

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA – DECart
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO – PPGCGTG

MODELAGEM DO MOVIMENTO DA PLACA
TECTÔNICA SUL-AMERICANA POR MEIO DE DADOS
VLBI E GNSS.

Wanessa de Oliveira Souza

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Jacks dos Anjos Garnés

Dissertação de Mestrado

Recife, 29 agosto de 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA – DECart
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO – PPGCGTG

Wanessa de Oliveira Souza

**MODELAGEM DO MOVIMENTO DA PLACA
TECTÔNICA SUL-AMERICANA POR MEIO DE DADOS
VLBI E GNSS.**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Departamento de Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como um dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Geodésia Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Jacks dos Anjos Garnés.

Recife, 29 agosto de 2013.

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S729m

Souza, Wanessa de Oliveira.

Modelagem do movimento da placa tectônica sul-americana por meio de dados VLBI e GNSS / Wanessa de Oliveira Souza. - Recife: O Autor, 2013.

xxvi, 177 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Jacks dos Anjos Garnés.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2013.

Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Cartografia. 2. Placas tectônicas. 3. VLBI. 4. SIRGAS-CON. 5. PPP. I. Garnés, Sílvio Jacks dos Anjos. (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2013-328

FOLHA DE APROVAÇÃO

**MODELAGEM DO MOVIMENTO DA PLACA TECTÔNICA SUL-AMERICANA POR
MEIO DE DADOS VLBI E GNSS**

POR

WANESSA DE OLIVEIRA SOUZA

Dissertação defendida e aprovada em 29/08/2013.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. SÍLVIO JACKS DOS ANJOS GARNÉS

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Dra. SONIA MARIA ALVES COSTA

Coordenação de Geodésia – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Prof. Dr. HAROLDO ANTONIO MARQUES

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

*Dedico esta pesquisa ao meu querido
esposo Sérgio e a minha filha Júlia
(pilares da minha vida), pelo amor,
incentivo e compreensão de forma
incondicional.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ofertar-me saúde todos os dias, possibilitando as condições de vencer os desafios.

Ao meu pai Césio e a minha mãe Rejane, por estarem sempre me aconselhando e orientando, principalmente, na importância da construção e coerência de meus próprios valores.

Aos meus irmãos Bruno, Gustavo e Césio pelo carinho e incentivo.

Ao meu esposo Sérgio Henrique pelo carinho, compreensão, incentivo e apoio ofertado esses anos e a minha filha Júlia Maria pelo doce de criança que é, pois sem eles eu não sei o que seria de minha vida pessoal e profissional.

Aos meus sogros Lurdes e Valdemildo e a minha cunhada Valdênia pelo auxílio na educação e cuidado com a Júlia, pois sem eles ficaria muito mais difícil concluir esta pesquisa.

Ao programa de apoio a planos, Reuni (Reestruturação e expansão das Universidades Federais) e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro durante esta pesquisa, CNPQ pelo apoio a pesquisa por meio do projeto intitulado: Detalhamento dos Modelos da Realidade Espacial da Região Metropolitana de Recife pelo Refinamento dos Elementos Geodésicos: Desvio da Vertical, Geoíde Local, Velocidade de Placa

Tectônica e Modelo Digital de Terreno. Nº do processo: 487489/2012-8, MCT/CNPq - Nº 14/2012.

Ao meu orientador, professor e amigo Dr. Sílvio Jacks Garnés, por todos os aconselhamentos, ensinamentos e paciência em todos os momentos. Por ter ingressado comigo nesta luta, acreditando na minha capacidade de vencer, onde nem eu mesma acreditava mais.

Aos professores da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) do Departamento de Engenharia Cartográfica (DECart) do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (PPGCGTG), que contribuíram na minha evolução profissional, em especial aos professores: Francisco Jaime, Prof^a Andréa de Seixas, prof^a Ana Lúcia, Prof^a Lucilene Antunes e ao Prof^o Haroldo.

Ao prof^o MS. Esdras Jafet (UPE - Universidade de Pernambuco) pelos ensinamentos transmitidos em minha graduação (licenciatura plena em matemática), pela confiança e indicação ao Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (PPGCGTG).

Aos amigos de mestrado, em especial a Amanda Maria, Alexandre do Nascimento, Rejane Maria (prof^a IFPE), Mario, Alex, Ester e Roberto Neres pela companhia, incentivo e apoio para com a pesquisa.

As amigas de todas as horas: dona Judite, Josélia e Elizabeth (secretária) pelo carinho, atenção e dedicação ofertada.

E, finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SEGUINDO O CAMINHO.

Quando Deus nos oferece seu caminho para seguir e seguimos, não importa que venham, as dores, as perdas, a força dispensada, o porquê, o porquê, o porquê... O que importa é que sempre teremos motivos para ser feliz. Se a ciência falhar, se os homens falharem, mesmo que o dia não brilhe, mesmo que a lágrima insista em cair, nunca desista, pois é este sentimento de vitória, de conquista, de alegria, de superação, de valorização que este caminho de Deus vai nos proporcionar.

Sergio Henrique de Oliveira Souza.

RESUMO

SOUZA, Wanessa de O. **Modelagem do Movimento da Placa Tectônica Sul-Americana por meio de dados VLBI e GNSS**. Recife, 2013.

Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Há cerca de 220 milhões de anos os continentes vêm afastando-se uns dos outros. Esse fenômeno se explica a partir da teoria da deriva continental, complementada pela teoria da tectônica de placas, onde se acreditava que estruturas rígidas como as placas litosféricas, eram capazes de transmitir tensões em longas distâncias sem causar deformações internas. Desta forma, devido ao movimento das placas e como consequência a deriva dos continentes, as estações a eles pertencentes também vêm se movendo em relação a um referencial geocêntrico. Considerando que, com a evolução tecnológica e as facilidades geradas no tratamento de dados globais, a Geodésia ganhou um dinamismo sem precedentes, incorporando em seus métodos de posicionamento, atualizações periódicas dos referências globais, como exemplo, as estruturas iniciadas pelos ITRF's de 1988 até o de 2008. Do ponto de vista científico, não há problema nenhum quanto ao dinamismo das estruturas geodésicas, mas do ponto de vista prático e legal, tal dinamismo gera alguns inconvenientes, que podem ser resolvidos pelo conhecimento e modelagem adequada para as transformações a serem executadas. No tocante ao deslocamento da placa tectônica Sul-americana, alguns modelos de velocidade vêm sendo utilizados desde a virada do milênio, entre eles: NNR-NUVEL-1A; APKIM2000; APKIM8.8; ITRF2000; COSTA, SANTOS e GEMAEL (2003); PEREZ, MONICO e CHAVES (2003); e VEMOS2009. Como o Sistema Geodésico Brasileiro, SIRGAS2000, oficializado pela RPR 01 (IBGE), de 25 de fevereiro de 2005, passou a utilizar a época de referência 2000,4, então o posicionamento atual de medidas podem precisar de uma redução de 13 anos. Confrontando os modelos citados e gerando as discrepâncias, analisaram-se na ordem milimétrica e também na ordem centimétrica as equivalências dos modelos para o território brasileiro. O modelo VEMOS2009 atualmente utilizado pelo IBGE no serviço PPP *online* foi tomado como referência padrão, na análise comparativa. Além desses, com base no processamento semanal do SIRGAS-CON (<http://www.sirgas.org/index.php?id=153>) dos anos de 2008 a 2011 de algumas estações da RBMC, cuja geometria permitisse uma amostra significativa da placa sul-americana (SOAM) e também se aproveitando de dados de duas estações VLBI (Very Long Baseline System) sobre a placa SOAM; uma (Ft) localizada na cidade de Fortaleza – CE, Brasil e a outra (TIGO) localiza em Concepción no Chile, processadas pelo IVS (International VLBI service for Geodesy and astrometry), pôde-se gerar um modelo atual de velocidades e participar das análises comparativas. Os processamentos foram realizados com os módulos: modeloSOAM@ versão 2013.07.08 e ModelTectonica@2013.07.07 do software AstGeo- Top. Os resultados mostraram a possibilidade de utilizar vários dos

modelos citados quando a discrepância puder ser até de 5 cm em 13 anos, mas ficou reduzida a algumas regiões do Brasil e a três dos modelos quando a discrepância não puder ultrapassar a 1cm em 13 anos.

Palavras-chave: Placas Tectônicas, VLBI, SIRGAS-CON e PPP.

ABSTRACT

SOUZA, Wanessa O. **Modeling of the Movement of the South American tectonic plate by means of GNSS and VLBI data**. Recife, 2013.

Dissertation (master's degree) - Center of Technology and Geoscience (CTC), University Federal of Pernambuco (UFPE).

There are about 220 million years ago the continents comes increasingly distanced itself from each other. This phenomenon can be explained from the theory of continental drift, complemented by the theory of plate tectonics, where was believed that rigid structures such as lithospheric plates, were capable of impart stresses over long distances without causing internal deformation. In this way, due to movement of the boards and as a consequence the continental drift, the stations that belong to them too come moving relative an geocentric reference. Whereas, with the technological developments and facilities offered in the treatment of global data, the Geodesy gained unprecedented dynamics, incorporating in their positioning methods, periodic updates of global references, as an example, the structures initiated by ITRF's 1988 until 2008. From a scientific standpoint, there is no problem regarding the dynamics of the geodesic structures, but from a practical and legal perspective, this dynamic creates some drawbacks, which can be solved by adequate knowledge and modeling for the transformations to be performed. Regarding the shift of the South American tectonic plate, some speed models have been used since the turn of the millennium, including: NNR-NUVEL-1A; APKIM2000; APKIM8.8; ITRF2000; COSTA, SANTOS and GEMAEI (2003); PEREZ, MONICO and CHAVES (2003) and VEMOS2009. As the Geodetic Brazilian System, SIRGAS2000, officially by RPR01 (IBGE), of February 25, 2005, began utilizing the epoch of reference 2000,4, then the current positioning of measures may need to be reduced by 13 years. Confronting the models mentioned and generating the discrepancies, was analyzed millimeter in order and also in centimeter, the equivalences of models for the Brazilian territory. The VEMOS2009 model currently used by IBGE in PPP online service was taken as the standard reference in the comparative analysis. Besides these, based on the weekly processing SIRGAS-CON (<http://www.Sirgas.org/index.php?id=153>) of the years 2008 to 2011 some RBMC stations, whose geometry would allow a significant sample of south American plate (SOAM) and also taking advantage of data from two stations VLBI (Very Long Baseline System) on the plate SOAM, a (Ft) located in the city of Fortaleza-CE, Brazil and other (TIGO) located in Concepción in Chile, processed by the IVS (International VLBI service for Geodesy and astrometry), receiver could be generate a current velocity model and participate in the comparative analyzes. The processing was performed with the modules: modeloSOAM@version8.7.2013 and ModelTectonica@2013.07.07 software AstGeoTop. The results showed the possibility of using several of the models mentioned when the discrepancy can be up to 5cm in 13 years, but was reduced to some regions of Brazil and three of the models when the discrepancy can not exceed 1cm in 13 years.

Keywords: Plate Tectonics, VLBI, SIRGAS-CON and PPP.

SUMÁRIO

RESUMO	X
ABSTRACT	XII
LISTA DE FIGURAS.....	XVI
LISTA DE TABELAS	XIX
LISTA DE QUADROS	XX
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XXII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XXV
1 INTRODUÇÃO.....	29
1.1 DESCRIÇÃO GERAL	29
1.2 OBJETIVOS	32
1.3 ESTADO DA ARTE	33
1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA	41
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	42
2.1 PLACAS TECTÔNICAS E SEUS MOVIMENTOS	42
2.1.1 Estrutura interna da Terra	42
2.1.2 Deriva dos Continentes	47
2.1.3 Teoria da Tectônica de Placas	50
2.2 A DINÂMICA DA GEODÉSIA	55
2.2.1 Posicionamento Geodésico por Satélite	57
2.2.1.1 Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)	61
2.2.1.2 Posicionamento Relativo VLBI.....	62
2.2.2 Sistemas Geodésicos de Referência	72
2.2.2.1 Córrego Alegre.....	73
2.2.2.2 Sistema SAD 69	74
2.2.2.3 Sistema de referência WGS-84	75
2.2.2.4 Sistema de referência SIRGAS2000	76
2.2.3 Transformação de coordenadas geodésicas elipsoidais (φ, λ, h) em Cartesianas Geocêntricas (X, Y, Z).....	78

2.2.4 Transformações entre referenciais terrestres e atualização de coordenadas.....	80
3 METODOLOGIA.....	91
3.1 COLETA E PREPARO DOS DADOS GNSS (SIRGAS-CON)	92
3.1.1 Processamento dos dados GNSS (SIRGAS-CON)	92
3.1.1.1 Obtenção do vetor velocidade (SIRGAS-CON).....	97
3.2 COLETA E PREPARO DOS DADOS GNSS (SERVIÇO PPP-IBGE <i>ONLINE</i>)	102
3.2.1 Processamento dos dados GNSS e obtenção do vetor velocidade (Serviço PPP-IBGE online).....	103
3.3 PROCESSAMENTO VLBI.....	104
3.4 PROCESSAMENTO COMPARATIVO COM O MODELO VEMOS.....	104
4 RESULTADOS	106
4.1 RESULTADOS DO PROCESSAMENTO SIRGAS-CON	106
4.2 RESULTADOS DO PROCESSAMENTO PPP-IBGE <i>ONLINE</i>	119
4.3 RESULTADO DO PROCESSAMENTO VLBI, VIEVS E IVS	123
4.4 MODELOS EXISTENTES	128
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
APÊNDICES	146
APÊNDICE A – COORDENADAS DO PROCESSAMENTO SIRGAS-CON EM SIRGAS2000.	147
APÊNDICE B – COORDENADAS DO PROCESSAMENTO PPP-IBGE <i>ONLINE</i> EM SIRGAS2000.....	152
APÊNDICE C – DISCREPÂNCIAS ENTRE COORDENADAS GNSS SIRGAS-CON E PPP <i>ONLINE</i>	157
APÊNDICE D – COORDENADAS VLBI PROCESSADAS NO SOFTWARE VIEVS E OBTIDAS PELO IVS.	161
D.1 - Coordenadas processadas pelo software VieVs.....	161
D.2 - Coordenadas processadas pelo IVS.....	162
APÊNDICE E – RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO DOS ARQUIVOS SIRGAS-CON PELO ASTGEO TOP PARA MODELAGEM DA PLACA SOAM.	163

