda) \Sigma_{X,Y,Z} R^T(\varphi\lambda)$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_n^2 & \sigma_{ne} & \sigma_{nu} \\ \sigma_{en} & \sigma_e^2 & \sigma_{eu} \\ \sigma_{un} & \sigma_{ue} & \sigma_u^2 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} \sigma_X^2 & \sigma_{XY} & \sigma_{XZ} \\ \sigma_{YX} & \sigma_Y^2 & \sigma_{YZ} \\ \sigma_{ZX} & \sigma_{ZY} & \sigma_Z^2 \end{bmatrix} R^T \quad (23)$$

4. SOLUÇÃO DE AMBIGUIDADES NO PPP

4.1 Fundamentos de soluções das ambiguidades no PPP

Quando um receptor é ligado, a parte fracionária da fase de batimento da onda portadora é medida e um contador de ciclos inteiros é inicializado. Em um determinado instante, a fase observada será a soma da parte fracionária medida naquele instante com o número inteiro de ciclos contados desde o início do rastreo. O número de ciclos inteiros do instante da primeira observação é desconhecido (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2001).

O modelo matemático GNSS envolve as observáveis da pseudodistância e da fase da onda portadora. Nas medições da fase da onda portadora estão presentes as ambiguidades, isto é, o número inteiro desconhecido de comprimentos de onda entre as antenas do satélite e do receptor. Esse número inteiro tem de ser determinado com técnicas adequadas para explorar o potencial total de precisão das medições da fase da onda portadora (SEEBER, 2003). A determinação das ambiguidades é um problema atual no posicionamento geodésico. A interpretação geométrica da ambiguidade está ilustrada na figura 8.

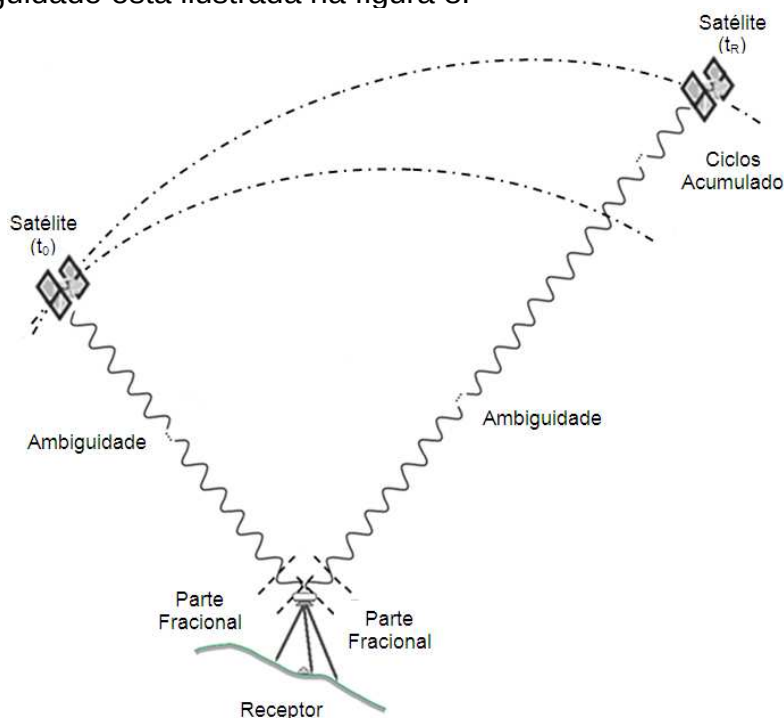


Figura 8 – Interpretação geométrica das ambiguidades.

A não ser que seja aplicada uma estratégia que invoca o número inteiro de comprimentos de onda, as soluções dos parâmetros geodésicos são consideravelmente enfraquecidas por sua correlação com as ambiguidades envolvidas na medida da fase. O problema da resolução de ambiguidades como vetor de números inteiros é conhecido como solução de ambiguidades (*ambiguity resolution*) ou fixação das ambiguidades (*bias fixing*) (BLEWITT, 1989).

Os erros dos relógios do satélite e do receptor, as ambiguidades e os atrasos dos sinais são linearmente dependentes. Assim, a ambiguidade inteira, não é um problema trivial (WÜBBENA et al., 2001b apud SEEGER, 2003). No posicionamento relativo, a solução de ambiguidades é realizada através da diferenciação das observáveis entre estações (DD das observáveis). Para o PPP, por se tratar de apenas uma estação, essa combinação entre observáveis não pode ser realizada, o que dificulta o processo de solução das ambiguidades.

Nos levantamentos PPP realizados com efemérides de boa qualidade para as correções dos erros de orbitas e relógios dos satélites e todos os outros erros e fenômenos físicos tratados de forma cuidadosa, mesmo com as ambiguidades permanecendo como valores reais (*float*), pode-se atingir soluções compatíveis com o posicionamento relativo. O problema até então é que as ambiguidades irão levar mais tempo para convergir e estabilizar, sendo necessário um maior tempo de ocupação na estação (MERVART et al., 2008).

Os principais fatores que dificultam a solução inteira do vetor das ambiguidades são os componentes não calibrados do atraso de *hardware* (equação 24). Sabe-se que eles são estáveis no nível de um nanosegundo, ou melhor, mas como não são inteiros e difíceis de separar das ambiguidades, a sua presença impede a resolução dos ciclos inteiros da fase da onda portadora (BLEWITT, 1989). No PPP é geralmente considerado que eles sejam absorvidos pelas ambiguidades no processamento dos dados (GE et al., 2007).

Atenções teóricas têm se voltado para a solução de ambiguidades a partir da determinação desses componentes e algumas denominações na literatura inglesa

lhes foram dadas como por Blewitt (1989) que os denominou de *uncalibrated components of phase delay* - componentes de atrasos da fase não calibrados - e um pouco mais tarde Ge et al. (2007) que seguindo a mesma linha os citou com a sigla UPD - *uncalibrated phase delays*. Geng et al. (2009) apresenta para os mesmos componentes a denominação de UHD - *uncalibrated hardware delays* - atraso de *hardware* não calibrado.

Na equação (3) o termo $\overline{N}_r^s$, que representa a ambiguidade é composto por:

$$\overline{N}_r^s = N_r^s + \delta\phi_r - \delta\phi^s \quad (24)$$

onde:

N_r^s - são as ambiguidades inteiras da fase da onda portadora;

$\delta\phi_r$ - são os componentes não calibrados do atraso de *hardware* originados no receptor, assumido como sendo comum a todos os canais por satélite;

$\delta\phi^s$ - são os componentes não calibrados do atraso de *hardware* originados no transmissor do satélite.

Na realização da DD das ambiguidades entre dois receptores (r, l) e dois satélites (s, j), (termo $\overline{N}_{r,l}^{s,j}$ da equação (15)) resulta na eliminação dos atrasos de *hardware* não calibrados que dificultam a solução de ambiguidades (BLEWITT, 1989):

$$\begin{aligned} \overline{N}_{r,l}^{s,j} &= (\overline{N}_r^s - \overline{N}_r^j) - (\overline{N}_l^s - \overline{N}_l^j) \\ \overline{N}_{r,l}^{s,j} &= (N_r^s + \delta\phi_r - \delta\phi^s) - (N_r^j + \delta\phi_r - \delta\phi^j) - (N_l^s + \delta\phi_l - \delta\phi^s) + (N_l^j + \delta\phi_l - \delta\phi^j) \\ \overline{N}_{r,l}^{s,j} &= (N_r^s - N_r^j) - (N_l^s - N_l^j) \\ \overline{N}_{r,l}^{s,j} &= N_{r,l}^{s,j} \end{aligned} \quad (25)$$

O processo de solução das DD de ambiguidades divide-se em duas partes: a estimação que visa calcular estimativas ótimas das DD de ambiguidades e a validação que objetiva verificar se as estimativas podem ser aceitas estatisticamente (TEUNISSEN, 1988).

O processo de estimação é baseado em três etapas: Na primeira as ambiguidades são estimadas, juntamente com os outros parâmetros, como números reais ($\hat{n}$). Na segunda etapa as DD de ambiguidades inteiras são calculadas e na terceira etapa a solução fixa é calculada com a influência da injeção das DD de ambiguidades inteiras (DE JONGE e TIBERIUS, 1996).

Com a solução real se obtêm os elementos necessários para a solução inteira das ambiguidades. A solução real e sua matriz variância-covariância (MVC) são dadas por:

$$\begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{n} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} Q_{\hat{x}} & Q_{\hat{x}\hat{n}} \\ Q_{\hat{n}\hat{x}} & Q_{\hat{n}} \end{bmatrix} \quad (26)$$

Uma vez que o vetor de ambiguidades no espaço dos números reais ($\hat{n}$) é estimado e o vetor fixo ($\check{n}$) correspondente resolvido após a aplicação de algum método de solução das ambiguidades, pode-se introduzir a injeção no ajustamento (MONICO, 2008):

$$C\hat{x} - \check{n} = 0 \quad (27)$$

onde:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ & & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & & & \dots & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

As três primeiras colunas de C estão associadas com as coordenadas da estação a serem determinadas as quais não fazem parte da injunção e as restantes estão associadas com as ambiguidades. A influência da injunção em que as ambiguidades são fixadas como números inteiros sobre as coordenadas da estação é dada por (MONICO, 2008):

$$\tilde{x} = \hat{x} - Q_{\hat{x}\hat{n}} Q_{\hat{n}}^{-1} (\hat{n} - \tilde{n}) \quad (28)$$

A MVC para a solução inteira é calculada a partir de:

$$Q_{\tilde{x}} = Q_{\hat{x}} - Q_{\hat{x}\hat{n}} Q_{\hat{n}}^{-1} Q_{\hat{n}\hat{x}} \quad (29)$$

$$\hat{\sigma}_{0\text{ fix}}^2 = \hat{\sigma}_{0\text{ float}}^2 + (\hat{n} - \tilde{n})^T Q_{\hat{n}}^{-1} (\hat{n} - \tilde{n}) \quad (30)$$

onde:

- $\hat{\sigma}_{0\text{ float}}^2$ é o fator de variância *a posteriori* sem a influência da injunção;
- $\hat{\sigma}_{0\text{ fix}}^2$ é o fator de variância *a posteriori* considerando-se as ambiguidades

solucionadas.

A partir da equação (30) observa-se que a precisão das coordenadas da estação após a solução das ambiguidades é melhor que a da solução original de ambiguidades reais.

A validação da solução inteira encontrada é uma etapa tão importante quanto à etapa da estimação, pois mesmo quando se utiliza um estimador ótimo pode-se obter uma solução incorreta. Essa etapa é para inferir se a solução encontrada pode ser aceita ou não.

Os testes de discriminação são adotados na prática para validação do vetor inteiro das ambiguidades. Esses testes visam comparar a probabilidade da solução fixa que foi considerada correta com outros conjuntos de solução dos vetores de ambiguidades inteiras. Se o teste for aceito então o vetor das ambiguidades tem a mais alta probabilidade entre todos os candidatos de ser o correto (MONICO, 2008).

Um dos primeiros e mais famoso método de discriminação é teste Ratio (*ratio test*), o qual é definido pela razão entre a norma ao quadrado do segundo melhor e o melhor vetor de resíduos das ambiguidades (SOUZA e MONICO, 2005).

O teste Ratio é dado por:

$$\frac{\|\hat{n} - \check{n}_2\|_{\Sigma_{\hat{n}}}^2}{\|\hat{n} - \check{n}_1\|_{\Sigma_{\hat{n}}}^2} = \frac{R_2}{R_1} \geq c \quad (31)$$

onde:

- R_2 e R_1 são usados para representar, respectivamente, a forma quadrática dos resíduos do vetor das ambiguidades $\check{n}_2$ e $\check{n}_1$;
- C representa um valor crítico ($c > 1$) que pode ser definido empiricamente;

A validação baseada no teste Ratio geralmente é satisfatória. Isto ocorre, pois a estocasticidade de $\tilde{n}$ pode realmente ser negligenciada se existe probabilidade suficiente de que a solução seja correta, ou seja, se a taxa de sucesso é muito próxima de 1. Logo, valores críticos determinados empiricamente podem expressar bons resultados, tanto que em muitos softwares o valor empírico $c = 3$ é utilizado (SOUZA e MONICO, 2005).

Como no PPP se utiliza apenas um receptor, uma rede de estações de operação contínua pode funcionar como um suporte e ao combinar as soluções de PPP em simultâneas estações observadas, as DD das ambiguidades podem ser definidas e posteriormente fixadas.

No contexto de redes GNSS alguns métodos de solução de ambiguidades no PPP têm sido desenvolvidos. Esses métodos realizam a DD das ambiguidades entre as estações da rede e a estação que se deseja solucionar as ambiguidades, a fim de eliminar ou estimar os componentes do atraso de *hardware* não calibrados e possibilitar a fixação das ambiguidades.

A partir da equação 25 observa-se que a DD das ambiguidades é igual a uma relação de diferenciação entre duas SD de ambiguidades entre satélites (equação 13). Essa propriedade é utilizada em alguns métodos de soluções de ambiguidades no PPP, como é o caso do método desenvolvido por Ge et al. (2007).

4.2 Métodos de solução de ambiguidades no PPP

Varias pesquisas a nível mundial têm sido realizadas e os métodos de solução de ambiguidades no PPP sendo desenvolvidos. Dentre esses métodos, dois são abordados nesta pesquisa por se destacarem através dos resultados satisfatórios que têm proporcionado ao PPP. O primeiro método é baseado na eliminação dos componentes que dificultam a solução de ambiguidades, através da DD das ambiguidades entre estações, a partir da formação de linhas de bases com auxílio de uma rede GNSS. Na seção 4.2.2 esse método é abordado.

Outro método, desenvolvido por Ge et al. (2007) e adotado com refinamentos por Geng et al. (2009), é baseado na estimação com antecedência dos componentes de atraso de *hardware* não calibrados dos satélites, dentro de uma rede de estações, para posterior solução de ambiguidades. Uma breve descrição desse método será realizada a seguir.

4.2.1 Método de estimação dos atrasos de hardware

Nesse método a solução de ambiguidades é realizada através das combinações lineares $L\Delta$ e $L\Sigma$. Essas combinações são utilizadas devido às propriedades relacionadas com seus comprimentos de onda. Quanto maior o comprimento de onda, maior a confiança de que a ambiguidade da fase será fixada com o inteiro correto. As ambiguidades da $L\Delta$, com o seu comprimento de onda relativamente longo, podem ser fixadas com mais confiança do que as da $L\Sigma$ (GREGORIUS, 1996).

A vantagem da observável $L\Delta$, em comparação com a observação original, é basicamente que as ambiguidades são resolvidas por um sinal com um comprimento de onda quatro vezes maior, mas o ruído de observação relacionado, no entanto, seis vezes maior. A $L\Sigma$ tem o menor nível de ruído de todas as combinações lineares e, portanto, produz os melhores resultados. Sua ambiguidade, no entanto, é difícil de resolver (SEEBER, 2003).

Existe uma condição de dependência entre a $L\Delta$ e a $L\Sigma$. Essa condição implica que quando a ambiguidade é resolvida por uma dessas duas combinações o comprimento de onda do sinal da outra combinação é aumentado por um fator de dois, assim, quando a ambiguidade da $L\Delta$ é resolvida, o comprimento de onda da $L\Sigma$ é aumentado e esta por sua vez pode ser resolvida mais facilmente (SEEBER, 2003).

No método de estimação dos atrasos de *hardware*, a solução de ambiguidades de uma simples estação é realizada com estimativas médias diárias dos atrasos de

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

hardware não calibrados da SD entre satélites da $L\Delta$ e $L\Sigma$, a partir de uma rede de referência global. Os atrasos de *hardware* obtidos são aplicados como correções para a SD de ambiguidades de uma simples estação, passando esta SD de ambiguidades a ter uma característica natural inteira, podendo, portanto, ser fixada com valores inteiros de forma semelhante à DD de ambiguidades em modo de rede. Quatro etapas sequenciais são realizadas no âmbito de dois módulos, para a realização desse método, conforme mostra a figura abaixo:

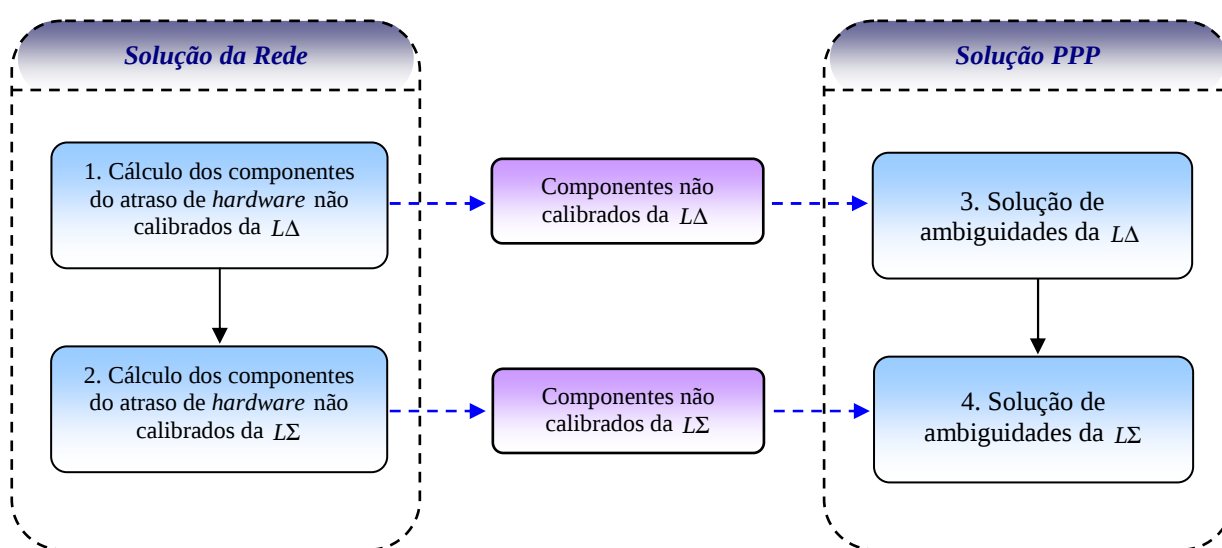


Figura 9 – Método de estimação dos atrasos de *hardware*.

Fonte: Adaptado de Geng et al. (2009)

No módulo de solução de rede são calculados os atrasos de *hardware* não calibrados da $L\Delta$ e da $L\Sigma$. O cálculo é realizado a partir da média da parte fracional obtida das estimativas das ambiguidades da SD de ambiguidades da $L\Delta$ e $L\Sigma$, que são derivados dos valores de ambiguidades reais do PPP e combinação linear Melbourne–Wübbena. Na segunda etapa, no módulo de solução PPP, os atrasos de *hardware* não calibrados calculados são fornecidos como correções para recuperar a propriedade inteira da SD de ambiguidades da $L\Delta$ e $L\Sigma$ na estação de um usuário. Após a fixação das SD de ambiguidades da $L\Delta$ e $L\Sigma$ é realizada a fixação das ambiguidades da combinação linear da *ion-free* (GENG et al., 2009).

No módulo de solução de rede uma média diária dos atrasos de *hardware* não calibrados da $L\Delta$ podem ser determinados precisamente a partir das estimativas da rede de estações. Estudos comprovaram que a média diária dos atrasos de *hardware* não calibrados da $L\Delta$ pouco se altera ao longo de vários meses de acordo com cada par de satélites envolvidos (GENG et al., 2009).

A maior dificuldade existente nesse método é na determinação dos atrasos de *hardware* não calibrados da $L\Sigma$, pois é baixa a precisão na estimação de uma média diária em uma rede global com essa combinação linear (GE et al., 2007). A solução proposta por Ge et al. (2007) foi a estimativa da média desses componentes a cada 15 minutos, o que foi suficiente para resolver ambiguidades com precisão para observações diárias. No refinamento desse método, Geng et al. (2009) realizou a estimativa dos atrasos de *hardware* não calibrados da $L\Sigma$ a cada passagem completa pela rede dos pares de satélites envolvidos na SD, resolvendo assim as ambiguidades a partir de dados horários.

Nesse método de estimação, uma forte correlação é apresentada entre as ambiguidades das estimativas horárias e devido a isso, a solução da SD de ambiguidades da $L\Sigma$ é realizada com estratégias usando o algoritmo LAMBDA (*Least-squares AMBiguity Decorrelation Adjustment*) (DE JONGE e TIBERIUS, 1996).

Com relação à validação da solução de ambiguidades desse método, esta tarefa é realizada com teste *ratio*. A descrição detalhada do método de solução de ambiguidades com a estimação dos componentes do atraso de *hardware* pode ser encontrada em Ge et al. (2007) e Geng et al. (2009).

4.2.2 Método de eliminação dos atrasos de hardware

As propriedades teóricas da solução de ambiguidades foram exploradas por Blewitt (2006) e o método de eliminação dos atrasos de *hardware* foi desenvolvido e implementado, o que resultou em um algoritmo denominado de Ambizap (soluções

rápidas de ambiguidades). Esse algoritmo foi utilizado nesta pesquisa para solução das ambiguidades no PPP.

O Ambizap foi desenvolvido com o objetivo de solucionar ambiguidades envolvidas entre estações pertencentes a uma rede global, que tiveram suas soluções iniciais obtidas por PPP, de forma muito rápida (rede de aproximadamente 3000 estações, solução de 5 segundos por estação com um processador de 3 GHz). A validade desse método foi dada de forma empírica, ou seja, com demonstrações de acurácia e tempo de processamento de dados experimentais (BLEWITT, 2008).

O Ambizap satisfaz as propriedades de independência linear de dados, insensibilidade das ambiguidades resolvidas de cada linha de base aos dados do restante da rede, redução da solução original PPP para estações que não podem ser ligadas à rede por solução de ambiguidades, e por último, que os dados não são considerados duas vezes (BLEWITT, 2007).

Este algoritmo utiliza o teorema de ponto fixo, derivado para identificar combinações lineares dos parâmetros de rede que são teoricamente invariáveis nos termos da solução de ambiguidades (BLEWITT, 2008). O teorema do ponto fixo é uma declaração que, sob certas condições, operador $F(x)$ terá pelo menos um ponto fixo satisfazendo $F(x) = x$. O teorema também pode especificar quais são os pontos fixos ou como encontrá-los (SHASHKIN, 1991).

No contexto de desenvolvimento do Ambizap, F representa o "operador de fixação de viés" (ou operador de fixação de ambiguidades) que usa a solução de ambiguidades para ajustar duplas diferenças de ambiguidades para valores perfeitos (com variação zero) e, assim, atualizar outros parâmetros correlacionados. A procura é por um ponto fixo para o mapeamento dos parâmetros de estimativas iniciais de PPP para estimativas de ambiguidades fixas (BLEWITT, 2008).

As formulações apresentadas a seguir são considerações teóricas do Ambizap apresentadas por Blewitt (2008). Uma vez que um conjunto de parâmetros ($\tilde{s}$) pode ser transformado em outro conjunto equivalente (que é completo e

linearmente independente), considera-se a transformação linear que satisfaz $F(\tilde{S}) = \tilde{S}$:

$$\tilde{S} = \Lambda S \quad (32)$$

onde:

ΛS - valores arbitrários de parâmetros s .

Para n estações da rede, pode-se considerar n soluções independentes de estações processadas pelo método PPP. Essas soluções são escritas como vetores s_i com matriz de covariância C_i para estações $i \in \{1, \dots, n\}$.

O vetor s_i é composto pelas coordenadas das estações e a SD entre as ambiguidades de todos os satélites comuns envolvidos. As dimensões de todos s_i e a ordem de parâmetros são assumidas como idênticas para todas as estações.

O operador de fixação das ambiguidades $F(\Lambda S)$ é definido como o mapeamento de qualquer combinação linear dos parâmetros, obtidos por solução inicial de PPP, para solução de ambiguidades fixas, como um resultado da solução de ambiguidades das diferenças das SD de ambiguidades $(s_i - s_j)$ (estações i e j). O ponto fixo para mapeamento dos parâmetros pode ser interpretado como a média ponderada do centróide da rede, ou seja, o vetor da média ponderada dos parâmetros (centróide) é um ponto fixo com respeito à fixação de ambiguidades:

$$\bar{S} \equiv \bar{C} \sum_i C_i^{-1} s_i \Rightarrow F(\bar{S}) = \bar{S} \quad (33)$$

onde:

$$\bar{C} \equiv \left[\sum_i C_i^{-1} \right]^{-1} = \text{Var}(\bar{S}) \text{ - variância do centróide;}$$

$C_i = \text{Var}(s_i)$ - por definição são compreendidas como constantes e são referidas aos valores dados por PPP.

A partir das matrizes de covariância do PPP é provado que o centróide não é correlacionado com as diferenças dos parâmetros das estações ($s_i - s_j$). Um problema na aplicação dessa equação, é que o vetor do ponto fixo são combinações lineares de todos os parâmetros (incluindo coordenadas das estações e ambiguidades).

Quando as matrizes de covariância PPP para todas as estações são assumidas como similares, ou seja, as matrizes de covariância PPP, para todas as estações, são as mesmas para qualquer fator de escala positivo, a média ponderada das coordenadas das estações fornece um ponto fixo. Isso significa que a suposição de similaridade entre as covariâncias separa as combinações lineares das ambiguidades e coordenadas das estações, de modo que permita a fixação das ambiguidades. A similaridade entre covariâncias pode ser escrita como:

$$C_i^{-1} = P_i \bar{C}^{-1} \quad (34)$$

onde:

$$\sum_i P_i = 1$$

Assumindo essa condição de similaridade entre as covariâncias das estações a equação (33) é reduzida para:

$$\bar{s} \equiv \sum_i p_i s_i \quad (35)$$

A condição de covariâncias similares exige que os horários de observação para fixação das ambiguidades das linhas de base sejam os mesmos, e que ocorra uma razoável visibilidade comum de satélites. As taxas de coleta de dados não precisa ser a mesma.

O cálculo de $\bar{s}$ pode ser realizado com as soluções originais do PPP (s_i) ou as soluções derivadas dos vetores das linhas de base selecionadas ($s' = F(s)$),

juntamente com as matrizes de covariâncias originais do PPP. Desta forma, considerando uma rede como soluções iniciais de PPP, uma linha de base tem então as ambiguidades fixas por parâmetros dos vetores s_i' e s_j' , que incluem tanto as coordenadas das estações como as ambiguidades. Com a suposição de covariâncias similares, o operador de fixação de ambiguidades F é então aplicado para toda a rede:

$$\hat{s}_{ij} \equiv s_i - s_j \Rightarrow F(\hat{s}_{ij}) = \hat{s}_{ij} \quad (36)$$

A solução de ambiguidades para qualquer linha de base dentro da rede é independente da fixação de outras linhas de base, ou seja, os parâmetros de solução fixa não se alteram quando outras linhas de base são resolvidas.

No processo de solução de ambiguidades, a seleção de estações vizinhas mais próximas, para formação de linhas de base e posterior solução de ambiguidades envolvidas, é importante para maximizar a visibilidade comum entre os satélites envolvidos e para aumentar a probabilidade de sucesso na solução de ambiguidades. Nesse contexto, a seleção de um conjunto de $N-1$ linhas de base que minimizem a soma das distâncias entre as estações é realizada no Ambizap através Triangulação de Delaunay (BLEWITT, 2008).

A Triangulação de Delaunay é o grafo dual do Diagrama de Voronoi, que é construído de n polígonos, cada um centrado na estação, definindo a estação do vizinho mais próximo possível. Os pares de estação são definidos como vizinho mais próximo se nenhum ponto estiver contido em nenhuma das circunferências que circunscrevem cada triângulo, ou seja, o círculo-circundante de um triângulo não deve conter outros pontos além do ponto do triângulo. Isso define o conjunto de linhas de base formadas como $b \leq (3n - 6)$ (RENKA, 1997).

No processo de formação das linhas de base, cada estação é conectada à rede por pelo menos uma linha de base, e pode ser ligada em um número máximo de $N-1$ vezes até que as ambiguidades sejam solucionadas. Assim, a atenção deve

ser dada para não se contar dados PPP duas vezes para as estações que são usadas em mais de uma linha de base (BLEWITT et al., 2007).

As propriedades apresentadas mostram que ambiguidades independentes de $n-1$ linhas de base juntamente com as matrizes de covariância inicial PPP para cada estação podem ser usadas para construir soluções de ambiguidades fixas para n estações de toda a rede (equação 30). O ajustamento da rede é realizado para minimizar as distorções na fixação das linhas de base. A saída da matriz de covariância do ajustamento da rede deve incluir apenas as matrizes de blocos para cada estação individual. Esse ajustamento deve ser realizado utilizando técnicas de bloqueio para evitar o cálculo desnecessário de elementos da matriz de covariância (BLEWITT, 2008).

O algoritmo Ambizap foi codificado e está disponível para pesquisadores e usuários. O programa Ambizap lê e escreve arquivos no formato compatível com o GIPSY, mas pode ser adaptado para funcionar com qualquer *software* capaz de processar PPP. Quanto a isso, ocorre um problema que é uma dependência interna do principal mecanismo de solução de ambiguidades usado pelo Ambizap, o *Ambigon*, que é implementado no GIPSY. Em princípio, o *Ambigon* pode ser substituído por outro mecanismo central de solução de ambiguidades.

No GIPSY, o *Ambigon* é utilizado para gerar soluções de rede, não realizando solução de ambiguidades de uma simples estação. No Ambizap, o *Ambigon* foi modificado para solucionar ambiguidades envolvidas em uma simples linha de base.

Algumas considerações matemáticas encontradas na literatura sobre o *Ambigon* são apresentadas a seguir, mas é importante salientar que esse módulo foi modificado para ser utilizado no Ambizap e consequentemente esses conceitos tiveram algumas alterações.

No processo de fixação de ambiguidades com o módulo *Ambigon*, a combinação da observável *ion-free* é utilizada para que os efeitos de primeira ordem da ionosfera sejam eliminados (MONICO, 2008):

$$\phi_{IF_r}^s = f_1^2 / (f_1^2 - f_2^2) \phi_{L1_r}^s - f_1 f_2 / (f_1^2 - f_2^2) \phi_{L2_r}^s \quad (37)$$

Aplicando a equação (3) da observável da fase da onda portadora para as frequências L1 e L2 na equação *ion-free* (37) se obtém a equação (17) apresentada anteriormente (MONICO, 2008):

$$\phi_{IF_r}^s = \frac{f_1}{c} \rho_r^s + f_1 (dt_r - dt^s) + \bar{N}_{IF_r}^s + \frac{f_1}{c} T_{r0}^s + \frac{f_1}{c} dT_r^s m(E) \quad (38)$$

O termo $\bar{N}_{IF_r}^s$ é a ambiguidade da combinação *ion-free* e pode ser escrito de forma semelhante à equação (37) (MONICO, 2008):

$$\bar{N}_{IF_r}^s = f_1^2 / (f_1^2 - f_2^2) \bar{N}_{rL1}^s - f_1 f_2 / (f_1^2 - f_2^2) \bar{N}_{rL2}^s \quad (39)$$

Os termos $\bar{N}_{rL1}^s$ e $\bar{N}_{rL2}^s$ são valores reais (não inteiros). A equação (25) pode ser aplicada para qualquer uma das portadoras (L1 e L2) ou em qualquer combinação linear envolvendo as medidas das portadoras. Desta forma, aplicando a equação (25) na equação (39) obtém-se a DD da *ion-free* (BLEWITT, 1989):

$$N_{IF_{rl}}^{sj} = f_1^2 / (f_1^2 - f_2^2) N_{rlL1}^{sj} - f_1 f_2 / (f_1^2 - f_2^2) N_{rlL2}^{sj} \quad (40)$$

A combinação linear da $L\Delta$ (equação 7) para um satélite s e receptor r também é utilizada no processo de fixação das ambiguidades (GREGORIUS, 1996):

$$L\Delta_r^s \equiv \phi_{L1_r}^s - \phi_{L2_r}^s \quad (41)$$

$$L\Delta_r^s = I_r^s + \lambda_1 \bar{N}_{L1_r}^s - \lambda_2 \bar{N}_{L2_r}^s + \Delta\rho_r^s \quad (42)$$

onde:

$\overline{N}_{L1r}^s$ e $\overline{N}_{L2r}^s$ - correspondem as ambiguidades das portadora L1 e L2 (equação 24).