APÊNDICE F – RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO DOS ARQUIVOS PPP-IBGE ONLINE PARA OBTENÇÃO DO VETOR DE EULER PELO ASTGEO TOP.	168
APÊNDICE G – VELOCIDADES COM MODELOS CONHECIDOS.	173
G.1 – Velocidades da aplicação do Modelo VEMOS às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.	173
G.2 – Velocidades da aplicação do Modelo NNR- NUVEL 1A às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.	174
G.3 – Velocidades da aplicação do Modelo APKIM 2000 às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.	175
G.4 – Velocidades da aplicação do Modelo APKIM 8.8 às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.	176
G.5 – Velocidades da aplicação do Modelo ITRF 2000 às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008	177
G.6 – Velocidades da aplicação do Modelo COSTA;SANTOS;GEMAE L 2003 às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.	178
G.7 – Velocidades da aplicação do Modelo PEREZ;MONICO;CHAVES 2003 às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.	179

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Principais subdivisões do interior da Terra.....	43
Figura 2.2 Mapa conceitual representando a estrutura Interna da Terra.....	44
Figura 2.3 Ilustração da reconstrução dos continentes (Snider, 1858).....	46
Figura 2.4 Reconstrução da Pangéia.....	47
Figura 2.5 Representação de contato entre placas divergentes e sua implicação.....	50
Figura 2.6 Representação de contato entre placas convergentes e sua implicação.....	51
Figura 2.7 Representação de contato entre placas e da Falha de Santo André, localizada no contato entre as placas Juan de Fuca e a Norte-Americana.....	52
Figura 2.8 Placas Tectônicas.....	53
Figura 2.9 Fotografias de alguns dos danos causados no Japão pelo Terremoto. (a) Trilho ferroviário dobrado por poderoso movimento no solo, (b) Recipiente de carga arremessado pelo tsunami, (c) Rachadura da estrada. (fotos (a) e (c) foram tiradas do Dr. Kondo).....	54
Figura 2.10 Sistemas de Posicionamento Global.....	55
Figura 2.11 Observações dos códigos dos sinais dos satélites GNSS.....	57
Figura 2.12 Antena VLBI.....	61
Figura 2.13 Ilustração do princípio básico da Técnica VLBI.....	63
Figura 2.14 Relação geométrica para a Técnica VLBI.....	63
Figura 2.15 Representação do Pólo de Euler e do ângulo de rotação.....	81
Figura 2.16 Representação do Modelo VEMOS2009.....	88
Figura 3.1 Esquema metodológico.....	89
Figura 3.2 Representação da nomenclatura dos arquivos do processamento SIRGAS-CON.....	90
Figura 3.3 Parâmetros de transformação ITRF(IGS05) para SIRGAS2000.....	92
Figura 3.4 Parâmetros de transformação ITRF (IGS08) para SIRGAS2000.....	93

Figura 3.5 Localização das estações.....	94
Figura 4.1 Discrepâncias anuais das coordenadas das estações RBMC/IGS processadas pelo SIRGAS-CON: BELE, BOMJ, BRAZ, BRFT, CHPI, CONZ, CRO1 e CUIB.....	105
Figura 4.2 Discrepâncias anuais das coordenadas das estações RBMC/IGS processadas pelo SIRGAS-CON: POVE, PPTE, RECF, SAGA, SMAR, SANT e TOPL	106
Figura 4.3 Estação GNSS CONZ, antes e depois do terremoto de 27/02/2010 Chile.....	108
Figura 4.4 análise temporal por processamento VLBI da estação TIGO-CONC no Chile antes e depois do terremoto de 27 de fevereiro de 2010.....	109
Figura 4.5 Poligonais formando o deslocamento das coordenadas das estações BELE, BOMJ, BRAZ, BRFT, CHPI, CONZ, CRO1, CUIB sobre a placa SOAM nos anos de 2008 a 2011 – ITRF2000 a partir do ITRF2005 e 2012 ITRF2000 a partir do ITRF2008.....	111
Figura 4.6 Poligonais formando o deslocamento das coordenadas das estações POVE, PPTE, RECF, SAGA, SANT, SMAR, TOPL sobre a placa SOAM nos anos de 2008 a 2011 – ITRF2000 a partir do ITRF2005 e 2012 ITRF2000 a partir do ITRF2008.....	112
Figura 4.7 Software para determinação dos parâmetros por MMQ sequencial do modelo de velocidades usando o pólo de Euler.....	116
Figura 4.8 Poligonais formando o deslocamento das coordenadas das estações BELE, BOMJ, BRAZ, BRFT sobre a placa SOAM nos anos de 2008 a 2011 – ITRF2000 a partir do ITRF2005 e 2012 ITRF2000 a partir do ITRF2008.....	117
Figura 4.9 Continuação Poligonais formando o deslocamento das coordenadas das estações CHPI, CONZ, CRO1, CUIB, POVE, PPTE, RECF, SAGA sobre a placa SOAM nos anos de 2008 a 2011 – ITRF2000 a partir do ITRF2005 e 2012 ITRF2000 a partir do ITRF2008.....	118

- Figura 4.10** Poligonais formando o deslocamento das coordenadas das estações SANT, SMAR, TOPL sobre a placa SOAM nos anos de 2008 a 2011 – ITRF 2000 a partir do ITRF2005 e 2012 ITRF2000 a partir do ITRF2008.....119
- Figura 4.11** Deslocamento da estação ft-VLBI de Fortaleza pelos processamentos VieVs e serviço IVS.....122
- Figura 4.12** Deslocamento da estação TIGO-CONC do Chile pelos processamentos VieVs e serviço IVS.....123
- Figura 4.13** comportamento da Estação Ft - Fortaleza pelo processamento VLBI do IVS, 07 de janeiro de 2008 a 1 de outubro de 2009.....124
- Figura 4.14** comportamento da Estação tigo – Concepcion Chile pelo processamento VLBI do IVS, 07 de janeiro de 2008 a 1 de outubro de 2009.....124

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 3.1 Descrição dos arquivos pertencentes ao SIRGAS-CON.....	91
Tabela 4.1 Coordenadas cartesianas geocêntricas e discrepância em coordenadas UTM com referência ao ano de 2008.....	107
Tabela 4.2 Variação das Linhas de base longas BRFT-CONZ e BRFT-SANT.....	109
Tabela 4.3 Vetor de velocidade e vetor de rotação de Euler determinados por ajustamento sequencial.....	114
Tabela 4.4 Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide, quadrática do ajustamento e A.Estatística.....	115
Tabela 4.5 Vetor de velocidade e vetor de rotação de Euler determinados por ajustamento sequencial.....	120
Tabela 4.6 Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide, quadrática do ajustamento e A. Estatística.....	121
Tabela 4.7 Dados das estações dessa pesquisa.....	127
Tabela 4.8 Comparação VEMOS do software VMS.EXE (Drewes and Heidbach 2009) e AstGeoTop SOAM @ versão 2013.07.08.....	128
Tabela 4.9 MODELO ENCONTRADO X VEMOS 2009 (unidades m/ano).....	129
Tabela 4.10 MODELO ENCONTRADO X NNR-NUVEL 1A (unidades m/ano	130
Tabela 4.11 MODELO ENCONTRADO X APKIM 2000 (unidades m/ano).....	130
Tabela 4.12 MODELO ENCONTRADO X APKIM 8.8 (unidades m/ano).....	131
Tabela 4.13 MODELO ENCONTRADO X ITRF 2000 (unidades m/ano).....	131
Tabela 4.14 MODELO ENCONTRADO X COSTA; SANTOS; GEMAEI 2003 (unidades m/ano).....	132
Tabela 4.15 MODELO ENCONTRADO X PEREZ; MONICO; CHAVES 2003 (unidades m/ano).....	132
Tabela 4.16 Comparação dos modelos VEMOS2009, PEREZ; MONICO; CHAVES 2003 e Encontrado.....	134

LISTA DE QUADROS

	Pág.
Quadro 1.1 Quadro Geral dos modelos existentes (parâmetros de rotação da Placa Sul-Americana).....	35
Quadro 1.2 EMQ das diferenças entre as componentes.....	37
Quadro 1.3 Qui-quadrado por grau de liberdade para GPS (livre de ambiguidade), GPS (ambiguidade fixa) e VLBI estimativa de OTLD para valores modelados.....	38
Quadro 2.1 Tipo de seção e razão da realização.....	66
Quadro 2.2 As redes e as estações de correlação.....	68
Quadro 2.3 Informações das estações VLBI da placa SOAM.....	68
Quadro 2.4 Programa de observações VLBI para dezembro de 2013.....	69
Quadro 2.5 Parâmetros do Córrego Alegre.....	72
Quadro 2.6 Parâmetros do SAD 69.....	72
Quadro 2.7 Parâmetros definidores do WGS-84.....	73
Quadro 2.8 Parâmetros do Sistema de referência SIRGAS2000.....	74
Quadro 2.9 Elementos do pólo de rotação para a placa Sul-Americana.....	86
Quadro 3.1 Descrições das estações.....	92
Quadro 4.1 Formato do arquivo de entrada para processamento no AstGeo-Top: ModelTectônica © Versão 2013.07.05.....	113
Quadro 4.2 Resultado final do Modelo com coordenadas SIRGAS-CON.....	116
Quadro 4.3 Resultado final da estimação do modelo (vetor de Euler) com coordenadas PPP-IBGE online.....	121
Quadro 4.4 Resultado final da estimação do modelo (vetor de Euler) com coordenadas VLBI –IVS apenas com estações Ft e TIGOCON.....	125
Quadro 4.5 Resultado final da estimação do modelo (vetor de Euler) com coordenadas GNSS–SIRGAS-CON apenas com estações BRFT e CONZ.....	126

Quadro 4.6 Resultado final da estimação do modelo encontrado (vetor de Euler) com coordenadas SIRGAS-CON, usado na comparação com demais modelos.....	129
--	-----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANOVA – Análise de Variância.

APKIM – Actual Plate Kinematic and Deformation Model.

AstGeoTop – Programa Computacional.

CDDIS – *Crustal Dynamics Data Center*.

CEPGE – Centro de Processamento de dados GNSS do Equador.

CIMA – Centro de Processamento Ingeniería-Mendoza-Argentina da Universidade Nacional de Cuyo (Argentina).

COMPASS/BeiDou – CNSS-Compass Navigation Satellite System.

CNPDG-A – Centro Nacional de Processamento de Dados GNSS, da Universidade Nacional (Costa Rica).

CPAGS-LUS – Centro de Processamento e Análises GNSS SIRGAS.

CRD – Coordenadas finais (SIRGAS-CON).

CRS – *Celestial Reference System*.

CRF – *Celestial Reference Frame*.

CSRS – *Canadian Spatial Reference System*.

CTRS – Sistema de Referência Terrestre convencional.

DGFI – *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut*.

DoD – *Department of Defense* (EUA).

DORIS – *Determination d'Orbite et Radiopositionnement Intégré par Satellite*.

EOP – *Earth Orientation Parameters*.

ftp – *File Transfer Protocol*.

GIPSY/OASIS II – *GPS Inferred Positioning System – Orbit Analysis and Simulation Software*.

GLONASS – *GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*.

GM – *Constante Gravitacional da Terra*.

GNSS – *Global Navigation Satellite Systems*.

GPS – *Global Position System*.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

ICRF – *International Celestial Reference Frame*.

IERS – *International Earth Rotation and Reference Systems Service*.

IGAC – Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

IGM-CI – Instituto Geográfico Militar (Chile).

IGN-Ar – Instituto Geográfico Nacional (Argentina).

IGS – *International GNSS Service*.

IGS-RNAAC-SIR – *IGS Regional Network Associate Analysis Center for SIRGAS*.

INCRA – Instituto Nacional de colonização e reforma agrária.

INEGI – Instituto Nacional de Estadística e Geografía (México).

IRIS – *International Radio Interferometric Surveying*.

ITRF – *International Terrestrial Reference Frame*.

ITRS – *International Terrestrial Reference System*.

IVS – *International VLBI Service for Geodesy & Astrometry*.

JPL – *Jet Propulsion Laboratory*.

LLR – *Lunar Laser Ranging*.

MVC – Matriz Variância-Covariância.

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*.

NAVSTAR GPS – *Navigation System With Time and Ranging Global Positioning System*.

NNR-NUVEL-1A – *No Net Rotation-Northwestern University VELOCITY model 1A*.

NNSS – *Navy Navigation Satellite System*.

NRCan – *Natural Resource Canada*.

OTLD – *Ocean Tide Loading Displacements*.

PCV – *Phase Center Variation*.

PPP – *Posicionamento por Ponto Preciso*.

PRARE – *Precise Range and Range Rating Equipment*.

QMR – *Quadrado Médio Residual*.

R.A – *Região de aceitação*.

RBMC – *Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS*.

R.C – Região Crítica.

RIBac – Rede INCRA de Bases Comunitárias do GNSS.

REP – Repetibilidade diária.

R.R – Região de Rejeição.

SAD 69 – *South American Datum 69*.

SCN – Sistema de Cadastro Nacional.

SGB - Sistema Geodésico Brasileiro.

SGM-Uy – Serviço Geográfico Militar (Uruguai).

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.

SIRGAS-CON – Rede de estações GNSS de operação contínua.

SIRGAS-CON-C – Rede de cobertura continental.

SIRGAS-CON-D – Rede de densificação.

SLR – *Satellite Laser Range*.

SOAM – *South American*.

SQE – Soma de Quadrado Entre Amostras.

SQC – Soma de Quadrados entre Colunas.

SQL – Soma de Quadrados entre Linhas.

SQR – Soma de quadrados Residuais.

SQT – Soma de Quadrados totais.

SUM – Relatório semanal (SIRGAS-CON).

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco.

VEMOS – Modelo de velocidade para América do Sul e Caribe.

VieVS – *Vienna VLBI Software*.

VMS – Modelo VEMOS2009.

VLBI – *Very Long Baseline Interferometry*.

WGS-84 – *World Geodetic System 1984*.

LISTA DE SÍMBOLOS

Movimento de Placa:

A – Matriz Jacobiana.

Δt – Intervalo de tempo.

$\Delta \mathbf{x}$ = $[X - X_0 \ Y - Y_0 \ Z - Z_0]$ – Diferença entre as coordenadas das estações.

$\Delta \varphi_i$ – Variação da latitude no *i*-ésimo ponto.

$\Delta \lambda_i$ – Variação da longitude no *i*-ésimo ponto.

E – Versor do vetor de Euler.

Ex – Matriz de covariâncias dos parâmetros ajustados.

Φ_k – Latitude geodésica.

Λ_k – Longitude geodésica.

λ_i – Longitude geodésica no *i*-ésimo ponto.

$\vec{\Omega}_k$ – Vetor geocêntrico de rotação.

Ψ_0, λ_0 – Coordenadas (latitude e longitude) do pólo de Euler.

La – Vetor das observações ajustadas.

Lb – Vetor das observações.

$m = 3n$ – Número de equações de observação (igual ao número de equações de resíduos) do sistema linear.

n – Número de pontos a ser usado na determinação dos parâmetros do modelo.

$\|(\cdot)\|$ – Norma euclidiana de vetor.

P_i – *i*-ésimo ponto.

r – Posição da estação em coordenadas cartesianas.

$(\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z)$ – Parâmetros de rotação da placa SOAM.

r – Resíduos.

ΣLb – Matriz Variância-Covariância.

v – Velocidade tridimensional.

$\vec{V}_{ITRFyy}$ – Vetor de velocidade.

V_m – Velocidade Média.

ω_k – Velocidade angular da Placa.

$\mathbf{X}$ – Vetor dos parâmetros incógnitos.

$\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}$ – Coordenadas cartesianas geocêntricas.

GNSS:

a – Semi-eixo maior.

α – Azimute.

b – Semi-eixo menor do elipsóide.

d_{mult} – Multicaminho.

d_{ion} – Refração ionosférica.

d_{trop} – Refração troposférica.

dt_R – Erro do relógio do receptor.

dt^S – Erro do relógio do satélite.

$\Delta\mathbf{X}, \Delta\mathbf{Y}, \Delta\mathbf{Z}$ – Parâmetros de transformação entre o sistema S_1 e S_2 .

$\mathbf{E}$ – Componente Leste.

e – Primeira excentricidade do elipsóide.

$e_2'^2$ – Segunda excentricidade.

$\boldsymbol{\varepsilon}$ – Matriz de rotações diferenciais.

ξ_0 – Componente Meridiana.

f – Achatamento do elipsóide.

$\Phi_R^S(\mathbf{t}_R)$ – Medida da fase de batimento da onda portadora.

φ_i – Latitude geodésica no i -ésimo ponto.

φ_G – Latitude Geodésica.

φ_A – Latitude Astronômica.

GM – Constante gravitacional da Terra.

H – Altitude geométrica.

h – Altitude elipsoidal.

λ – Comprimento de onda da portadora.

λ_i – Longitude geodésica no i -ésimo ponto.

λ_G – Longitude Geodésica.

λ_A – Longitude Astronômica.

i – Estação.

N – Componente Norte.

N – Raio de curvatura da seção primeiro vertical.

N – Ondulação Geoidal.

n – Número de dias de ocupação.

nd – N° de dias decorridos entre as épocas.

η_0 – Componente 1° Vertical.

N_R^S – Ambiguidade envolvendo o satélite S e o receptor R.

P_i – Matriz dos pesos.

PR – Medida realizada pelo código.

$\bar{R}$ – Média das coordenadas da estação considerada.

REP – Repetibilidade diária.

R_i – Estimativa das coordenadas para o i-ésimo dia.

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.

σ_i – Erro formal das coordenadas para o i-ésimo dia.

ΣX_i – Matriz de covariância.

$\vec{T}$ – Vetor de parâmetros de translação.

$t_1, t_2, \dots, t_n$ – Épocas.

$(t_k - t_0)$ – Intervalo de tempo.

$\dot{\vec{T}}, \dot{\epsilon}; \dot{s}$ – Variações em translação, rotação e fator diferencial de escala, respectivamente.

t_R – Instante do receptor.

V – Componente vertical.

V_t – Vetor de velocidade.

χ^2 – Qui-quadrado.

$\vec{X}_{ITRFyy}$ – Vetor de coordenadas cartesianas.

x^S, y^S, z^S – Coordenadas geocêntricas da antena do satélite.

x_R, y_R, z_R – Coordenadas geocêntricas da antena do receptor.

X_t – Vetor calculado das coordenadas a partir de várias soluções GPS.

(X, Y, Z) – Coordenadas cartesianas geocêntricas.

VLBI:

b – Linha de base intercontinentais das antenas VLBI definidas na Terra.

b_x, b_y, b_z – Vetor dos componentes da linha de base.

$b; \alpha_s, \delta_s$ – Coordenadas esféricas equatoriais da fonte de rádio.

c – Velocidade da luz no ambiente de vácuo.

τ, c – Diferença no tempo de chegada do sinal nas duas antenas.

$\Delta\tau_{Atm}$ – Correção para a refração troposférica.

$\Delta\tau_{Ab}$ – Termo de aberração diurna.

S – Fontes de rádio particular.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Descrição Geral

O meteorologista Alemão Alfred Wegener baseado também em estudos anteriores, ficou reconhecido como o primeiro a formular a teoria da deriva continental (em 1912). Ele acreditava que há cerca de 220 milhões de anos (era Paleosóica) - ao observar os encaixes da América do Sul e do Norte com a Europa e a África, da coincidência de extratos rochosos encontrados na África também encontrar-se no Brasil e a semelhança existente na Flora e na Fauna dos continentes e terras emersas - os continentes eram unidos, de maneira a formar um supercontinente (Pangéia) que era envolvido por um super-oceano (Pantalassa), onde ao fraguimentar-se (Pangéia), em vários blocos de menores tamanhos, deu origem a Laurásia, ao norte, (América do Norte, Groenlândia, Europa e Ásia do Norte) e a Gondwana, ao Sul, (América do Sul, África, Antártida, Madagáscar, Índia, Austrália, Nova Zelândia, e Sri Lanka), (PEREIRA *et al.*, 2008); (KEAREY *et al.*, 2009); (CONDIE, 1997) e (ROGERS *et al.*, 2004).

Wegener, no intuito de comprovar a deriva, apresenta indícios bastante significativos, aonde Clark (1973), vem a acrescentar que, nenhuma evidência, sejam elas paleomagnéticas ou geológicas, isoladamente constitui prova definitiva da deriva. No entanto, ao reunir-las não se pode desprezar o fato de que sugerem derivas com mesma direção e magnitudes mais ou menos equivalentes. Sendo assim, com o passar dos anos, houve a necessidade de aprofundar estudos em busca de ferramentas científicas capazes de estabelecer e identificar quais forças e o que está por trás desta movimentação. Em 1950, a ideia ganhou consistência, gerando interesse, especialmente da Geofísica, Geoquímica e Geologia e em 1968, Jason Morgan fundamentado em conhecimentos desenvolvidos por outros pesquisadores, como Harry Hess (propôs a Teoria da Expansão do assoalho

Oceânico, 1962) e Robert Dietz (propôs a teoria da tectônica de placas), acreditava na hipótese de que ocorrem movimentos em grande escala na litosfera terrestre, sendo esta, fragmentada em blocos rígidos, chamados de placas tectônicas, (PEREIRA *et al.*, 2008); (KEAREY *et al.*, 2009); (CONDIE, 1997) e (ROGERS *et al.*, 2004).

Essa segmentação, composta por 7 grandes placas grandes e outras de menor dimensão, se dá por conta dos aspectos geodinâmicos nos quais a Terra está sujeita, fazendo com que as placas se movimentem continuamente em diferentes direções, dependendo da região em que se encontram (PEREZ, 2002). Dentre às principais placas encontra-se a Sul-Americana, foco desta pesquisa.

Por conta desta dinâmica, as coordenadas geodésicas de um determinado ponto localizado sobre as placas variam e, como consequência disto, tornam-se dependente da época pela qual foi adquirida, quando se conhece a direção e a magnitude (do movimento da placa) da mesma pode-se determinar a variação das coordenadas em função do tempo, (PEREZ, 2002).

É importante dizer que, nas técnicas modernas de posicionamento preciso usados pela Geodésia, um dos fatores de maior importância é referenciar a posição a uma determinada época. Como exemplo, cita-se a época de referência do SIRGAS2000, a qual segundo IBGE (2005) é para o ano 2000,4.

Existindo assim, alguns centros de pesquisa e monitoramento que fazem o posicionamento para a época da observação. Como por exemplo, serviços de processamentos semanais SIRGAS-CON¹ dos centros de processamento SIRGAS-IBGE, com coordenadas materializadas no ITRF (International Terrestrial Reference Frame) à época da observação, IGS (*International GNSS Service*) e o IVS (*International VLBI Service for Geodesy & Astrometry*). As atividades realizadas pelos centros de análises SIRGAS são de grande importância na determinação do vetor velocidade, que por sua vez,

¹ São rede de Estações GNSS contínua.

(PEREZ, 2002) afirma que as mesmas estimativas se assemelham ao verdadeiro percurso da estação, de uma época para outra e fornecem também um meio de análise das interações geodinâmicas inter e intra-placas e outros tipos de distúrbios ocasionados na crosta terrestre.

Atualmente existem diversos modelos capazes de estimar movimentos referentes às placas litosféricas, dentre os quais foram utilizados neste estudo: **NNR-NUVEL 1A, APKIM8.8, APKIM2000, Costa (2003), Perez (2003) e ITRF2000.**

Dessa incansável busca de querer analisar e monitorar o que de novo acontece com a Terra, veio a somar o posicionamento por satélite artificial, a partir de 1957, com o lançamento do primeiro satélite russo, Sputnik I, três anos depois, mais precisamente em 1960 foi à vez do TRANSIT, sendo este, bem aceito e ampliado. Em 1967 o TRANSIT passou a ser denominado de Navy Navigation Satellite System (NNSS), (ANDRADE, 1988).

Com o decorrer dos anos, em 1973, na confrontação dos projetos TIMATION (pertencente à marinha americana) com o SYSTEM 621-B (da força aérea), surge o projeto Navigation System With Time and Ranging Global Positioning System (NAVSTAR GPS), popularmente conhecido por sua última sigla GPS, (GARNÉS, 2001).

Em 1970 a antiga União Soviética inicia seu projeto de navegação por satélites denominado de Global'naya navigatsionnaya Sputnikowaya sistema (GLONASS); Em 2003 foi à vez da comunidade Européia de conceber seu próprio sistema, Galileu; O sistema Chinês COMPASS/BeiDou (CNSS - Compass Navigation Satellite System), foi iniciado em 1983. Para este grupo de sistemas de posicionamento global dar-se o nome de Global Navigation Satellite System (GNSS).

A contribuição da técnica GNSS, juntamente com a VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*) e SLR (*Satellite Laser Range*) nos estudos da geodinâmica, a partir de 1994, têm contribuído com a operacionalização da rede mundial de estações IGS (*International GNSS Service*).

Com o uso da rádio astronomia desde 1970, o VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), vem contribuindo significativamente na determinação da

dinâmica do planeta, sendo considerada a principal técnica geodésica capaz de determinar coordenadas sobre a Terra sem a interferência do campo gravitacional, através do monitoramento da variação da rotação da Terra e sua orientação no espaço com alta precisão (SCHUH, H., BEHREND D., 2012).

Nesta pesquisa com o auxílio da rádio astronomia e do GNSS (*Global Navigation Satellite System*) - com programas computacionais específicos como o VieVS (*Vienna VLBI Software*) versão 1c; e também com os processamentos IVS (<http://ivscc.bkg.bund.de/products-data/data.html>) e SIRGAS-CON (<http://www.sirgas.org/index.php?id=153>), dos centros de processamento; e mais processamentos PPP dos vértices da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) - foi possível compor novos parâmetros do modelo do vetor de Euler para a placa tectônica Sul-Americana.

1.2 Objetivos

Geral

Modelagem da velocidade do deslocamento da placa tectônica Sul-Americana por posicionamento VLBI e GNSS.

Específicos

- Confrontar os modelos existentes de deslocamento de placas tectônicas;
- Analisar diferenças no campo das velocidades da placa litosférica SOAM determinadas por posicionamento VLBI e GNSS;
- Apresentar modelagem do campo de velocidades para o SIRGAS2000 com dados atuais.