$\Delta\rho_r^s$ - representa o atraso geométrico e os atrasos não dispersivos;

As ambiguidades da $L\Delta$ (equação 9) aplicadas para um satélite s e um receptor r resultam em:

$$\overline{N\Delta}_r^s = \overline{N}_{L1r}^s - \overline{N}_{L2r}^s \quad (43)$$

A equação (42) pode ser reescrita em termos das ambiguidades da $L\Delta$ (equação (43)) e ambiguidades da combinação *ion-free* (equação (39)) (GREGORIUS, 1996):

$$L\Delta_r^s = I_r^s + \left[(f_1^2 - f_2^2) / f_1 f_2 \right] (\lambda_\Delta \overline{N\Delta}_r^s - \overline{N}_{IFr}^s) + \Delta\rho_r^s \quad (44)$$

onde:

λ_Δ - comprimento de onda da $L\Delta$ que corresponde aproximadamente a 86,2 cm;

Aplicando a equação (25) da DD de ambiguidades na equação (44) podem-se obter as ambiguidades inteiras da $L\Delta$ (GREGORIUS, 1996):

$$\overline{N\Delta}_{rl}^{sj} = f_1 f_2 (L\Delta_{rl}^{sj} - I_{rl}^{sj} - \Delta\rho_{rl}^{sj}) / \lambda_\Delta (f_1^2 - f_2^2) + \overline{N}_{IFrl}^{sj} / \lambda_\Delta \quad (45)$$

Para estimar as ambiguidades da $L\Delta$ é necessário que o atraso ionosférico seja mínimo. Como esse atraso é imprevisível, a combinação da DD é formada pela SD em diferentes épocas. Devido a isso *Ambigon* realiza a seguinte substituição na equação (40) (GREGORIUS, 1996):

$$(L\Delta_{rl}^{sj} - I_{rl}^{sj}) \cong \left(L\Delta_{rl}^s \big|_{\min[L\Delta_r^s + L\Delta_l^s]} - L\Delta_{rl}^s \big|_{\min[L\Delta_r^j + L\Delta_l^j]} \right) \quad (46)$$

Agora reescrevendo a equação (40) da DD da *ion-free* e aplicando a equação (45), podem-se resolver as ambiguidades da DD da *ion-free* de forma independente (GREGORIUS, 1996):

$$N_{IF\ rl}^{sj} = [f_2^2 \lambda_2 N\Delta_{rl}^{sj} + (f_1^2 \lambda_1 - f_2^2 \lambda_2) N_{rl\ L1}^{sj}] / (f_1^2 - f_2^2) \quad (47)$$

$$N_{IF\ rl}^{sj} = f_2^2 \lambda_2 N\Delta_{rl}^{sj} / (f_1^2 - f_2^2) + \lambda_\Sigma N_{rl\ L1}^{sj} \quad (48)$$

onde:

λ_Σ - Comprimento de onda de aproximadamente 10,7 cm.

Da mesma forma, a equação (47) pode ser reescrita para resolver $N_{rl\ L2}^{sj}$.

Uma propriedade importante do Ambizap é a adição, na solução de rede, de dados de uma estação extra (fora da rede), de forma muito simples e rápida. No contexto desta pesquisa, isso tornou possível a simulação de uma estação do usuário sendo adicionada a rede. O Ambizap possui um módulo de reciclagem que faz com que não seja necessário o reproprocessamento de toda a rede quando uma estação é adicionada.

Outra propriedade importante do Ambizap é que a porcentagem mínima de fixação das ambiguidades pode ser determinada previamente. É recomendado que seja considerada solução fixa as soluções com mais de 50% das ambiguidades solucionadas. As soluções que não atingem a porcentagem mínima de fixação estabelecida retornam para os valores iniciais de ambiguidades reais (valores não inteiros – solução *float*).

5. METODOLOGIA

5.1 Introdução

Neste capítulo é descrita a metodologia utilizada na pesquisa, desde o processo de seleção das estações, dados e *softwares* utilizados e as estratégias adotadas para o processamento e análise dos resultados.

5.2 Descrição das estações

Neste trabalho, foram utilizados dados das estações ativas da RBMC e da Rede GNSS-SP entre os dias 08 e 14 de agosto de 2009, totalizando 67 estações. Destas 67 estações, 5 foram selecionadas para realização dos experimentos, as quais são denominadas de estações de teste. As demais estações compuseram a rede suporte do trabalho. Desta forma, as estações utilizadas nesta pesquisa foram divididas em dois grupos: estações da rede suporte e estações de teste, conforme ilustra a figura 10.

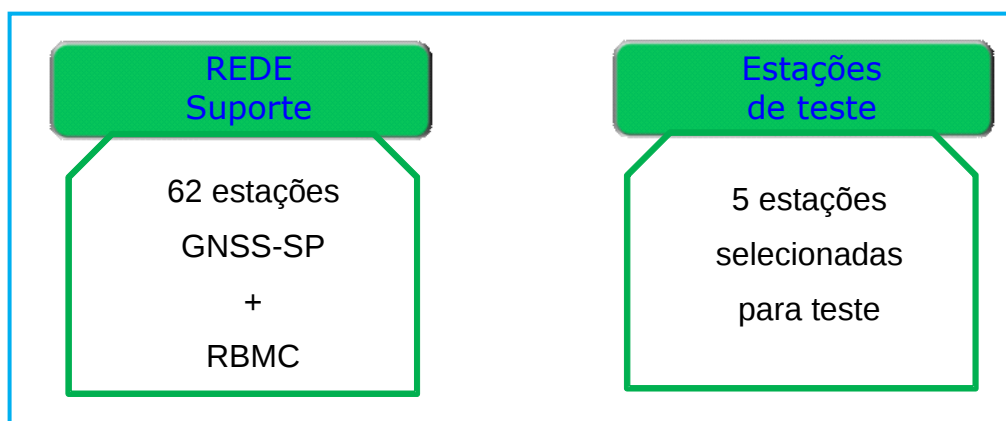


Figura 10 – Estações da rede suporte e estações de teste.

As estações de teste foram selecionadas de forma que contemplasse uma por região do País, considerando que cada região possui características diferentes que podem ou não influenciar no decorrer do processo. Tentou-se também reproduzir as possíveis dificuldades a ser encontradas por usuários, como distâncias de estações da rede e utilização do método, estando ele situado em qualquer região do país. A figura 11 mostra a visualização espacial de todas as estações envolvidas na

As tabelas 3 a 7 apresentam a descrição das estações de teste que simularam nesta pesquisa a estação de um usuário no processo de solução de ambiguidades, visando analisar melhorias no seu posicionamento.

A estação NAUS consiste em um pilar de concreto dotado de um dispositivo de centragem forçada e está localizada na região norte do Brasil, no terraço do Edifício Técnico Operacional do Centro Técnico e Operacional do SIPAM, cidade de Manaus, estado do Amazonas.

Tabela 3 – Descrição da estação de teste NAUS (Região Norte).

Estação NAUS		
Localização	MANAUS - AM, BRASIL	
Rede	RBMC, RIBAC, SIRGAS	
Receptor/Antena	TRIMBLE NetRS/ TRM 41249.00	
Coordenadas/ Velocidades	X: 3179409,3614 ± 0,0008 m	Vx: 0,0029 ± 0,0002 m/y
	Y: -5519130,6549 ± 0,0011 m	Vy: -0,0108 ± 0,0002 m/y
	Z: -334110,1063 ± 0,0002 m	Vz: 0,0113 ± 0,0000 m/y

A estação RECF, composta por um pilar de concreto dotado de dispositivo de centragem forçada, está localizada no telhado do prédio da biblioteca do campus da Universidade Federal de Pernambuco, cidade do Recife, estado de Pernambuco, região nordeste do país.

Tabela 4 – Descrição da estação de teste RECF (Região Nordeste).

Estação RECF		
Localização	RECIFE - PE, BRASIL	
Rede	IGS, RBMC, RIBAC, SIRGAS	
Receptor/Antena	TRIMBLE NetR5/ TRM 55971.00	
Coordenadas/ Velocidades	X: 5176588,6288 ± 0,0002 m	Vx: -0,0015 ± 0,0001 m/y
	Y: -3618162,1629 ± 0,0000 m	Vy: -0,0029 ± 0,0000 m/y
	Z: -887363,8556 ± 0,0000 m	Vz: 0,0118 ± 0,0000 m/y

A estação Brasília encontra-se situada no IBGE, Reserva Ecológica do Roncador, cidade de Brasília, Distrito Federal, região centro-oeste do Brasil. Também é composta por um pilar de concreto dotado de um dispositivo de centragem forçada.

Tabela 5 – Descrição da estação de teste BRAZ (Região Centro-oeste).

Estação BRAZ		
Localização	BRASILIA - DF, BRASIL	
Rede	IGS, RBMC, RIBAC, SIRGAS	
Receptor/Antena	TRIMBLE NetRS/ TRM 41249.00	
Coordenadas/ Velocidades	X: 4115014,0806 $\pm$ 0,0002 m	Vx: 0,0007 $\pm$ 0,0000 m/y
	Y: -4550641,5664 $\pm$ 0,0001 m	Vy: -0,0065 $\pm$ 0,0000 m/y
	Z: -1741443,9606 $\pm$ 0,0000 m	Vz: 0,0114 $\pm$ 0,0000 m/y

A estação PPTE consiste em um pilar de concreto dotado de um dispositivo de centragem forçada e encontra-se localizada na região sudeste do Brasil, no campus da UNESP, cidade de Presidente Prudente, estado de São Paulo.

Tabela 6 – Descrição da estação de teste PPTE (Região Sudeste).

Estação PPTE		
Localização	PRESIDENTE PRUDENTE - SP, BRASIL	
Rede	RBMC, RIBAC, SIRGAS	
Receptor/Antena	TRIMBLE NetR5/ TRM41249.00	
Coordenadas/ Velocidades	X: 3687624,3562 $\pm$ 0,0003 m	Vx: 0,0043 $\pm$ 0,0002 m/y
	Y: -4620818,6816 $\pm$ 0,0002 m	Vy: -0,0094 $\pm$ 0,0002 m/y
	Z: -2386880,3104 $\pm$ 0,0000 m	Vz: 0,0089 $\pm$ 0,0001 m/y

A estação POAL consiste em uma estrutura de aço vazado, dotada de um dispositivo de centragem forçada, localizada no sul do país, no Prédio do Departamento de Engenharia Cartográfica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, cidade de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 7 – Descrição da estação de teste POAL (Região Sul).

Estação POAL		
Localização	PORTO ALEGRE - RS, BRASIL	
Rede	RBMC, RIBAC, SIRGAS	
Receptor/Antena	TRIMBLE NetRS/ TRM 29659.00	
Coordenadas/ Velocidades	X: 3467519,4118 ± 0,0001 m	Vx: 0,0036 ± 0,0000 m/y
	Y: -4300378,5553 ± 0,0001 m	Vy: -0,0075 ± 0,0000 m/y
	Z: -3177517,6796 ± 0,0000 m	Vz: 0,0095 ± 0,0000 m/y

5.3 Dados Utilizados

Neste trabalho foram utilizados os arquivos de observação GPS das estações ativas da RBMC e da Rede GNSS-SP. Para as 62 estações da rede suporte foi processado 1 arquivo de dados de 24 horas para cada estação em sete dias, intervalo de coleta de 15s, o que correspondeu a 434 arquivos.

Para alcançar os objetivos do trabalho, um primeiro experimento foi realizado com arquivos de 0 a 1h, 0 a 2h, 0 a 3h e assim sucessivamente até alcançar 0 a 24 horas. Para fins desta pesquisa, estes arquivos foram denominados de arquivos horários acumulativos. Neste primeiro experimento foram envolvidos esses 24 arquivos para as cinco estações em sete dias, o que correspondeu a 840 arquivos processados.

Em uma etapa seguinte, outros experimentos foram realizados para cada estação de teste com arquivos de dados de 0 a 20, 0 a 25, 0 a 30, 0 a 40, 0 a 50, 0 a

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

60 minutos para cada hora do dia resultando em 144 arquivos. Contabilizando para cinco estações em sete dias, nesta etapa foram envolvidos 5040 arquivos.

Em resumo, esta pesquisa envolveu 6314 arquivos correspondentes aos dados de 67 estações para um total de 7 dias.

A figura 12 esquematiza os arquivos de dados horários acumulativos e os arquivos de dados de 20, 25, 30, 40, 50, 60 minutos para as cinco estações de teste em um dia de coleta.

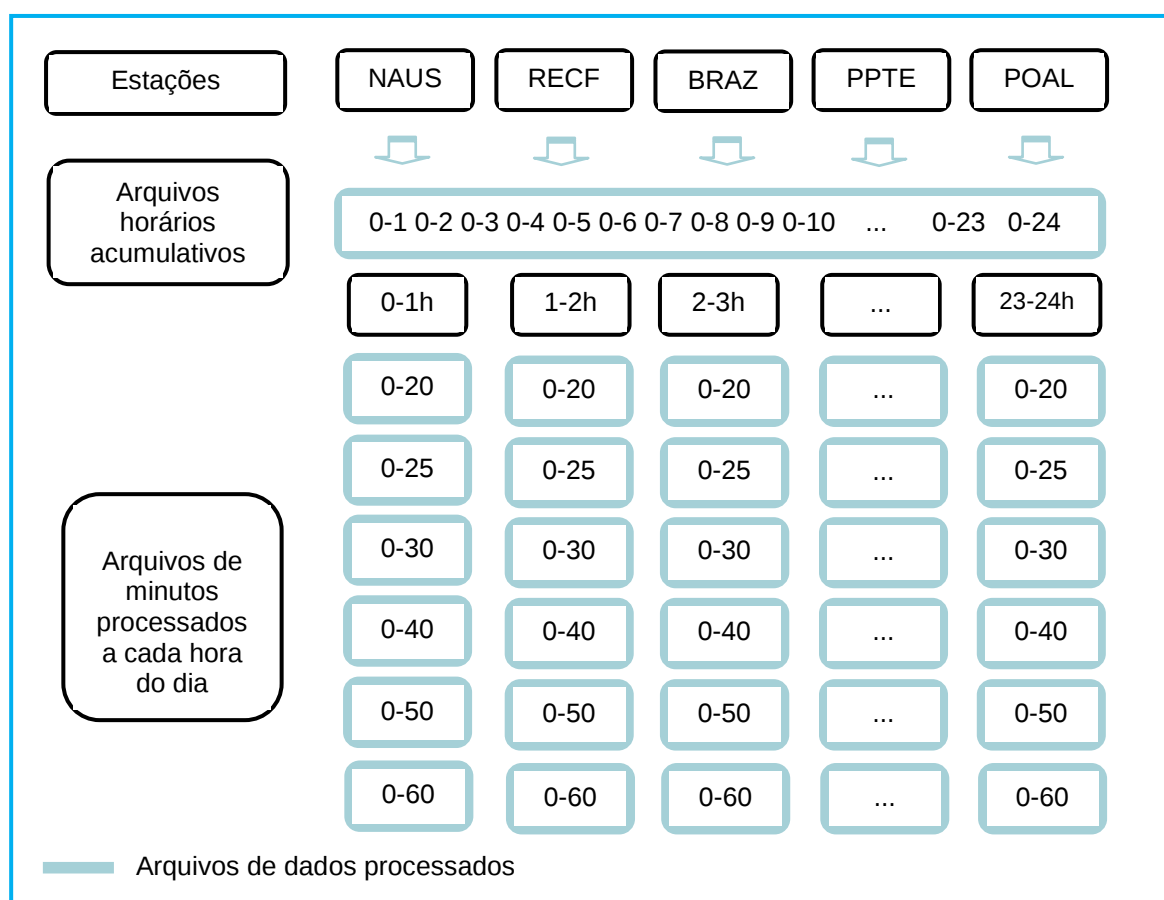


Figura 12 – Arquivos de dados processados.

5.4 Softwares Utilizados

O *software* utilizado no processamento dos dados GPS foi o GIPSY, versão 5.0, mediante acordo da FCT/UNESP e o *California Institute of Technology/ JPL*.

O GIPSY é um *software* científico, composto por vários programas e utilitários que realizam vários tipos de processamento. Para o processamento dos dados por PPP utilizou-se o *gd2p.pl* (*GPS Data 2 Position*), escrito em linguagem *Perl*, com alto nível em processamento de dados para uma única estação.

Esse programa é executado na plataforma UNIX/Linux o que requer que, para realizar tal tarefa, além de conhecimentos sobre o próprio *software*, também se tenha conhecimentos desse sistema operacional. Nesta pesquisa, utilizou-se o sistema operacional Linux, *software* livre, o que significa, dentre outras coisas, que todos os interessados podem usá-lo e redistribuí-lo, nos termos que constam na licença de *software* livre.

No processamento dos dados com o método PPP através do programa *gd2p.pl* utilizou-se os produtos JPL *FlinnR_nf*, órbitas precisas e correções para os relógios dos satélites não fiduciais, obtidos por meio de protocolo de transferência de arquivos (*ftp*) através do *script goa_prod_ftp.pl*.

Antes de iniciar o processamento com o *gd2p.pl* algumas informações atualizadas a respeito da estação a ser processada precisaram estar armazenadas em um diretório específico. Esses arquivos são chamados de *sta_id*, *sta_pos* e *sta_svec*.

O *sta_id* é a identificação da estação, arquivo composto pelo identificador da estação (com 4 caracteres), um número, um nome ou descrição e comentários. Esse arquivo pode ser criado através do utilitário *rnx2sta-id*.

O *sta_pos* é o registro de posição aproximada da estação e velocidades em uma dada época e o período durante o qual esse registro é válido. O período é dado em número de dias, a posição em metros, a velocidade em metros/ano e para sua criação pode-se fazer uso do utilitário *rnx2sta-pos*.

O *sta_svec* é composto pelo tipo da antena, vetor da estação, altura da antena, data e comentários. O tipo da antena deve ser igual ao do *pcenter*, arquivo utilizado

pelo `gd2p.pl`, que além do tipo da antena, possui o tipo do centro de fase, as correções e comentários. O arquivo `sta_svec` pode ser criado através do utilitário `rnx2sta-svec`.

Dentre os produtos resultantes de cada processamento pelo método PPP com o `gd2p.pl` se encontram o vetor de coordenadas da estação (X, Y, Z) com seus respectivos desvios e covariâncias contidos em um arquivo chamado `stacov`, um arquivo `smcov` com solução de todos os parâmetros estimados e covariâncias dentre os quais se encontram as ambiguidades reais (*float*), um arquivo `qm` com combinações das observáveis a cada 5 minutos, dentre outros parâmetros como o efeito troposférico.

Para estratégias de solução de ambiguidades fez-se uso do algoritmo Ambizap, versão 2, disponibilizado gratuitamente na internet. É um módulo autônomo, pode operar sem a necessidade de quaisquer outros dispositivos, com *script* principal, módulos em *C-shell*, e rotinas em FORTRAN-95.

Os arquivos de entrada do Ambizap são os arquivos `stacov`, `smcov`, `qm` resultantes do processamento PPP com o programa `gd2p.pl` e os arquivos `sta_id`, `sta_pos` e `sta_svec`, os mesmo que foram usados como entrada no processamento com o `gd2p.pl`.

Ao iniciar o Ambizap ele interpreta a linha de comando, de acordo as opções selecionadas no comando de entrada, cria os diretórios de solução e reciclagem, e então verifica se já existem linhas de base solucionadas. Se já houver soluções na rede ele começa o processo de reciclagem. É nessa etapa que uma estação com ambiguidades não fixas pode ser adicionada a rede para ter suas ambiguidades fixas sem que todas as estações da rede, com ambiguidades já solucionadas, precisem ser reprocessadas.

Na etapa seguinte é realizada uma contagem do número de estações que irão participar do processo de solução de ambiguidades e é efetuado o cálculo do número máximo de linhas de base para formação das DD de ambiguidades. O

processo de seleção das linhas de base é então iniciado a partir da triangulação de Delauney, baseando-se em n polígonos centrados em cada estação, definindo o vizinho mais próximo possível para cada ponto. Dando prosseguimento, a solução de ambiguidades a partir da DD das linhas de base é iniciada.

O resultado do processamento com o Ambizap é um conjunto de coordenadas com as ambiguidades solucionadas, sua respectiva MVC e desvio padrão contidos em um arquivo chamado *fix.stacov* para cada estação de forma individual. A versão do Ambizap utilizada nesta pesquisa foi adaptada em termos de compatibilização com a versão do Linux e outras modificações foram realizadas de acordo com os objetivos do trabalho.

5.5 Estratégia Adotada

A estratégia metodológica aplicada nesta pesquisa se consistiu em cinco etapas:

Na primeira etapa realizou-se o processamento dos dados contidos nos arquivos de 24 horas das 62 estações da rede suporte pelo método PPP utilizando o programa *gd2p.pl*. Com isto, ficaram disponíveis os elementos necessários para a utilização do Ambizap. A segunda etapa consistiu na utilização do Ambizap para solução de ambiguidades das estações da rede suporte, em cada linha de base formada, através das DDs das ambiguidades.

Em uma terceira etapa, os arquivos de 20, 25, 30, 40, 50, 60 minutos e os arquivos horários acumulativos de cada estação de teste, para cada um dos sete dias, foram processados individualmente com o programa *gd2p.pl*.

Dando prosseguimento, em uma quarta etapa foram processados com o Ambizap os arquivos das estações de teste, um por vez, em conjunto com as estações da rede suporte. Esta etapa foi uma simulação com cada arquivo destas estações de teste representando arquivos de uma estação de usuário sendo

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

adicionada a rede suporte, a fim de solucionar as ambiguidades envolvidas a cada linha de base formada.

E, finalmente, na quinta e última etapa deste trabalho, de posse dos resultados obtidos dos processamentos das etapas anteriores referentes às estações de teste, realizou-se a análise das melhorias repercutidas no método PPP através do comparativo das soluções de ambiguidades reais (*float*) com as soluções de ambiguidades inteiras (*fixed*). O diagrama apresentado na figura 13 mostra de forma sintetizada as etapas metodológicas aplicadas.

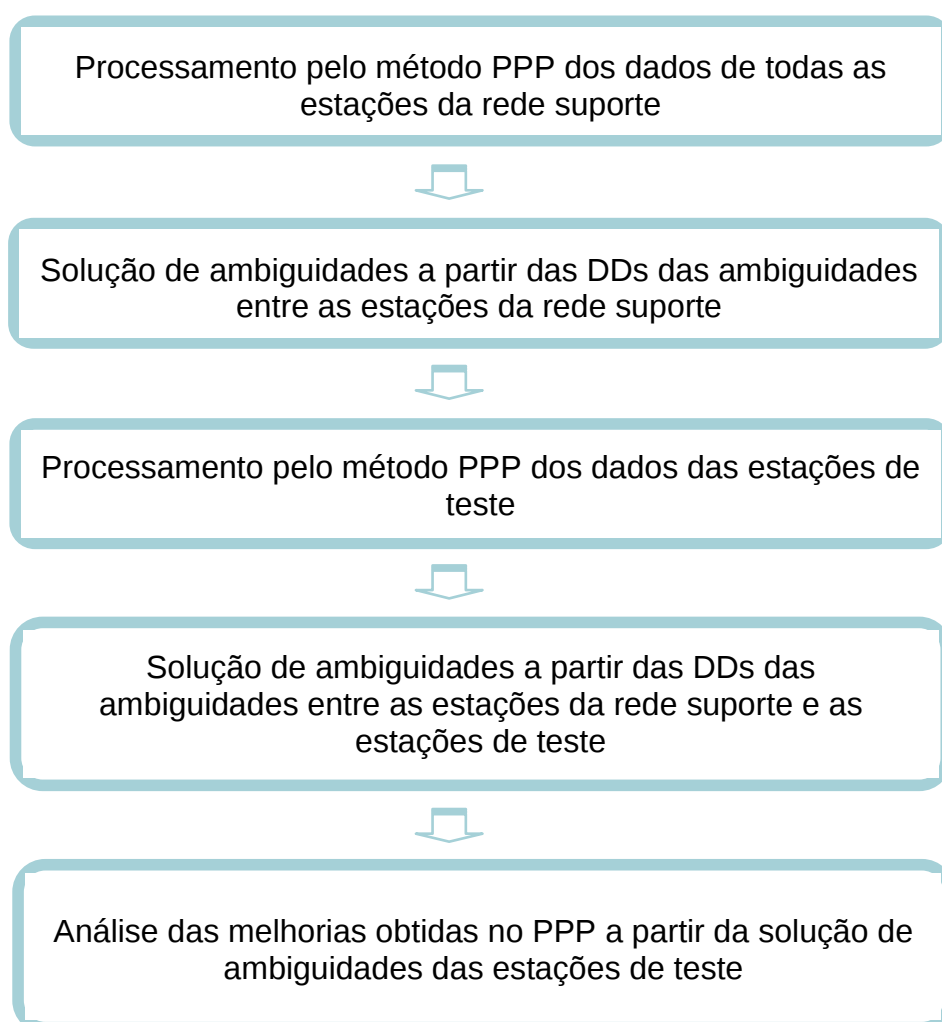


Figura 13 – Diagrama das etapas metodológicas aplicadas.

5.5.1 Estratégia de Processamento dos Dados

Os arquivos RINEX de observação de todas as estações envolvidas no trabalho, sejam elas da rede suporte ou das estações de teste, foram obtidos no próprio Laboratório de Geodésia Espacial (LGE) da UNESP que possui os arquivos da Rede GNSS SP e RBMC armazenados para fins experimentais do laboratório.

Logo em seguida, foi realizada a verificação da qualidade e formato dos arquivos com a utilização do *software* TEQC (*Translation Edition and Quality Control*). Este aplicativo consiste em um conjunto de ferramentas para dados GPS, SBAS, GLONASS e Galileo, desenvolvido pela UNAVCO (*University Consortium*) e se encontra disponível em <<http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html>>. Nesta etapa também foi realizado um tratamento dos arquivos RINEX de observação permanecendo somente as observações GPS.

Para este trabalho foi definida, no Linux, uma variável de ambiente onde os produtos *FlinnR_nf*, referentes aos sete dias de processamento, ficaram armazenados para utilização a cada processamento evitando que repetidas vezes tivessem que ser obtidos pelo *ftp* e assim também otimizando o tempo de processamento e o espaço em disco.

Para que não fosse necessário digitar cada linha de comando, a cada processamento de dados, um *script*, chamado de *gd2p_zap*, desenvolvido por Blewitt (2008), foi modificado de forma que a performance com o *gd2p.pl* fosse realizada de acordo com a estratégia de processamento adotada e os arquivos de saída, organizados de acordo com o que fosse necessário, para posterior entrada no programa de solução das ambiguidades, o Ambizap. A tabela 8 mostra a estratégia de processamento adotada com o programa *gd2p.pl* para o processamento dos dados pelo método PPP.

Tabela 8 – Estratégia adota para processamento.

Estratégia de Processamento	
Erro das órbitas dos satélites	Efemérides Precisas JPL
Erro dos relógios dos satélites	Correções geradas JPL
Precisão da fase	1 cm
Precisão do código	100 cm
Máscara de elevação	7 graus
Refração Troposférica	Modelo Hopfield
Refração Ionosférica	Função de Mapeamento VMF1
Antena do satélite	Combinação linear livre da ionosfera
Antena do receptor	Calibrações IGS, no formato do GIPSY, de acordo com a órbita.
	Calibração IGS através do utilitário <i>antex2xyz.py</i> de conversão do formato IGS (.atx) para formato GIPSY (.xyz).
Efeitos de marés terrestres	Modelo IERS 2003
Efeitos de cargas oceânicas	Modelo FES2004

As coordenadas obtidas foram transformadas para o referencial IGS05, realização do ITRF2005, utilizando os parâmetros contidos em um arquivo chamado *XFILE*, arquivo obtido juntamente com as efemérides JPL. Sendo assim, as coordenadas, que foram resultantes do processamento com produtos não fiduciais, passaram a ter um referencial associado, ou seja, as soluções baseadas em uma rede de referência chamada de *free-network* passaram a ter uma base de referência específica.

Em razão da grande quantidade de dados utilizados nesta pesquisa, o processo foi automatizado com o desenvolvimento de aplicativos em *Shell script* para criação e estruturação dos diretórios de trabalho, processamento dos dados com os programas *gd2p.pl* e *Ambizap* e extração das informações resultantes dos processamentos, como coordenadas, desvios padrões e covariâncias.

5.5.2 Análise dos Resultados

A análise dos resultados dos processamentos foi realizada através da comparação das soluções obtidas para cada experimento (soluções reais e inteiras) com as soluções adotadas como referência, *SIR09P01*, fornecidas pela rede SIRGAS-CON. As discrepâncias de cada experimento foram calculadas a partir das coordenadas de referência e transformadas para o sistema geodésico local juntamente com suas precisões, e as análises foram realizadas de acordo com as componentes e , n , u obtidas.

Para tal, foi desenvolvida uma rotina em linguagem MATLAB 7.0 (*Matrix Laboratory*), a qual realiza a transformação das discrepâncias do sistema global (X , Y , Z) para o sistema local (e , n e u), bem como as precisões formais das coordenadas. Os resultados gráficos foram criados em ambiente MATLAB e no programa *Microsoft Office Excel 2007*.

Em seguida, algumas considerações necessárias com relação à sumarização estatística adotada nas análises são apresentadas:

- A diferença entre a coordenada obtida com a coordenada adotada como referência para cada experimento foi denominada discrepância:

$$discrep = [(X \ Y \ Z)^T_{obtida} - (X \ Y \ Z)^T_{referência}]$$

- A média do somatório das discrepâncias foi denominada erro médio ($E_{médio}$):

$$E_{médio} = \frac{\sum discrep}{n}$$

- O Erro Quadrático Médio, que é assumido como a estimativa de acurácia nas análises, foi obtido por:

$$E.Q.M = \sqrt{\frac{\sum (discrep)^2}{n}}$$

As soluções de ambiguidades reais (soluções de coordenadas obtidas tendo as ambiguidades como vetor de números reais) foram chamadas, nesta pesquisa, de soluções reais e as soluções de ambiguidades inteiras (soluções de coordenadas obtidas tendo ambiguidades como vetor de números inteiros) foram chamadas de soluções inteiras.

- A porcentagem de melhoria (% melhoria) foi caracterizada pela relação, em porcentagem, das soluções reais quando comparadas com as inteiras.

- A quantidade de ambiguidades fixas, em porcentagem, para cada experimento é denominada porcentagem de fixação (% fix) e é fornecida pelo programa Ambizap após cada processamento. Só foram consideradas com ambiguidades fixas as soluções com porcentagem de fixação acima de 50% e as soluções que obtiveram porcentagem inferior retornaram para os valores da solução de ambiguidades reais (solução inicial).

A estimativa de precisão foi feita a partir dos resultados de desvio-padrão formal (σ), das soluções reais e inteiras, fornecidos pelos programas utilizados (gd2p.pl e Ambizap).

6. EXPERIMENTOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS

6.1 Introdução

Na totalidade sete experimentos foram realizados para cada estação de teste, sendo que o primeiro foi com os arquivos de dados horários acumulativos, já o segundo envolveu arquivos com 20 minutos de dados, o terceiro com arquivos com dados de 30 minutos, o quarto e o quinto compostos respectivamente, por arquivos com dados de 40 minutos e 50 minutos e por último, os experimentos realizados com os arquivos com dados de 60 minutos. Neste capítulo são apresentados os experimentos realizados e os resultados obtidos na pesquisa.

6.2 Estações utilizadas no experimento

Durante a verificação da qualidade e formato dos arquivos observou-se que no dia 09 de agosto de 2009 ocorreu perda de dados da estação PPTE. Sendo assim, os experimentos para esta estação foram restritos a seis dias (08,10,11,12,13 e 14 de agosto de 2009). Os arquivos de observação das outras estações de teste estavam em formato adequado e prontos para utilização.

A tabela 9 mostra as linhas de base formadas e as respectivas distâncias, entre as estações de teste e as estações da rede suporte. Essas distâncias foram calculadas na etapa referente ao processo de formação de linhas de base para posterior solução das ambiguidades.

Por meio da tabela 9 é possível verificar que os valores das distâncias médias estão bem próximos aos respectivos valores das distâncias, das linhas de base formadas, entre a estação de teste e a estação mais próxima da rede suporte. Isso ocorreu porque na grande maioria dos processamentos realizados as ambiguidades foram solucionadas logo na primeira tentativa, ou seja, com as estações mais próximas.

Tabela 9 – Linhas de base e distâncias entre as estações de teste e as estações da rede suporte.

Linhas de base	Distâncias (km)	Distâncias Médias (km)
RECF - PBCG	141	145
RECF - RNNA	247	
RECF – ALAR	266	
PPTE - PRMA	153	154
PPTE - ROSA	166	
PPTE - OURI	181	
PPTE - ILHA	188	
PPTE - SJRP	259	
POAL – SMAR	254	270
POAL – SCLA	266	
POAL - IMBT	315	
POAL - SCCH	357	
BRAZ - UBER	329	360
BRAZ - MGUB	332	
BRAZ - MCLA	436	
BRAZ - GOJA	463	
BRAZ - TOGU	482	
BRAZ - BOMJ	565	
NAUS – BOAV	653	655
NAUS – POVE	759	
NAUS – ROJI	892	
NAUS – MTCO	998	

6.3 Arquivos de dados horários acumulativos

O primeiro experimento realizado foi o processamento dos dados horários acumulativos (0 a 1, 0 a 2, 0 a 3 até 0 a 24 horas). O EQM, referente ao período de 08 a 14 de agosto de 2009, foi calculado para os valores obtidos nas soluções reais e inteiras quando comparadas com as fornecidas pela solução *SIR09P01*, mapeadas para a época do experimento. Para cada uma das cinco estações de teste foi gerada uma tabela contendo os valores obtidos. As estações PPTE, RECF,

BRAZ e POAL apresentaram valores bastante semelhantes e esses resultados foram sumarizados na tabela 10.