1.3 Estado da Arte

Este tópico destina-se a destacar estudos (modelos) que prezam pelos movimentos e/ou deslocamentos, causados por placas tectônicas, monitorados por técnicas que envolvem o GNSS (SIRGAS-CON e PPP-IBGE *online*) e o VLBI. Deslocamentos, nos quais, para serem previstos, um modelo capaz de incluir observações geodésicas (deslocamentos de ponto de coordenadas, alterações de distância), bem como as quantidades geofísicas (taxas de espalhamento dos fundos oceânicos, vetores de deslizamento de terremoto, azimuth das falhas transformantes), foi formulado por Drewes (1982), sendo este considerado um dos pioneiros no estudo sobre movimento de placas. O modelo paramétrico, é representado em um sistema esférico, através de coordenadas geodésicas do pólo de rotação (Φ, Λ) e a velocidade de rotação da placa ω_k (Eqs. 1.1 e 1.2):

$$\Delta\varphi_i \approx \cos(\Phi_k) \cdot \sin(\lambda_i - \Lambda_k) \cdot \omega_k \cdot \Delta t \quad (1.1)$$

$$\Delta\lambda_i \approx (\sin(\Phi_k) - \cos(\lambda_i - \Lambda_k) \cdot \tan(\varphi_i) \cdot \cos(\Phi_k)) \cdot \omega_k \cdot \Delta t \quad (1.2)$$

onde, $\Delta\varphi_i$ e $\Delta\lambda_i$ é a variação da latitude e da longitude no i -ésimo ponto (P_i) num intervalo de tempo Δt , tendo relação direta com os parâmetros de rotação da placa $(\Phi_k, \Lambda_k, \omega_k)$.

Drewes utilizou para este trabalho 24 estações, distribuídas de forma a conter três estações por placa, formando uma rede geodésica global com um total de oito placas.

Agora se baseando no NNR-NUVEL 1A, modelo que leva em consideração informações geológicas e geofísicas de milhões de anos, tem-se o trabalho de Larson *et al.*, (1997), onde o mesmo analisou 204 dias de observações, derivados de dados GPS, no período de janeiro de 1991 a março de 1996. Com base nestas coordenadas estimaram-se as velocidades de 38 estações, sendo a maioria delas localizadas nas placas

da África, Antártica, Austrália, Eurásia, Nazca, América do Norte, Pacífico e América do Sul. A análise dos dados foi feita através do software GIPSY/OASIS II. As velocidades obtidas por dados GPS, conforme as previsões do modelo de placas estão dentro do intervalo de confiança de 95%, nas quais, foram utilizadas para estimar as velocidades angulares, para as devidas placas. Sendo estas de acordo com o NNR (*no net rotation*) modelo NUVEL-1A. O modelo matemático utilizado para a obtenção da velocidade tri-dimensional encontra-se na equação 1.3:

$$v = \omega \times r \quad (1.3)$$

em que, ω é a velocidade angular da placa, r é a posição da estação em coordenadas cartesianas.

Além do NNR-NUVEL 1A, existem outros modelos capazes de prever os movimentos relativos das placas, como é o caso do APKIM8.8 (DREWES, 1982). Costa, (2001) processou observações GPS (pertencentes à RBMC e a outras estações da América do Sul) de nove períodos, cada um composto por 15 dias (totalizando 135 dias de processamento), entre os anos 1997 a 2001. Neste trabalho foi analisada a variação temporal das coordenadas das estações da RBMC, através do processamento no software Bernese² versão 4.2. O objetivo principal do trabalho foi à obtenção de um campo de velocidades para a porção ocupada pelo Brasil na placa Sul-Americana, a partir do conjunto de vetores de velocidades estimados nas estações da RBMC. Foram estimados também os elementos definidores do movimento da placa Sul-Americana, através do modelo matemático, já apresentado na equação 1.3, comparando-os com os modelos NNR-NUVEL 1A e o APKIM 8.80, verificando uma boa aproximação entre os parâmetros dos modelos. Concluindo que os vetores de velocidade nas estações da RBMC, possuem uma magnitude média de 2 cm/ano.

² Software desenvolvido por uma equipe de cientistas do Instituto Astronômico da Universidade de Bern.

Dando continuidade, Costa publica em 2003 um trabalho semelhante ao apresentado acima (Costa, 2001), na qual, foram utilizadas 19 estações, dentre as quais dez pertenciam ao IGS (localizadas nas bordas da placa Sul-Americana e placas adjacentes) e nove a RBMC. As observações utilizadas abrangiram 5 grupos de 15 dias nas épocas 1997.3, 1997.9, 1998.3, 1998.9; 1999.2. O mesmo foi elaborado com o intuito de estimar o campo de velocidades determinados por observações GPS das estações da RBMC e outras localizadas na América do Sul. A modelagem matemática utilizada é a mesma apresentada nas equações 1.1, 1.2 e 1.3. Os resultados mostraram que os vetores de velocidades estimados para as estações da RBMC possuíam uma magnitude média de 2 cm/ano. Foi feito, também uma comparação com outros modelos (NNR-NUVEL-1A e APKIM8.8) que indicou uma melhor concordância com os resultados derivados do GPS. O processamento foi feito no software Bernese versão 4.2. No quadro 1.1 são vistos os resultados obtidos por diferentes autores.

A utilização do GPS vem crescendo, não só pela sua aplicabilidade, mas também por conta da sua acurácia proporcionada pelos resultados. Dessa maneira, o GPS vem a somar como uma importante ferramenta para a Geodinâmica, podendo monitorar movimentos ocasionados na crosta por deformação das placas tectônicas e até auxiliar na previsão de terremotos. Os resultados gerados pelo GPS são utilizados por diversos métodos como, por exemplo, o SIRGAS-CON e o PPP, onde este último foi utilizado na dissertação de mestrado de Perez (2002). Em que ele utiliza o PPP no processamento de dados de estações geodésicas, com a intenção de obter um campo de velocidades, gerado por estações pertencentes à RBMC e ao IGS, num total de 21 estações, localizadas tanto na placa Sul-Americana como em placas vizinhas, adotando como época de referência 19 de março de 2000 (2000,2). Para se ter uma ideia dos resultados, foram feitas comparações entre a solução geodésica final obtida com outras fontes geodésicas (ITRF 97 e ITRF 2000) e outros modelos de movimento de placas,

como é o caso do NNR-NUVEL-1A e o APKIM2000. Para a obtenção da variação da latitude e longitude e das velocidades das estações utilizou-se as equações 1.1, 1.2 e 1.3 respectivamente.

Para o processamento dos dados GPS utilizou-se o software GIPSY OASIS II (GPS Inferred Positioning System – Orbit Analysis and Simulation Software). Os resultados dos valores obtidos para as coordenadas e velocidades, bem como suas respectivas precisões, foram analisados seguindo dois métodos: cálculo dos desvios-padrão formais das coordenadas e velocidades e cálculo da repetibilidade das coordenadas estimadas para as estações. O desvio-padrão é obtido através da MVC dos parâmetros, e calculado no processamento a partir da técnica de filtro de Kalman, e a repetibilidade diária (REP), trata-se do erro médio quadrático ponderado, dado pela expressão:

$$REP = \left(\frac{\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(R_i - \bar{R})^2}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.4)$$

sendo, n o número de dias de ocupação, R_i e σ_i são a estimativa e o erro formal das coordenadas para o i -ésimo dia e $\bar{R}$ é a média das coordenadas da estação considerada. Concluindo a partir desses resultados, que os valores fornecidos pelas duas soluções apresentam uma boa concordância.

Seguindo a mesma aplicação, Perez publica em 2003, outro trabalho no qual descreve o uso de PPP no processamento de dados GPS. Dados estes recolhidos num período de 3 anos (28 de junho de 1998 a 1 de abril de 2001).

O software utilizado foi o GIPSY OASIS II, para a obtenção de um campo de velocidades, em que se inseriram as coordenadas das 20 estações, localizadas nas placas: Sul-Americana, Africana, Nazca, Norte-Americana e do Pacífico, e vetores de velocidades - onde estes devido ao

processamento PPP, em que não há correspondência entre as coordenadas de diferentes estações - uma forma de se resolver é considerando uma estação i com soluções em épocas $t_1, t_2, \dots, t_n$ e assumir uma velocidade constante para o período considerado, a solução final será dada por:

$$\begin{bmatrix} X_t \\ V_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n P_i & \sum_{i=1}^n (t - t_i) P_i \\ \sum_{i=1}^n (t - t_i) P_i & \sum_{i=1}^n (t - t_i)^2 P_i \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n P_i X_i \\ \sum_{i=1}^n (t - t_i) P_i X_i \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

em que, P_i é a matriz dos pesos (obtida através da inversa da matriz de covariância ΣX_i), $X_t = [x, y, z]^T$ é o vetor calculado das coordenadas a partir de várias soluções GPS e $V_t = [v_x, v_y, v_z]^T$ é o vetor de velocidade estimado - em busca dos parâmetros de rotação da placa Sul-Americana ($\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$), sendo estes calculados, (de posse das velocidades), a partir da equação 1.3. No quadro geral abaixo são apresentados os resultados dos modelos apresentados até aqui.

Quadro 1.1 Quadro Geral dos modelos existentes (parâmetros de rotação da Placa Sul-Americana).

Modelo	Ω_x rad/m.anos)	Ω_y rad/m.anos)	Ω_z rad/m.anos)	ω ($^\circ$ / M. anos)
NNR-NUVEL 1A	- 0,00104	- 0,00152	- 0,00087	0,1164
APKIM8.8	- 0,00202	- 0,00093	- 0,00069	-
APKIM2000	- 0,00095	- 0,00116	- 0,00060	0,0925
Costa (2003)	- 0,00280	- 0,00167	- 0,00108	0,1971
Perez (2003)	- 0,00090	- 0,00186	- 0,00073	0,1257
ITRF2000	- 0,00105	- 0,00122	- 0,00022	0,1130

Fonte: Adaptado de Monico (2008).

Atualmente o Sistema de Referência geocêntrico para as Américas (SIRGAS) é materializado por uma rede de estações GNSS de operação contínua denominada SIRGAS-CON, que se distribui na América do Sul, Central e Caribe. Num trabalho de Silva (2010) são apresentados os resultados dos deslocamentos determinados pelo IBGE das estações pertencentes a tal rede. O software de processamento utilizado pelo IBGE

para a realização das atividades do centro de processamento SIRGAS é o Bernese 5.0. Também é realizada uma avaliação temporal dessas estações após o terremoto de 27 de fevereiro de 2010 (às 06h34min – horário de Greenwich). Sendo este um dos maiores terremotos já registrado, com uma magnitude de 8.8 graus na escala Richter, durou cerca de 3 minutos e ocorreu no mar da Região de Maule a uma distância de aproximadamente 115 km de Concepción, segunda maior cidade do Chile, e a uma profundidade de 35 km. Foi feito o processamento da semana GPS 1572 (21 de fevereiro de 2010), no qual possibilitou verificar que a estação CONZ (Concepción – Chile) deslocou aproximadamente 3 metros e outras estações localizadas no Chile e na Argentina sofreram deslocamentos que variaram de poucos centímetros até quase 30 centímetros.

Outro trabalho relacionado com a rede SIRGAS-CON, desenvolvido por Costa *et al.*, (2012), afirma que em 2008 o IBGE assumiu a tarefa de combinar e complementar os resultados obtidos pelo DGFI. Fazendo uso do software Bernese. Os resultados ficam disponíveis no servidor de FTP do IBGE (<ftp://geoftp.ibge.gov.br/SIRGAS/Resultados/Combinacao>). A estratégia dos centros de análise podem ser encontradas em Costa *et al.*, (2012).

Com o intuito de avaliar os resultados semanais, foram realizadas comparações entre as soluções semanais do IGS e do DGFI, sabido que a instituição responsável pela disponibilização da solução semanal da rede SIRGAS-CON ao IGS é o DGFI, identificada por SIR. Para isto, foram utilizadas as soluções combinadas entre as semanas GPS 1495 a 1631 nas quais foram injucionadas na solução semanal global IGS05. A partir da semana 1632 as soluções combinadas foram injucionadas na solução semanal global IGS08. Compatibilizando tais soluções com as órbitas adotadas no processamento.

Os resultados apresentados pelo IBGE têm uma aderência com a solução de rede global e regional, sendo que em média o EMQ das componentes Norte e Leste é de 2 mm e na componente vertical 4 mm (comparação das estações de referência IGS com as soluções semanais

IBG). Na outra comparação (soluções SIR e IBG) os valores são de 0,5 mm para a componente horizontal e 1,5 mm para a vertical.

Visto que, a semana GPS 1631 todas as soluções determinadas pelo centro de processamento IBGE estão referidas à materialização do IGS05 e a partir da semana GPS 1632 as soluções do IBGE estão referidas ao IGS08, foi feita uma análise do EMQ das diferenças entre os conjuntos de coordenadas determinadas para cada semana, comparadas com a semana anterior nas três componentes (Norte, Leste e Vertical). Englobando cinco semanas antes e cinco semanas depois da mudança do referencial IGS05 para o IGS08 (Quadro 1.2):

Quadro 1.2 EMQ das diferenças entre as componentes.

Semana GPS		N (mm)	E (mm)	V (mm)
1627	1628	2,1	2,3	4,6
1628	1629	1,9	2,1	5,6
1629	1630	4,9	2,2	6,2
1630	1631	2,3	1,9	5,0
1631	1632	2,6	2,6	12,6
1632	1633	2,0	4,2	5,1
1633	1634	2,7	1,5	5,3
1634	1635	1,6	2,0	4,4
1635	1636	2,0	3,3	5,2

Fonte: Costa *et al.*, (2012).

Notando-se que os maiores resultados do EMQ das diferenças foram para a componente altimétrica (12,6 mm) (soluções semanais 1631 e 1632), na justificativa da utilização de diferentes valores da variação de centro de fase, onde no processamento da semana 1631 foi utilizado o igs05.atx, e na semana 1632 o igs08.atx. Evidenciando a importância da rede de estações GNSS ativas SIRGAS-CON para a manutenção do referencial SIRGAS e que a combinação semanal da rede SIRGAS-CON é consistente com os mesmos estimados pelo DGFI.