A tabela 10 apresenta a média do EQM ($EQM_{\text{médio}}$) das soluções das quatro estações que tiveram os resultados semelhantes. Em observação a tabela 9 se verifica que essas estações possuem as menores distâncias médias da rede suporte.

Também na tabela 10 é apresentado o desvio-padrão da média do EQM (σEQM) e as médias das porcentagens de fixação ambiguidades. As soluções são dadas em termos de componentes leste, norte, vertical e resultante (3D).

O σEQM foi calculado a fim de se detectar algum valor muito discrepante nas soluções que foram sumarizadas, referentes às quatro estações. A estação NAUS apresentou resultados diferentes dos obtidos para as outras estações de teste e em função disso, seus resultados serão apresentados individualmente.

A partir do σEQM foi possível verificar que, nas soluções reais, ocorreu maior variação dos resultados entre as estações nos intervalos de 0 a 1h e de 0 a 2h nas componentes leste e vertical. Para as soluções inteiras, nestes mesmos intervalos, o σEQM para a componente leste foi pequeno, na ordem de 1,3mm e 2,2mm, respectivamente. Isso mostra que após a solução de ambiguidades esta componente se tornou estável para as quatro estações (tabela 10).

A componente vertical continuou com maior variação nas duas primeiras horas, mesmo após a solução de ambiguidades (22,7 mm e 18,3mm, respectivamente). Nas horas seguintes o σEQM passou a valores pequenos, o que significa que os resultados das quatro estações passaram a ser semelhantes.

As tabelas com os valores calculados de EQM, desvio-padrão formal e porcentagem de fixação para cada estação de teste, referentes ao experimento com dados horários acumulativos, encontram-se nos apêndices A a E.

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

Tabela 10 – Média do EQM e desvio-padrão do EQM das soluções reais e inteiras das estações PPTE, RECF, BRAZ e POAL e a média da porcentagem de fixação das ambiguidades.

Intervalo	Soluções reais (mm)							Soluções inteiras (mm)							%Fix
	$EQM_{\text{médio}}$ e	σEQM e	$EQM_{\text{médio}}$ n	σEQM n	$EQM_{\text{médio}}$ u	σEQM u	$EQM_{\text{médio}}$ 3D	$EQM_{\text{médio}}$ e	σEQM e	$EQM_{\text{médio}}$ n	σEQM n	$EQM_{\text{médio}}$ u	σEQM u	$EQM_{\text{médio}}$ 3D	
0-1	44,1	21,9	11,2	3,7	46,8	17,3	65,3	6,1	1,3	5,2	2,6	54,8	22,7	55,4	96,9
0-2	20,6	14,6	8,4	2,4	28,0	9,5	35,8	6,2	2,2	5,2	0,9	28,1	18,3	29,3	97,8
0-3	12,6	4,9	5,5	1,9	20,8	5,2	25,0	5,5	1,2	4,0	1,3	18,5	7,1	19,7	97,8
0-4	12,1	5,2	3,8	1,2	17,6	5,6	21,7	4,9	1,2	3,0	1,1	17,7	7,0	18,6	98,2
0-5	9,1	2,5	3,4	1,4	18,0	4,7	20,5	4,9	2,5	3,1	1,1	19,7	7,0	20,5	98,1
0-6	8,0	2,8	3,0	0,8	18,8	3,3	20,6	4,6	2,4	2,6	1,0	17,3	4,8	18,1	97,4
0-7	7,6	2,9	3,4	0,5	20,0	5,8	21,6	4,3	2,9	2,6	1,0	17,9	4,1	18,6	97,4
0-8	6,5	2,6	3,2	0,9	20,0	4,5	21,3	4,3	2,5	2,7	1,4	16,6	3,1	17,3	98,1
0-9	5,6	2,5	2,9	1,2	19,1	3,5	20,1	4,5	2,7	2,6	1,7	16,8	3,1	17,6	98,2
0-10	5,2	2,6	3,0	1,9	19,6	4,4	20,5	4,8	3,0	3,0	2,6	17,3	3,3	18,2	99,0
0-11	4,7	2,2	3,0	2,2	19,7	4,8	20,4	4,8	3,1	3,3	2,6	17,7	3,7	18,6	98,7
0-12	5,1	2,0	3,3	2,6	18,8	4,1	19,7	5,0	3,0	3,8	2,6	16,9	3,5	18,0	98,3
0-13	5,6	2,6	3,9	2,6	18,9	3,8	20,1	5,2	3,4	4,4	2,7	16,7	3,6	18,0	97,2
0-14	5,8	3,1	4,3	2,8	18,3	4,3	19,6	4,9	3,1	4,6	2,7	17,1	4,1	18,4	94,8
0-15	5,6	3,5	4,4	2,5	18,1	4,6	19,4	4,8	3,3	4,5	2,3	16,6	3,9	17,8	96,4
0-16	5,8	3,5	4,5	2,3	18,2	4,4	19,6	4,8	3,5	4,6	2,2	16,7	3,9	17,9	95,8
0-17	6,2	3,3	4,4	2,1	18,1	4,0	19,7	4,7	3,2	4,5	1,9	16,5	3,8	17,7	94,2
0-18	6,3	3,2	4,3	1,9	18,2	3,6	19,7	4,8	3,3	4,5	1,8	17,0	3,2	18,2	94,5
0-19	6,4	3,3	4,2	1,8	17,6	3,5	19,2	4,9	3,5	4,3	1,6	16,3	3,1	17,5	91,4
0-20	6,3	3,4	4,0	1,8	17,8	3,1	19,3	4,9	3,3	4,2	1,6	16,9	2,5	18,0	92,8
0-21	6,3	3,6	3,9	1,8	17,6	2,9	19,1	5,1	3,7	4,0	1,6	16,4	2,6	17,6	91,4
0-22	6,1	3,5	3,8	1,8	17,0	3,0	18,4	4,9	3,5	3,9	1,5	16,0	3,0	17,1	92,5
0-23	5,8	3,4	3,8	1,8	16,6	3,1	17,9	4,7	3,3	3,9	1,4	15,1	3,1	16,3	91,4
0-24	5,5	3,1	3,7	1,7	16,3	3,5	17,6	4,6	3,3	3,9	1,4	14,9	3,3	16,1	92,6

Nota-se, a partir da tabela 10, que a média da porcentagem de fixação das ambiguidades foi acima de 90% em todos os intervalos. Os resultados de EQM das soluções inteiras, no geral, foram melhores em relação às soluções reais. Logo na primeira hora, tal melhoria atingiu cerca de 85% para a componente leste, com valores de 44,1mm para solução real e 6,1mm para solução inteira.

A partir da figura 14 pode-se notar que, na primeira hora de dados, uma vez que as ambiguidades foram solucionadas, a componente leste já tornou estável. Tal comprovação está de acordo com Blewitt (1989) que afirma que a correlação entre as ambiguidades e a componente leste é maior que a das ambiguidades e as componentes norte e vertical. Após 10 horas de dados a solução real convergiu e a diferença entre as duas soluções (real e inteira) foi mínima.

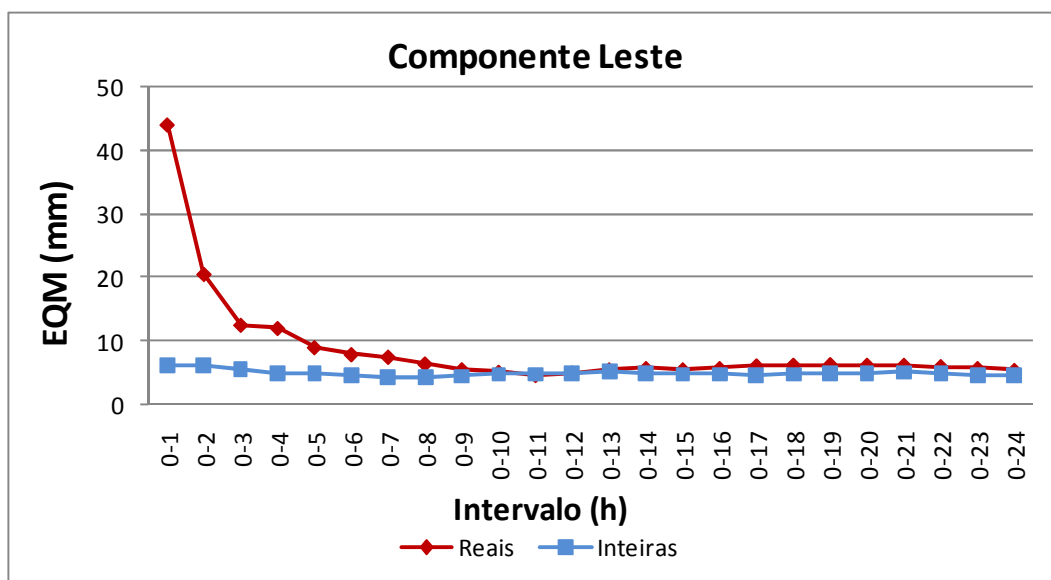


Figura 14 – Média do EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente leste.

Na componente norte, também ocorreram melhorias significativas até a consideração de dados de até 10 horas. Na componente vertical a partir de 5 horas de dados o EQM da solução inteira se comportou melhor do que o da solução real. Isso pode ser observado nas figuras 15 e 16.

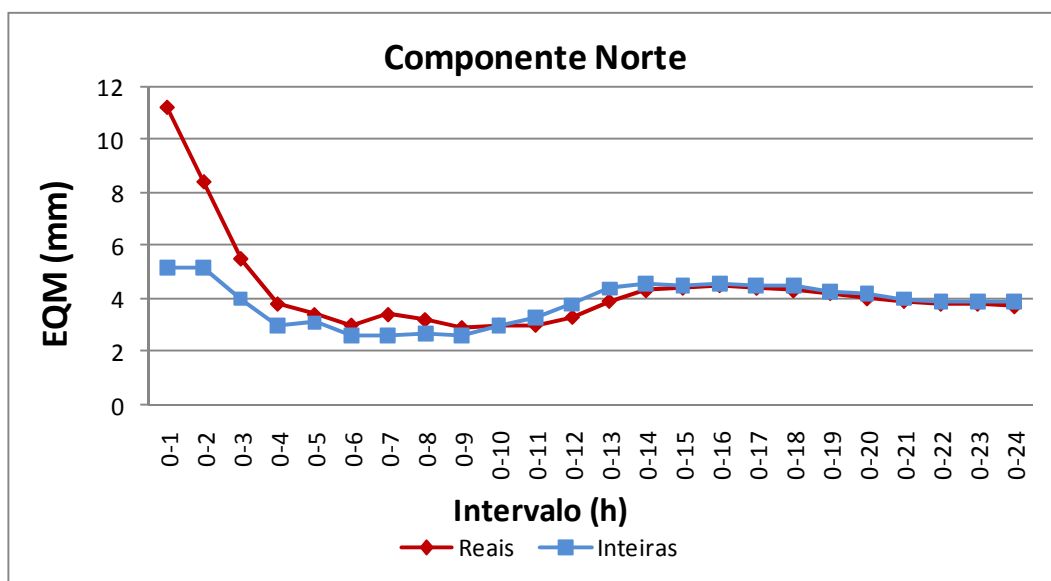


Figura 15 – Média do EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente norte.

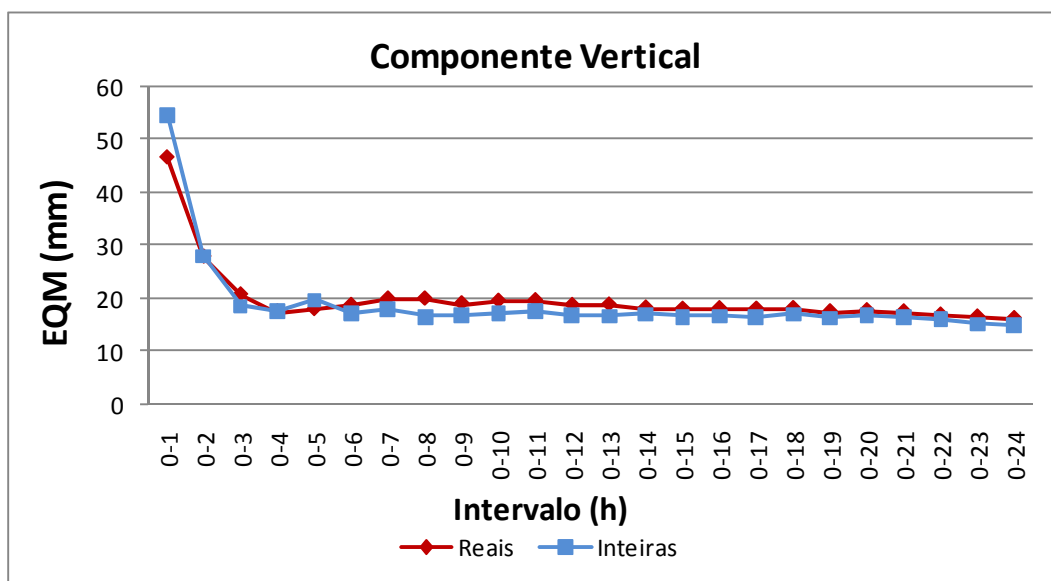


Figura 16 – Média do EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente vertical.

A resultante 3D apresentou melhorias em todos os intervalos após a solução das ambiguidades, conforme mostra a figura 17. Com 1 hora de dados o EQM da solução inteira foi cerca de 15% melhor do que o da solução real. Com 3 horas de dados essa melhoria aumentou para 21% atingindo valores de 25mm para a solução real e 19,7mm para a solução inteira.

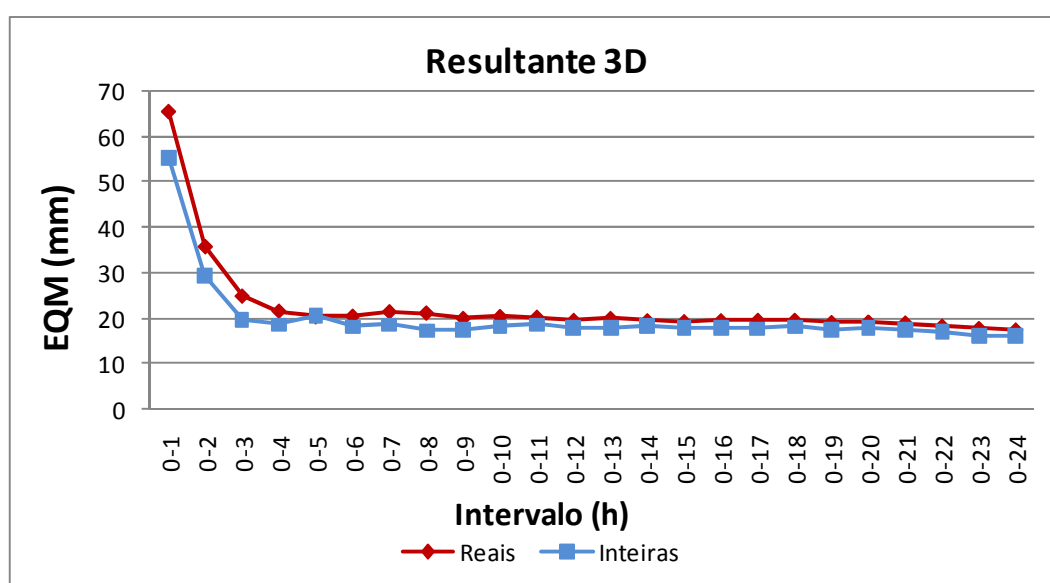


Figura 17 – Média do EQM das soluções reais e inteiras - resultante 3D.

Para a análise da precisão, as figuras 18 a 23 apresentam os resultados de desvio-padrão formal, fornecidos pelos programas utilizados, para as soluções reais e inteiras. Esses desvios são a média dos sete dias de processamento e são apresentados em relação às componentes leste, norte e vertical.

A partir das figuras 18 a 23 verifica-se que o desvio-padrão se comporta de forma semelhante para todas as estações de acordo com cada componente.

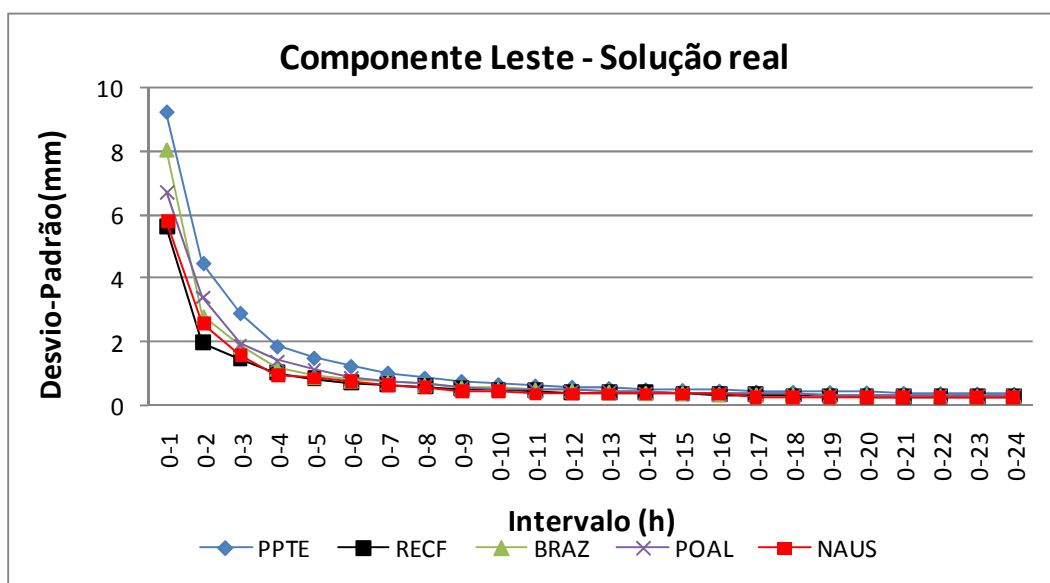


Figura 18 – Desvio-padrão das soluções reais em relação à componente leste.

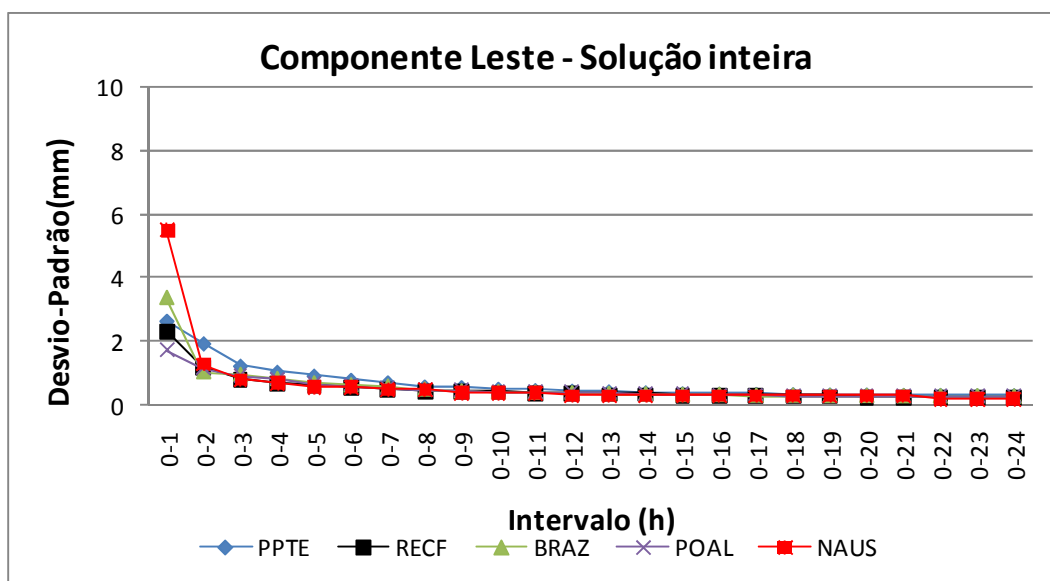


Figura 19 – Desvio-padrão das soluções inteiras em relação à componente leste.

O desvio-padrão da componente leste apresentou melhorias na primeira hora de dados após a solução das ambiguidades, de acordo com as figuras 18 e 19. A estação PPTE atingiu valores acima de 9mm na solução real e após solução de ambiguidades permaneceu abaixo de 3mm. Na estação NAUS, as soluções inteiras se apresentaram melhores do que as reais, embora em proporções bem menores de melhoria se comparada com as melhorias apresentadas pelas soluções inteiras das outras estações.

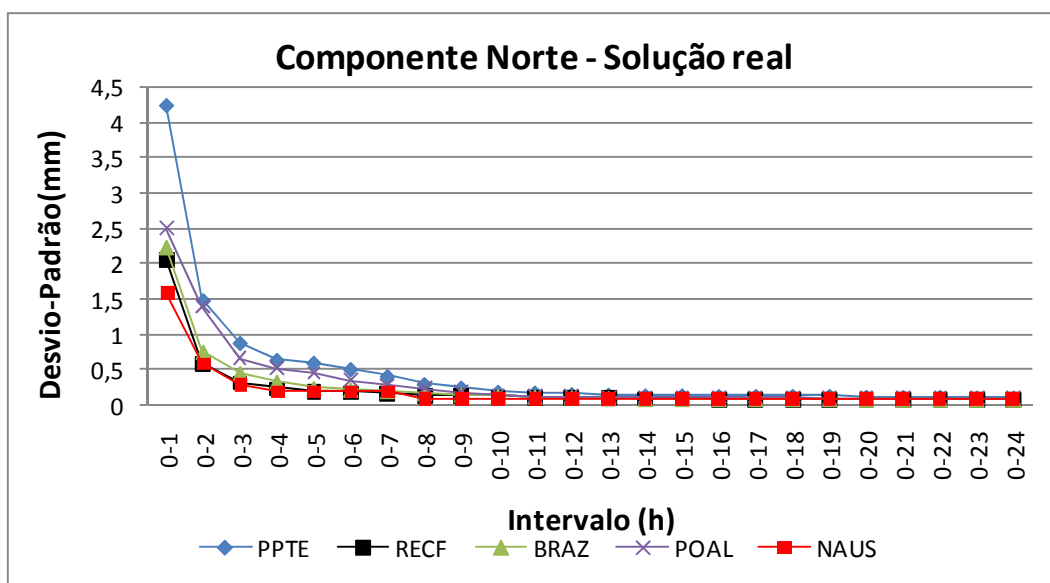


Figura 20 – Desvio-padrão das soluções reais em relação à componente norte.

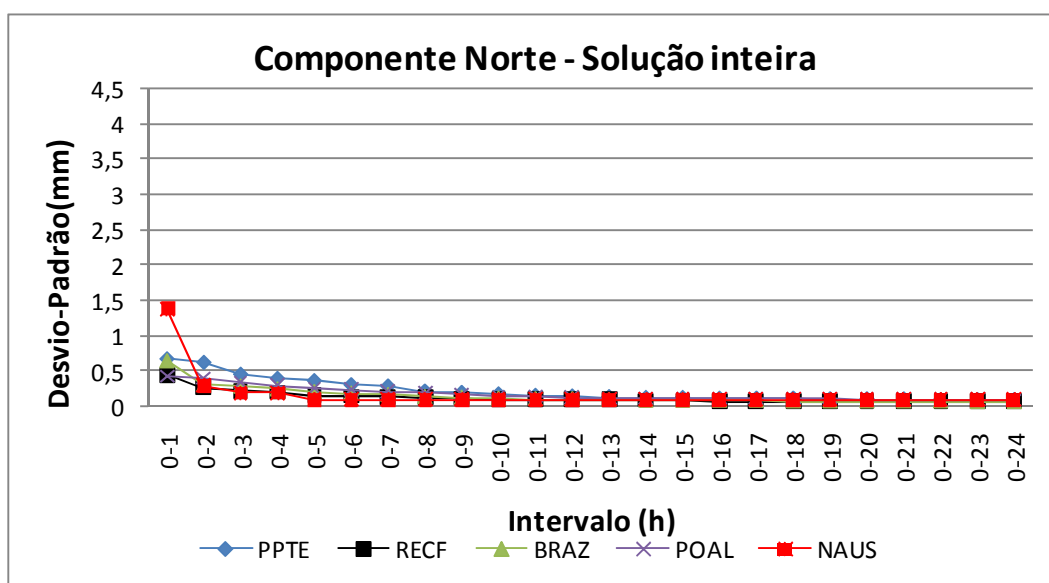


Figura 21 – Desvio-padrão das soluções inteiras em relação à componente norte.

Conforme mostram as figuras 20 e 21, o desvio-padrão da componente norte também atingiu valores mais altos na estação PPTE. Em 1 hora de dados, após a solução de ambiguidades, o desvio que até então se encontrava com valores acima de 4mm permaneceu abaixo de 1mm. A estação NAUS na componente norte se comporta da mesma forma da componente leste, com pequenas melhorias.

Em termos de componente vertical (figuras 22 e 23), a estação RECF apresentou valores de desvio-padrão mais elevados. Em 1 hora de dados atingiu cerca de 2mm e após solução de ambiguidades permaneceu com 1mm.

Algo importante a acrescentar é que esses valores de desvio-padrão fornecidos pelo programa gd2p.pl são otimistas. Após a solução de ambiguidades os valores apresentados pelo programa Ambizap são melhores ainda e, portanto, bastante otimistas.

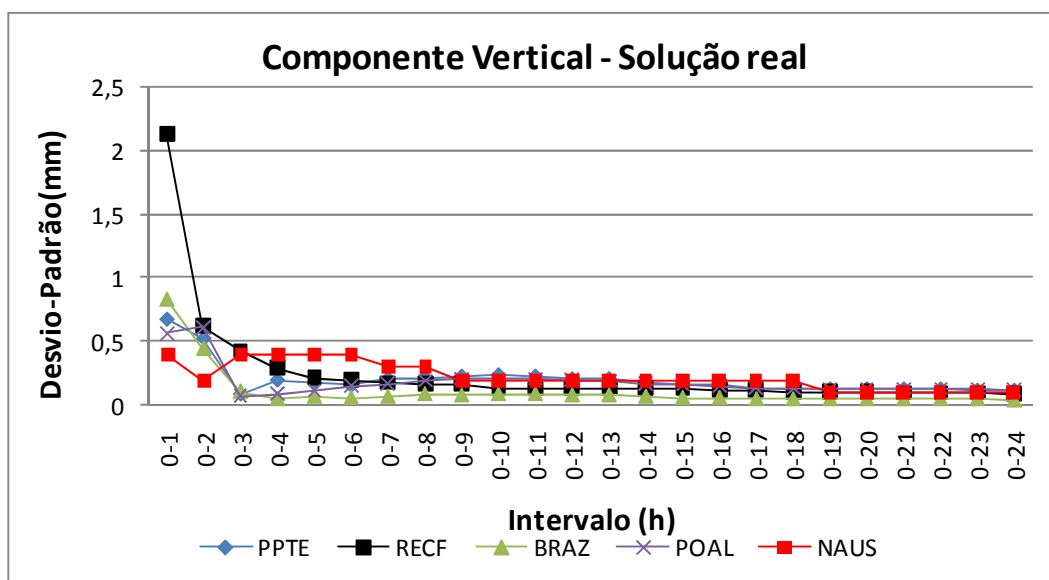


Figura 22 – Desvio-padrão das soluções reais em relação à componente vertical.

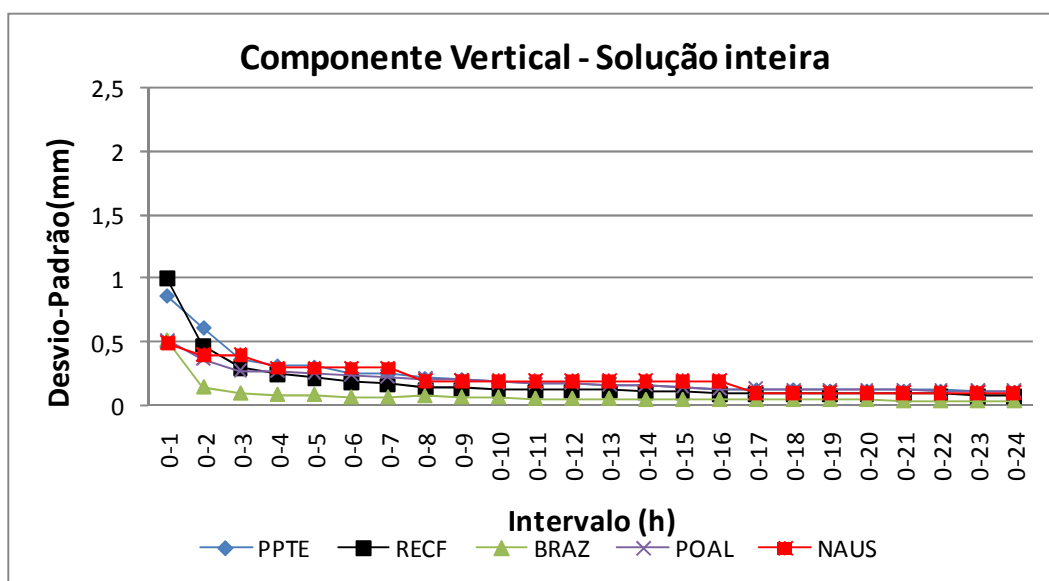


Figura 23 – Desvio-padrão das soluções inteiras em relação à componente vertical.

Os resultados de EQM e porcentagem de fixação para a estação NAUS, correspondentes aos sete dias de processamento, são apresentados na tabela 11.

Tabela 11 – Porcentagem de fixação das ambiguidades e EQM das soluções reais e inteiras quando comparadas com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para a estação NAUS.

Intervalo	Soluções reais (mm)				Soluções inteiras (mm)				%Fix
	EQM _e	EQM _n	EQM _u	EQM _{3D}	EQM _e	EQM _n	EQM _u	EQM _{3D}	
0-1	59,3	13,6	70,2	92,9	58,8	13,1	71,3	93,3	24,8
0-2	23,3	3,6	62,3	66,6	10,2	3,8	52,1	53,2	50,0
0-3	8,4	3	50,1	50,8	4,1	2,3	46	46,2	60,1
0-4	3,4	2,4	40,8	41	4	2,1	42,6	42,9	65,0
0-5	3,5	2,3	37,3	37,5	2,6	1,8	39,9	40,1	68,3
0-6	4	2,1	33,8	34,1	2,3	1,2	37,9	38	66,2
0-7	3,4	2	35,2	35,4	2,3	1,2	37,7	37,7	70,5
0-8	3,2	1,7	38,3	38,5	1,7	1,4	39,5	39,6	76,8
0-9	3,9	1,4	46,2	46,3	1,6	1,4	46,2	46,2	73,8
0-10	3,1	1,7	45,6	45,8	1,4	1,7	45,8	45,9	78,7
0-11	2,9	1,9	47,1	47,2	1,5	1,9	46,2	46,2	81,4
0-12	3	2,2	48,2	48,3	1,8	2	47,2	47,3	76,3
0-13	2,7	2	48,2	48,3	2,6	1,9	46,9	47	84,4
0-14	2,5	2,3	48,1	48,2	2,9	2,1	48,2	48,3	81,0
0-15	4,7	2,4	44,7	45	3,7	2,1	44,2	44,4	82,0
0-16	4,5	2,4	43,4	43,7	3,1	2,3	42,8	43	82,0

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

0-17	4,2	3,1	42,4	42,7	3,3	2,9	42,4	42,6	83,8
0-18	3,5	3,5	42,2	42,5	2,6	3,3	42,1	42,3	82,4
0-19	4	3,7	42,2	42,5	2,6	3,4	42,2	42,4	82,1
0-20	3,9	3,7	45	45,4	2,7	3,3	44,2	44,5	79,6
0-21	3,1	3,7	44,6	44,9	2,8	3,1	44,3	44,5	81,6
0-22	2,9	3,2	44	44,2	2,7	2,9	43,5	43,6	82,6
0-23	2,9	2,8	45,2	45,4	2,8	2,5	44,4	44,5	81,6
0-24	3	2,5	45,8	45,9	2,5	2,4	44,6	44,8	82,6

Na tabela 11, o EQM das soluções da estação NAUS em geral apresenta valores maiores se comparado com a média dos valores das outras estações (tabela 10). No primeiro intervalo de dados, por exemplo, o EQM da resultante 3D para as soluções inteiras da estação NAUS é de 93,3mm e para a média das soluções inteiras das quatro estações é de 55,4mm.

As figuras 24 a 27 são representações gráficas da tabela 11, como forma de melhor visualizar os resultados. Nessas figuras observa-se que, na estação NAUS, houve melhorias no EQM das soluções, a partir de 2 horas de dados, para todas as componentes após a solução das ambiguidades. Tais melhorias se concentraram de forma mais significativa até cinco horas de dados.