Outra técnica, que vem ganhando espaço, desde o início da década de 70, é o VLBI, no qual um dos objetivos é determinar as coordenadas

precisas sobre a Terra. Esta fascinante técnica pode ser vista em um dos trabalhos publicados por Thomas *et al.*, (2007), em que ele faz uma comparação de dados GPS e VLBI na medição da OTLD (*Ocean Tide Loading Displacements – Carga de Marés Oceânicas*) com vários outros modelos de medição de maré (CSR4.0, FES2004, GOT00.2, NAO99b e TPXO6.2), onde utiliza a técnica PPP na análise de dados GPS num período de 11 anos para cada uma das 25 estações que possuem estimativas anteriores de OTLD baseados em dados de estações VLBI situadas em regiões próximas. Concluindo que os dados GPS e VLBI são similares e úteis na determinação das estimativas OTLD diurnas e frequências semi-diurnas. Além do mais, nas comparações feitas do GPS e VLBI para medições da OTLD com os diferentes modelos, verificou-se que o GPS é capaz de determinar o deslocamento vertical OTLD com precisão igual ou maior que a obtida pelo VLBI. Para avaliar as diferenças de dispersão entre o GPS (ambiguidade fixa) e as medidas VLBI, uma estatística ponderada (teste do qui-quadrado) foi calculada para cada um dos conjuntos VLBI e GPS-derivados para os conjuntos de parâmetros OTLD, utilizando cada um dos cinco modelos oceânicos (Equação 1.6), os resultados (Quadro 1.3) podem ser visto abaixo.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{8(6)} \sum_{j=1}^{3(1)} \sum_{n=1}^{25} \left(\frac{GPS_{(i,j,n)} - model_{(i,j,n)}}{\sigma_{GPS(i,j,n)}} \right)^2 \quad (1.6)$$

Quadro 1.3 Qui-quadrado por grau de liberdade para GPS (livre de ambiguidade), GPS (ambiguidade fixa) e VLBI estimativa de OTLD para valores modelados.

	Conjunto completo com oito componentes						Excluindo as componentes K1 e K2					
	Tri-dimensional			Vertical			Tri-dimensional			Vertical		
Modelo	GPS (livre)	GPS (fixo)	VLBI	GPS (livre)	GPS (fixo)	VLBI	GPS (livre)	GPS (fixo)	VLBI	GPS (livre)	GPS (fixo)	VLBI
TPXO6.2	4.27	3.63	2.03	1.22	0.66	0.64	3.50	3.13	1.81	1.18	0.90	1.63
NAO99b	4.23	3.60	1.90	1.06	0.53	0.42	3.43	3.06	1.66	0.98	0.72	1.33
FES2004	4.27	3.64	1.83	1.13	0.59	0.35	3.46	3.08	1.58	1.01	0.75	1.27
CSR4.0	4.40	3.72	1.96	1.56	0.89	0.66	3.65	3.22	1.73	1.55	1.13	1.65
GOT00.2	4.24	3.61	1.88	1.16	0.61	0.47	3.45	3.07	1.63	1.06	0.78	1.40

Fonte: Thomas *et al.*, (2007).

1.4 Estrutura da Pesquisa

Esta pesquisa encontra-se dividida em cinco capítulos. Nos quais, a organização e o conteúdo de cada capítulo é dado assim: Capítulo 1 – **INTRODUÇÃO**, neste, transmite-se uma ideia geral da pesquisa, abordando a teoria da tectônica de placas, surgimento, movimentos e consequências dos mesmos. Além disso, apresenta um resumo das técnicas modernas de posicionamento que serviram de base para se efetivar o monitoramento e composição de um novo modelo de deslocamento para a placa Sul-Americana. O capítulo 2 – **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**: se incube de apresentar alguns fundamentos sobre a Terra e teorias envoltas de sua dinâmica, como: a deriva dos continentes e a tectônica de placas com o interesse particular para as quantidades de movimentos. São abordados também os modelos disponíveis para a obtenção da velocidade com que as estações deslocam-se. Também são vistos conceitos essenciais do posicionamento GNSS e VLBI. No capítulo 3 – **METODOLOGIA**: são descritas as etapas que foram cumpridas, com o intuito de alcançar os objetivos propostos. No capítulo 4 – **RESULTADOS**: são apresentados, os resultados do processamento. E por fim, e não menos importante, o capítulo 5 - **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**: onde se apresenta uma síntese geral da pesquisa e perspectivas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apontados alguns fundamentos sobre a Terra e teorias envolvidas de sua dinâmica, como: a deriva dos continentes e a tectônica de placas com o interesse particular para as quantidades de movimentos. São abordados também conceitos essenciais do posicionamento GNSS e VLBI.

2.1 Placas Tectônicas e seus movimentos

Devido a diversos fenômenos (como terremotos, furacões, tsunamis...) naturais ou provocados pelo homem, a Terra vem passando por mudanças em sua superfície (deriva dos continentes) nas quais chamam a atenção de pesquisadores de diversas áreas. Sendo que, para identificar o fenômeno, muitas vezes é necessário que se tenha conhecimento das forças ou possíveis forças que estão agindo naquela (as) estruturas. Para tanto, inicialmente, é importante o esclarecimento de alguns pontos que fundamentam a estrutura interna da Terra.

2.1.1 Estrutura interna da Terra

Antes de expor a teoria da Tectônica de Placas e os movimentos causados pelas placas litosféricas, se faz necessário que se entenda a estrutura interna da Terra. Baseando-se na avaliação das propriedades físicas (essencialmente rigidez e fluidez) e químicas dos materiais rochosos, pode-se representar a Terra através de dois modelos, baseados em (CLARK, 1973) e (NEVES, 2008), são eles:

➤ **Modelos Geoquímicos:** leva em consideração a composição dos materiais existentes em seu interior.

- Crosta: é a camada rochosa mais externa. Subdivide-se em: crosta continental e crosta oceânica. Caracteriza-se por suas respostas elásticas rápidas;

Descontinuidade de Mohorovicic (popularmente conhecida por *Moho*): Separa a crosta do Manto e está situada entre 30 e 50 km de profundidade (regiões continentais) e a 10 km de Profundidade (regiões oceânicas);

- Manto: Camada mais espessa de todas as camadas internas da Terra cerca de 80% do volume do planeta e é subjacente a Crosta;

Descontinuidade de Gutenberg: separa o manto do núcleo e está situada a 2890 km de profundidade;

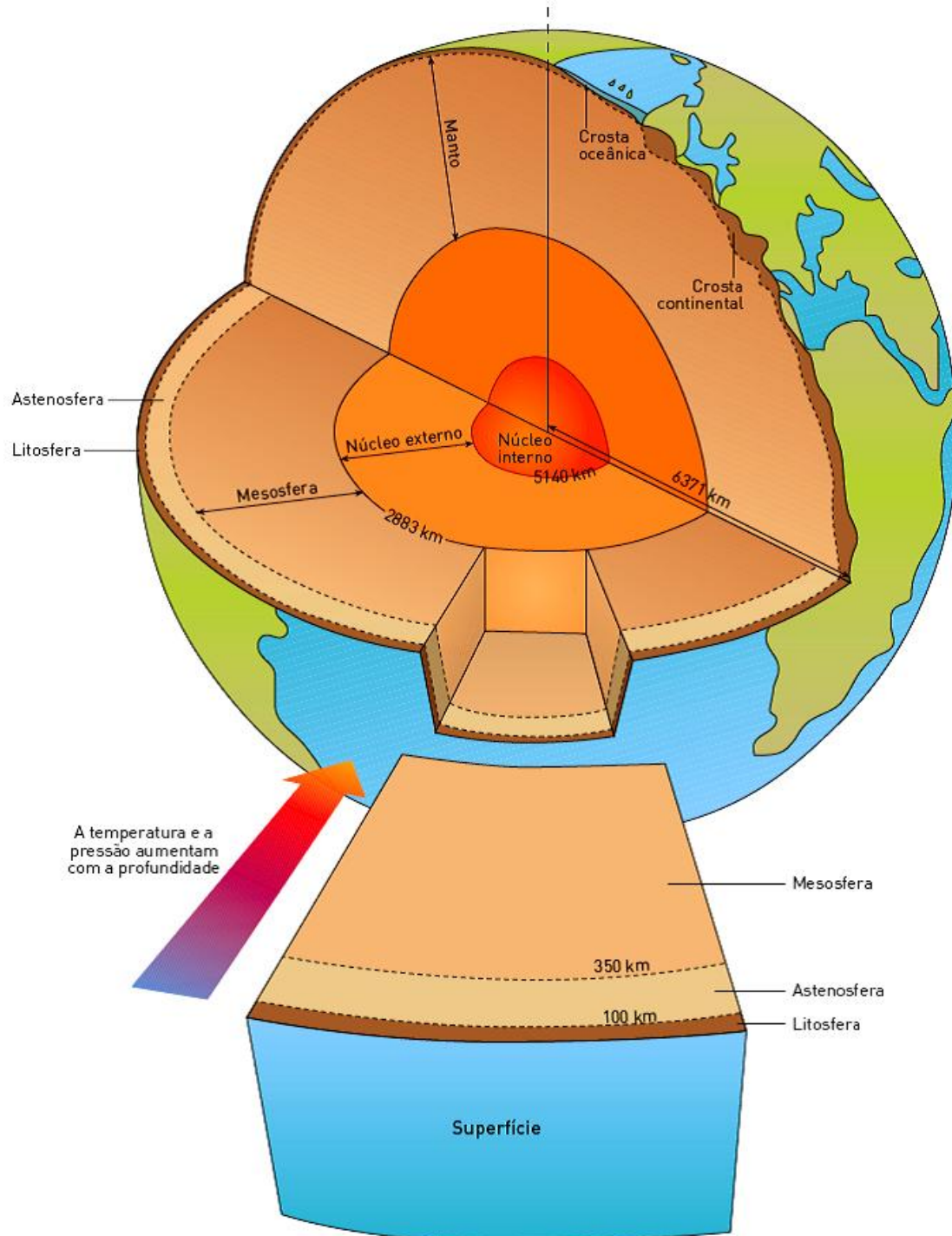
- Núcleo: Região central da Terra. As temperaturas no núcleo são superiores a 7600° C. Subdividindo-se em núcleo externo (líquido) e interno (sólido).

➤ **Modelos Geofísicos:** considera a plasticidade e a rigidez dos materiais que a compõem.

- Litosfera: zona com cerca de 70 km de espessura, capaz de suportar os continentes e áreas oceânicas, apresentando resistência sob condições de lentíssima deformação. Ela é responsável pelos processos da tectônica de placas e pelos terremotos;
- Astenosfera: também conhecida por zona de transição. Encontra-se acima do manto inferior e em seu estado não sólido, possibilita o deslocamento, sobre ela, das placas litosféricas;

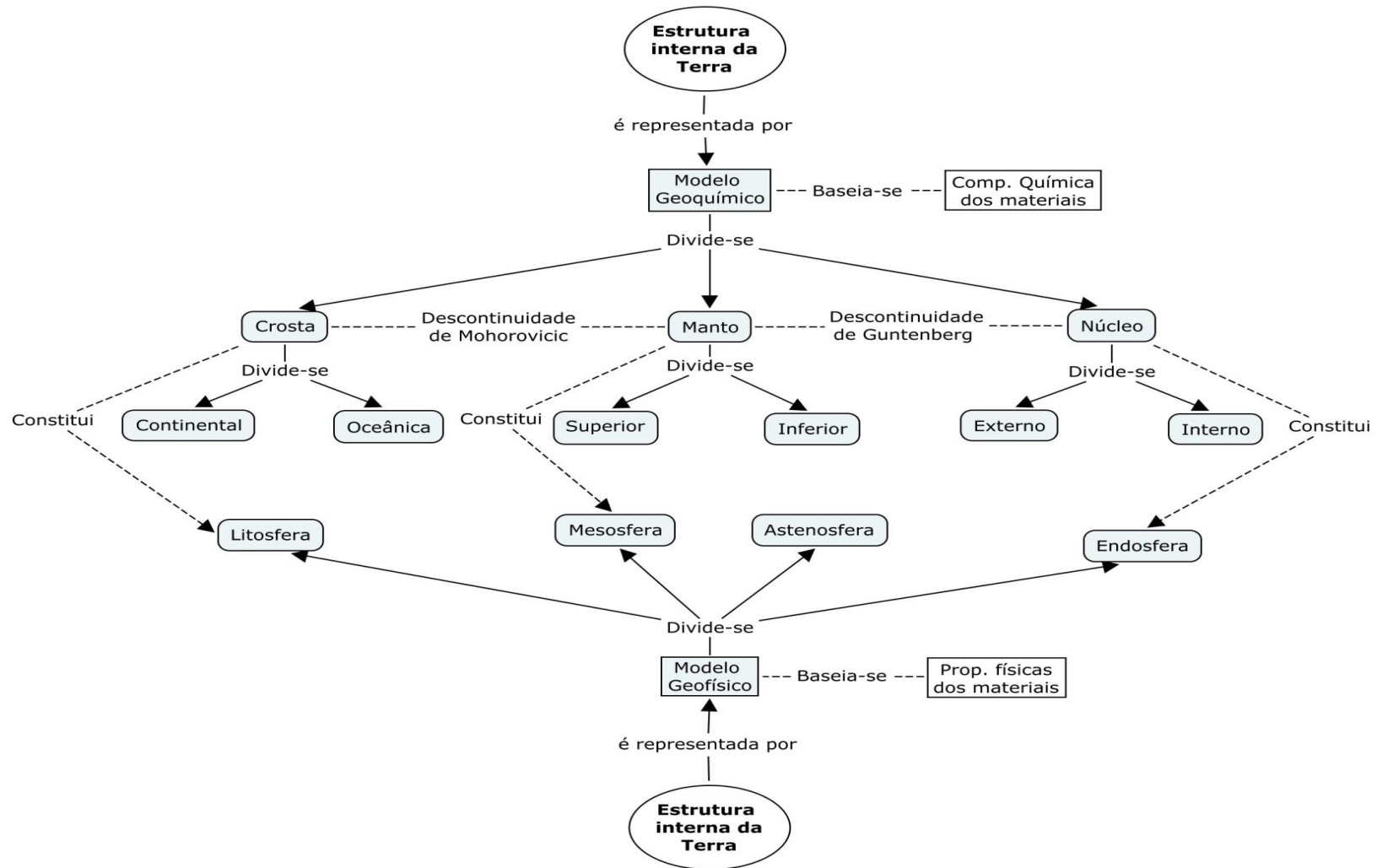
-
- Mesosfera: região do manto compreendida entre a astenosfera e o núcleo;
 - Endosfera: compreende a parte mais interna da Terra, o Núcleo.