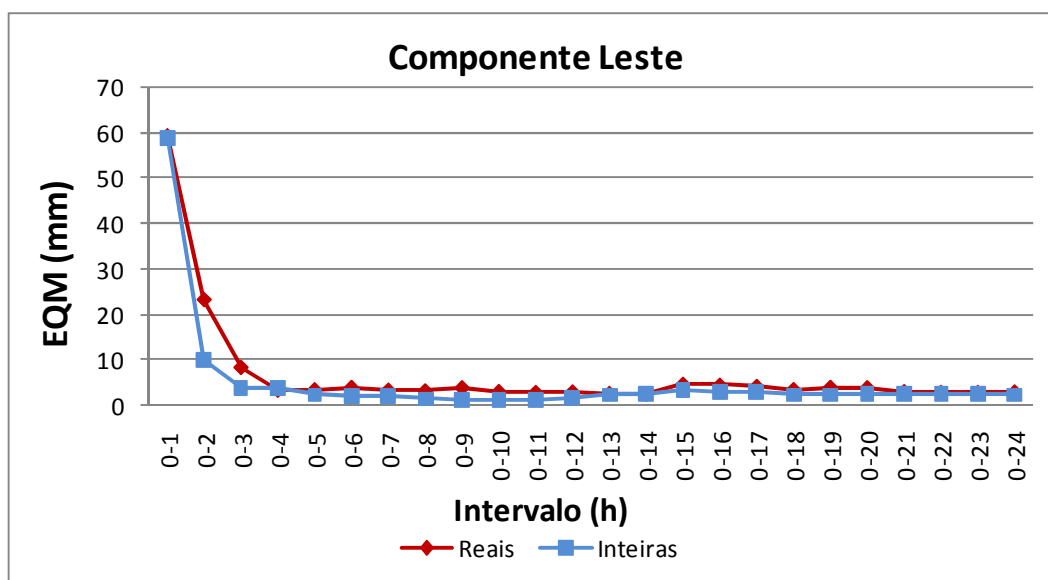


Figura 24 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente leste na estação NAUS.

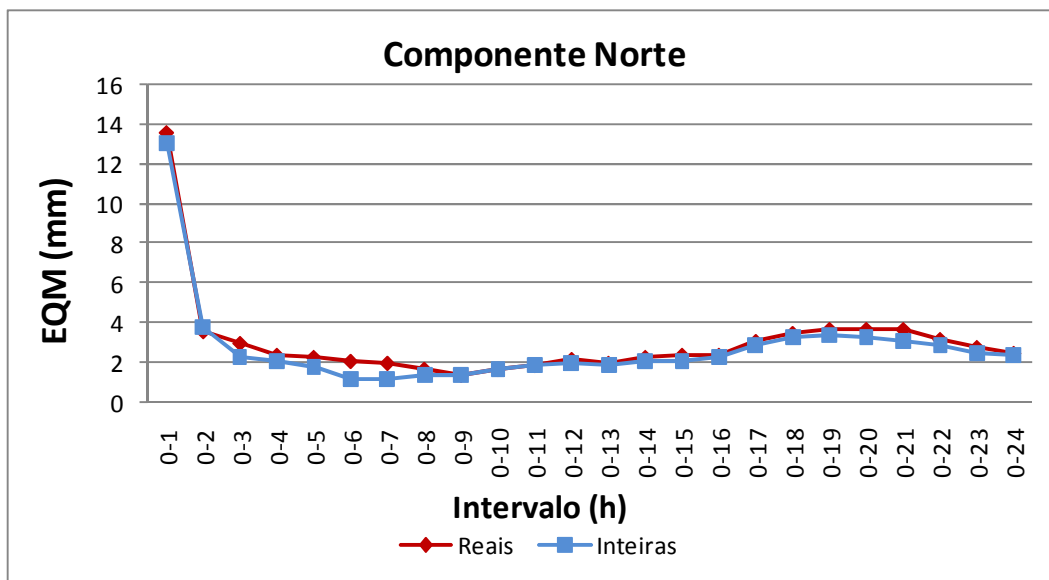


Figura 25 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente norte na estação NAUS.

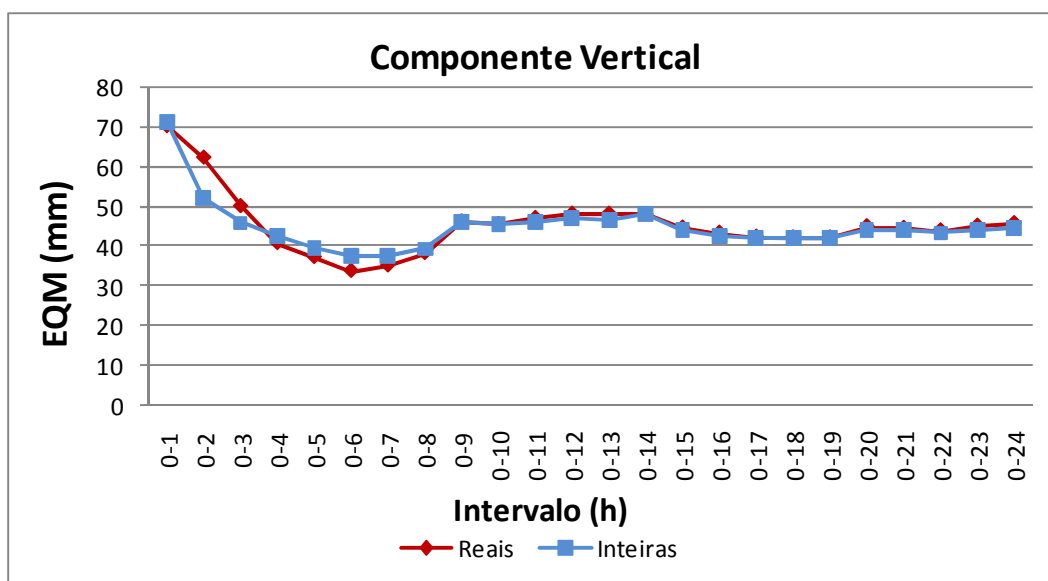


Figura 26 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente vertical na estação NAUS.

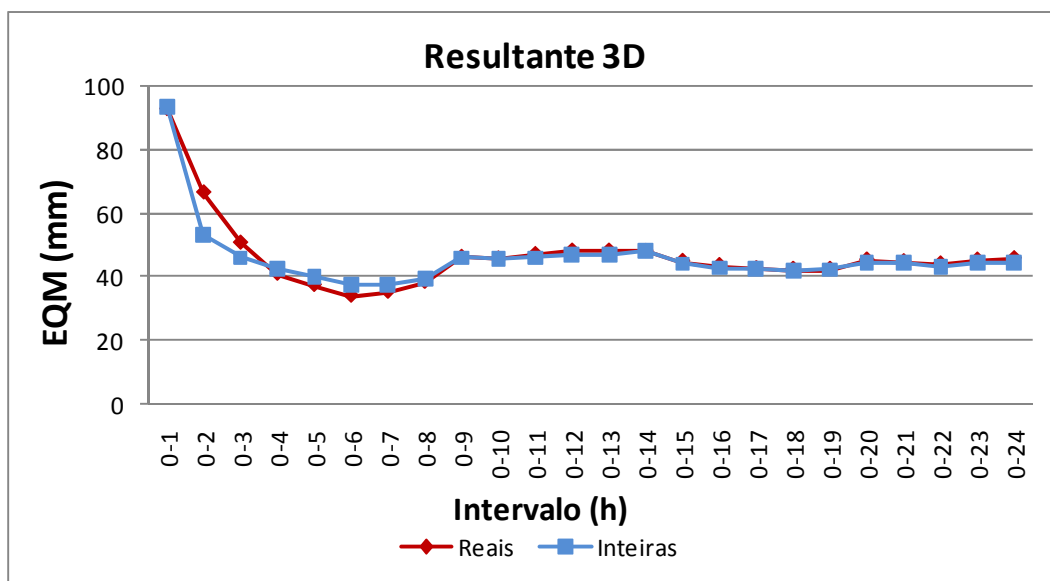


Figura 27 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - resultante 3D na estação NAUS.

A média das porcentagens de fixação na primeira hora de dados não alcançou o mínimo pré-estabelecido de 50%. Para todos os outros intervalos a porcentagem de fixação das ambiguidades não alcançou valores maiores que 85%, diferente das outras estações analisadas que alcançaram valores de até 100%, como por exemplo, a estação RECF, conforme pode ser visto no apêndice B.

6.4 Arquivos com 20 minutos de dados

O segundo experimento realizado foi com os dados de 20 minutos de observação. Na tabela 12 têm-se o EQM calculado para as soluções reais e inteiras quando comparadas com solução *SIR09P01*, para os sete dias de dados. Também são apresentadas as porcentagens de fixação das ambiguidades e as porcentagens de melhorias.

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

Tabela 12 – EQM calculado para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para 20 minutos de dados.

EQM	Soluções reais (mm)				Soluções Inteiras (mm)				% Fix	%melhoria			
Estação	EQM_e	EQM_n	EQM_u	EQM_{3D}	EQM_e	EQM_n	EQM_u	EQM_{3D}		e	n	u	3D
PSTE	128,8	64,0	350,6	379,0	129,1	64,9	357,1	385,2	81,6	-0,3	-1,4	-1,8	-1,6
RECF	165,9	71,8	251,5	309,7	166,5	75,2	279,4	333,8	80,4	-0,4	-4,6	-11,1	-7,8
BRAZ	122,5	45,0	265,7	296,0	129,7	54,5	304,7	335,6	77,2	-5,8	-21,2	-14,7	-13,4
POAL	96,7	46,5	196,4	223,8	84,7	46,0	187,3	210,6	87,6	12,4	1,1	4,7	5,9
NAUS	172,6	87,9	209,9	285,6	172,0	88,0	209,8	285,2	18,3	0,4	-0,1	0,1	0,1

Através da tabela 12 observa-se, a partir do EQM, que para as estações PSTE, RECF e BRAZ não houve melhorias com a solução de ambiguidades em nenhuma das componentes do sistema local.

Com relação à estação POAL, através da tabela 12 verifica-se que o EQM para a componente leste é 12,4% melhor para as soluções de ambiguidades inteiras do que as de ambiguidades reais. A componente norte obteve somente 1,1% de melhorias, mas a componente vertical melhorou 4,7%, o que resultou em 5,9% de melhorias na resultante 3D após solução das ambiguidades.

A estação NAUS obteve melhoria de 0,1% na resultante 3D, apesar da média das porcentagens de fixação ter sido inferior a 50%. Isso significa que algumas soluções tiveram porcentagem de fixação superior a 50%, porém não foram em quantidades suficientes para melhorar significativamente os resultados.

As figuras 28 a 31 proporcionam melhor visualização dos resultados mostrados na tabela 12.

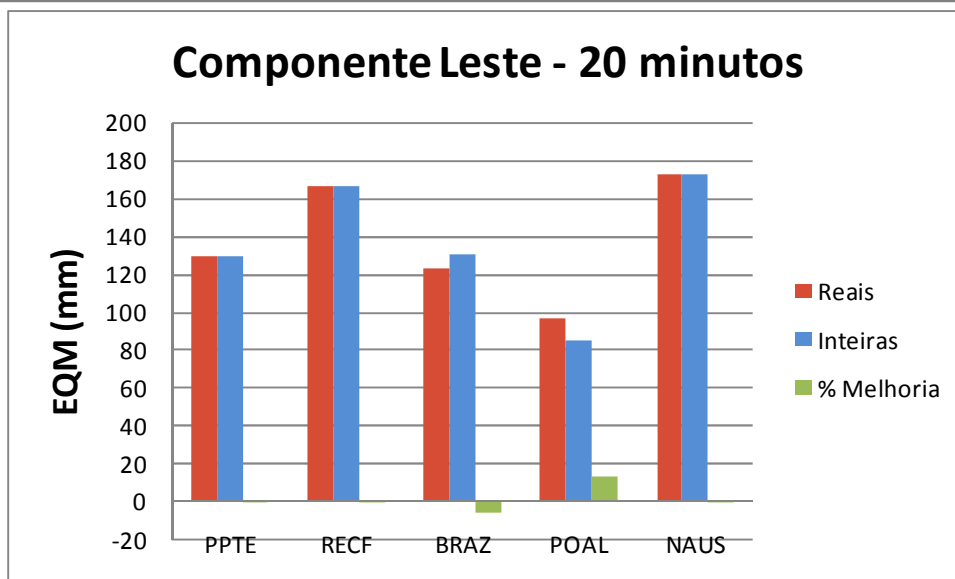


Figura 28 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 20 minutos de dados em relação à componente leste.

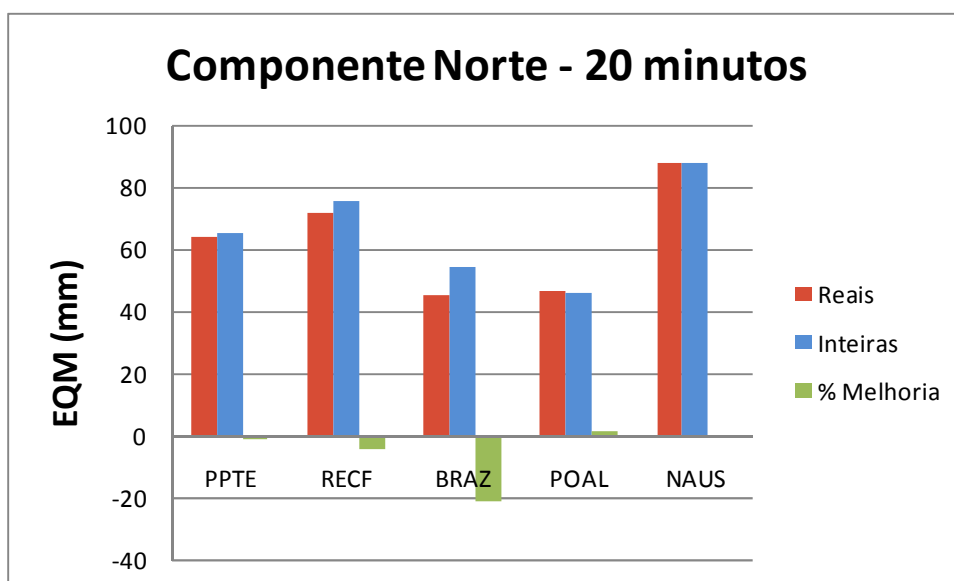


Figura 29 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 20 minutos de dados em relação à componente norte.

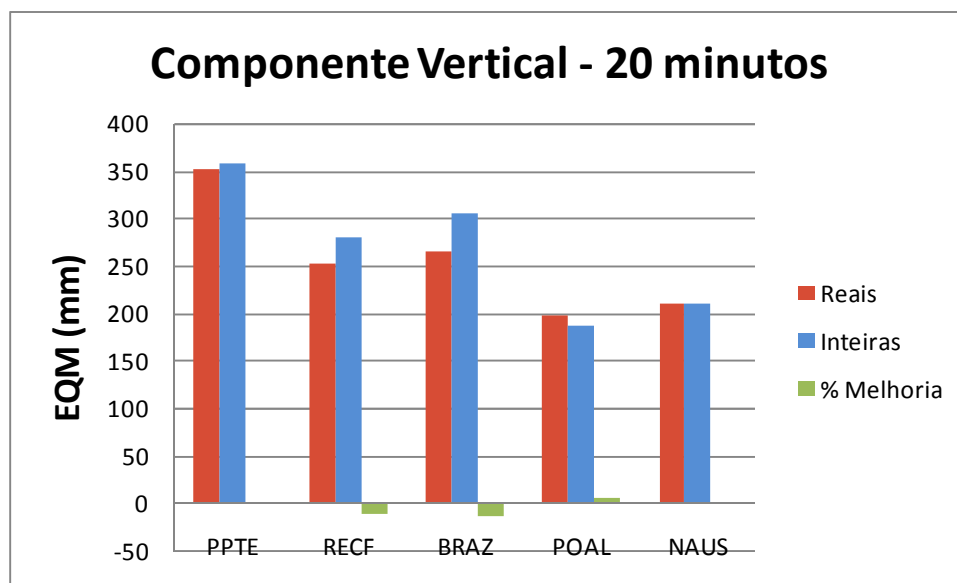


Figura 30 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 20 minutos de dados em relação à componente vertical.

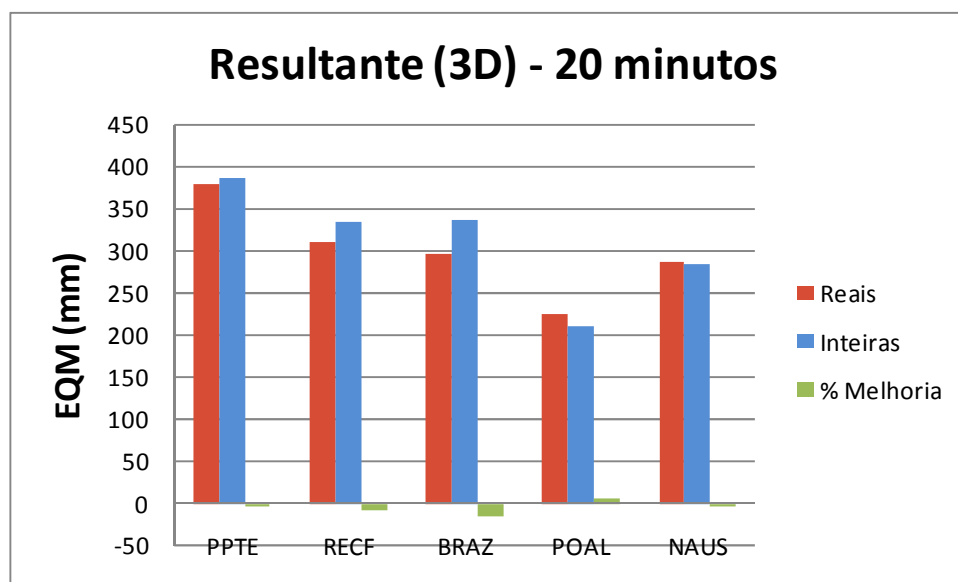


Figura 31 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 20 minutos de dados em relação à resultante.

A tabela 13 mostra o erro médio e o desvio-padrão formal das soluções reais e inteiras em 20 minutos de dados.

Tabela 13 – Erro médio e desvio-padrão formal calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para 20 minutos de dados.

Estação	Soluções reais (mm)							Soluções inteiras (mm)						
	$E_{\text{médio}}^e$	σ_e	$E_{\text{médio}}^n$	σ_n	$E_{\text{médio}}^u$	σ_u	$E_{\text{médio}}^{3D}$	$E_{\text{médio}}^e$	σ_e	$E_{\text{médio}}^n$	σ_n	$E_{\text{médio}}^u$	σ_u	$E_{\text{médio}}^{3D}$
PSTE	9,7	47,87	4,4	13,42	11,8	15,42	15,9	15,3	12,83	5,6	4,19	6,60	5,08	17,6
RECF	-3,3	29,3	-6,3	8,7	-59,2	6,6	59,6	-2,8	7,2	-8,7	1,9	-53,0	2,0	53,8
BRAZ	14,8	36,86	-4,7	9,34	-10,3	6,20	18,6	11,5	8,87	-7,0	2,47	-24,5	1,34	28,0
POAL	18,5	34,5	2,7	10,9	27,5	10,8	33,3	15,1	6,7	2,3	2,7	18,9	2,8	24,3
NAUS	-30,4	27,5	9,3	7,4	-48,8	9,6	58,2	-33,8	26,5	8,6	7,1	-47,1	9,2	58,5

A partir da tabela 13 verifica-se que o erro médio da resultante (3D), nas soluções inteiras, se apresentou melhor para as estações RECF e POAL (53,8mm e 24,3mm). A estação NAUS apresentou maiores valores de erro médio, nas soluções inteiras, em comparação com as outras estações (58,5mm na resultante). O erro médio nas soluções inteiras da estação POAL foi menor, para todas as componentes do sistema local, do que nas soluções reais.

Com relação ao desvio-padrão, após a solução das ambiguidades, obtiveram-se melhorias para todas as estações em todas as componentes do sistema local. As estações PSTE e NAUS apresentaram maiores valores de desvio-padrão nas soluções de ambiguidades inteiras. A estação NAUS apresentou na componente leste, nas soluções inteiras, o desvio-padrão de 26,5mm, maior valor obtido se comparado aos das outras estações.

6.5 Arquivos com 25 minutos de dados

Outro experimento realizado foi com os dados correspondentes a 25 minutos de observação. Na tabela 14 é apresentado o EQM calculado para as soluções reais e inteiras quando comparadas com a solução *SIR09P01*. Também são apresentadas as porcentagens de fixação das ambiguidades e as porcentagens de melhorias.

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

Tabela 14 – EQM calculado para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para 25 minutos de dados.

EQM	Soluções reais (mm)				Soluções Inteiras (mm)				% Fix	%melhoria			
Estação	EQM_e	EQM_n	EQM_u	EQM_{3D}	EQM_e	EQM_n	EQM_u	EQM_{3D}		e	n	u	3D
PSTE	110,8	56,4	222,9	255,2	103,6	60,9	214,2	245,6	87,4	6,5	-7,8	3,9	3,7
RECF	143,3	54,1	187,3	241,9	131,3	53,4	226,8	267,5	84,2	8,4	1,3	-21,1	-10,6
BRAZ	98,6	36,4	212,2	236,8	84,5	41,2	235,6	253,6	79,3	14,4	-13,1	-11,0	-7,1
POAL	82,5	37,8	159,1	183,2	57,3	28,6	138,8	152,9	90,1	30,6	24,3	12,7	16,5
NAUS	157,5	80,5	151,9	233,2	156,9	80,5	156,7	235,9	17,8	0,4	0,0	-3,1	-1,2

Em observação a tabela 14 se verifica que, com 25 minutos de dados se tem melhorias na componente leste, para as cinco estações, nas soluções de ambiguidades inteiras. A estação POAL chega a melhorar mais de 30% nessa mesma componentes, com o EQM de 82,5mm para as soluções de ambiguidades reais e 57,3mm nas soluções de ambiguidades inteiras. Na componente norte, novamente a estação POAL apresenta melhores resultados após a solução das ambiguidades.

Ainda em análise a componente norte, as estações BRAZ, PSTE e NAUS não obtiveram melhorias nessa componente com as soluções de ambiguidades inteiras. Com relação à componente vertical e resultante 3D, somente as estações PSTE e POAL obtiveram melhorias após a solução das ambiguidades.

As figuras 32 a 35 mostram graficamente o EQM nas soluções reais e inteiras e a porcentagem de melhoria após a solução das ambiguidades, para as cinco estações de teste.

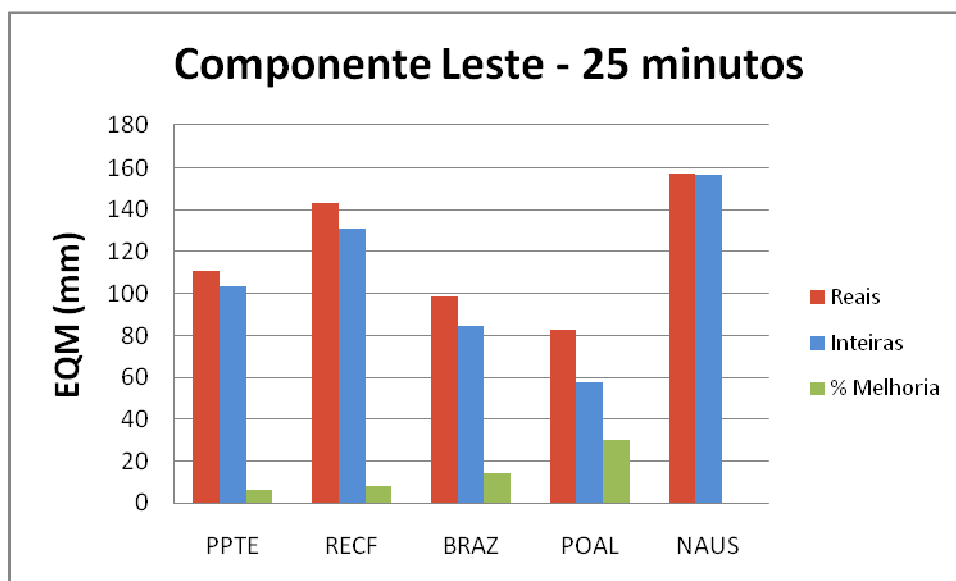


Figura 32 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 25 minutos de dados em relação à componente leste.

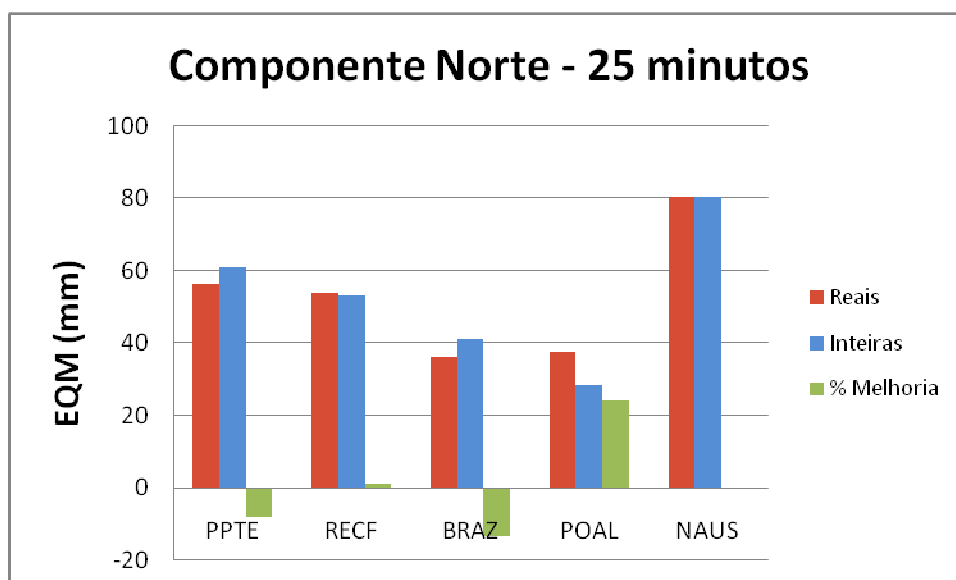


Figura 33 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 25 minutos de dados em relação à componente norte.

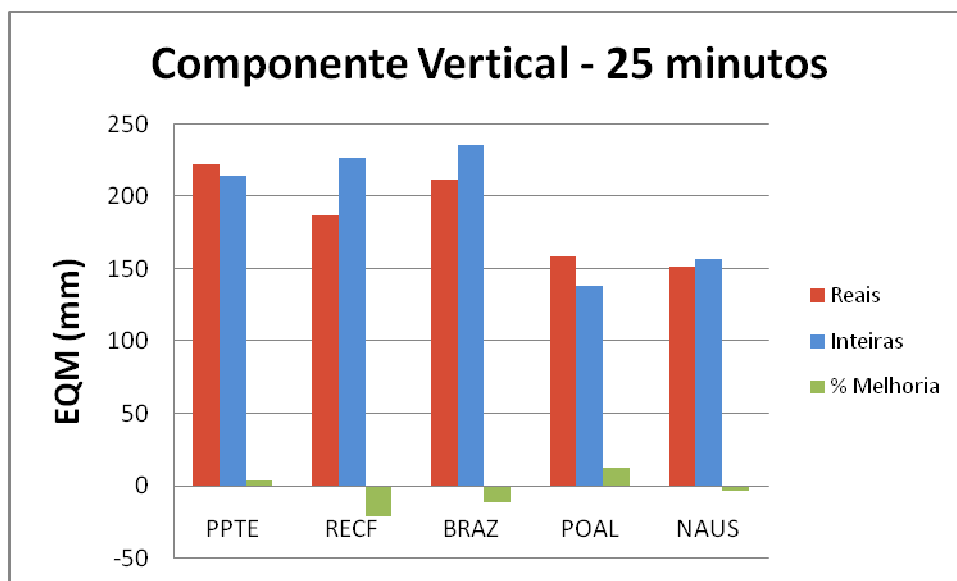


Figura 34 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 25 minutos de dados em relação à componente vertical.

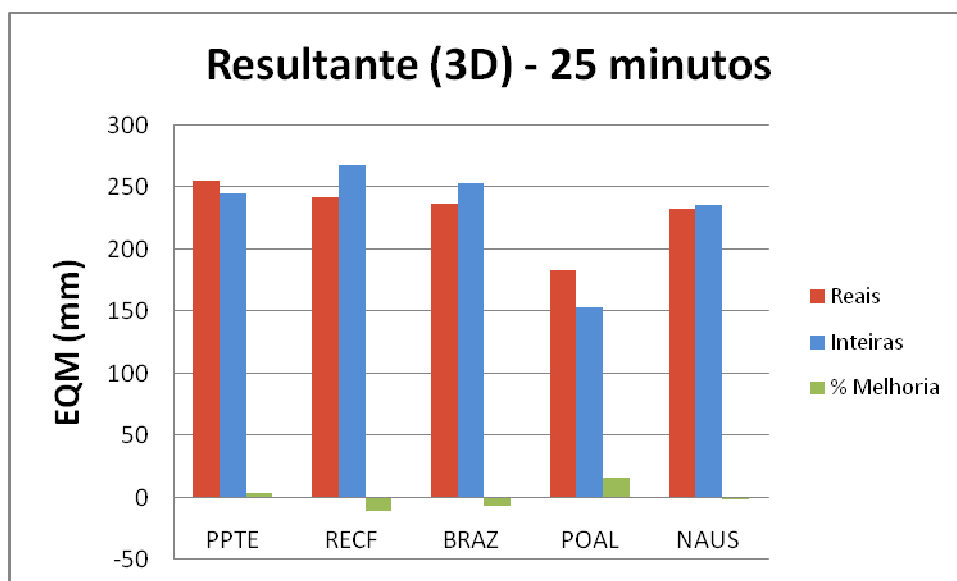


Figura 35 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 25 minutos de dados em relação à resultante.

A tabela 15 apresenta os resultados referentes ao erro médio e o desvio-padrão formal das soluções reais e inteiras para o experimento de 25 minutos de dados.

Tabela 15 – Erro médio e desvio-padrão formal calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para 25 minutos de dados.

Estação	Soluções reais (mm)							Soluções inteiras (mm)						
	$E_{\text{médio}}^e$	σ_e	$E_{\text{médio}}^n$	σ_n	$E_{\text{médio}}^u$	σ_u	$E_{\text{médio}}^{3D}$	$E_{\text{médio}}^e$	σ_e	$E_{\text{médio}}^n$	σ_n	$E_{\text{médio}}^u$	σ_u	$E_{\text{médio}}^{3D}$
PPTE	15,7	34,21	0,1	9,52	21,0	10,81	26,2	24,0	7,53	2,2	2,38	7,9	3,17	25,4
RECF	-2,8	22,0	-3,2	6,4	-49,5	4,9	49,7	-2,7	4,9	-1,7	1,2	-45,9	1,5	46,0
BRAZ	10,5	26,79	1,0	6,79	-10,6	4,66	15,0	11,3	6,77	-1,0	1,79	-25,1	1,05	27,6
POAL	12,2	25,4	5,9	7,9	13,2	7,8	18,9	5,9	5,5	2,1	2,2	4,1	2,2	7,5
NAUS	-26,0	20,9	8,8	5,6	-29,1	6,9	40,1	-26,7	20,1	9,1	5,3	-29,5	6,7	40,8

Nas estações RECF e POAL, o erro médio se mostrou melhor para as soluções inteiras em todas as componentes do sistema local. Na estação POAL todas as componentes tiveram melhorias acima de 50% após a solução das ambiguidades.

Na resultante (3D), os maiores valores de erro médio apresentados foram pelas estações NAUS e RECF, tanto para as soluções reais quanto para as soluções inteiras. A estação RECF, na resultante das soluções reais, obteve 49,7mm de erro médio, o maior valor obtido dentre todas as estações.

O desvio-padrão das soluções inteiras foi menor do que o das soluções reais em todas as componentes do sistema local, para todas as estações de teste, com valores abaixo de 10mm para todas as estações; com exceção de NAUS que na componente leste apresentou desvio de 20,1mm.

6.6 Arquivos com 30 minutos de dados

A tabela 16 apresenta os resultados do EQM, porcentagem de fixação das ambiguidades e porcentagem de melhorias obtidas no experimento realizado com os dados de 30 minutos.

Tabela 16 – EQM calculado para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para 30 minutos de dados.

EQM	Soluções reais (mm)				Soluções Inteiras (mm)				% Fix	%melhoria			
Estação	EQM_e	EQM_n	EQM_u	EQM_{3D}	EQM_e	EQM_n	EQM_u	EQM_{3D}		e	n	u	3D
PSTE	90,7	39,5	180,7	206,0	76,6	36,3	177,2	196,4	89,1	15,6	8,3	2,0	4,7
RECF	133,1	40,6	150,4	204,9	119,5	38,7	147,8	194,0	84,5	10,3	4,6	1,7	5,3
BRAZ	86,5	31,4	150,8	176,7	70,2	31,0	145,9	164,8	80,1	18,8	1,2	3,2	6,7
POAL	70,6	33,2	115,1	139,1	39,5	22,4	70,3	83,6	90,2	44,0	32,5	39,0	39,8
NAUS	138,5	85,1	128,8	207,4	137,5	85,0	129,8	207,3	17,7	0,7	0,2	-0,8	0,0

Em análise a tabela 16, em 30 minutos de dados o método de solução de ambiguidades para a estação PSTE resultou em uma melhoria de 15,6% no EQM da componente leste, 8,3% e 2% respectivamente, nas componentes norte e vertical. A resultante 3D melhorou 4,7%.