Adiante, são apresentadas, a divisão interna da Terra (figura 2.1) e suas respectivas profundidades (aproximadas), e também em forma de mapa conceitual (figura 2.2), a estrutura interna da Terra seguida de suas respectivas descontinuidades, baseados na avaliação dos componentes físicos e químicos de seus materiais:

Figura 2.1 Principais subdivisões do interior da Terra.

Fonte: http://www.netxplica.com/figuras_netxplica/exanac/geologia/.

Acesso: 2012

Figura 2.2 Mapa conceitual representando a estrutura Interna da Terra.

2.1.2 Deriva dos Continentes

Não apenas a superfície da Terra, mas também sua estrutura interna vem passando por constantes modificações, muitas vezes imperceptíveis, mas detectáveis com a tecnologia atual, tendo-se mais qualidade as grandezas observadas e consequentemente dos parâmetros estimados.

Parte dessas modificações se deve a deriva continental, descoberta no final do século XVI, mais precisamente em 1596, com Abraham Ortelius, cuja hipótese era baseada na semelhança geométrica entre os litorais da América (Norte e Sul) com a Europa e a África. Francis Bacon em 1620, em sua obra intitulada "*Novum Organum*" também comentou sobre esta semelhança. Em 1668, Placet François, em seu livro intitulado "*La conception du grand et petit monde*" relata a separação das Americas após o dilúvio de Noé (Livro de Gênesis, Bíblia), postulando que as Americas eram formadas pelo conjunto de ilhas flutuantes ou foram separadas da Europa e da África pela destruição de uma Massa de Terra, Atlantida (citada por Platão). Em 1756, foi à vez de Theodor Christoph Lilienthal, professor de Teologia em Königsberg na Alemanha, em seu texto intitulado "*in the days of Peleg, the earth was divided*", baseando-se também no catastrofismo bíblico comentou tal semelhança. Também fundamentado em catástrofes bíblicas, para justificar o surgimento do Atlântico, documentos datados de 1801 e 1845, escritos por Alexander Von Humbolt (explorador alemão), descreve a semelhança geométrica e geológica das costas das Americas, Europa e África. Em 1858, Antonio Snider, fez as mesmas considerações, porém foi um dos primeiros a levantar a hipótese a respeito da ideia da "deriva" relacionando-a com algumas evidências de fósseis encontrados na Europa e na América do Norte, baseando-se com "múltiplos catastrofismos", sendo o dilúvio a última grande catástrofe. A figura 2.3 apresenta a reconstrução da pré-deriva sugerida por Snider (KEAREY *et al.*, 2009).

Figura 2.3 Ilustração da reconstrução dos continentes (Snider, 1858).



Fonte: (KEAREY *et al.*, 2009)

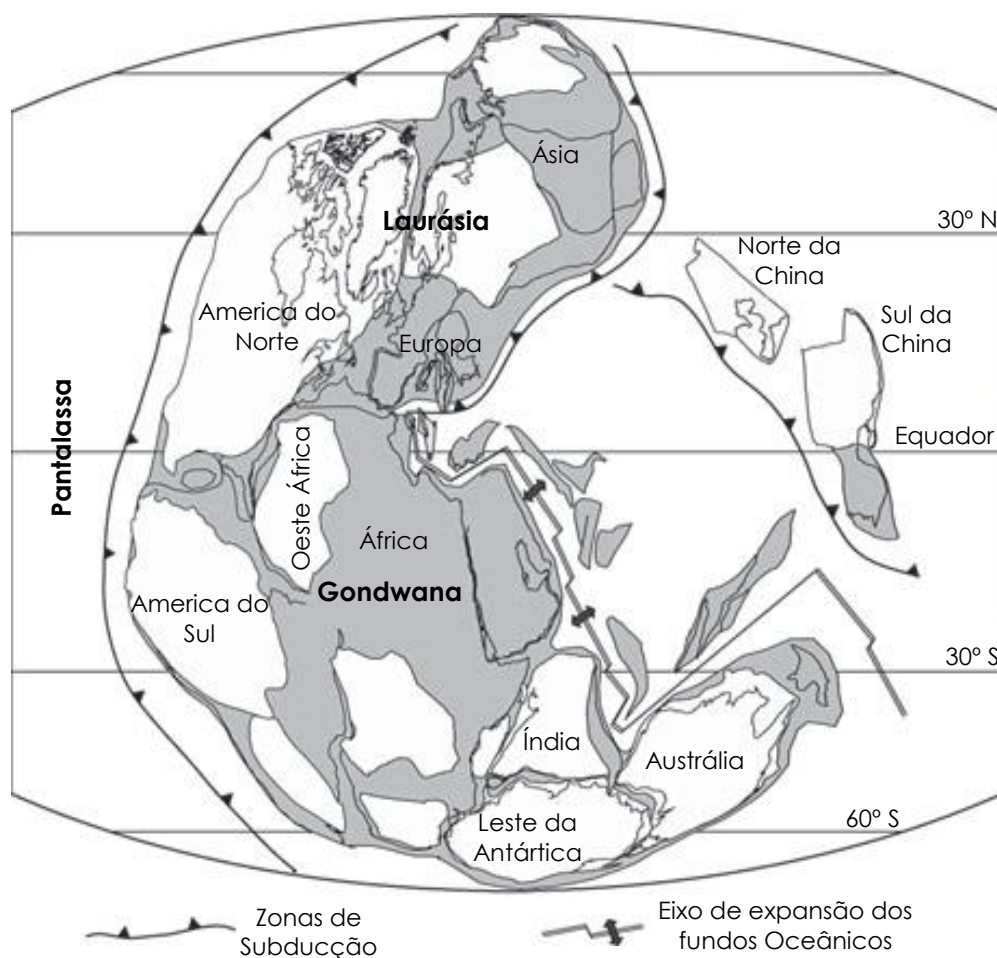
Ainda fundamentado no Catastrofismo Bíblico, pode-se citar George Darwin (1879) e Oswald Fisher (1882), que para justificar a deriva dos continentes, associaram-na a origem da Lua. (KEAREY *et al.*, 2009 apud Rupke, 1970).

Fazendo uma transição do chamado “Catastrofismo Bíblico” creditado por anos pelos estudiosos, para o “Uniformitarianismo” ou “Atualismo” proposto pelos Geólogos James Hutton e Charles Lyell, o físico americano, F. B. Taylor, em 1910 tenta explicar a formação de cadeias de montanhas através da deriva dos continentes.

Contudo, o pioneiro reconhecido e que exaustivamente aprofundou estudos a respeito da teoria da Deriva Continental foi o meteorologista alemão Alfred Wegener (1912), sendo ele, além de meteorologista, astrônomo, geofísico, e balonista amador (KEAREY *et al.*, 2009 apud Hallam, 1975). Para explicar tal fato, ele fez uso de indícios suficientes que até hoje são as características principais do registro geológico dos continentes. Indícios estes, continuidade de estruturas antigas, a fauna, a flora e fósseis

encontrados nas linhas costeiras continentais opostas. Em seu livro intitulado "*The Origin of the Continents and Oceans*", publicado em 1915, ele relata que à aproximadamente 220 milhões de anos, os continentes atualmente conhecidos, foram unidos formando um supercontinente, ou seja, uma única massa continental (Pangéia) cercada por um único Oceano (Pantalassa), onde esta primeira dividiu-se, dando origem a Laurásia, localizada ao Norte composta por Ásia, Europa e América do Norte, e Gondwana ao Sul composta por: África, América do Sul, Índia, Austrália e Antártida. Abaixo (figura 2.4) pode ser visto a reconstrução da Pangéia:

Figura 2.4 Reconstrução da Pangéia.



Fonte: Adaptado de KEAREY *et al.* (2009)

No entanto, os argumentos utilizados por Wegener foram bastante criticados, embora estivessem, em grande parte, de acordo com a informação científica disponível naquela época, pois não conseguiram

responder que tipo de força ou o que estaria movendo um grande número de massas de rochas através de distâncias tão grandes. Sendo assim, ele em seus estudos usa como justificativa a força centrípeta provocada pela rotação da Terra. Porém, KEAREY *et al.*, (2009), realizando alguns cálculos pôde comprovar que a força centrípeta não era suficiente para provocar tamanho afastamento, no qual ficou evidenciado ao longo do tempo.

Então se sabia da existência da deriva, e também já se tinha conhecimento a respeito da expansão do assoalho submarino (conceitos desenvolvidos na década de 60). Mas só a partir da década de 60, com a teoria da Tectônica de Placas tornou-se possível seu entendimento.

2.1.3 Teoria da Tectônica de Placas

As muitas contribuições de Wegener ajudaram no desenvolvimento da teoria da deriva dos continentes e como consequência, através das novas observações e descobertas científicas na teoria da tectônica de placas. Assim como a deriva dos continentes, a teoria da tectônica de placas também precisou da união de muitos estudiosos. Harry Hess, por volta dos anos 1959 e 1960, sugere que os continentes moviam-se em resposta ao crescimento das bacias oceânicas situadas entre eles, e que a crosta oceânica se dava a partir do manto da Terra na crista do sistema dorsal oceânico (também chamada dorsal submarina ou dorsal meso-oceânica ou crista média oceânica). Em 1961, durante o pós-guerra, Robert Dietz propõe a teoria da expansão do assoalho oceânico para explicar a deriva continental. Em 1962, Harry Hess finalmente publica um artigo já clássico, intitulado "History of the Ocean Basin", que sugere tal expansão. De 1963 a 1966, a teoria é confirmada seguindo sugestões de F. J. Vine e D. H. Matthews onde as mudanças de polaridade magnéticas, ocorridas no fundo do mar, dão-se através da expansão do assoalho oceânico e das reversões do campo magnético da Terra. Outro que contribuiu com a teoria da tectônica de placas, foi J. Tuzo Wilson em 1965, identificando uma nova

classe de defeitos denominados de falhas transformantes³, (KEAREY *et al.*, 2009) e (CONDIE, 1997).

A teoria no período de 1967 a 1968 estabeleceu-se numa geometria rigorosa, baseada nos trabalhos de D. P. Mckenzie, R. L. Parker e W. Jason Morgan. Sendo este último, reconhecido por apresentar a ideia básica da teoria da Tectônica de Placas. Comprovando que a mesma descreve os deslocamentos relativos entre as placas litosféricas, as interações entre elas e as consequências dessas interações. A teoria foi criada com o objetivo de padronizar um conceito, que organizasse cientificamente o pensar dos processos tectônicos da Terra, onde geólogos decidiram nomear as áreas estáveis: “*placas*”, e as instáveis: “*margem de placas*”, conceituando-a de “*A Tectônica de Placas*”, (KEAREY *et al.*, 2009) e (CONDIE, 1997).

A palavra tectônica advém de tektoniké, na qual é uma expressão grega que quer dizer “a arte de construir”, construção composta pela crosta terrestre e por gigantescos blocos (placas tectônicas) rígidos flutuando sobre o manto (abaixo da crosta terrestre) fluido e viscoso, chamada de litosfera, sendo esta conhecida por ser fria e rígida, onde geólogos perceberam que ela era capaz de transmitir tensões em longas distâncias sem causar deformações internas. Assim sendo, as placas litosféricas, não estão fixas, nem tão pouco são inertes, pelo contrário, se movem continuamente. Por conseguinte, os continentes a ela pertencentes também.