Na estação RECF, o EQM se mostra 10,3% melhor na componente leste com o valor de 119,5mm nas soluções com ambiguidades inteiras e com 133,1mm para a solução com ambiguidades reais. As componentes norte e vertical também apresentam melhorias de 4,6% e 1,7% respectivamente, resultando em 5,3% de melhoria posicional 3D após solução das ambiguidades.

Com relação à estação BRAZ, pode-se observar que as soluções de ambiguidades inteiras são melhores do que as reais chegando a 18,8% de melhoria na componente leste e 6,7% na resultante 3D.

Na estação POAL, o EQM da resultante 3D foi 39,8% melhor na solução inteira, quando comparada com o da solução real. As componentes leste, norte e vertical também tiveram valores menores de EQM após terem as ambiguidades solucionadas, com porcentagens de melhoria acima de 30%.

Pode ser melhor visualizado nas figuras 36 a 39, que com exceção da estação NAUS, o EQM foi menor em todas as componentes nas soluções de ambiguidades

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

inteiras. Dentre as cinco estações, com 30 minutos de dados, a estação POAL obteve melhores resultados após a solução das ambiguidades.

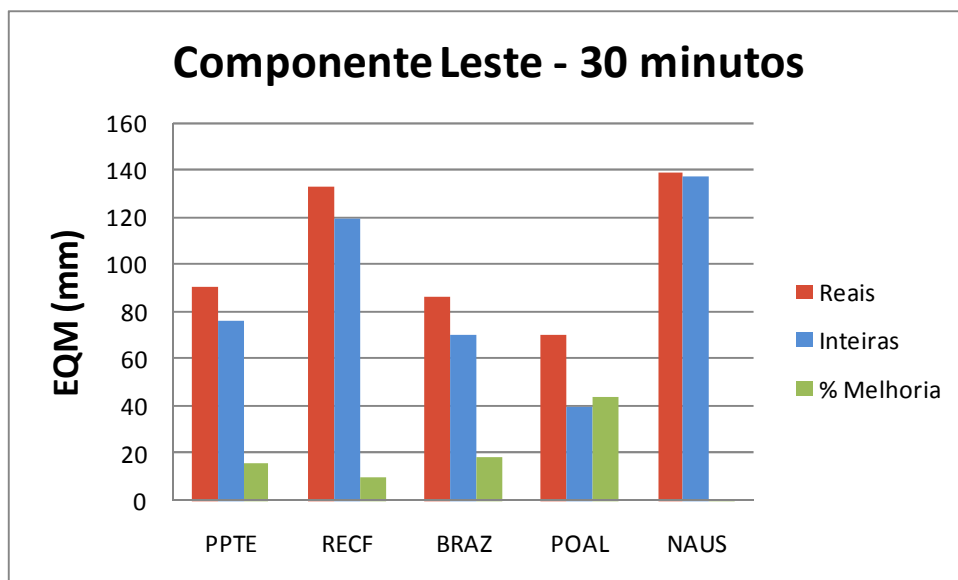


Figura 36 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 30 minutos de dados em relação à componente leste.

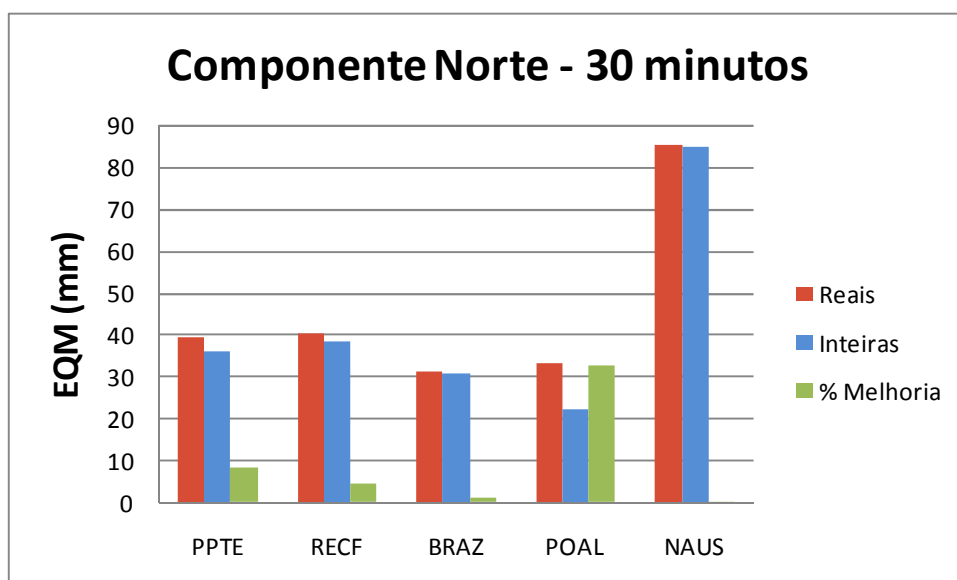


Figura 37 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 30 minutos de dados em relação à componente norte.

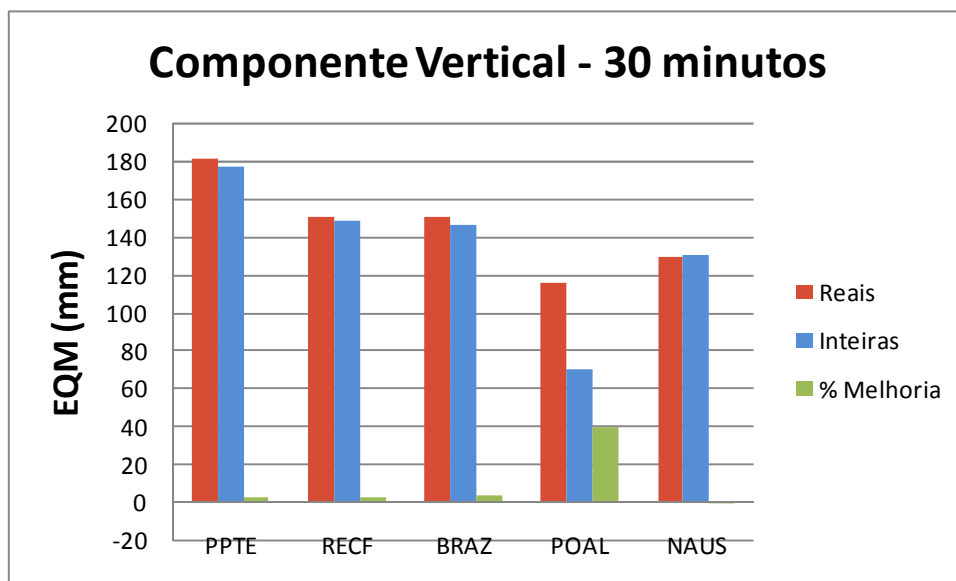


Figura 38 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 30 minutos de dados em relação à componente vertical.

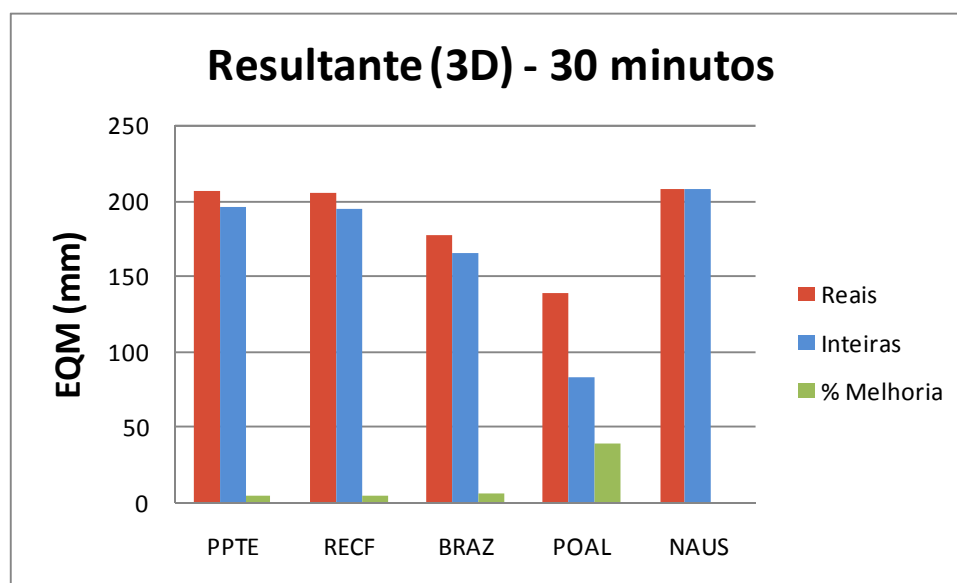


Figura 39 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 30 minutos de dados em relação à resultante.

Na tabela 17 se encontram os resultados referentes ao erro médio e o desvio-padrão formal das soluções reais e inteiras para o experimento de 30 minutos de dados.

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

Tabela 17 – Erro médio e desvio-padrão formal calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para 30 minutos de dados.

Estação	Soluções reais (mm)							Soluções inteiras (mm)						
	$E_{\text{médio}}^e$	σ_e	$E_{\text{médio}}^n$	σ_n	$E_{\text{médio}}^u$	σ_u	$E_{\text{médio}}^{3D}$	$E_{\text{médio}}^e$	σ_e	$E_{\text{médio}}^n$	σ_n	$E_{\text{médio}}^u$	σ_u	$E_{\text{médio}}^{3D}$
PPTE	17,2	25,43	1,0	7,22	10,3	7,86	20,1	11,3	5,28	4,4	1,75	1,8	2,04	12,3
RECF	1,5	17,4	0,7	4,9	-60,7	3,8	60,7	5,5	4,3	2,1	1,1	-40,8	1,3	41,2
BRAZ	13,0	20,50	2,8	5,23	-6,3	3,63	14,7	13,3	5,40	0,3	1,50	-16,5	0,80	21,2
POAL	6,5	19,6	5,7	6,1	4,7	6,0	9,8	-2,2	3,9	3,1	1,5	-9,2	1,6	9,9
NAUS	-17,4	16,6	8,0	4,4	-26,1	5,4	32,4	-17,7	15,6	7,0	4,1	-23,3	5,0	30,0

Em análise ao erro médio, verifica-se que na estação PPTE somente a componente norte não obteve melhorias nas soluções inteiras. A componente vertical melhorou mais de 80% após a solução das ambiguidades.

A componente vertical da estação RECF, na solução real, teve o maior valor de erro médio, em comparação a de todas as outras componentes, em todas as estações. Pelo fato do erro médio das componentes leste e norte terem sido pequenos nas soluções reais desta estação (1,5mm e 0,7mm), o erro médio da componente vertical influenciou diretamente no erro médio da resultante 3D, que foi de 60,7mm. Após a solução das ambiguidades, o erro médio da componente vertical melhorou cerca de 30% e em consequência disso, a resultante também foi 30% melhor nas soluções inteiras com o valor de 41,2mm.

Na estação BRAZ, somente a componente norte apresentou melhores resultados de erro médio após a solução das ambiguidades. Na estação POAL, o erro médio da componente leste foi cerca de 60% melhor nas soluções inteiras. Na estação NAUS somente a componente leste não melhorou após a solução das ambiguidades. As outras componentes desta estação obtiveram em média 10% de melhorias.

O maior valor de desvio-padrão encontrado foi na componente leste da estação PPTE, com 25,43mm, para as soluções reais. Após a solução das ambiguidades, este valor passou a ser 5,28mm, representado 80% de melhoria. As

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

outras estações também tiveram o desvio-padrão melhor nas soluções de ambiguidades inteiras.

6.7 Arquivos com 40 minutos de dados

Os resultados obtidos a partir do experimento realizado com arquivos de 40 minutos de dados são apresentados na tabela 18 na forma de EQM, porcentagem de fixação e porcentagem de melhoria.

Tabela 18 – EQM calculado para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para 40 minutos de dados.

EQM	Soluções reais (mm)				Soluções Inteiras (mm)				% Fix	%melhoria			
Estação	EQM _e	EQM _n	EQM _u	EQM _{3D}	EQM _e	EQM _n	EQM _u	EQM _{3D}		e	n	u	3D
PSTE	81,2	28,2	108,3	138,3	57,4	23,0	96,7	114,8	89,5	29,4	18,2	10,7	17,0
RECF	106,3	31,2	108,2	154,9	107,2	28,5	108,6	155,2	87,3	-0,8	8,5	-0,4	-0,2
BRAZ	59,5	21,0	89,5	109,5	26,4	16,7	70,4	77,0	81,4	55,7	20,8	21,3	29,7
POAL	51,3	23,9	82,4	100,0	24,0	15,6	63,1	69,3	91,8	53,2	34,5	23,4	30,7
NAUS	113,1	53,7	104,1	162,8	111,2	53,3	103,9	161,2	20,3	1,7	0,7	0,2	1,0

A partir da tabela 18, observa-se que o EQM das soluções inteiras na estação RECF, em 40 minutos de dados, não alcançou bons resultados em relação às reais, para as componentes leste, vertical e em consequência para resultante 3D. Isso pode ter sido ocasionado pelas perdas de sinais dos satélites que ocorreram nas primeiras horas do dia 08 de agosto de 2009 nesta estação.

Com relação à estação PSTE, é possível observar, de acordo com a tabela 18, que o EQM da posição 3D é 17,0% melhor na solução inteira quando comparada com o da solução real. Nesta mesma estação o EQM da componente leste, após solução das ambiguidades, passa da ordem de 81,2mm para 57,4mm. As componentes norte e vertical também obtiveram melhorias após a solução das ambiguidades.

Na estação BRAZ as soluções inteiras já diferem bastante das soluções reais. A porcentagem de melhoria do EQM obtida, após a solução das ambiguidades, para

a componente leste, chega a ser maior que 50% e para as componentes norte, vertical e resultante 3D acima de 20%.

No que refere à estação POAL, verifica-se que o EQM em leste na solução com ambiguidades inteiras foi 53,2% melhor do que a solução de ambiguidades reais. Os valores foram da ordem de 51,3mm para as soluções reais e 24,0mm para as soluções inteiras. Nas componentes norte e na vertical a melhoria foi de 34,5% e 23,4%, respectivamente.

A estação NAUS, com 40 minutos de dados, ainda apresenta a percentagem de fixação inferior a 50% e a maior percentagem de melhoria obtida foi de 1,7% na componente leste. Os valores de EQM, calculados tanto para as soluções reais como para as soluções inteiras nesta estação, também foram os mais altos em comparação com os obtidos para as outras estações.

As estações BRAZ e POAL apresentaram menores resultados de EQM e maiores percentagens de melhorias após a solução das ambiguidades. As figuras 40 a 43 mostram com mais clareza o EQM calculado para as estações nas soluções reais e inteiras e a percentagem de melhoria obtida.

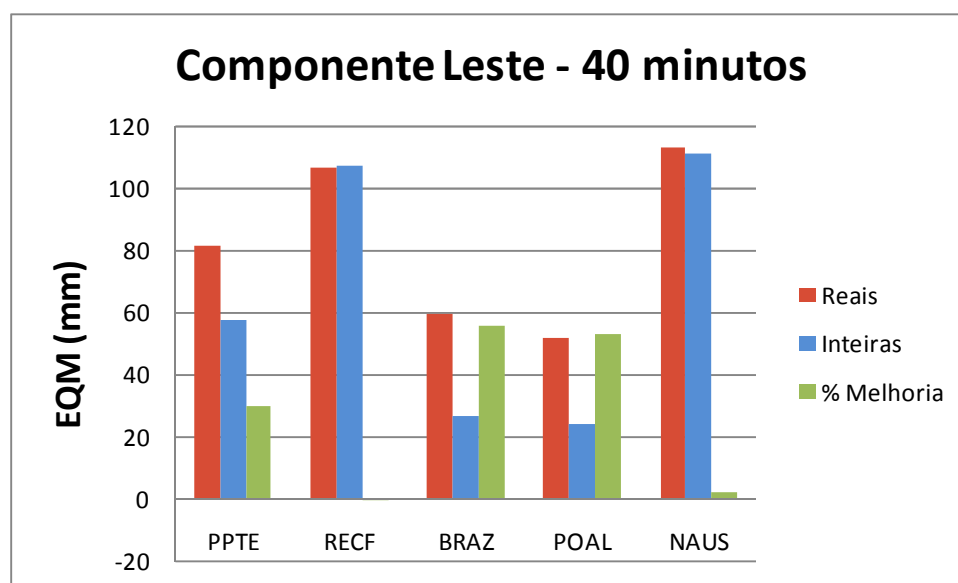


Figura 40 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 40 minutos de dados em relação à componente leste.

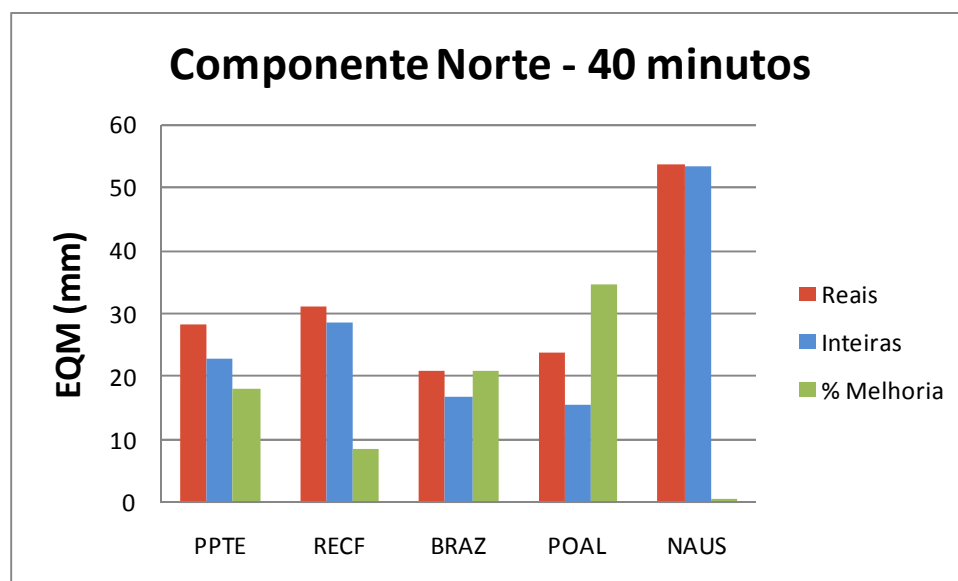


Figura 41 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 40 minutos de dados em relação à componente norte.

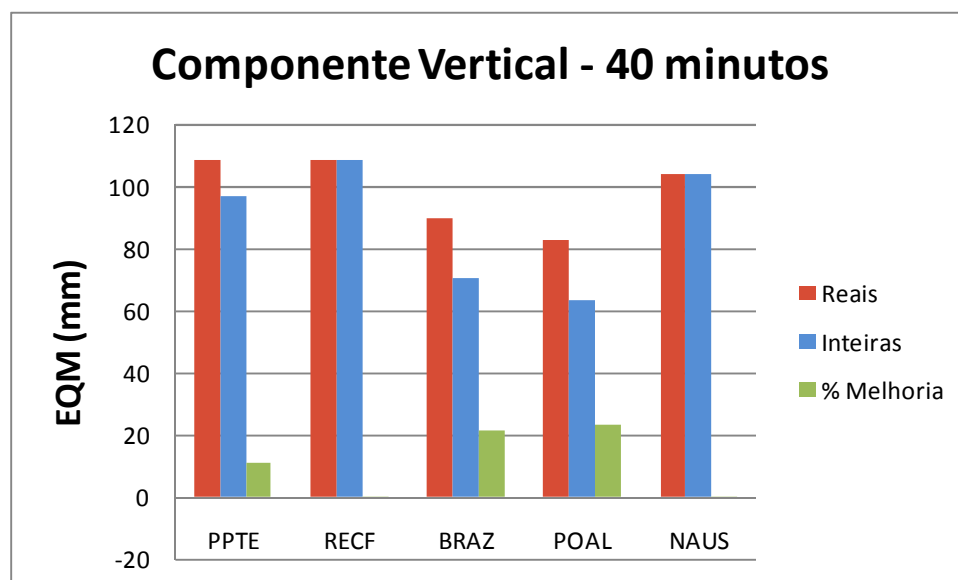


Figura 42 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 40 minutos de dados em relação à componente vertical.

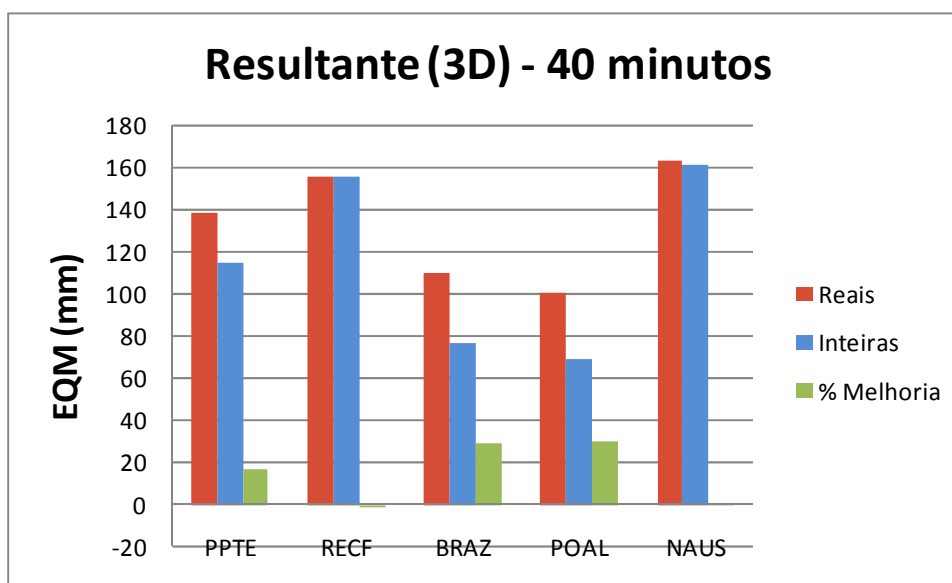


Figura 43 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 40 minutos de dados em relação à resultante.

A tabela 19 apresenta os resultados obtidos, com o experimento de 40 minutos de dados, na forma de erro médio e desvio-padrão.

Tabela 19 – Erro médio e desvio-padrão formal calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para 40 minutos de dados.

Estação	Soluções reais (mm)							Soluções inteiras (mm)						
	$E_{\text{médio}}^e$	σ_e	$E_{\text{médio}}^n$	σ_n	$E_{\text{médio}}^u$	σ_u	$E_{\text{médio}}^{3D}$	$E_{\text{médio}}^e$	σ_e	$E_{\text{médio}}^n$	σ_n	$E_{\text{médio}}^u$	σ_u	$E_{\text{médio}}^{3D}$
PPTE	12,5	16,11	3,6	4,75	2,4	4,67	13,2	5,8	3,64	3,4	1,20	-6,4	1,40	9,3
RECF	0,6	12,0	1,5	3,3	-39,6	2,5	39,7	1,6	3,1	1,2	0,8	-20,5	1,0	20,6
BRAZ	9,5	13,42	3,4	3,50	-5,4	2,49	11,4	6,3	3,64	3,8	1,00	-4,1	0,47	8,4
POAL	-3,1	12,8	8,2	3,9	4,6	3,9	9,9	-3,4	2,9	5,0	1,1	-5,3	1,2	8,0
NAUS	-3,6	11,5	5,5	3,0	-19,7	3,6	20,7	-2,8	10,9	4,9	2,8	-21,5	3,5	22,2

Analisando o erro médio na estação RECF, verifica-se que este por sua vez, na posição 3D, se apresenta melhor na solução de ambiguidades inteiras, com valores de -20,5mm para a solução inteira e 39,7mm para a solução real. Esses resultados são diferentes dos obtidos com relação ao EQM (tabela 18) que, neste

mesmo experimento, para esta mesma estação, não apresentaram bons resultados após a solução das ambiguidades.

O erro médio das soluções obtidas para a estação NAUS se apresentou menor para as componentes leste e norte após a solução das ambiguidades. O mesmo não aconteceu com a componente vertical e resultante 3D. Algo importante observar é que os valores de erro médio apresentados com dados de 40 minutos já são bem menores do que os dos experimentos de 20, 25 e 30 minutos de dados.

Nas estações PPTE, RECF, BRAZ e POAL, o desvio-padrão obtido, nas soluções inteiras, para todas as componentes, foi abaixo de 4mm, chegando alguns valores abaixo de 1mm, como por exemplo, para as componentes norte e vertical das estações RECF e BRAZ, respectivamente.

6.8 Arquivos com 50 minutos de dados

Na tabela 20 encontram-se os resultados obtidos referentes ao experimento realizado com arquivos de 50 minutos de dados. Da mesma forma que nos demais experimentos, esses resultados são apresentados na forma de EQM, porcentagem de fixação e porcentagem de melhoria.

Tabela 20 – EQM calculado para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para 50 minutos de dados.

EQM	Soluções reais (mm)				Soluções Inteiras (mm)				% Fix	%melhoria			
Estação	EQM_e	EQM_n	EQM_u	EQM_{3D}	EQM_e	EQM_n	EQM_u	EQM_{3D}		e	n	u	3D
PPTE	60,7	21,0	85,8	107,1	40,0	14,7	83,2	93,5	90,4	34,1	29,8	3,0	12,7
RECF	84,7	26,0	83,2	121,6	69,9	20,0	68,1	99,6	88,3	17,5	23,0	18,2	18,1
BRAZ	49,9	16,4	68,3	86,2	27,3	11,4	43,2	52,3	80,8	45,3	30,7	36,8	39,3
POAL	37,9	16,9	54,5	68,5	15,7	9,5	35,8	40,3	92,2	58,5	43,7	34,3	41,2
NAUS	83,2	30,7	83,4	121,7	82,3	31,4	81,7	120,2	22,5	1,1	-2,3	2,0	1,3

A partir da tabela 20, na estação PPTE, verifica-se que o EQM da posição 3D na solução com ambiguidades inteiras foi 12,7% melhor do que na solução real, com valores da ordem de 93,5mm e 107,1mm, respectivamente.

Na estação RECF, se pode observar, nas componentes leste, norte, vertical e resultante 3D, que o EQM calculado para as soluções inteiras foi menor do que o das soluções de ambiguidades reais. Nesta estação, a componente norte apresentou melhores resultados, se mantendo com 20mm de EQM na solução inteira. As componentes leste e vertical após terem as ambiguidades solucionadas permaneceram com valores abaixo de 70mm.

Novamente, as estações BRAZ e POAL apresentaram menores valores de EQM nas soluções inteiras e maiores porcentagens de melhorias do que as outras estações. A maior porcentagem de melhoria obtida pela estação NAUS foi de 2% na componente vertical.

As figuras 44 a 47 ilustram o EQM das soluções de ambiguidades inteiras e reais e a porcentagem de melhoria após a solução das ambiguidades, no experimento de 50 minutos de dados.

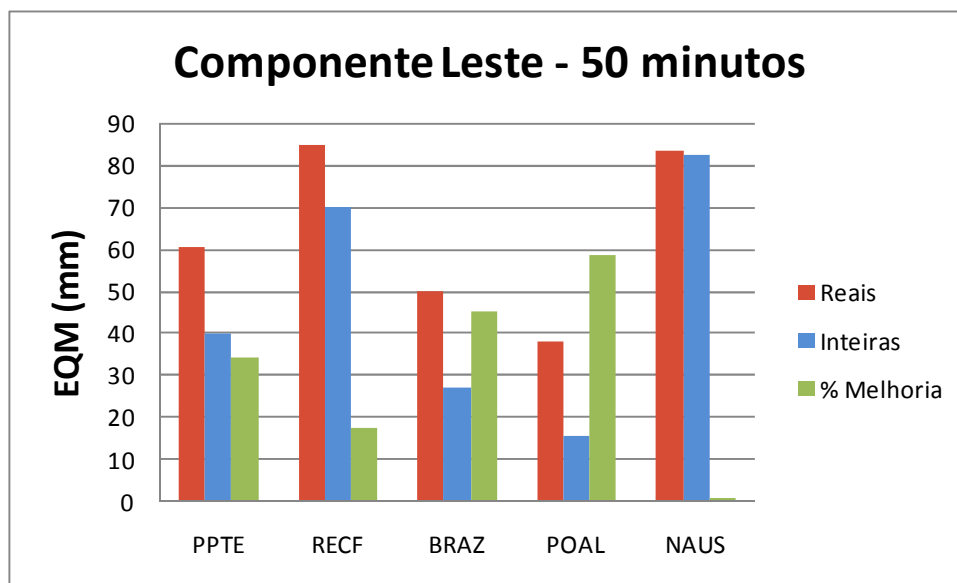


Figura 44 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 50 minutos de dados em relação à componente leste.

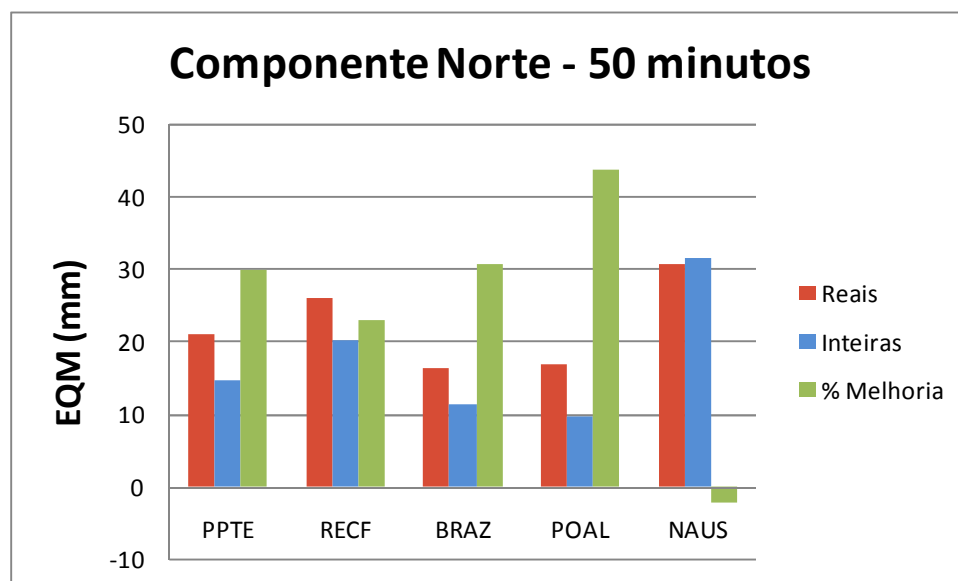


Figura 45 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 50 minutos de dados em relação à componente norte.

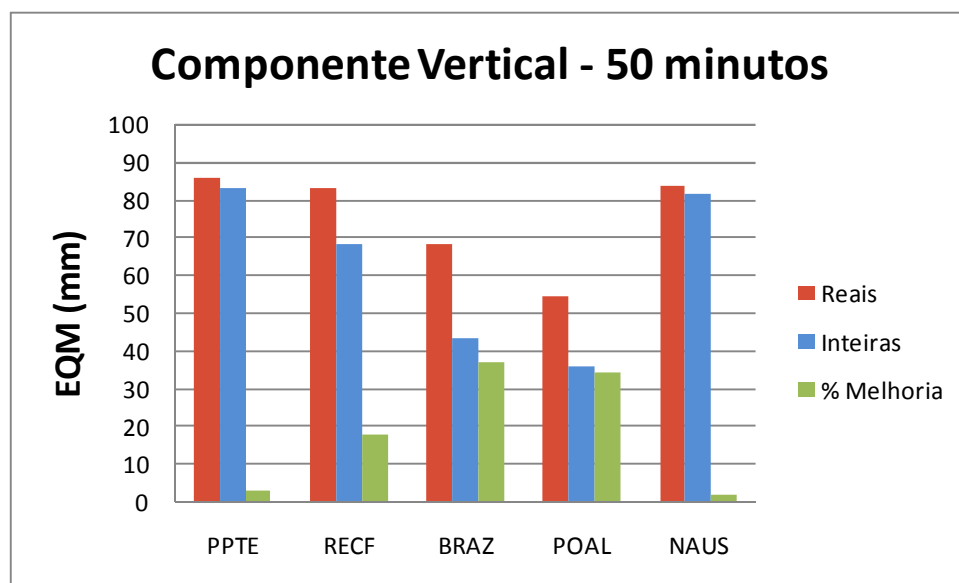


Figura 46 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 50 minutos de dados em relação à componente vertical.

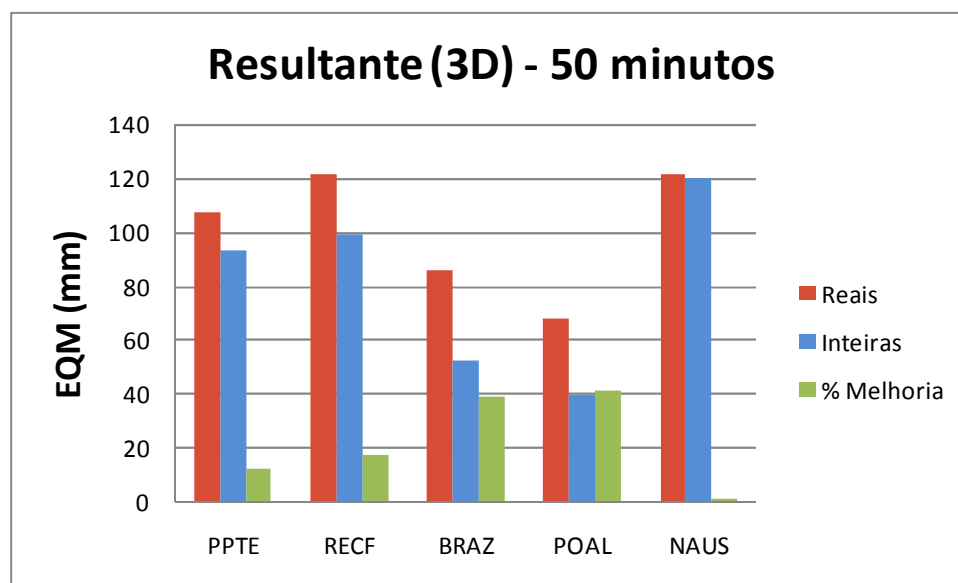


Figura 47 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 50 minutos de dados em relação à resultante.

Na tabela 21 são apresentados os valores de Erro médio e desvio-padrão formal para as soluções de ambiguidades reais e inteiras obtidas no experimento com dados de 50 minutos.

Tabela 21 – Erro médio e desvio-padrão formal calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para 50 minutos de dados.

Estação	Soluções reais (mm)							Soluções inteiras (mm)						
	$E_{\text{médio}}^e$	σ_e	$E_{\text{médio}}^n$	σ_n	$E_{\text{médio}}^u$	σ_u	$E_{\text{médio}}^{3D}$	$E_{\text{médio}}^e$	σ_e	$E_{\text{médio}}^n$	σ_n	$E_{\text{médio}}^u$	σ_u	$E_{\text{médio}}^{3D}$
PPTE	9,3	11,12	2,8	3,32	-3,6	2,96	10,3	3,9	2,58	3,3	0,86	-17,2	0,95	18,0
RECF	0,8	8,7	0,3	2,4	-27,6	1,7	27,7	-4,6	2,4	1,6	0,6	-15,3	0,8	16,1
BRAZ	9,2	9,61	2,6	2,55	-8,4	1,71	12,7	6,8	2,85	3,4	0,79	-6,6	0,34	10,0
POAL	-5,8	9,3	7,4	2,8	-1,8	2,8	9,5	-7,4	2,4	5,0	0,9	-10,9	1,0	14,1
NAUS	-3,1	8,5	5,0	2,2	-21,4	2,6	22,2	-3,9	7,8	3,7	2,0	-21,8	2,4	22,5

Em análise a tabela 21, verifica-se que na estação PPTE, com relação ao erro médio, só foram obtidas melhorias com a solução de ambiguidades para a componente leste. Já na estação RECF os resultados para as componentes vertical e resultante 3D foram melhores para as soluções de ambiguidades inteiras.

Quanto à estação BRAZ, a melhoria na resultante 3D foi por volta de 20% após a solução das ambiguidades. Nas estações POAL e NAUS, somente a componente norte obteve melhorias com as soluções de ambiguidades inteiras.

É importante observar na tabela 21, que o erro médio em geral apresenta valores pequenos tanto para as soluções reais quanto para as soluções inteiras. Nas soluções inteiras, o maior valor de erro médio calculado foi de 22,5mm (resultante da estação NAUS).

O desvio-padrão formal foi menor para todas as soluções de ambiguidades inteiras, com valores $\geq 1\text{mm}$, nas componentes norte e vertical, para as estações PPTE, RECF, BRAZ e POAL.

6.9 Arquivos com 60 minutos de dados

O último experimento realizado nesta pesquisa foi com os arquivos contendo 60 minutos de dados. A tabela 22 apresenta os resultados, em forma de EQM, porcentagem de fixação e porcentagem de melhoria, referentes a esse experimento.

Tabela 22 – EQM calculado para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para 60 minutos de dados.

EQM	Soluções reais (mm)				Soluções Inteiras (mm)				% Fix	%melhoria			
Estação	EQM _e	EQM _n	EQM _u	EQM _{3D}	EQM _e	EQM _n	EQM _u	EQM _{3D}		e	n	u	3D
PPTE	44,9	15,2	54,5	72,2	16,7	8,2	38,0	42,3	92,0	62,9	46,3	30,2	41,5
RECF	60,1	19,5	65,1	90,7	35,0	12,2	58,4	69,1	89,1	41,7	37,3	10,3	23,8
BRAZ	39,1	13,4	48,4	63,7	18,5	8,8	31,0	37,2	81,5	52,7	34,0	35,9	41,6
POAL	30,2	14,5	43,8	55,1	10,4	7,9	23,1	26,5	92,1	65,6	45,4	47,3	51,9
NAUS	75,0	23,4	70,4	105,6	71,9	22,7	68,8	102,0	28,2	4,2	3,2	2,3	3,3

Na tabela 22, verifica-se que para todas as estações, no experimento com 60 minutos de dados, os resultados obtidos pelas soluções inteiras foram melhores do que os obtidos pelas soluções reais.

O EQM da componente leste, na solução com ambiguidades inteiras, na estação PPTE, chega a ser aproximadamente 63% melhor do que a solução com ambiguidades reais. Nesta estação, o EQM na resultante 3D para as soluções inteiras é de 42,3mm e de 72,2mm para as soluções reais.

O EQM da componente leste, na solução com ambiguidades inteiras, na estação RECF, chega a ser aproximadamente 42% melhor do que a solução com ambiguidades reais. O EQM nesta mesma componente para as soluções inteiras é de 35,0mm e de 60,1mm nas soluções reais. As componentes norte e vertical também possuem o EQM menor para as soluções inteiras.

Na estação BRAZ os valores de EQM para as soluções inteiras são abaixo de 40mm para as componentes vertical e 3D e abaixo de 20mm para as componentes leste e norte. Na estação POAL, os valores nas soluções inteiras são abaixo de 27mm para todas as componentes. Nesta mesma estação, a porcentagem de melhoria do EQM da componente leste após a solução de ambiguidades foi de 65,6%.

As figuras 48 a 51 apresentam graficamente o EQM calculado a partir das soluções reais e inteiras e a porcentagem de melhoria para o experimento de 60 minutos de dados.

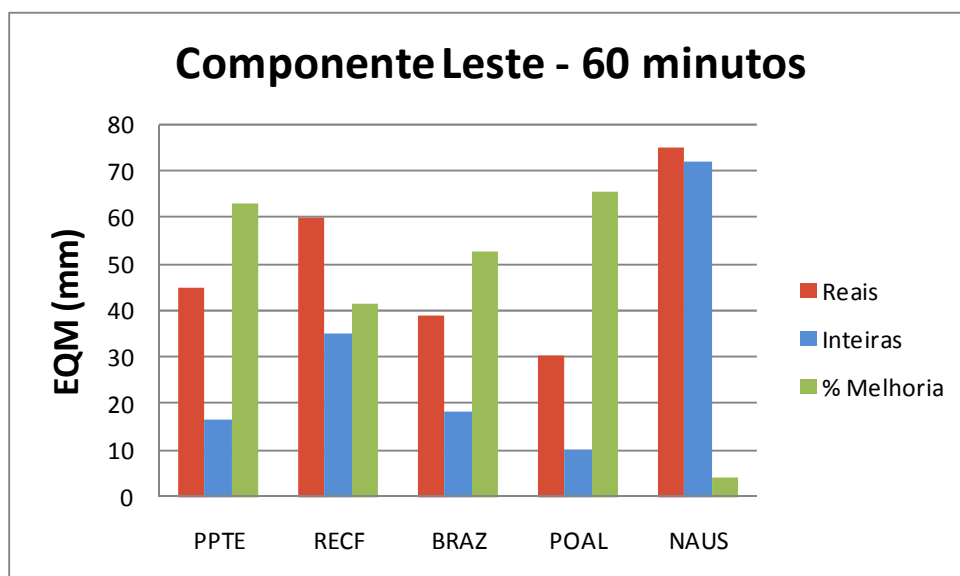


Figura 48 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 60 minutos de dados em relação à componente leste.

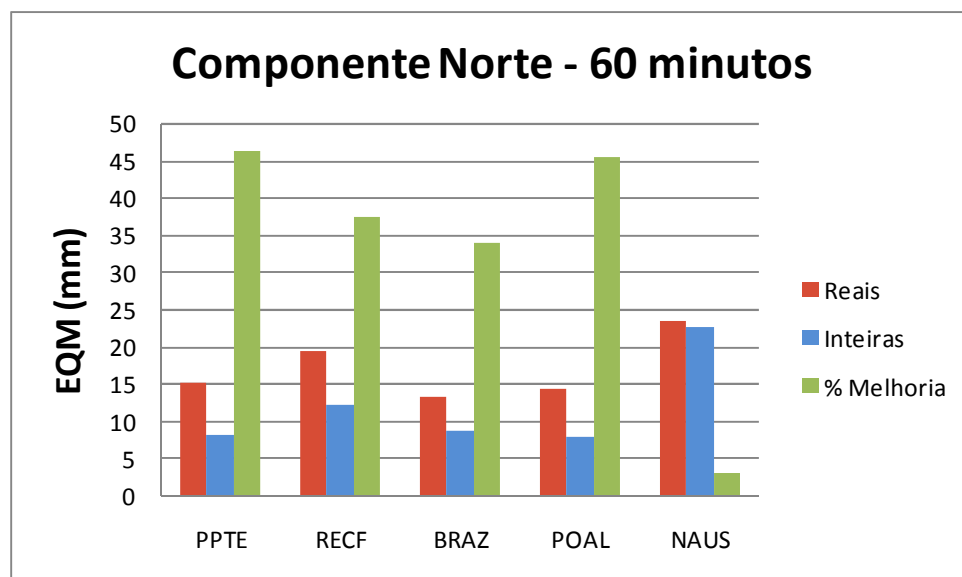


Figura 49 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 60 minutos de dados em relação à componente norte.

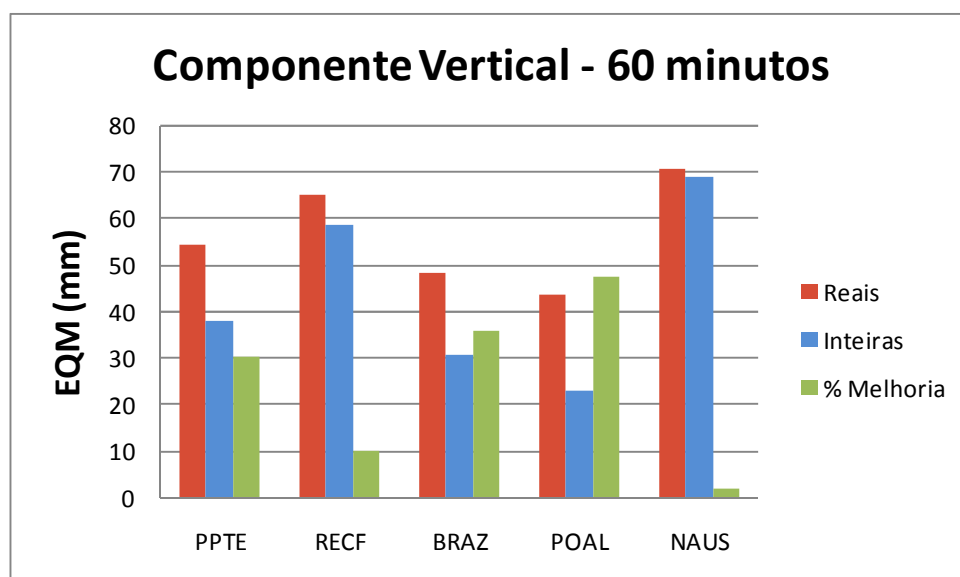


Figura 50 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 60 minutos de dados em relação à componente vertical.

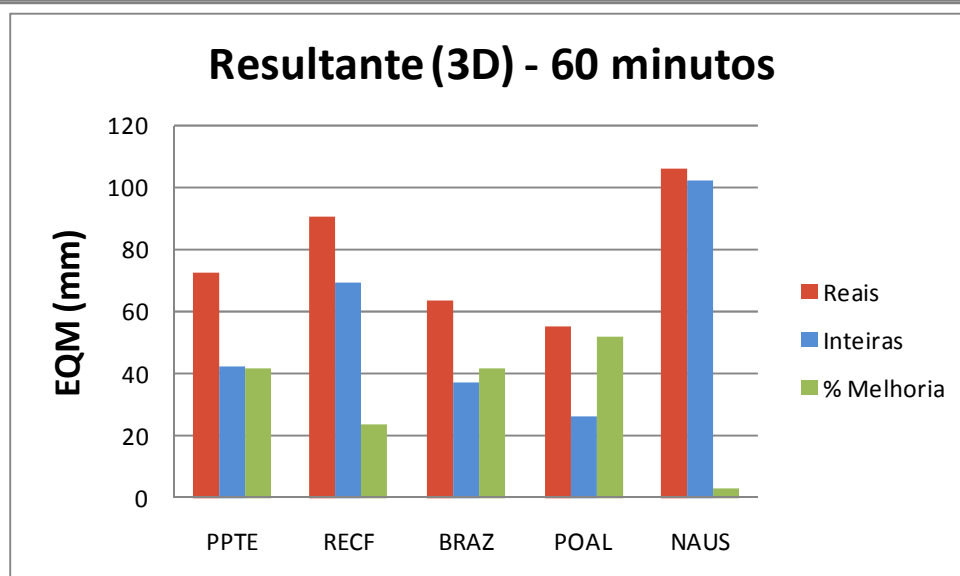


Figura 51 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras em 60 minutos de dados em relação à resultante.

A partir das figuras 48 a 51 se observa uma diferença entre os resultados obtidos pela estação NAUS e os resultados obtidos para as outras estações. As porcentagens de melhoria para a estação NAUS após a solução das ambiguidades não foram superiores a 5%, enquanto para as outras quatro estações de teste as porcentagens de melhoria foram entre 10 a 66%. A tabela 23 apresenta os valores de Erro médio e desvio-padrão formal para as soluções de ambiguidades reais e inteiras.

Tabela 23 – Erro médio e desvio-padrão formal calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução *SIR09P01* para 60 minutos de dados.

Estação	Soluções reais (mm)							Soluções inteiras (mm)						
	$E_{\text{médio}} e$	σ_e	$E_{\text{médio}} n$	σ_n	$E_{\text{médio}} u$	σ_u	$E_{\text{médio}} 3D$	$E_{\text{médio}} e$	σ_e	$E_{\text{médio}} n$	σ_n	$E_{\text{médio}} u$	σ_u	$E_{\text{médio}} 3D$
PPTE	7,3	8,45	2,0	2,51	-5,2	2,14	9,2	2,8	2,15	2,4	0,72	-20,5	0,76	20,9
RECF	-0,9	6,6	0,1	1,8	-24,5	1,3	24,5	-4,2	2,0	0,9	0,6	-14,8	0,6	15,5
BRAZ	3,5	7,23	2,9	1,91	-8,2	1,23	9,4	3,8	2,24	3,0	0,63	-6,7	0,28	8,3
POAL	-6,4	7,1	7,0	2,1	-4,1	2,1	10,3	-7,7	2,0	5,2	0,8	-8,7	0,9	12,8
NAUS	-10,6	6,5	2,8	1,7	-27,0	1,9	29,1	-10,4	5,7	1,6	1,4	-26,6	1,8	28,6

Observa-se na tabela 23 que os valores de erro médio das soluções inteiras são valores abaixo de 21mm para as estações PPTE, RECF, BRAZ e POAL, sendo

que na componente norte da estação RECF esse valor é abaixo de 1mm. O desvio-padrão foi melhor para todas as soluções inteiras, com valores menores que 1mm nas componentes norte e vertical das estações PPTE, RECF, BRAZ e POAL. Na estação NAUS também foram obtidas melhorias com o desvio-padrão após a solução das ambiguidades.

6.10 Resumo dos resultados apresentados

Para visualização geral dos resultados obtidos foram gerados gráficos que permitem uma análise comparativa do comportamento do EQM das soluções inteiras e reais em 20, 25, 30, 40, 50 e 60 minutos de dados para as cinco estações de teste. Estes resultados gráficos estão expostos nas figuras 52, 53 e 54.

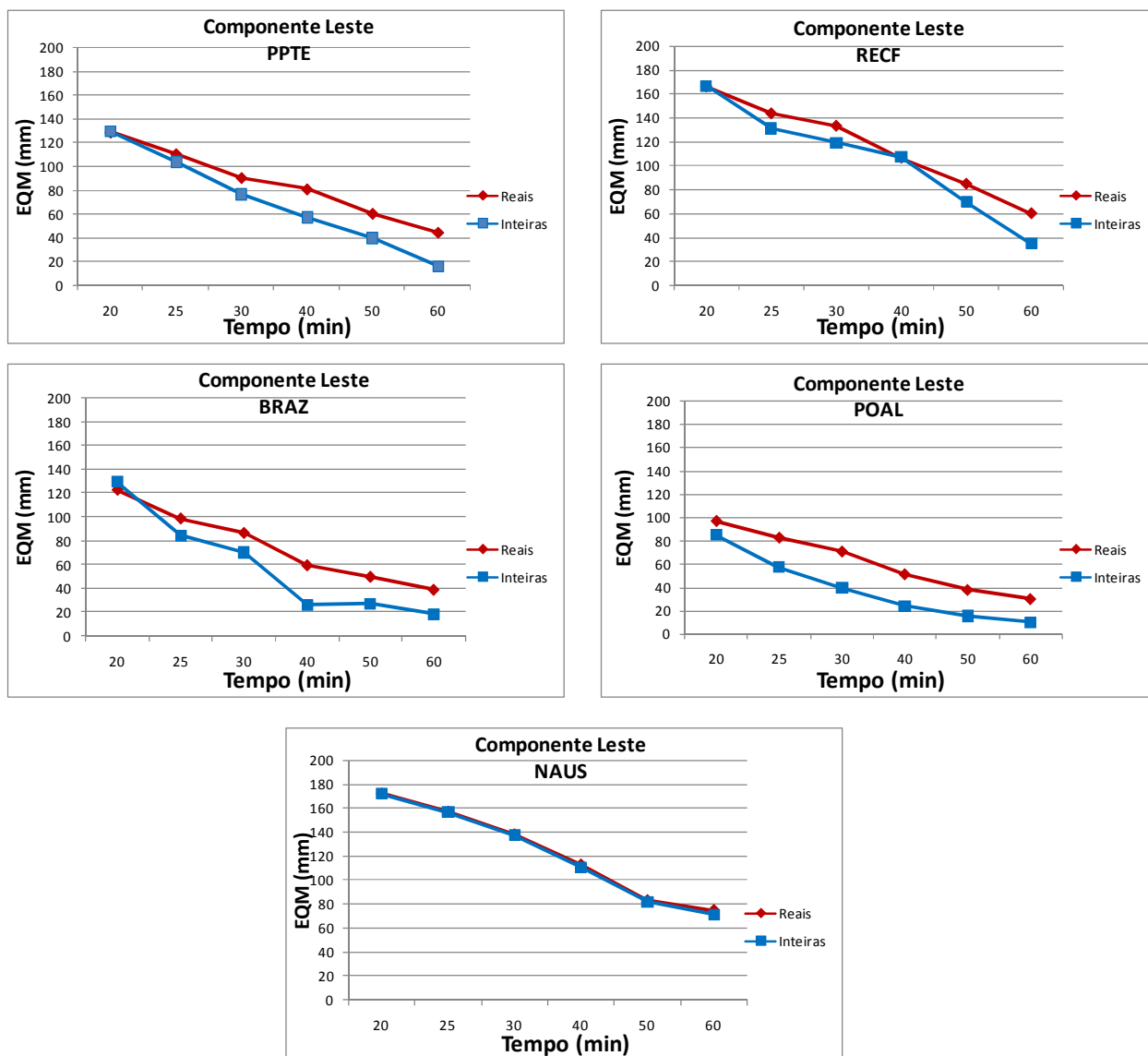


Figura 52 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente leste.

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

Com o auxílio da figura 52 pode-se notar que o método de solução de ambiguidades proporcionou uma melhoria no EQM da componente leste a partir de 25 minutos de dados para as estações PPTE, RECF e BRAZ. Para a estação POAL, nessa componente, a partir de 20 minutos as soluções inteiras apresentaram melhorias sobre as reais.

Ainda em análise a figura 52, dentre as estações analisadas, a estação POAL apresentou menores valores de EQM nas soluções iniciais, ou seja, de ambiguidades reais. Todos os valores calculados para esta estação foram abaixo de 100mm para a componente leste. A estação NAUS apresentou maiores valores para esta componente nas soluções iniciais, seguida da estação RECF.

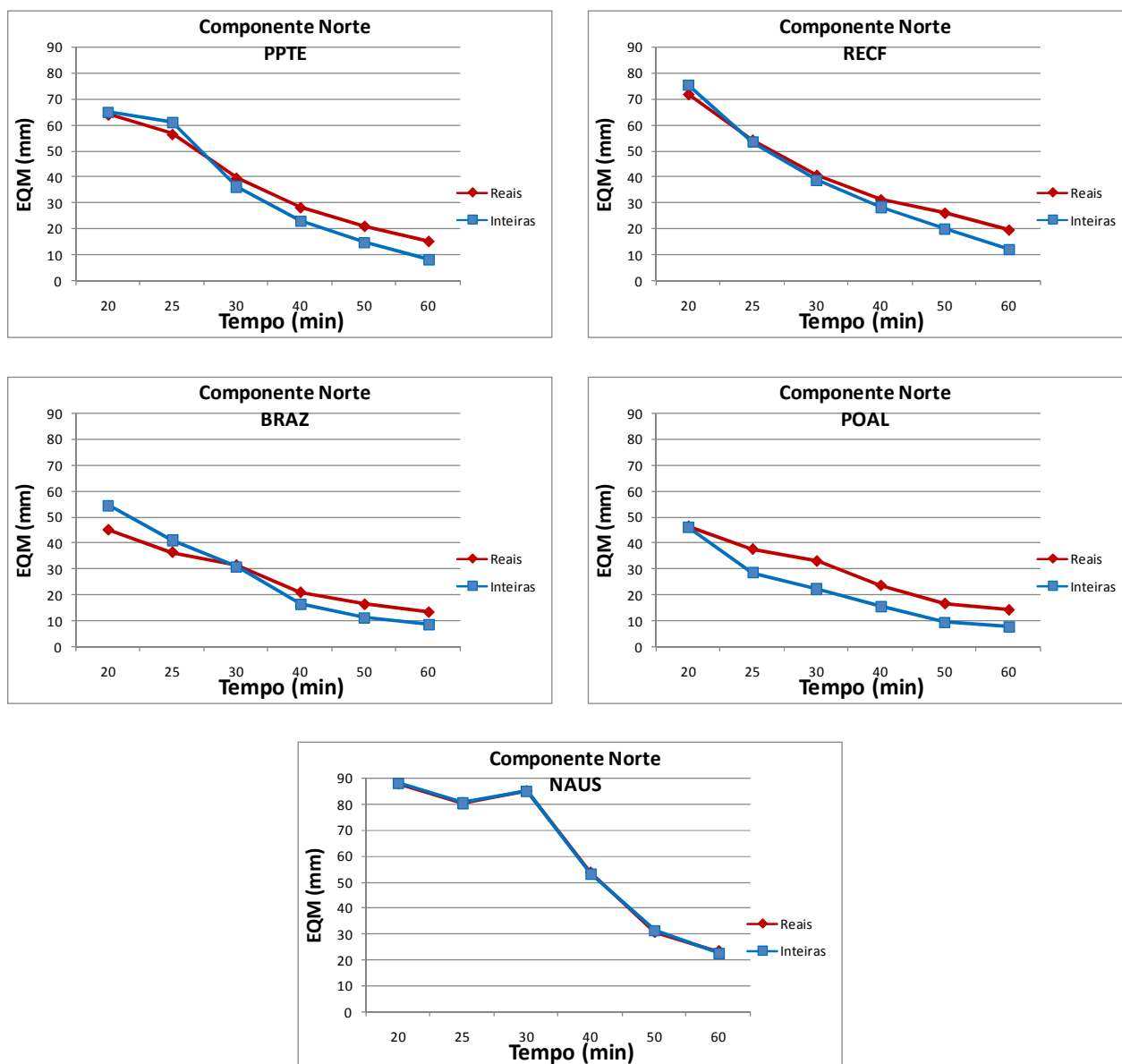


Figura 53 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras - componente norte.

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

A partir da figura 53, observa-se que as melhorias com as soluções de ambiguidades inteiras, na componente norte, passam a ser significativas a partir de 30 minutos de dados, para as estações PPTE, RECF e BRAZ. Na estação POAL pode-se considerar que as melhorias foram a partir de 25 minutos para esta componente, tendo em vista que com 20 minutos a diferença foi mínima, como pode ser confirmado pela figura 29.

A estação NAUS apresentou maiores valores de EQM na componente norte, quando comparado com as outras estações. O maior valor alcançado foi próximo a 90mm. As estações BRAZ e POAL apresentaram valores abaixo de 50mm em EQM, para a componente norte, nas soluções iniciais.

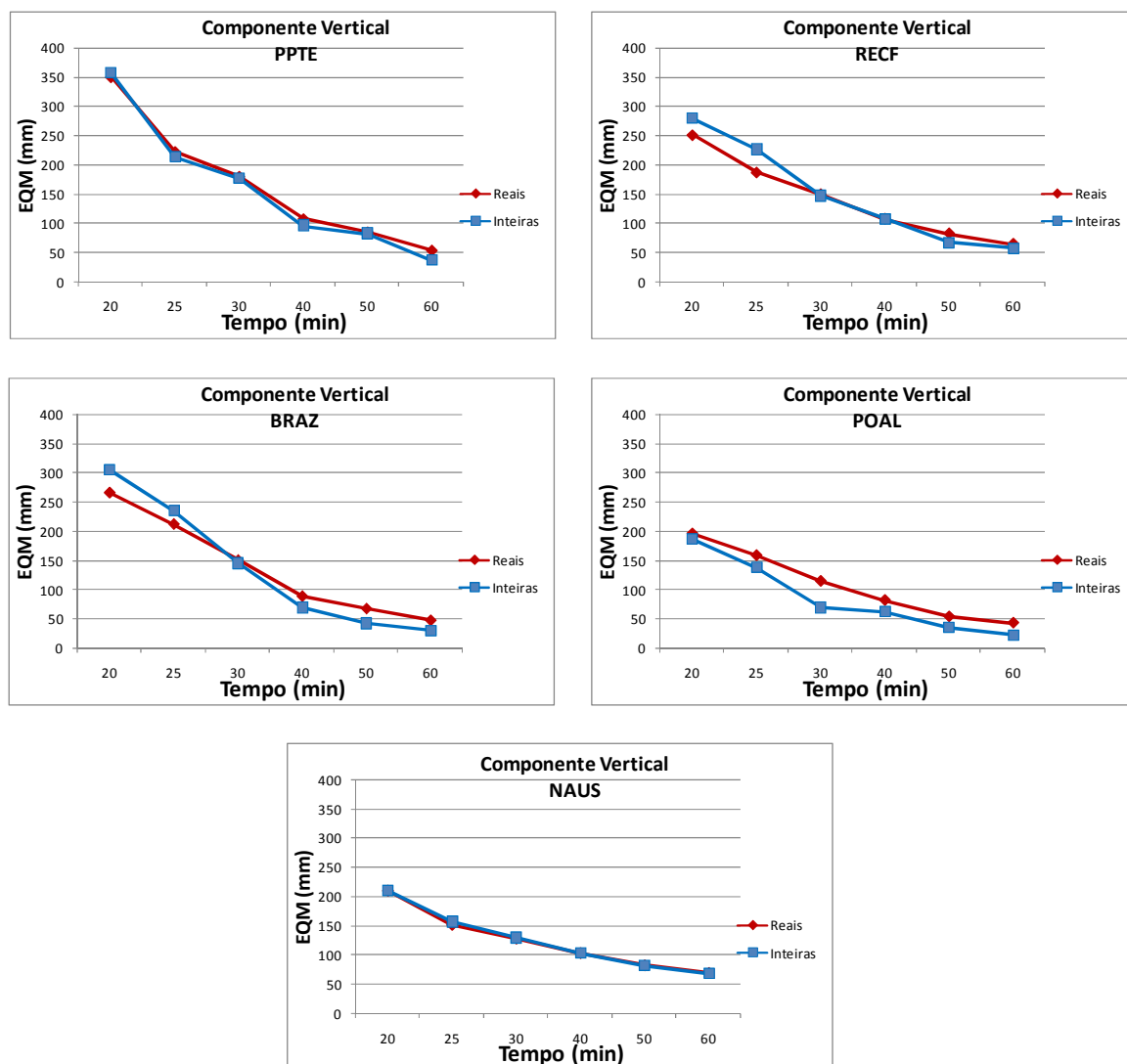


Figura 54 – EQM das soluções de ambiguidades reais e inteiras para a componente vertical.

Na componente vertical, os valores de EQM das soluções iniciais foram mais altos do que para as componentes leste e norte. O maior valor obtido foi referente à estação PPTE, acima de 350 mm, conforme pode ser visto na figura 54. Os menores valores obtidos foi para a estação POAL, abaixo de 200mm.

Depois da estação POAL, na componente vertical, a estação NAUS apresentou menores valores para as soluções iniciais. Porém, de acordo com as figuras 52 a 54, observa-se que esta estação não obteve resultados considerados satisfatórios após a aplicação do método de solução de ambiguidades.

A estação NAUS apresentou resultados diferentes aos das outras estações, principalmente nos experimentos com arquivos de 20 a 60 minutos de dados. Como forma de melhor visualização dos resultados obtidos nesses experimentos, foram geradas figuras, em intensidades de cores, da diferença entre as coordenadas obtidas a partir das soluções de ambiguidades reais e as coordenadas obtidas a partir das soluções de ambiguidades inteiras.

Cada figura (a b c d f g) que compõe a figura 55 corresponde aos resultados de um dia de dados, no período de 08 a 14 de agosto de 2009, na estação NAUS. No eixo X encontram-se os dados de acordo com o tempo de rastreo em minutos e no eixo Y o horário que cada experimento pertence. Se a diferença na escala de cores for zero, significa que não foi alcançada a porcentagem mínima de fixação de 50% das ambiguidades, logo, os valores são iguais tanto para as soluções reais como para as soluções inteiras. A diferença entre as coordenadas é apresentada em milímetros.

A partir da figura 55 verifica-se que na grande maioria dos experimentos não há diferença entre as soluções reais e inteiras, pois poucos foram os intervalos em que as ambiguidades foram solucionadas. Quando ocorreram soluções, elas se concentraram no intervalo das oito às doze horas, intervalo esse em que as porcentagens de fixação foram acima de 50%.

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

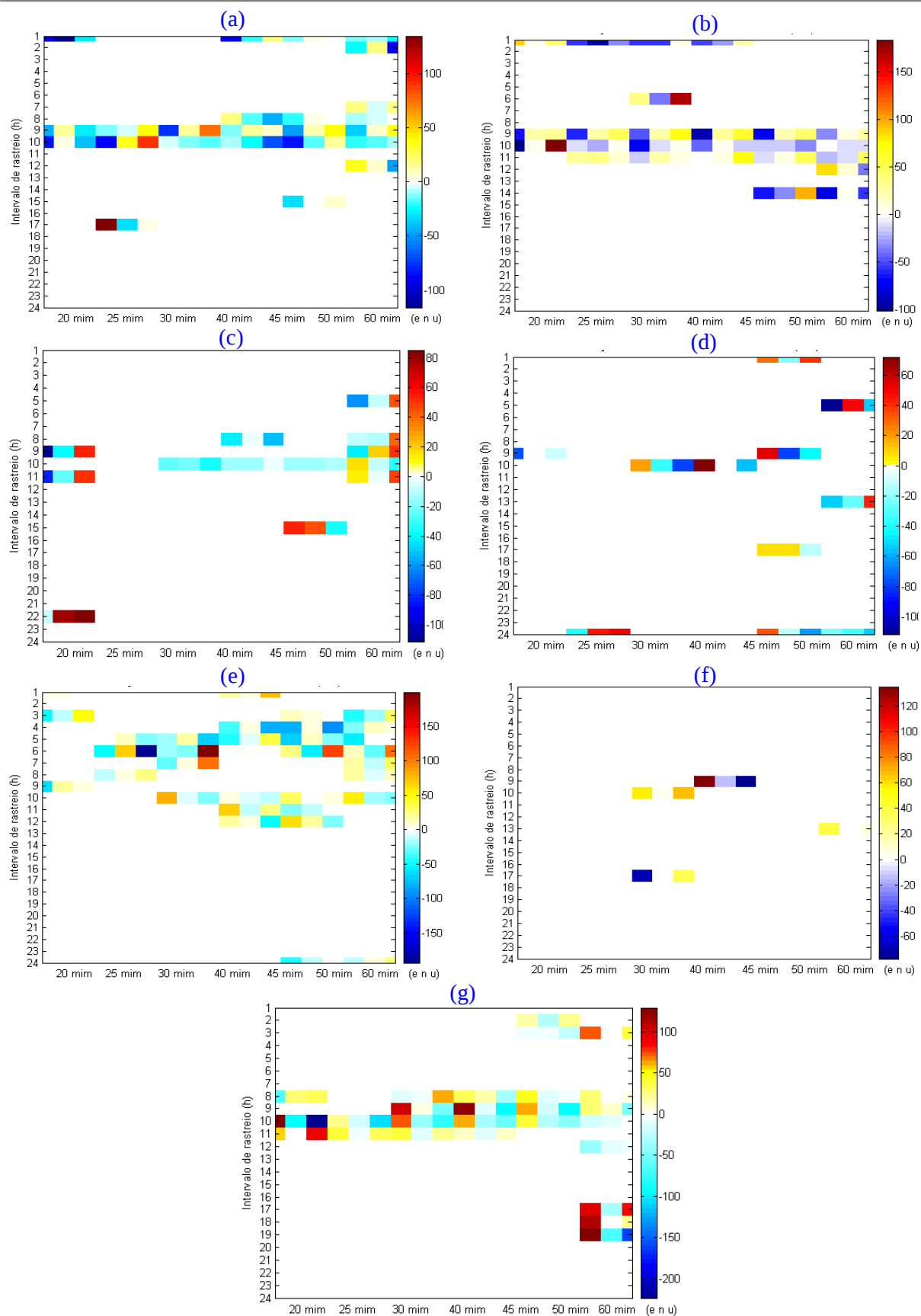


Figura 55 – Diferença entre as coordenadas obtidas com as soluções inteiras e reais na estação NAUS.