Devido a essa movimentação, as placas podem diminuir ou aumentar sua dimensão, isso ocorre devido ao tipo de contatos que as limitam. Neves (2008) acrescenta que as placas, Africana e Antártica, que em sua maioria, são circundadas por cadeias oceânicas, estão crescendo, enquanto que a placa do Pacífico, em sua extensão norte e oeste, é limitada por zonas de subducção⁴, está diminuindo de tamanho. Existem três tipos de movimentos causados pelos contatos entre as placas, (CLARK, 1973) e (NEVES, 2008):

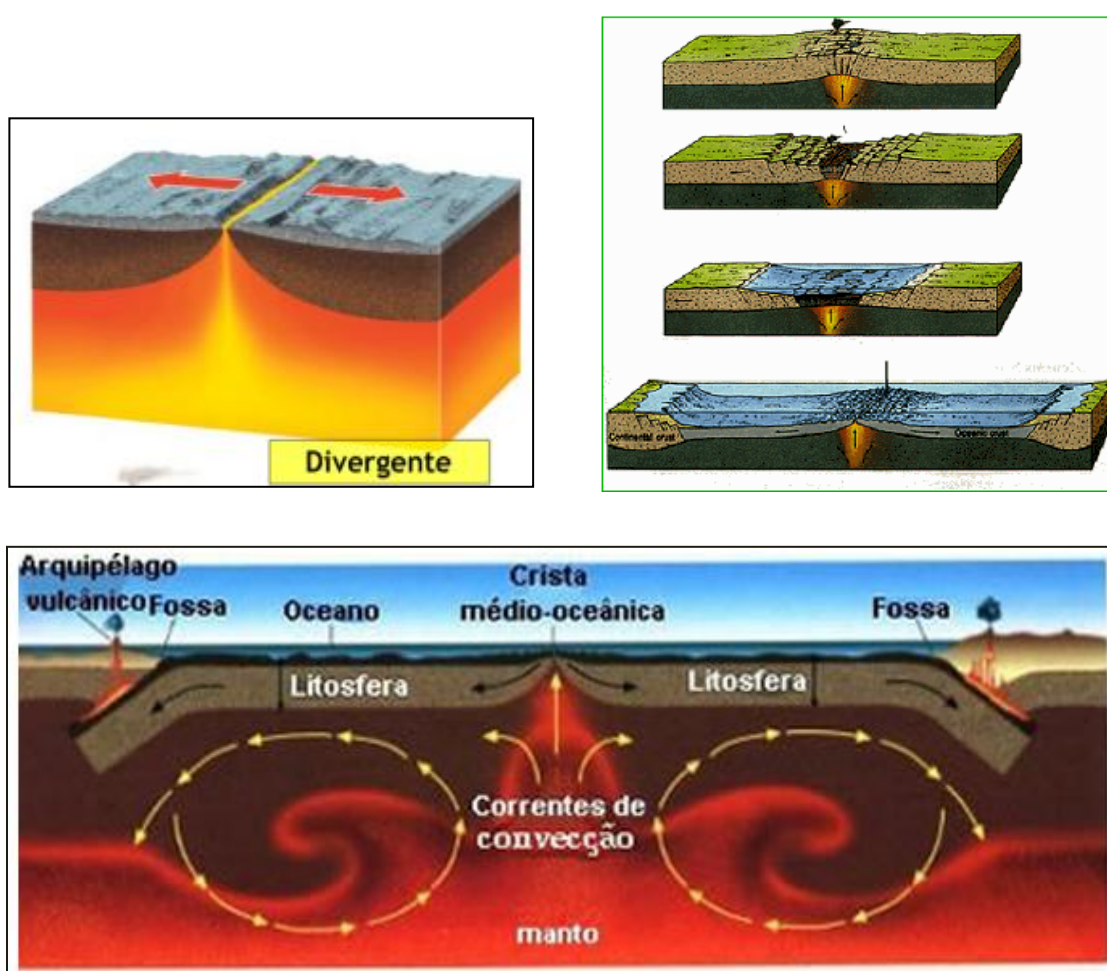
³ Limite entre duas placas que deslizam horizontalmente, uma em relação à outra (por exemplo, a Falha de San Andreas).

⁴ Local de convergência de placas, em que uma delas mergulha sob a outra e desce à astenosfera.

➤ **Divergentes:**

Ficam caracterizados por meio do contato entre duas placas adjacentes, pelas quais estão se separando, como consequência disso é a geração de uma nova litosfera oceânica, a partir da ascensão de material do manto para preencher o espaço que está sendo criado (Figura 2.5);

Figura 2.5 Representação de contato entre placas divergentes e sua implicação.

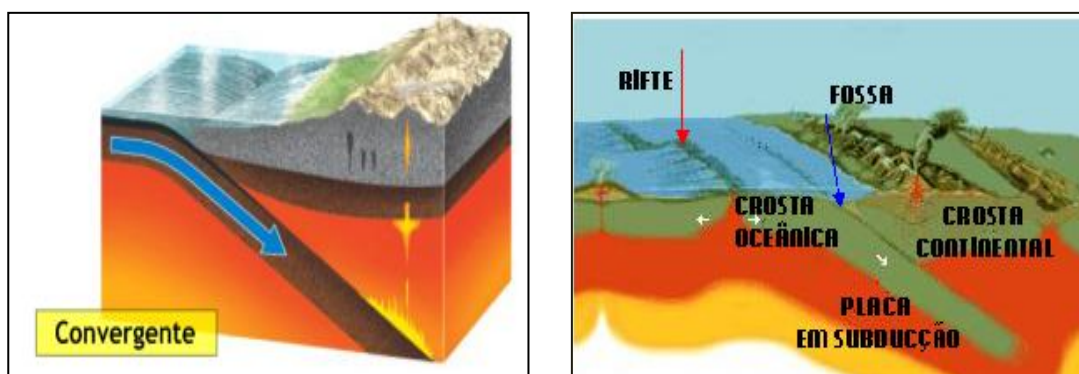


Fonte: <http://tic.ipiaget.org/macedo2010/sabina/terraemtransformacao.htm> e <http://placastectonicasinformacoes.wordpress.com/author/placastectonicasinformacoes/>
Acesso: 2013.

➤ **Convergentes:**

São caracterizados pela aproximação de duas placas, onde uma mergulha sob a outra e desce à astenosfera. O local onde esta aproximação ocorre são conhecidos por zonas de subducção e marcado pelas fossas oceânicas⁵ (Figura 2.6);

Figura 2.6 Representação de contato entre placas convergentes e sua implicação.



Fonte: <http://tic.ipiaget.org/macedo2010/sabina/terraemtransformacao.htm> e <http://www.cienciaviva.pt/rede/space/home/anexo1.asp>

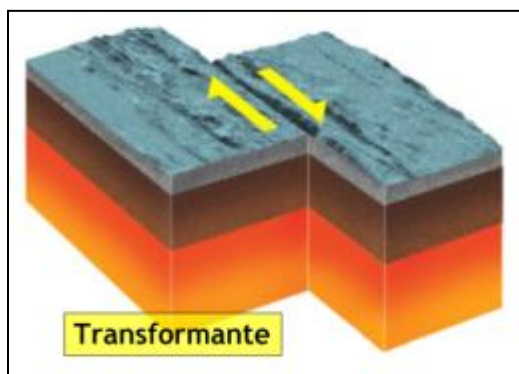
Acesso: 2013.

⁵ Grandes depressões formadas por zonas de encontro de placas, caracterizadas por serem as regiões mais profundas dos oceanos.

➤ **Transformantes:**

Conhecidos também por conservativos. Dá-se pelo deslocamento relativo entre placas adjacentes ao longo de falhas transformantes, sem que haja o surgimento ou destruição da litosfera (Figura 2.7).

Figura 2.7 Representação de contato entre placas e da Falha de Santo André, localizada no contato entre as placas Juan de Fuca e a Norte-Americana.



Fonte: <http://tic.ipiaget.org/macedo2010/sabina/terraemtranformacao.htm> e http://w3.ualg.pt/~jdias/INTROCEAN/B/23_FrontTransf.html

Acesso: 2013.

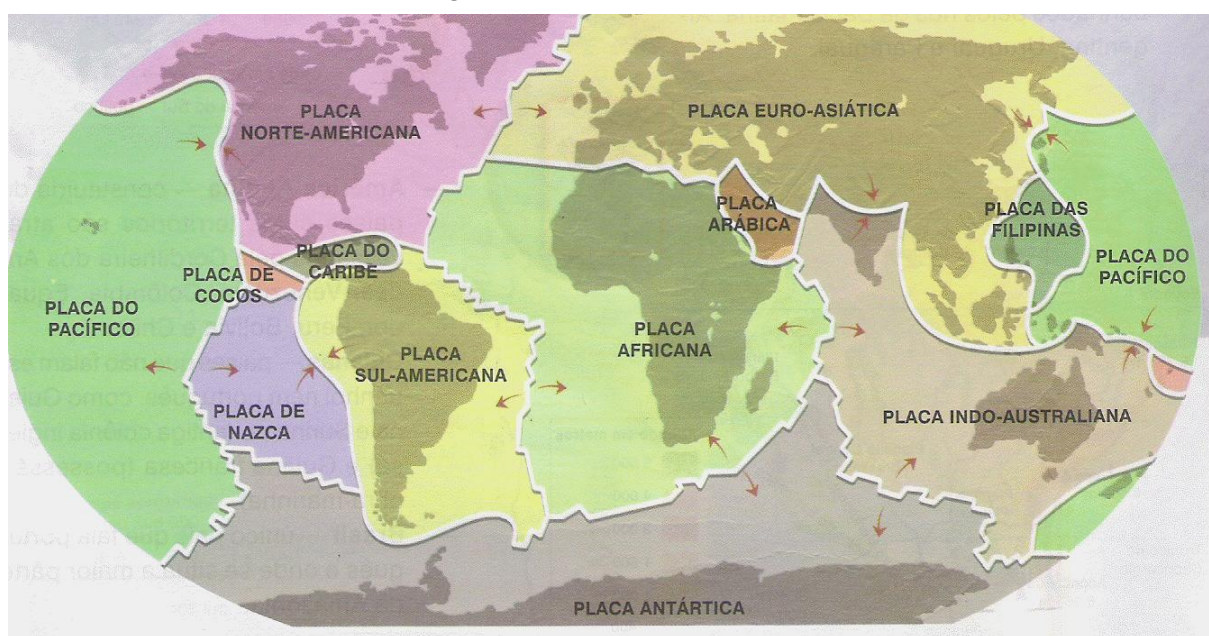
As placas tectônicas, segundo a divisão de Condie (1997), seguem três intervalos de tamanhos, nos quais variam de $< 10^4 \text{ km}^2$ a mais de 10^8 km^2 , ou seja:

1. As maiores que 10^8 km^2 , chamadas de grandes Placas ou principais, são elas: Placa Euro-asiática, Placa da Antártida, Placa Norte-Americana, **Placa Sul-Americana**, Placa do Pacífico, Placa Africana e Placa Australiana;
2. As de $10^6 - 10^7 \text{ km}^2$, conhecidas por placas intermediárias, nas quais inclui a Placa das Filipinas, Placa Arábia, Placa de Nasca, Placa de Cocos, Placa das Caraíbas e Placa da Escócia;

3. As de $10^5 - 10^6 \text{ km}^2$ existem mais de 20, são as menores.

Pelo fato dos continentes estarem localizados sobre as placas, isso não significa necessariamente que as margens das placas coincidam com as suas margens, conforme visto na figura 2.8. Dentre as principais encontra-se o foco desta pesquisa: a placa Sul-Americana.

Figura 2.8 Placas Tectônicas.



Fonte: <http://8oanobemilie.blogspot.com/2011/06/america-do-sul-e-seus-aspectos.html>

Ano: 2011

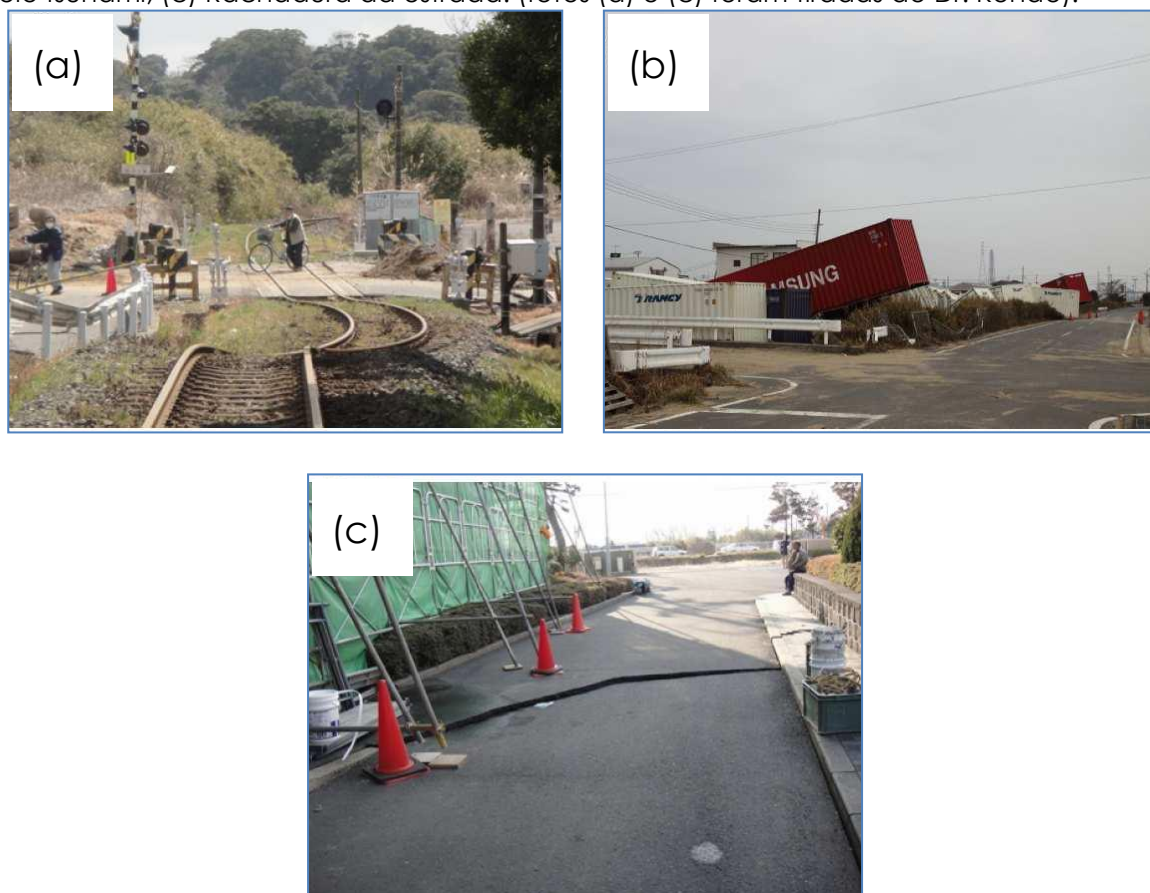
2.2 A Dinâmica da Geodésia

A Geodésia no contexto de análises de fenômenos globais e com o auxílio das novas tecnologias passou a ser uma ciência da dinâmica instantânea da Terra, em que cada fenômeno que afeta a forma e a dimensão do planeta tem que ser cuidadosamente estudado, analisado e quantificado quando possível; entre esses, por exemplo, a pressão do ar na atmosfera; a movimentação do magma e sua consequência no magnetismo terrestre e elevação das placas tectônicas; o movimento dos pólos terrestres por forças internas e externas ao planeta; movimentos das

marés oceânicas e terrestres por atrações de outros corpos celestes; a radiação solar na propagação das ondas eletromagnéticas.