7. COMENTÁRIOS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Comentários

As pesquisas em âmbito mundial relacionadas à solução de ambiguidades no PPP são recentes. Avanços foram alcançados somente nos últimos quatro anos. Diante disso, o mais comum no PPP na forma operacional é que as ambiguidades sejam introduzidas como parâmetros nas equações de observação e o vetor solução seja de números reais, sem tentativa de solução como inteiro. Conforme o tempo de observação vai aumentando, tendo maior número de épocas acumuladas, as ambiguidades tendem a convergir e estabilizar.

As soluções com ambiguidades reais podem proporcionar bons resultados, mas dependendo do tipo de trabalho que está sendo realizado, pode requerer um longo período de ocupação. Logo, para trabalhos que exigem alta acurácia, com requisito de bom desempenho em termos de tempo, seria muito produtivo dispor de um método de solução de ambiguidades da fase da onda portadora. Caso contrário, a única opção seria um longo período de ocupação.

Nesta pesquisa foram realizadas investigações relacionadas com as melhorias que podem ser alcançadas no PPP com a solução de ambiguidades, em função de diferentes intervalos de tempos de rastreo. Foram utilizados os programas Ambizap e gd2p.pl. Estações da RBMC e da Rede GNSS-SP compuseram o que se chamou de Rede suporte e cinco estações das mesmas, utilizadas de forma independente, uma em cada região do Brasil, foram selecionadas como estações de teste.

Os experimentos foram realizados com dados referentes ao período de 08 a 14 de agosto de 2009. A primeira análise realizada, para as cinco estações selecionadas para teste envolveu arquivos de dados horários acumulativos. A segunda análise foi relacionada aos arquivos de dados de 20 minutos. A terceira e quarta análises envolveram, respectivamente, arquivos de dados de 25 e 30 minutos. A quinta, sexta e sétima análises foram referentes aos dados de 40, 50 e 60 minutos, respectivamente. Estes arquivos de dados foram processados pelo

método PPP e posteriormente foi realizada a solução de ambiguidades envolvidas entre as estações de teste e a rede suporte.

Os resultados foram analisados em termos de erro médio, desvio-padrão e erro quadrático médio das soluções de ambiguidades inteiras e reais para as componentes do sistema local leste, norte, vertical e a resultante (3D).

7.2 Conclusões

Com base nos resultados apresentados no capítulo 6, no primeiro experimento, com os arquivos de dados horários acumulativos, observou-se que as maiores discrepâncias entre as soluções de ambiguidades reais e inteiras se concentram no período da zero às seis horas. Após esse período as coordenadas passaram a ser estáveis, o que corrobora com trabalho realizado por Alves et al. (2009). Neste trabalho os dados horários foram processados com PPP sem solução de ambiguidades e posteriormente tiveram seu tempo de convergência analisado.

A componente leste apresentou maiores porcentagens de melhoria após solução de ambiguidades do que as outras componentes. Ainda nos experimentos com dados horários acumulativos, em alguns casos essa componente melhorou em até 90% no EQM da solução inteira quando comparada com a solução real. Isso mostra a alta correlação existente entre as ambiguidades e a componente leste, o que já havia sido evidenciado por Calais et al. (2006) que afirma que o aumento do ruído na componente leste é uma consequência de ambiguidades não resolvidas, mostrando assim a correlação entre elas.

Os resultados obtidos no primeiro experimento permitiram identificar onde se concentra o problema da solução das ambiguidades, ou seja, foi a partir dos resultados desse experimento que se identificou a necessidade de realizar os outros experimentos com menos tempo de observações.

A partir das análises realizadas dos experimentos com 20 minutos de dados não se pode afirmar que as melhorias provenientes da solução de ambiguidades

inteiras no PPP são significativas com relação às soluções reais, para esse intervalo de tempo. Uma particularidade foi a estação POAL que apresentou melhorias no EQM de 12,9% na componente leste e de 5,9 % na resultante, após a solução das ambiguidades. De qualquer forma, esses valores são pouco significativos e os tomando com base não se pode afirmar que foram resultados satisfatórios.

Quanto aos resultados apresentados pelas estações PPTe, RECF, BRAZ e POAL, no caso dos experimentos com 25 minutos de dados, melhorias consideráveis foram obtidas, se comparadas com os resultados de 20 minutos. Isso representa um indicativo que a metodologia aplicada passou a proporcionar resultados positivos, os quais podem ser considerados satisfatórios para esse intervalo de tempo.

Novamente, o comportamento se repetiu nos experimentos com 30 minutos de dados, levando-se em consideração que o EQM e o desvio padrão das soluções melhoraram de forma significativa após as ambiguidades terem sido solucionadas, pode-se afirmar que, a partir de 30 minutos de dados, as melhorias são significativas no PPP após a solução das ambiguidades.

Os experimentos com 40, 50 e 60 minutos de dados confirmam os resultados obtidos no experimento com 30 minutos de dados, apresentando porcentagens de melhorias das soluções inteiras em relação às soluções reais de 40 a 60% em muitos casos. Nesses experimentos também foi possível verificar que os resultados obtidos para as estações BRAZ e POAL foram muito semelhantes em termos de porcentagem de melhoria.

Dentre as cinco estações de teste, observou-se que a estação POAL teve um excelente desempenho no contexto desta pesquisa. Esta por sua vez, apresentou maior porcentagem de melhoria das soluções inteiras em relação às soluções de ambiguidades reais. Esta estação também obteve valores de EQM menores nas soluções reais. Em consequência disso, considerando as melhorias obtidas por esta estação após a solução das ambiguidades, os valores das soluções inteiras também foram menores em comparação as outras estações.

No que diz respeito ao desvio-padrão formal, este melhorou cerca de 70% após a solução de ambiguidades em todas as estações analisadas. Em alguns casos alcançou valores abaixo de 1mm, o que já era de se esperar, considerando que as estimativas das soluções iniciais (reais) são consideravelmente otimistas.

Com relação à estação NAUS, não foram obtidos resultados satisfatórios para os experimentos com dados no período de 20 a 60 minutos. Considerando que a distância mínima entre esta estação e as estações da rede suporte foi de 653 km, é provável que essa seja a causa da não solução de ambiguidades a partir da metodologia utilizada. Outra especulação pode estar vinculada com condições atmosféricas adversas da região. Contudo, estudos mais aprofundados precisam ser realizados nesse sentido.

Por conta dos resultados obtidos na estação NAUS, algumas análises adicionais foram realizadas para os sete dias de experimentos e foi observada a coincidência no intervalo das oito às doze horas, onde as soluções reais foram diferentes das inteiras. Isso pode estar relacionado com a baixa atividade ionosférica nesse horário e precisa de mais investigações a respeito, pois pode explicar a causa de não terem sido obtidos bons resultados com essa estação.

De uma forma geral, os experimentos realizados com os arquivos de até uma hora de dados revelaram que o método utilizado é recomendado, para uma estação localizada em até 360 km da rede suporte, a partir de 30 minutos de dados. Essa distância é baseada no maior valor para a média da distância encontrada nos experimentos que apresentaram resultados satisfatórios. Isso não quer dizer que uma estação localizada com distância maior que 360 km da rede represente a obtenção de resultados negativos, já que não se pode afirmar que a distância foi a causa do desempenho ruim do método na estação NAUS.

Quanto a RBMC sua configuração e densidade possibilitam que essa metodologia para a solução das ambiguidades seja possível de ser utilizada pelo usuário estando ele em “diversos pontos” do Brasil, salientando que ainda não se

pode afirmar em “qualquer ponto” do país por conta dos resultados obtidos na região norte.

No que se refere à configuração da rede GNSS-SP como rede suporte para a metodologia aplicada, pode-se afirmar que esta rede apresenta uma configuração propícia para tal, considerando o espaçamento de 90 a 300 km de suas estações de referência. Vale ressaltar que isso é aplicado no contexto regional, ou seja, a estação do usuário teria que estar nessa região, dentro ou nas proximidades desta rede.

Com base nos experimentos realizados e resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se verificar que as soluções de ambiguidades inteiras apresentaram melhores resultados do que as de ambiguidades reais, com destaque para períodos de ocupações menores. Com este trabalho se conclui que a solução de ambiguidades no PPP se torna possível de ser realizada, com dados de até uma hora, para trabalhos que exigem acurácia milimétrica. Algo importante a deixar claro é que isso depende de como o tratamento dos erros das observáveis é realizado e de algumas limitações já apresentadas anteriormente e que necessitam de mais investigações, como por exemplo, a distância da estação do usuário até a rede suporte.

7.2 Recomendações

Diante do exposto nesta pesquisa, considerando os resultados obtidos e as conclusões apresentadas, cabe acrescentar algumas recomendações a fim de se colaborar com o desenvolvimento de trabalhos futuros, no que diz respeito a melhorias de métodos e da obtenção de melhores resultados para o PPP:

Investigações adicionais devem ser realizadas para se verificar até que distância o método utilizado apresenta resultados satisfatórios e até quantas estações podem ser processadas simultaneamente no processo de formação das DD de ambiguidades.

Investigações a respeito da estação NAUS precisam ser realizadas para se verificar se o método proposto nesta pesquisa não foi bem sucedido somente pela distância maior que 360 km ou se existem influências locais não identificadas que deterioram a qualidade das observações realizadas nessa região. Para tal, recomenda-se ocupar algumas estações dentro desse raio e realizar novamente o processamento dados com a solução das ambiguidades.

Ainda com respeito à estação NAUS recomendam-se investigações a respeito das condições atmosféricas adversas na região, ou outros fatores que possam ter influenciado nos resultados obtidos no período de oito às doze horas, nos sete dias de experimento.

Uma análise da porcentagem de fixação das ambiguidades em função das distâncias das estações de teste até as estações da rede suporte pode também colaborar para as investigações no sentido da obtenção de melhorias para o método utilizado nesta pesquisa.

Recomenda-se o desenvolvimento e disponibilização para o usuário, na forma on-line, de um programa capaz de realizar PPP, com a implementação do método de solução das ambiguidades. Como vários serviços de PPP são hoje disponíveis aos usuários na forma on-line, recomenda-se a inclusão do método de solução de ambiguidades nos serviços já disponíveis de PPP de forma que o usuário possa ter acesso a resultados mais acurados sem a necessidade de longo tempo de ocupação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, C.M.D.; ROMÃO, V. M. C.; GARNÉS, S. J. A.; MONICO, J.F.G. (2009). **Avaliação da qualidade dos serviços de Posicionamento por Ponto Preciso on-line**. Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (VI) – UFPR- Curitiba PR.

BERNESE, **Bernese GPS Software** (2007). User manual of the Bernese GPS Software Version 5.0. Edited by. Rolf Dach, Urs Hugentobler, Pierre Fridez, Michael Meindl. January 2007. AIUB Astronomical Institute, University of Bern. Disponível em: <www.bernese.unibe.ch/docs/DOCU50.pdf >. Acesso em: 26/05/2010.

BLEWITT, G (1990). **An automatic editing algorithm for GPS data**. Geophysical Research Letters, v. 17, n.3, p. 199-202.

BLEWITT, G (1989). **Carrier phase ambiguity resolution for the global positioning system applied to geodetic baselines up to 2000 km**. J Geophys Res 94(B8):10187–10203.

BLEWITT, G. (2006). **The fixed point theorem of ambiguity resolution for precise point positioning of GPS networks**: Theory and applications, Eos Trans. AGU, 87(52), Fall Meet. Suppl., Abstract G43A-0977.

BLEWITT, G., (2007) **Plate Boundary Observatory analysis using the Ambizap GPS processing algorithm**, poster presented at EarthScope National Meeting, Monterey, CA, March 27, 2007.

BLEWITT, G., C. KREEMER, W.C. HAMMOND, H.-P. Plag, (2007), **Toward Broadband Exploration of Tectonic-Magmatic Interactions**: Demonstration of Self-Consistent, "All-in-One" Rapid Analysis of GPS Mega-Networks using the Ambizap Algorithm, IUGG Perugia, July 2-13, 2007.

BLEWITT, G. (2008). **Fixed point theorems of GPS carrier phase ambiguity resolution and their application to massive network processing**: Ambizap, J. Geophys. Res., 113, B12410, doi:10.1029/2008JB005736.

BLITZKOW, D.; MATOS, A.C.C. (2005). **A evolução dos referenciais usados em Geodésia**: A era moderna, Boletim de Ciências Geodésicas, ISSN 1982-2170, Vol.8, nº1, 3-16.

CALAIS E.; HAN J.Y.; DEMETS C.; NOCQUET J.M. (2006). **Deformation of the North American plate interior from a decade of continuous GPS measurements**. J Geophys Res 111:B06402. doi:10.1029/ 2005JB004253.

COSTA, G. F.; Silva, A. S.; Romão, V. M. C.; Rodrigues, D. D.; Vieira, C A. O. (2008). **Análise do Efeito do Multicaminho nas Observações de Satélites GPS na Estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) de Viçosa**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC -Florianópolis – SC.

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

COSTA, S. M. A.; SILVA, A. L.; VAZ, J. A. (2009). **Avaliação do Processamento da Rede SIRGAS-CON pelo Centro de Análises IBGE**. Actas XXIV Reunión Científica de la AAGG. Geodésia. 1a ed. - Buenos Aires: Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, 2009. ISBN 978-987-25291-1-6. Ciencias de la Tierra. I. Pag. 142-147.

DE JONGE, P; TIBERIUS, C.C.J.M. **The LAMBDA method for integer ambiguity estimation**: implementation aspects. T.U. Delft - internal report, Delft, 1996.

DREWES, H.; HEIDBACH, O. (2009). **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.

FORTES, L. P. S., COSTA, S. M. A., ABREU, M. A., MOURA JUNIOR, N. J. de, DA SILVA, A. L., LIMA, M. A. A. (2009). **Plano de Expansão e Modernização das Redes Ativas RBMC/RIBAC**. Actas XXIV Reunión Científica de la AAGG. Geodésia. 1a ed. - Buenos Aires: Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, 2009.

FAUSTINO, R. C. **Posicionamento por Ponto Preciso Estático e Cinemático: Implementação e Análise**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

GARNÉS, S. J. A. **Resolução das Ambiguidades GPS para Linhas de Base Curta**: Análise dos Algoritmos de Otimização. Curitiba: CPGCG - UFPR, 2001 (Tese).

GEGE. **Grupo de Estudos em Geodésia Espacial**. 2010. Disponível em: <http://gege.fct.unesp.br/index_port.php?p=50>. Acesso em: 10/08/2010.

GE M.; GENDT G.; ROTHACHER M; SHI C.; LIU J. (2007) **Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in precise point positioning (PPP) with daily observations**. Journal of Geodesy. DOI:10.1007/s00190-007-0187-4.

GENG J.; MENG X.; TEFERLE F.N.; DODSON A.H. (2008). **Hourly precise point positioning with resolution ambiguity**. IESSG University of Nottingham. Disponível em: <<http://www.loran.org/Meetings/Meeting2008/Presentation%20pdfs/6B3%20GENG.pdf>>. Acesso em 17/05/2010.

GENG J.; TEFERLE F.N.; SHI C.; MENG X.; DODSON A.H.; LIU J. (2009) **Ambiguity resolution in precise point positioning with hourly data**. GPS solut. DOI:10.1007/s10291-009-0119-2.

GREGORIUS, T. (1996). **GIPSY-OASIS II How it works...** Department of Geomatics, University of Newcastle upon Tyne. October, 1996.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS Theory and Practice**, Wien: Springer-Verlag, Fifth Revised Edition, 2001, 382p.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc_est.shtm>. Acesso em: 10/08/2010.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010b. Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. Resolução do Presidente nº 01 de 25 de fevereiro de 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/leg.shtm>>. Acesso em 10/08/2010.

IERS. **IERS Conventions (1996)**. Dennis D. McCarthy. IERS Technical Note nº 21. Central Bureau of IERS- Observatoire de Paris, 1996. 95p. Disponível em: <http://www.iers.org/nn_10968/IERS/EN/DataProducts/Conventions/conventions.htm I?__nnn=true>. Acesso em: 12/08/2010.

IERS. **IERS Conventions (2003)**. Dennis D. McCarthy and Gérard Petit. IERS Technical Note nº 32. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2004. 127 pp., paperback, ISBN 3-89888-884-3. Disponível em: <http://www.iers.org/nn_10968/IERS/EN/DataProducts/Conventions/conventions.htm I?__nnn=true>. Acesso em: 10/08/2010.

IGS. **IGS Products (2009)**. Disponível em: <<http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>>. Acesso em: 20/10/2009.

KOUBA J (2008) **Implementation and testing of the gridded Vienna mapping function 1 (VMF1)**. J Geod 82(4–5):193–205. doi:10.1007/ s00190-007-0170-0.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 2nd ed., New York: Wiley, 435p. 2004.

_____. **GPS Satellite Surveying**. New York: John Wiley & Sons, 560p. 1995.

MACHADO, W. C. **Solução rápida das ambiguidades GPS para aplicações no posicionamento relativo de linhas de base curtas**. 2001. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

MARQUES, H. A. **Influência da Ionosfera no Posicionamento GPS: Estimativa dos Resíduos no Contexto de Duplas Diferenças e Eliminação dos Efeitos de 2ª e 3ª Ordem**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

MERVART, L., ZDENEK, L., ROCKEN, C., IWABUCHI, T. (2008): **Precise Point Positioning with ambiguity resolution in real-time**. Proc. ION GNSS 2008, 397-405.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, fundamentos e aplicações**, UNESP, Presidente Prudente, 2000a.

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

MONICO, J. F. G. **Posicionamento por Ponto de Alta Precisão utilizando o GPS:** uma Solução para a Geodinâmica. Revista Brasileira de Geofísica, vol. 18(1), 2000b.

MONICO, J. F. G. **Ajustamento das observáveis GPS no contexto de posicionamento geodésico.** 2005. 275f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS** – Descrição, fundamentos e aplicações. 2.ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

NRCan, **GPS POSITIONING GUIDE.** 3.ed, (1995). Disponível em: <luna.csrns.nrcan.gc.ca/GPS_Guide_e/GPS_Guide_e.pdf>. Acesso em: 26/05/2010.

PEREZ, J. A. S.; MONICO, J.F.G.; CHAVES, J.C. (2003). **Velocity Field Estimation Using GPS Precise Point Positioning:** The South American Plate Case. Journal of Global Positioning Systems, vol. 2(2), pág. 90-99,2003.

RAPP, R. H.(1991). **Geometric Geodesy.** Part I.Department of Geodetic Science and Surveying, Ohio State University.

RENKA, R. (1997), Algorithm 772: STRIPACK: **Delaunay triangulation and Voronoi diagram on the surface of a sphere.** Transactions on Mathematical Software, Vol. 23, Nº 3, pg. 416– 434. ACM 0098-3500/97/0900–0416.

RIZOS, C. (2006) .**The research challenges of IAG Commission 4 “Positioning & Applications”.** Paper presented at VI Hotine-Marussi symposium of theoretical and computational geodesy, Wuhan 29 May–2 June, 2006.

ROMÃO, V. M. C. **Conceitos de Geodésia.** Recife, 2005. (Apostila).

ROSA, G. P. S. **Análise de séries temporais de coordenadas estimadas com GPS: Uma proposta metodológica para eliminação de efeitos sazonais.** 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

SHASHKIN, Y. A. (1991). **Fixed Points.** 370 pp., Am. Math. Soc., Providence,R. I.

SAPUCCI, L. F. **Estimativa do vapor d'água atmosférico e avaliação da modelagem do atraso zenital troposférico utilizando GPS.** 2001. 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy:** foundations, methods, and applications.2nd.ed.,Berlin,New-York:Walter de Gruyter,2003.

SHEN, X. **Improving Ambiguity Convergence in Carrier Phase-based Precise Point Positioning,** University of Calgary, Canada, UCGE Report No. 20170, 2002 (M.Sc. thesis).

SILVA, A. S.; ROMÃO, V. M. C.; ERNST, R.; RODRIGUES, D. D.; VIEIRA, C. A. O. (2006). **Suavização da Pseudodistância: Estudo de Caso**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - UFSC - Florianópolis SC.

SILVA, N. C. C. da; SANTOS, M. C. dos and OLIVEIRA, L. C. de. **Efeito da refração troposférica no posicionamento geodésico com GPS**. Rev. Bras. Geof. [online]. 1999, vol.17, n.2-3, pp. 117-128. ISSN 0102-261X.

SOUZA, E.M.; MONICO, J.F.G. (2005). **Validação da solução da ambiguidade GPS: Fundamentos, Implementação e Resultados**. Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (IV) – UFPR- Curitiba PR.

TEUNISSEN, P. J. G. **GPS carrier phase ambiguity fixing concepts**. In GPS for Geodesy. 2ed. Springer Verlag, 1998.p.319-388.

WELLS, D.; BECK, N.; DELIKARAOGLU, D.; KLEUSBERG, A.; KRAKIWSKY, E. J.; LACHAPELLE, G.; LANGLEY, R. B.; NAKIBOGLU, M. SCHWARZ, K. P.; TRANQUILLA, J. M.; VANÍCEK, P. (1986). **Guide to GPS positioning**. University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canadá.

XU, G. **GPS: Theory, Algorithms and Applications**.2.ed. Berlin. Publisher Springer, 2007.

ZUMBERGE, J.F.; HEFLIN, M.B.; JEFFERSON, D.C.; WATKINS, M.M.; WEBB, F.H. (1997). **Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks**. Journal of Geophys Research 102(B3):5005–5017. doi:10.1029/96JB03860.

APÊNDICE A

Valores calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para arquivos horários acumulativos, correspondentes aos dias 08, 10, 11, 12, 13 e 14 de agosto de 2009 para a estação PPTE.

Horas	Soluções reais (mm)							Soluções inteiras (mm)							%Fix
	EQM e	σ_e	EQM n	σ_n	EQM u	σ_u	3D	EQM e	σ_e	EQM n	σ_n	EQM u	σ_u	3D	
1	76,3	9,21	16,0	4,24	30,5	0,68	83,7	7,6	2,65	1,6	0,69	86,2	0,87	86,5	97,6
2	41,4	4,48	7,3	1,49	32,4	0,53	53,0	8,9	1,95	4,1	0,64	51,4	0,62	52,3	97,9
3	18,9	2,92	4,8	0,89	24,9	0,09	31,6	5,5	1,25	2,3	0,47	26,5	0,37	27,2	98,2
4	11,0	1,88	2,6	0,65	22,3	0,20	25,0	3,9	1,06	2,3	0,41	26,0	0,32	26,4	98,3
5	11,0	1,52	2,7	0,61	20,7	0,18	23,6	3,5	0,94	2,5	0,38	27,3	0,31	27,6	98,5
6	3,9	1,26	2,3	0,52	20,5	0,16	21,0	2,2	0,81	1,9	0,32	21,7	0,25	21,9	98,8
7	3,4	1,05	2,9	0,42	28,0	0,21	28,4	1,6	0,73	1,8	0,30	23,4	0,25	23,5	98,9
8	3,6	0,89	2,5	0,31	26,3	0,22	26,7	2,5	0,60	1,7	0,23	20,8	0,22	21,0	99,1
9	3,6	0,79	2,0	0,26	23,4	0,23	23,7	2,2	0,58	1,5	0,21	21,1	0,21	21,3	99,2
10	3,0	0,69	1,7	0,20	24,9	0,24	25,1	2,4	0,53	1,6	0,19	22,1	0,19	22,3	99,3
11	3,2	0,65	1,7	0,19	25,8	0,23	26,0	2,2	0,49	2,5	0,17	23,0	0,18	23,3	99,3
12	3,7	0,61	2,4	0,17	24,6	0,21	25,0	2,4	0,47	2,8	0,16	22,1	0,17	22,4	99,3
13	3,4	0,57	3,1	0,16	24,1	0,21	24,5	2,2	0,45	3,2	0,15	22,1	0,16	22,5	99,4
14	3,5	0,53	3,4	0,15	24,4	0,18	24,9	2,4	0,42	3,5	0,14	23,2	0,15	23,6	98,8
15	3,1	0,51	3,4	0,15	24,6	0,17	25,0	2,0	0,39	3,4	0,14	22,2	0,14	22,5	98,9
16	3,3	0,49	3,6	0,14	24,6	0,16	25,1	1,9	0,38	3,6	0,13	22,4	0,13	22,7	98,9
17	3,8	0,46	3,7	0,14	23,9	0,14	24,5	2,0	0,37	3,6	0,13	22,1	0,13	22,5	98,4
18	4,2	0,45	3,8	0,14	23,2	0,13	23,9	2,1	0,36	3,6	0,13	21,8	0,13	22,2	98,5
19	4,2	0,44	3,7	0,14	22,4	0,13	23,1	2,1	0,35	3,7	0,12	20,9	0,12	21,3	95,7
20	3,9	0,43	3,4	0,13	21,8	0,13	22,4	2,1	0,35	3,5	0,12	20,3	0,12	20,7	98,6
21	3,4	0,42	3,3	0,13	21,5	0,13	22,0	2,1	0,34	3,3	0,12	20,1	0,12	20,5	97,3
22	3,4	0,41	3,2	0,13	20,9	0,13	21,4	2,1	0,34	3,3	0,11	19,9	0,12	20,3	99,2
23	3,0	0,40	3,0	0,12	20,8	0,12	21,2	2,2	0,33	3,3	0,11	19,7	0,11	20,1	97,5
24	2,7	0,39	3,0	0,12	21,1	0,12	21,4	2,2	0,33	3,3	0,11	19,8	0,11	20,2	97,6

APÊNDICE B

Valores calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para arquivos horários acumulativos, correspondentes aos dias 08 a 14 de agosto de 2009 para a estação RECF.

Horas	Soluções reais (mm)							Soluções inteiras (mm)							%Fix
	EQM e	σ_e	EQM n	σ_n	EQM u	σ_u	3D	EQM e	σ_e	EQM n	σ_n	EQM u	σ_u	3D	
1	38,8	5,64	11,6	2,07	54,3	2,13	67,7	6,7	2,33	7,8	0,46	53,6	1,01	54,6	100,0
2	17,7	2,01	8,9	0,61	38,3	0,63	43,1	5,7	1,19	4,8	0,28	33,6	0,48	34,4	100,0
3	13,0	1,50	8,0	0,33	25,5	0,43	29,7	6,0	0,82	5,0	0,23	21,5	0,30	22,9	97,6
4	10,1	1,06	5,3	0,25	19,4	0,30	22,5	5,4	0,70	3,8	0,21	19,5	0,26	20,6	100,0
5	5,9	0,89	4,7	0,21	21,5	0,22	22,8	6,1	0,61	4,1	0,17	23,0	0,22	24,1	100,0
6	9,1	0,77	3,9	0,19	21,3	0,20	23,5	5,5	0,57	3,0	0,16	19,3	0,19	20,3	100,0
7	9,2	0,68	3,7	0,17	20,4	0,18	22,7	5,8	0,52	2,8	0,15	17,5	0,17	18,7	98,4
8	7,0	0,62	3,0	0,16	18,8	0,17	20,3	5,5	0,47	2,5	0,14	16,7	0,14	17,7	97,8
9	6,4	0,57	2,5	0,15	17,2	0,17	18,5	5,9	0,45	2,5	0,13	15,8	0,14	17,0	97,9
10	5,8	0,53	2,2	0,14	14,6	0,14	15,8	6,4	0,43	2,4	0,12	14,4	0,13	15,9	100,0
11	4,3	0,50	2,0	0,13	14,4	0,13	15,1	6,3	0,40	2,2	0,11	15,1	0,12	16,5	100,0
12	5,7	0,46	2,2	0,12	14,8	0,14	16,0	6,7	0,38	2,9	0,11	14,7	0,12	16,4	100,0
13	6,8	0,44	2,6	0,12	15,2	0,14	16,9	7,4	0,37	3,1	0,11	14,5	0,12	16,5	97,8
14	6,3	0,43	3,1	0,11	15,4	0,14	17,0	6,7	0,36	3,4	0,10	15,0	0,11	16,7	90,8
15	6,4	0,41	3,6	0,11	15,8	0,13	17,4	6,3	0,34	3,8	0,10	15,5	0,11	17,2	95,1
16	7,0	0,39	3,7	0,10	15,7	0,12	17,6	6,9	0,33	3,8	0,09	15,8	0,10	17,6	95,8
17	7,2	0,37	3,6	0,10	16,0	0,12	17,9	6,6	0,31	3,8	0,09	14,1	0,10	16,0	96,4
18	7,2	0,36	3,7	0,10	16,4	0,11	18,3	6,9	0,30	3,8	0,09	15,3	0,10	17,2	95,1
19	8,0	0,35	3,6	0,10	15,7	0,11	17,9	7,3	0,30	3,6	0,09	14,4	0,09	16,5	88,8
20	7,5	0,34	3,5	0,09	16,2	0,11	18,2	7,3	0,29	3,6	0,09	16,9	0,09	18,8	91,5
21	8,5	0,33	3,5	0,09	16,5	0,10	18,9	8,4	0,29	3,4	0,08	16,2	0,09	18,5	94,4
22	8,6	0,33	3,4	0,09	16,2	0,10	18,6	7,9	0,28	3,5	0,08	16,4	0,09	18,5	93,9
23	8,4	0,32	3,4	0,09	15,2	0,10	17,7	7,4	0,27	3,4	0,08	13,6	0,08	15,9	94,9
24	7,8	0,31	3,4	0,09	14,0	0,09	16,4	7,3	0,26	3,5	0,08	12,6	0,08	15,0	96,0

APÊNDICE C

Valores calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para arquivos horários acumulativos, correspondentes aos dias 08 a 14 de agosto de 2009 para a estação BRAZ.

Horas	Soluções reais (mm)							Soluções inteiras (mm)							%Fix
	EQM e	σ_e	EQM n	σ_n	EQM u	σ_u	3D	EQM e	σ_e	EQM n	σ_n	EQM u	σ_u	3D	
1	33,2	8,05	7,1	2,23	67,6	0,84	75,6	4,8	3,37	4,9	0,66	46,9	0,52	47,4	91,8
2	7,4	2,82	5,9	0,76	16,5	0,45	19,0	3,6	1,04	5,8	0,32	10,5	0,15	12,5	95,2
3	11,3	1,88	3,5	0,46	15,2	0,11	19,3	3,9	0,96	3,7	0,30	10,0	0,10	11,4	96,8
4	19,6	1,19	3,2	0,34	9,5	0,05	22,0	3,9	0,83	1,9	0,26	9,1	0,09	10,1	95,7
5	11,1	0,93	1,8	0,25	11,2	0,07	15,8	2,3	0,69	1,8	0,22	11,3	0,09	11,7	95,0
6	8,5	0,82	2,3	0,23	13,9	0,06	16,4	3,1	0,63	1,8	0,20	10,6	0,07	11,1	91,8
7	7,8	0,76	3,0	0,21	15,3	0,07	17,4	2,2	0,59	1,8	0,18	13,5	0,07	13,8	93,3
8	5,7	0,68	2,8	0,18	19,1	0,09	20,1	1,9	0,50	1,7	0,15	15,2	0,08	15,4	96,1
9	3,7	0,60	2,3	0,16	20,3	0,08	20,7	2,1	0,44	1,3	0,14	16,8	0,07	16,9	96,4
10	3,4	0,55	2,2	0,14	21,0	0,09	21,4	2,1	0,42	1,1	0,13	16,6	0,07	16,8	97,3
11	3,4	0,53	1,8	0,13	20,3	0,09	20,7	2,2	0,40	1,4	0,12	15,5	0,06	15,7	96,2
12	3,4	0,50	1,3	0,12	17,9	0,08	18,3	2,4	0,38	1,9	0,12	14,8	0,06	15,1	94,4
13	3,5	0,46	2,2	0,11	19,1	0,08	19,5	2,3	0,36	2,8	0,11	15,7	0,06	16,1	92,2
14	3,4	0,43	2,3	0,10	18,0	0,07	18,5	2,2	0,35	2,9	0,10	14,7	0,05	15,1	90,1
15	2,7	0,42	2,5	0,10	17,8	0,06	18,2	2,0	0,33	2,9	0,10	15,1	0,05	15,5	91,9
16	2,6	0,40	2,7	0,10	17,5	0,06	17,9	1,8	0,33	3,1	0,10	14,6	0,05	15,1	89,1
17	3,5	0,38	2,8	0,10	17,4	0,05	17,9	2,0	0,31	3,2	0,10	15,3	0,05	15,7	83,7
18	3,5	0,37	2,7	0,10	18,1	0,05	18,6	1,7	0,31	3,3	0,09	15,4	0,05	15,9	86,3
19	3,2	0,36	2,5	0,10	17,8	0,05	18,3	1,7	0,30	3,1	0,09	14,8	0,05	15,2	83,3
20	3,3	0,36	2,4	0,09	18,4	0,05	18,9	2,0	0,30	3,0	0,09	15,4	0,05	15,8	81,9
21	3,1	0,35	2,2	0,09	17,7	0,05	18,1	1,8	0,29	2,8	0,09	14,9	0,04	15,3	76,0
22	2,9	0,34	2,2	0,09	17,1	0,05	17,5	1,6	0,29	2,8	0,09	14,5	0,04	14,9	77,7
23	2,7	0,33	2,3	0,09	16,7	0,05	17,1	1,4	0,29	2,8	0,08	14,0	0,04	14,4	75,1
24	2,9	0,33	2,1	0,09	16,8	0,04	17,2	1,3	0,28	2,7	0,08	14,2	0,04	14,5	77,7

APÊNDICE D

Valores calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para arquivos horários acumulativos, correspondentes aos dias 08 a 14 de agosto de 2009 para a estação POAL.

Horas	Soluções reais (mm)							Soluções inteiras (mm)							%Fix
	<i>EQM</i> e	σ_e	<i>EQM</i> n	σ_n	<i>EQM</i> u	σ_u	3D	<i>EQM</i> e	σ_e	<i>EQM</i> n	σ_n	<i>EQM</i> u	σ_u	3D	
1	28,0	6,74	10,1	2,51	34,9	0,57	45,9	5,2	1,75	6,3	0,44	32,4	0,52	33,4	98,0
2	15,9	3,43	11,4	1,40	24,8	0,62	31,6	6,5	1,16	6,0	0,42	17,0	0,37	19,2	98,2
3	7,2	1,94	5,7	0,68	17,7	0,07	19,9	6,7	0,93	4,9	0,35	16,0	0,28	18,1	98,4
4	7,6	1,43	4,1	0,53	19,3	0,09	21,1	6,3	0,83	4,1	0,31	16,1	0,27	17,7	98,6
5	8,4	1,13	4,4	0,47	18,7	0,11	21,0	7,8	0,68	3,9	0,27	17,0	0,26	19,1	98,7
6	10,4	0,89	3,6	0,37	19,3	0,15	22,2	7,6	0,63	3,8	0,25	17,5	0,25	19,4	99,0
7	9,8	0,76	4,0	0,30	16,3	0,17	19,4	7,7	0,55	4,0	0,22	17,1	0,23	19,2	99,1
8	9,8	0,67	4,6	0,25	15,7	0,19	19,1	7,2	0,48	4,7	0,20	13,7	0,22	16,1	99,2
9	8,8	0,60	4,7	0,20	15,6	0,21	18,5	7,6	0,47	5,1	0,18	13,6	0,21	16,4	99,2
10	8,6	0,53	5,8	0,16	17,8	0,21	20,6	8,1	0,43	6,7	0,15	16,2	0,19	19,3	99,3
11	8,0	0,51	6,3	0,15	18,2	0,21	20,8	8,4	0,41	7,2	0,15	17,0	0,18	20,3	99,4
12	7,6	0,48	7,1	0,14	17,7	0,20	20,5	8,3	0,40	7,7	0,14	15,9	0,18	19,5	99,4
13	8,7	0,45	7,8	0,13	17,0	0,19	20,6	8,7	0,38	8,4	0,13	14,5	0,17	18,9	99,4
14	10,0	0,43	8,4	0,13	15,2	0,17	20,1	8,3	0,36	8,6	0,13	15,6	0,16	19,7	99,5
15	10,2	0,40	8,0	0,13	14,1	0,16	19,2	8,7	0,34	8,0	0,12	13,4	0,15	17,9	99,5
16	10,2	0,39	7,9	0,13	14,9	0,15	19,7	8,7	0,33	7,8	0,12	13,8	0,14	18,1	99,5
17	10,4	0,38	7,4	0,13	15,2	0,14	19,8	8,3	0,32	7,2	0,12	14,4	0,14	18,1	98,2
18	10,4	0,36	7,0	0,13	15,1	0,13	19,7	8,3	0,31	7,2	0,12	15,3	0,13	18,8	97,9
19	10,2	0,35	6,8	0,12	14,5	0,13	19,0	8,4	0,30	6,6	0,12	15,1	0,13	18,5	97,9
20	10,6	0,35	6,6	0,12	14,7	0,13	19,3	8,3	0,30	6,5	0,11	14,8	0,13	18,2	99,2
21	10,1	0,34	6,4	0,12	14,6	0,13	18,9	8,2	0,30	6,3	0,11	14,4	0,13	17,7	97,7
22	9,6	0,33	6,4	0,11	13,7	0,13	17,9	8,0	0,29	6,1	0,11	13,0	0,12	16,5	99,3
23	9,1	0,33	6,3	0,11	13,5	0,13	17,5	7,7	0,28	6,0	0,11	13,1	0,12	16,3	98,2
24	8,6	0,32	6,1	0,11	13,4	0,12	17,1	7,4	0,28	5,9	0,10	13,1	0,12	16,2	98,9

APÊNDICE E

Valores calculados para as soluções reais e inteiras em comparação com as fornecidas pela solução SIR09P01 para arquivos horários acumulativos, correspondentes aos dias 08 a 14 de agosto de 2009 para a estação NAUS.

Horas	Soluções reais (mm)							Soluções inteiras (mm)							%Fix
	<i>EQM</i> e	σ_e	<i>EQM</i> n	σ_n	<i>EQM</i> u	σ_u	3D	<i>EQM</i> e	σ_e	<i>EQM</i> n	σ_n	<i>EQM</i> u	σ_u	3D	
1	59,3	5,8	13,6	1,6	70,2	0,4	92,9	58,8	5,5	13,1	1,4	71,3	0,5	93,3	24,8
2	23,3	2,6	3,6	0,6	62,3	0,2	66,6	10,2	1,3	3,8	0,3	52,1	0,4	53,2	50,0
3	8,4	1,6	3,0	0,3	50,1	0,4	50,8	4,1	0,8	2,3	0,2	46,0	0,4	46,2	60,1
4	3,4	1,0	2,4	0,2	40,8	0,4	41,0	4,0	0,7	2,1	0,2	42,6	0,3	42,9	65,0
5	3,5	0,9	2,3	0,2	37,3	0,4	37,5	2,6	0,6	1,8	0,1	39,9	0,3	40,1	68,3
6	4,0	0,8	2,1	0,2	33,8	0,4	34,1	2,3	0,6	1,2	0,1	37,9	0,3	38,0	66,2
7	3,4	0,7	2,0	0,2	35,2	0,3	35,4	2,3	0,5	1,2	0,1	37,7	0,3	37,7	70,5
8	3,2	0,6	1,7	0,1	38,3	0,3	38,5	1,7	0,5	1,4	0,1	39,5	0,2	39,6	76,8
9	3,9	0,5	1,4	0,1	46,2	0,2	46,3	1,6	0,4	1,4	0,1	46,2	0,2	46,2	73,8
10	3,1	0,5	1,7	0,1	45,6	0,2	45,8	1,4	0,4	1,7	0,1	45,8	0,2	45,9	78,7
11	2,9	0,4	1,9	0,1	47,1	0,2	47,2	1,5	0,4	1,9	0,1	46,2	0,2	46,2	81,4
12	3,0	0,4	2,2	0,1	48,2	0,2	48,3	1,8	0,3	2,0	0,1	47,2	0,2	47,3	76,3
13	2,7	0,4	2,0	0,1	48,2	0,2	48,3	2,6	0,3	1,9	0,1	46,9	0,2	47,0	84,4
14	2,5	0,4	2,3	0,1	48,1	0,2	48,2	2,9	0,3	2,1	0,1	48,2	0,2	48,3	81,0
15	4,7	0,4	2,4	0,1	44,7	0,2	45,0	3,7	0,3	2,1	0,1	44,2	0,2	44,4	82,0
16	4,5	0,4	2,4	0,1	43,4	0,2	43,7	3,1	0,3	2,3	0,1	42,8	0,2	43,0	82,0
17	4,2	0,3	3,1	0,1	42,4	0,2	42,7	3,3	0,3	2,9	0,1	42,4	0,1	42,6	83,8
18	3,5	0,3	3,5	0,1	42,2	0,2	42,5	2,6	0,3	3,3	0,1	42,1	0,1	42,3	82,4
19	4,0	0,3	3,7	0,1	42,2	0,1	42,5	2,6	0,3	3,4	0,1	42,2	0,1	42,4	82,1
20	3,9	0,3	3,7	0,1	45,0	0,1	45,4	2,7	0,3	3,3	0,1	44,2	0,1	44,5	79,6
21	3,1	0,3	3,7	0,1	44,6	0,1	44,9	2,8	0,3	3,1	0,1	44,3	0,1	44,5	81,6
22	2,9	0,3	3,2	0,1	44,0	0,1	44,2	2,7	0,2	2,9	0,1	43,5	0,1	43,6	82,6
23	2,9	0,3	2,8	0,1	45,2	0,1	45,4	2,8	0,2	2,5	0,1	44,4	0,1	44,5	81,6
24	3,0	0,3	2,5	0,1	45,8	0,1	45,9	2,5	0,2	2,4	0,1	44,6	0,1	44,8	82,6

ANEXO 1

Solução SIRGAS SIR09P01.CRD

Multiyear solution for SIRGAS-CON (SIR09P01)

LOCAL GEODETIC DATUM: IGS05 EPOCH: 2005-01-01 0:00:00

NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)
1	ANTC 41713S001	1608539.5716	-4816369.7180	-3847798.5433
2	AOML 49914S001	982296.7233	-5664607.2227	2752614.4955
3	AREQ 42202M005	1942826.2134	-5804070.3223	-1796894.2678
4	AREQ 42202M005	1942826.2050	-5804070.3063	-1796894.2678
5	ASC1 30602M001	6118526.0494	-1572344.7349	-876451.0644
6	BANS 42403M001	2132376.3734	-5935471.3325	948857.2280
7	BDOS 43401M001	3143382.2009	-5359714.8239	1434875.7817
8	BELE 41622M001	4228139.0394	-4772752.0937	-155761.3126
9	BOGA 41901M002	1744517.3936	-6116051.6091	512580.8926
10	BOGA 41901M002	1744517.3882	-6116051.6033	512580.8927
11	BOGT 41901M001	1744399.0367	-6116037.5399	512731.7190
12	BOMJ 41612M001	4510195.8270	-4268322.3398	-1453035.2319
13	BRAZ 41606M001	4115014.0806	-4550641.5664	-1741443.9606
14	BRFT 41602M002	4985393.5410	-3954993.4227	-428426.7034
15	BRMU 42501S004	2304703.4790	-4874817.1884	3395186.9524
16	BRMU 42501S004	2304703.4774	-4874817.1914	3395186.9557
17	BUCA 41911S001	1838191.2930	-6057527.6817	785312.1980
18	BUEN 41912S001	1430383.8484	-6200818.1805	428933.9699
19	CALI 41903S001	1483099.9380	-6193060.1977	373124.0429
20	CAM2 40514M001	-56581.3334	-6001449.5819	2151509.1573
21	CART 41902M001	1567348.5975	-6075293.5287	1142850.8101
22	CFAG 41517S001	2016584.8754	-5050165.6394	-3323308.7677
23	CHET 40526M001	179584.7809	-6048080.6859	2010447.3555
24	CHIH 40525M001	-1552307.7958	-5382771.9621	3041779.7910
25	CHPI 41609M003	4164613.8804	-4162456.8814	-2445028.8066
26	CIC1 40508M002	-2433177.0958	-4845044.8914	3348295.8700
27	COL2 40524M001	-1427005.6249	-5852976.0424	2089088.9615
28	CONZ 41719M002	1492007.5773	-4887910.7255	-3803639.9419
29	CONZ 41719M002	1492007.5830	-4887910.7302	-3803639.9434
30	COPO 41714S001	1907040.7479	-5337379.0299	-2916334.8431
31	COPO 41714S001	1907040.7623	-5337379.0197	-2916334.8490
32	CORD 41511M001	2345503.8815	-4910842.8368	-3316365.3609
33	COYQ 41715S001	1391587.1958	-4255574.4784	-4527925.9555
34	CRAT 41619M001	4888826.0218	-4017957.4542	-798308.9492
35	CRAT 41619M001	4888826.0171	-4017957.4517	-798308.9490
36	CRCS 42401M001	2459721.8617	-5770508.8907	1155112.0298
37	CRO1 43201M001	2607771.2165	-5488076.7075	1932767.7884

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

38	CUCU 41904S001	1901228.7065	-6025504.3095	870700.4649
39	CUIB 41603M001	3430711.3995	-5099641.5812	-1699432.8744
40	CULI 40523M001	-1730936.7073	-5528855.2591	2658865.6243
41	DORA 41915S001	1679425.2160	-6123536.8838	602182.2368
42	EISL 41703M003	-1884951.2119	-5357596.0368	-2892890.5582
43	ELEN 40902S001	14103.7792	-6103995.0237	1843981.7359
44	ESTI 41202S001	394283.5421	-6201541.4194	1436325.8423
45	ETCG 40602M001	645208.2388	-6249842.2156	1100399.4268
46	FLOR 41916S001	1585141.1005	-6175731.4544	179144.8429
47	FORT 41602M001	4985386.5971	-3954998.6075	-428426.3795
48	GALA 42005M001	-33795.7032	-6377522.6384	-82120.8127
49	GLPS 42005M002	-33801.6561	-6377516.5291	-82154.3922
50	GOLD 40405S031	-2353614.3210	-4641385.3347	3676976.4291
51	GOUG 30608M001	4795578.6634	-835299.3904	-4107633.9472
52	GUAT 40901S001	-56063.5845	-6174978.6906	1596665.2682
53	GUAT 40901S001	-56063.5819	-6174978.6823	1596665.2654
54	GVAL 41623M001	4490200.7957	-4036984.9480	-2048288.3381
55	HER2 40522M001	-1996003.9576	-5208674.5226	3082959.5782
56	IGM0 41505M002	2751801.0648	-4479882.7049	-3598917.2231
57	IGM1 41505M003	2751804.0378	-4479879.2978	-3598922.5266
58	IMPZ 41615M001	4289656.4310	-4680884.9504	-606347.2685
59	INEG 40507M001	-1260435.6819	-5788547.2764	2360340.0916
60	INEG 40507M001	-1260435.6583	-5788547.2070	2360340.0744
61	IQQE 41708S002	2034208.5031	-5629172.2732	-2196141.8551
62	ISPA 41703M007	-1881703.6592	-5359979.7253	-2890599.2456
63	JAMA 42601S001	1388059.8373	-5909149.0465	1951963.8707
64	KOUR 97301M210	3839591.3892	-5059567.5686	579957.0401
65	KYW1 49852S001	842464.4292	-5741929.0127	2637061.5156
66	LHCL 41518S001	2079355.6133	-4582903.4631	-3905925.6727
67	LP AZ 40521M001	-2022283.3337	-5461274.2516	2592317.0884
68	LPGS 41510M001	2780102.9993	-4437418.9232	-3629404.5173
69	MANA 41201S001	407981.8366	-6222925.7315	1333528.9672
70	MANA 41201S001	407981.8435	-6222925.7183	1333528.9802
71	MANU 41614M001	3179009.3283	-5518662.0977	-344401.7641
72	MAPA 41629M001	4005461.1365	-4963550.3093	5162.2945
73	MARA 42402M001	1976117.1492	-5948895.1610	1173592.2267
74	MCLA 41624M001	4404519.5853	-4235798.4134	-1823409.1122
75	MDO1 40442M012	-1329998.7761	-5328393.3767	3236504.1582
76	MECO 41526M001	2946968.5638	-4730056.9701	-3091865.0195
77	MEDE 41921S001	1579608.4381	-6142783.8448	684352.2935
78	MERI 40520M001	39480.7850	-5957733.1127	2269335.1236
79	MEXI 40519M001	-2312590.9118	-4853743.6648	3419740.4466
80	MOTE 41922S001	1539876.9155	-6112744.6379	968435.2629
81	MPLA 41521M001	2700316.8336	-4243736.7214	-3908569.7436
82	MTY2 40518M001	-1029483.4559	-5657637.2375	2750926.1154
83	MZAC 41503M001	1932262.6786	-5001226.5272	-3444667.8512
84	NAUS 41614M002	3179409.3614	-5519130.6549	-334110.1063
85	NEIA 41620M002	3875254.9805	-4292588.7179	-2681108.7181
86	NEVA 41923S001	1617259.9672	-6161575.1570	324674.6495
87	OAX2 40517M001	-713483.0384	-6058316.0925	1861594.6946
88	OH12 66008M005	1525811.8722	-2432478.2214	-5676165.5950
89	OHIG 66008M001	1525872.6312	-2432481.3260	-5676146.0939

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

90	ONRJ 41635M001	4283638.3590	-4026028.8392	-2466096.7762
91	PALM 66005M002	1192671.9080	-2450887.6098	-5747096.0278
92	PALM 66005M002	1192671.9123	-2450887.6129	-5747096.0316
93	PARA 41610M001	3763751.6539	-4365113.8244	-2724404.6419
94	PARC 41716S001	1255992.4459	-3622975.1256	-5079719.2725
95	PDES 41524M001	1753203.6635	-3922031.1104	-4698513.5175
96	PERA 41905S001	1571418.6732	-6160208.4304	529446.3956
97	PIE1 40456M001	-1640916.9045	-5014781.2067	3575447.0986
98	POAL 41616M001	3467519.4118	-4300378.5553	-3177517.6796
99	POPA 41924S001	1477067.4466	-6200659.1191	270141.2780
100	POVE 41628M001	2774265.6189	-5662060.1119	-959415.9192
101	PPTE 41611M002	3687624.3562	-4620818.6816	-2386880.3104
102	PSTO 41925S001	1404951.7250	-6222655.1005	134028.5885
103	PUR3 82001S003	2358177.9097	-5573619.6482	2007083.9471
104	PUR3 82001S003	2358177.9128	-5573619.6640	2007083.9519
105	RECF 41617M001	5176588.6288	-3618162.1629	-887363.8556
106	RIOD 41608M001	4280294.8833	-4034431.2477	-2458141.3250
107	RIOG 41507M004	1429907.7969	-3495354.8181	-5122698.6489
108	RIOH 41927S001	1841101.0006	-5973351.3620	1264686.5365
109	RIOP 42006M001	1255144.9639	-6253609.4508	-182569.8400
110	RWSN 41513M001	1956973.4330	-4217335.3066	-4351745.4969
111	S061 42003S003	1272867.3123	-6252772.1405	-23801.7679
112	SALV 41618M001	4863495.7212	-3870312.3653	-1426347.7545
113	SANT 41705M003	1769693.5228	-5044574.1687	-3468320.9464
114	SCUB 40701M001	1474538.0915	-5811243.2796	2168958.8210
115	SLOR 41102S001	277528.9877	-6198801.8086	1471065.6117
116	SMAR 41621M001	3280748.4129	-4468909.7641	-3143408.6389
117	SRZN 43701S005	3623419.9913	-5214015.4438	602359.1905
118	SSIA 41401S001	95566.9980	-6197785.5906	1500590.5292
119	TAMP 40516M001	-807922.6354	-5849358.2529	2402967.6803
120	TEG1 41101S002	301692.7047	-6181037.6643	1542881.1684
121	TGCV 39601S001	5624175.6275	-2385323.5972	1826873.7653
122	TOL2 40515M001	-1009229.1653	-5939511.4389	2094889.2320
123	TUCU 41520S001	2386117.1882	-5171223.3064	-2862949.1262
124	TUNA 41930S001	1818373.1659	-6085596.9168	610964.9824
125	UBAT 41627M001	4129567.6783	-4146742.9540	-2527616.4342
126	UBER 41625M001	4014997.2228	-4509022.4448	-2052040.6451
127	UCOR 41502M001	2371430.0319	-4904119.9757	-3307377.4642
128	UEPP 41611M001	3687624.3190	-4620818.6264	-2386880.2876
129	UNRO 41525M001	2627448.1888	-4668383.1726	-3450213.5020
130	UNSA 41514M001	2412830.4315	-5271936.7303	-2652209.0408
131	UNSJ 41527M001	1987485.0122	-5065493.3527	-3317557.5093
132	VALL 41906S001	1807579.7277	-6006678.3599	1151876.7852
133	VARG 41626M001	4165518.2809	-4229235.7950	-2327739.5933
134	VBCA 41512M001	2319240.8170	-4411743.9340	-3966484.1218
135	VESL 66009M001	2009329.7910	-99741.4818	-6033158.4361
136	VICO 41613M001	4373283.3128	-4059639.0672	-2246959.6700
137	VIL2 40527M001	-310300.6380	-6060324.0310	1957383.6060
138	VIVI 41931S001	1798110.7544	-6103160.6854	450209.5809
139	YOPA 41932S001	1921562.4225	-6053497.5439	587652.0593

ANEXO 2

Solução SIRGAS SIR09P01.VEL

Multiyear solution for SIRGAS-CON (SIR09P01)

LOCAL GEODETIC DATUM: IGS05

NUM	STATION NAME	VX (M/Y)	VY (M/Y)	VZ (M/Y)
1	ANTC 41713S001	0.0165	-0.0029	0.0073
2	AOML 49914S001	- 0.0089	0.0002	0.0006
3	AREQ 42202M005	- 0.0068	-0.0069	0.0027
4	AREQ 42202M005	0.0014	-0.0106	0.0052
5	ASC1 30602M001	-0.0015	-0.0032	0.0131
6	BANS 42403M001	-0.0037	0.0003	0.0091
7	BDOS 43401M001	0.0143	0.0076	0.0155
8	BELE 41622M001	- 0.0023	-0.0052	0.0129
9	BOGA 41901M002	-0.0221	0.0590	0.0176
10	BOGA 41901M002	-0.0149	0.0409	0.0174
11	BOGT 41901M001	-0.0143	0.0516	0.0119
12	BOMJ 41612M001	0.0004	-0.0064	0.0124
13	BRAZ 41606M001	0.0007	-0.0065	0.0114
14	BRFT 41602M002	-0.0021	-0.0046	0.0101
15	BRMU 42501S004	-0.0123	-0.0005	0.0068
16	BRMU 42501S004	-0.0116	-0.0027	0.0058
17	BUCA 41911S001	0.0023	0.0029	0.0144
18	BUEN 41912S001	0.0055	0.0019	0.0129
19	CALI 41903S001	0.0028	0.0001	0.0140
20	CAM2 40514M001	-0.0077	0.0021	-0.0023
21	CART 41902M001	0.0123	0.0064	0.0091
22	CFAG 41517S001	0.0081	-0.0044	0.0098
23	CHET 40526M001	-0.0075	0.0050	-0.0017
24	CHIH 40525M001	-0.0118	-0.0010	-0.0063
25	CHPI 41609M003	0.0032	-0.0076	0.0097
26	CIC1 40508M002	-0.0318	0.0280	0.0163
27	COL2 40524M001	-0.0041	-0.0022	-0.0023
28	CONZ 41719M002	0.0371	-0.0019	0.0165
29	CONZ 41719M002	0.0329	-0.0053	0.0150
30	COPO 41714S001	0.0217	0.0008	0.0165
31	COPO 41714S001	0.0217	-0.0070	0.0097
32	CORD 41511M001	0.0032	-0.0056	0.0098
33	COYQ 41715S001	-0.0011	-0.0086	0.0072
34	CRAT 41619M001	0.0075	-0.0009	0.0105
35	CRAT 41619M001	-0.0018	-0.0024	0.0118
36	CRCS 42401M001	0.0006	0.0014	0.0100
37	CRO1 43201M001	0.0091	0.0093	0.0118

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

38	CUCU 41904S001	0.0025	0.0026	0.0133
39	CUIB 41603M001	-0.0004	-0.0071	0.0110
40	CULI 40523M001	-0.0096	0.0002	-0.0074
41	DORA 41915S001	0.0044	0.0047	0.0144
42	EISL 41703M003	0.0708	-0.0223	-0.0070
43	ELEN 40902S001	-0.0068	-0.0028	0.0010
44	ESTI 41202S001	0.0150	-0.0007	0.0114
45	ETCG 40602M001	0.0127	0.0097	0.0163
46	FLOR 41916S001	-0.0024	-0.0008	0.0079
47	FORT 41602M001	0.0021	-0.0065	0.0118
48	GALA 42005M001	0.0518	0.0002	0.0090
49	GLPS 42005M002	0.0513	-0.0020	0.0095
50	GOLD 40405S031	-0.0172	0.0054	-0.0028
51	GOUG 30608M001	0.0159	0.0184	0.0145
52	GUAT 40901S001	0.0060	0.0044	0.0011
53	GUAT 40901S001	0.0065	-0.0019	0.0029
54	GVAL 41623M001	0.0034	-0.0080	0.0108
55	HER2 40522M001	-0.0129	0.0002	-0.0071
56	IGM0 41505M002	0.0020	-0.0063	0.0097
57	IGM1 41505M003	0.0038	-0.0076	0.0084
58	IMPZ 41615M001	-0.0016	-0.0047	0.0117
59	INEG 40507M001	-0.0011	0.0345	-0.0190
60	INEG 40507M001	0.0053	0.0787	-0.0355
61	IQQE 41708S002	0.0265	0.0027	0.0145
62	ISPA 41703M007	0.0636	-0.0227	-0.0063
63	JAMA 42601S001	0.0056	0.0037	0.0065
64	KOUR 97301M210	-0.0014	-0.0038	0.0125
65	KYW1 49852S001	-0.0090	-0.0003	0.0012
66	LHCL 41518S001	0.0039	-0.0084	0.0061
67	LPAZ 40521M001	-0.0416	0.0257	0.0172
68	LPGS 41510M001	0.0037	-0.0080	0.0084
69	MANA 41201S001	0.0068	0.0071	0.0040
70	MANA 41201S001	0.0068	0.0003	0.0088
71	MANU 41614M001	-0.0082	0.0031	0.0116
72	MAPA 41629M001	0.0016	-0.0079	0.0122
73	MARA 42402M001	0.0088	0.0046	0.0114
74	MCLA 41624M001	0.0020	-0.0060	0.0104
75	MDO1 40442M012	-0.0126	0.0011	-0.0057
76	MECO 41526M001	0.0042	-0.0077	0.0082
77	MEDE 41921S001	0.0007	-0.0011	0.0108
78	MERI 40520M001	-0.0082	0.0025	-0.0017
79	MEXI 40519M001	-0.0180	0.0119	0.0149
80	MOTE 41922S001	0.0088	0.0114	0.0068
81	MPLA 41521M001	0.0048	-0.0089	0.0082
82	MTY2 40518M001	-0.0099	0.0002	-0.0046
83	MZAC 41503M001	0.0122	-0.0052	0.0093
84	NAUS 41614M002	0.0029	-0.0108	0.0113
85	NEIA 41620M002	0.0047	-0.0099	0.0087
86	NEVA 41923S001	0.0020	0.0022	0.0141
87	OAX2 40517M001	-0.0023	0.0009	0.0009
88	OHI2 66008M005	0.0184	-0.0022	0.0007
89	OHIG 66008M001	0.0188	-0.0038	-0.0010

Solução de ambiguidades GPS no Posicionamento por Ponto Preciso utilizando uma rede de estações

90	ONRJ 41635M001	0.0023	-0.0080	0.0094
91	PALM 66005M002	0.0175	-0.0082	-0.0042
92	PALM 66005M002	0.0170	-0.0041	0.0017
93	PARA 41610M001	0.0023	-0.0072	0.0099
94	PARC 41716S001	0.0071	-0.0081	0.0077
95	PDES 41524M001	0.0019	-0.0116	0.0059
96	PERA 41905S001	0.0041	0.0033	0.0153
97	PIE1 40456M001	-0.0142	0.0005	-0.0059
98	POAL 41616M001	0.0036	-0.0075	0.0095
99	POPA 41924S001	0.0014	0.0029	0.0119
100	POVE 41628M001	0.0002	-0.0140	0.0072
101	PPTC 41611M002	0.0043	-0.0094	0.0089
102	PSTO 41925S001	0.0074	0.0017	0.0142
103	PUR3 82001S003	0.0072	0.0075	0.0111
104	PUR3 82001S003	0.0078	0.0090	0.0096
105	RECF 41617M001	-0.0015	-0.0029	0.0118
106	RIOD 41608M001	0.0015	-0.0066	0.0113
107	RIOG 41507M004	0.0076	-0.0094	0.0055
108	RIOH 41927S001	0.0109	0.0071	0.0128
109	RIOP 42006M001	0.0015	-0.0021	0.0053
110	RWSN 41513M001	0.0019	-0.0091	0.0074
111	S061 42003S003	0.0099	0.0033	0.0095
112	SALV 41618M001	0.0021	-0.0052	0.0109
113	SANT 41705M003	0.0229	-0.0043	0.0125
114	SCUB 40701M001	-0.0044	-0.0003	0.0036
115	SLOR 41102S001	0.0135	0.0007	0.0051
116	SMAR 41621M001	0.0025	-0.0068	0.0101
117	SRZN 43701S005	-0.0018	-0.0049	0.0109
118	SSIA 41401S001	0.0062	-0.0008	0.0082
119	TAMP 40516M001	-0.0093	-0.0016	-0.0028
120	TEG1 41101S002	0.0103	-0.0014	0.0048
121	TGCV 39601S001	-0.0004	0.0218	0.0115
122	TOL2 40515M001	-0.0051	0.0020	-0.0036
123	TUCU 41520S001	0.0028	-0.0005	0.0113
124	TUNA 41930S001	0.0020	0.0006	0.0125
125	UBAT 41627M001	0.0058	-0.0110	0.0069
126	UBER 41625M001	0.0011	-0.0064	0.0095
127	UCOR 41502M001	0.0068	-0.0064	0.0093
128	UEPP 41611M001	0.0023	-0.0074	0.0106
129	UNRO 41525M001	0.0052	-0.0087	0.0084
130	UNSA 41514M001	0.0062	-0.0026	0.0109
131	UNSJ 41527M001	0.0116	-0.0020	0.0110
132	VALL 41906S001	0.0078	0.0058	0.0133
133	VARG 41626M001	0.0014	-0.0061	0.0099
134	VBCA 41512M001	0.0034	-0.0079	0.0071
135	VESL 66009M001	0.0106	-0.0008	0.0018
136	VICO 41613M001	0.0013	-0.0060	0.0112
137	VIL2 40527M001	-0.0072	0.0043	-0.0016
138	VIVI 41931S001	-0.0069	0.0011	0.0093
139	YOPA 41932S001	-0.0048	-0.0028	0.0102

ANEXO 3

Estações que compuseram a Rede suporte

Sigla da estação/UF								
1	ALAR	AL	22	MGBH	MG	43	RJCG	RJ
2	BAIR	BA	23	MGIN	MG	44	RNMO	RN
3	BATF	BA	24	MGMC	MG	45	RNNA	RN
4	BAVC	BA	25	MGUB	MG	46	ROJI	RO
5	BELE	PA	26	MSCG	MS	47	ROSA	SP
6	BOAV	RR	27	MSDO	MS	48	SAGA	AM
7	BOMJ	BA	28	MTBA	MT	49	SALU	MA
8	BRFT	CE	29	MTCO	MT	50	SAVO	BA
9	CEEU	CE	30	MTSF	MT	51	SCCH	SC
10	CEFE	ES	31	NEIA	SP	52	SCLA	SC
11	CHPI	SP	32	ONRJ	RJ	53	SJRP	SP
12	CRAT	CE	33	OURI	SP	54	SMAR	RS
13	CUIB	MT	34	PBCG	PB	55	SSA1	BA
14	GOJA	GO	35	PEPE	PE	56	TOGU	TO
15	GVAL	MG	36	PISR	PI	57	TOPL	TO
16	ILHA	SP	37	POLI	SP	58	UBAT	SP
17	IMBT	SC	38	POVE	RO	59	UBER	MG
18	IMPZ	MA	39	PRGU	PR	60	UFPR	PR
19	MABA	PA	40	PRMA	PR	61	VARG	MG
20	MAPA	AP	41	RIOB	AC	62	VICO	MG
21	MCLA	MG	42	RIOD	RJ			