Uma amostra real desta dinâmica pode ser vista, na tragédia ocorrida no Japão, dia 11 de março de 2011. Que se deu por um terremoto, de magnitude 9 na escala Richter, caracterizado como um dos mais fortes já registrados na história da nação asiática, seguido de um tsunami, que arrasou a costa nordeste do território. Segundo ICHIKAWA, R.; KAWAI, E.; SEKIDO, M. (2011), dados GPS mostraram movimentos de até 749 mm na componente horizontal (leste) e -245 mm em relação a componente vertical. Além disso, as deformações após o choque atingiram valores acima de 270 mm (componente horizontal) e cerca de 100 mm (componente vertical), registrado até o final de julho de 2011. Na figura 2.9, podem-se ver algumas fotografias que ilustram um pouco das consequências dessa tragédia.

Figura 2.9 Fotografias de alguns dos danos causados no Japão pelo Terremoto. (a) Trilho ferroviário dobrado por poderoso movimento no solo, (b) Recipiente de carga arremessado pelo tsunami, (c) Rachadura da estrada. (fotos (a) e (c) foram tiradas do Dr. Kondo).



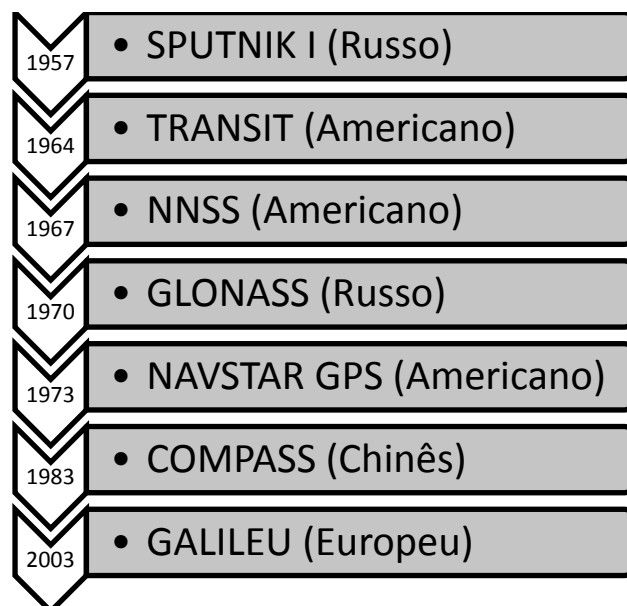
Fonte: Ichikawa, R.; Kawai, E.; Sekido, M.

Seeber (2003) e Sapucci (2001) acrescentam ainda, que resultados advindos da Geodésia por satélite, como GPS e GLONASS, estão a contribuir consideravelmente para a dinâmica do planeta, pois atendem a exigência de alta acurácia dos resultados, podendo assim até prever situações como estas.

2.2.1 Posicionamento Geodésico por Satélite

A incansável busca em se situar no tempo e no espaço é uma característica dos seres humanos. De acordo com Monico (2008), posicionar um determinado objeto é lhe atribuir coordenadas. Atualmente, essa tarefa tornou-se usual com o uso de satélites artificiais apropriados para esta finalidade. Tendo início a partir do aprimoramento das técnicas de transmissão, recepção e processamento de sinais de rádio e da dinâmica orbital, a partir do lançamento do primeiro satélite russo, Sputnik I, 1957.

Figura 2.10 Sistemas de Posicionamento Global.



A figura 2.10 mostra a sequência de desenvolvimento dos sistemas de posicionamento global.

O sistema americano baseado no princípio Doppler observado durante as experiências do Sputnik I, passou a operar em 1964 com três satélites protótipos sob a denominação de TRANSIT, depois o sistema foi ampliado e chamado de *Navy Navigation Satellite System* (NNSS), cujas operações efetivas se iniciaram em 1967 funcionando até 1994. Nesse ínterim, em 1973, o Departamento de Defesa americana (DoD) deu início a um projeto mais amplo e mais preciso que nasceu da composição de dois projetos o TIMATION da Marinha Americana e SYSTEM 621-B da Força Aérea. Esse novo sistema recebeu a denominação de Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System – NAVSTAR GPS, que atualmente é mais conhecido apenas pela sua última sigla *Global Positioning System* (GPS) (GARNÉS, 2001). A caracterização do segmento espacial GPS de acordo em sua configuração original é (SEEBER, 2003):

- 21 satélites em operação mais 3 de reserva;
- Órbitas quase circulares;
- 6 planos orbitais;
- Inclinação de 55°;
- Altitude ~ 20.200 km;
- Período orbital de 12 h siderais.

Atualmente 31 satélites encontram-se operacionais (SPECTRAPRECISION, 2013).

Com o passar dos anos houve uma reestruturação quanto à quantidade de satélites em órbita devida a qualidade dos satélites americanos e em sua versão final o segmento espacial do GPS contará com 33 satélites do bloco IIF. Um acompanhamento de como o sistema se encontra pode ser encontrado em <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/GPS/>.

Na mesma linha dos americanos, em 1970, os russos também desenvolveram seu sistema de posicionamento global, o qual recebeu a

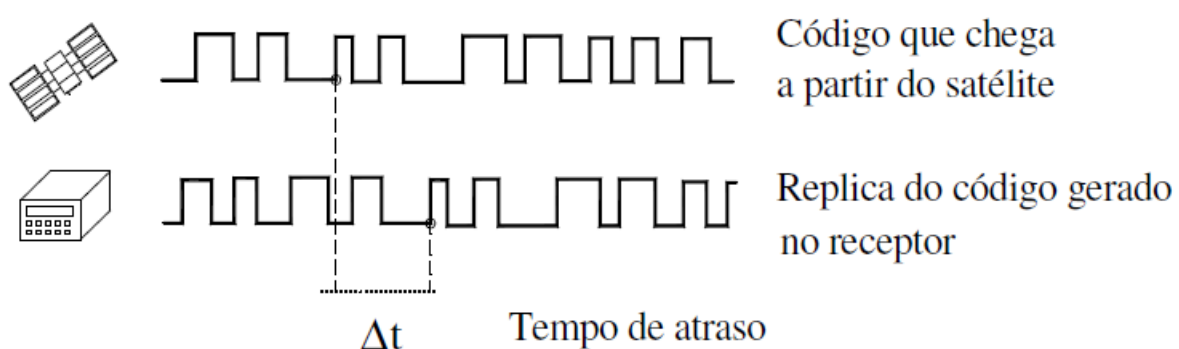
denominação de Global' Naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema (GLONASS). O segmento espacial do GLONASS tem como características atuais (<http://www.glonass-ianc.rsa.ru>):

- 27 satélites em órbitas quase circulares com 24 operacionais e três de reserva;
- 3 planos orbitais separados de 120° com altitude de 19.100km e inclinação de 64,8°;
- Período orbital de 11h 15min.

Ainda existem mais dois sistemas com finalidades semelhantes ao GPS e ao GLONASS; o europeu denominado GALILEU, em fase de projeto com apenas quatro satélites operacionais; e o chinês denominado de BeiDou com 14 satélites operacionais.

Ao grupo de sistemas de posicionamento global, seja americano, russo, europeu, chinês ou outro que vier a ser criado, passou-se a denominar de GNSS (*Global Navigation Satellite System*). As frequências dos sinais dos satélites GNSS são todas na banda L do espectro eletromagnético. O princípio de medida dos receptores se baseia em medidas de código e medidas da fase de batimento da onda portadora. Na figura 2.11, ilustra-se as observações dos códigos dos sinais advindos dos satélites GNSS.

Figura 2.11 Observações dos códigos dos sinais dos satélites GNSS.



Fonte: WELLS, et al. (1986)

A equação da medida realizada pelo código, seguindo a dedução conforme convencionada no formato RINEX, pode ser representada por (GARNÉS, 2001):

$$PR = \rho_R^S + c dt_R - c dt^S + d_{trop} + d_{ion} + d_{mult} + d_R^{hard} + d_{hard}^S - \varepsilon, \quad (2.1)$$

com: ρ_R^S : distância entre as antenas do satélite e do receptor no instante t_R ; d_{mult} : multicaminho; e d_{ion} , d_{trop} : refração ionosférica e troposférica, respectivamente.

$$\rho_R^S = \sqrt{(x^S - x_R)^2 + (y^S - y_R)^2 + (z^S - z_R)^2} \quad (2.2)$$

sendo,

x^S, y^S, z^S : coordenadas geocêntricas da antena do satélite; e

x_R, y_R, z_R : coordenadas geocêntricas da antena do receptor.

A equação da medida da fase de batimento da onda portadora, em unidade linear, conforme convenção do formato RINEX e dedução apresentada em Garnés (2001) pode ser representada por:

$$\Phi_R^S(t_R) = \rho_R^S + c dt_R - c dt^S + d_{trop} - d_{ion} + d_{mult} + d_R^{hard} + d_{hard}^S - \lambda N_R^S, \quad (2.3)$$

onde:

N_R^S é a ambiguidade envolvendo o satélite S e o receptor R; e

λ é o comprimento de onda da portadora.

2.2.1.1 Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Seeber (2003) divide o método de posicionamento em: absoluto – onde as coordenadas são obtidas através de um receptor isolado – e relativo – onde as coordenadas são determinadas com base em correções determinadas com auxílio de um ou mais receptores em pontos de coordenadas conhecidas. Segantine *et al.* (2010), acrescenta ainda que o método absoluto é menos preciso do que o relativo, porém atualmente diversos centros de pesquisas vêm investindo e fazendo os refinamentos necessários para que o método absoluto se torne tão preciso quanto o relativo, passando a ser conhecido por Posicionamento Por Ponto Preciso (PPP).

Lembrando que no posicionamento absoluto, a posição é dada de forma instantânea através de observações da pseudodistância, advinda do código C/A (presente na portadora L1), das posições dos satélites e do sistema de tempo contidos nas efemérides transmitidas. No entanto, no caso do PPP, o ponto principal desta técnica é a utilização das efemérides precisas e a utilização do conjunto completo de observáveis (eqs. 2.1 e 2.3) e combinações lineares das suas frequências, podendo ser utilizado com receptores de simples (L1) e dupla frequência (L1 & L2), (MONICO, 2008) e (ALVES *et al.*, 2011).

Para que se possa fazer o pós-processamento dos dados, existem alguns serviços “online”, no Brasil, como é o caso do IBGE que utiliza o software PPP do serviço CSRS-PPP, no qual oferece gratuitamente tanto o posicionamento estático (onde o receptor encontra-se em repouso) quanto o cinemático (dar-se quando o receptor está em movimento).

A escolha de se utilizar o PPP ao invés do posicionamento relativo, por exemplo, é a não correlação entre as coordenadas das estações, órbitas precisas e relógios dos satélites estimados com base em observações de rede global, como é o caso do IGS ou do JPL (*Jet Propulsion Laboratory*), em

que, é imprescindível que se tenha a disposição dados de receptores de dupla frequência (com as observáveis de pseudodistância e da fase nas duas portadoras - L1 & L2), (PEREZ, 2002) e (SEEBER, 2003).

Sabido que o GPS, como “ferramenta” para a geodinâmica é bastante útil em aplicações que se queira alta precisão, como é o caso do monitoramento e análise de movimento e deformação de placas tectônicas e a previsão de terremotos. Sendo assim, nestes casos, o PPP é um método bastante eficiente.

2.2.1.2 Posicionamento Relativo VLBI

Além do GPS, existem outras técnicas de posicionamento espacial, como é o caso do SLR (*Satellite Laser Ranging*), DORIS (*Determination d'Orbite et Radiopositionnement Intégré par Satellite*), PRARE (*Precise Range and Range Rating Equipment*) (ambos sistemas de rastreamento orbital) e VLBI (sistemas interferométricos). Este último foi desenvolvido pelos rádio-astrofísicos, tratando-se de uma técnica de observação de fontes de rádio extragaláctica, os quasares - abreviação de *quase-stellar rádio source*, ou fonte de rádio quase estelar - que faz uso de rádio telescópios, nos quais captam sinais dessas fontes na faixa de comprimento de ondas centimétricas ou decimétricas na janela espectral atmosférica das ondas de rádio situadas entre 500 MHz e 22GHz (75 cm a 1,3 cm de comprimento de onda). As antenas se distanciam umas das outras formando linhas de base intercontinentais, cobrindo o planeta (TEKE, 2011). Por conta dos sinais serem muito fracos, segundo THORNTON (2000), sendo estes, menores que 1 Jy ($1 \text{ Jy} = 10^{-26} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{Hz}(\text{SI})}$) ou $10^{-26} \text{ WHz}^{-1} \text{ m}^{-2}$ de abertura, se faz necessário que as antenas sejam relativamente grandes, com receptores de baixo ruído e dispositivos de banda larga, um exemplo de antena VLBI pode ser visto na figura 2.12.

Figura 2.12 Antena VLBI.

Fonte: <http://www.skyscan.ca/Canadians.htm>

Ano: 2011.

O NRCAN (2009) utiliza o telescópio apresentado na figura 2.12 em projetos que envolvem técnicas VLBI para medir os movimentos das placas continentais em levantamentos geodésicos SCAN (2012). A contribuição do processamento de dados VLBI é bastante significativa para estabelecer e manter (TEKE, 2011):

- O ICRF (*International Celestial Reference Frame*);
- O ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*);
- EOP (*Earth Orientation Parameters*) em função do tempo, que relaciona o ITRF com o ICRF.

A rede internacional de rádio telescópios IRIS (*International Radio Interferometric Surveying*), opera em regime contínuo desde 1991, cujo núcleo inicial era constituído por quatro rádios telescópios, destes, três localizados nos EUA (Mojave, Richmond, Westford) e um na Alemanha (Wettzell). As bases VLBI que se encontram dispostas no sentido leste-oeste

permitem controlar a rotação da Terra, no entanto, as que se encontram no sentido Norte-Sul, permitem controlar o movimento dos polos, (CASACA *et al.*, 2007).

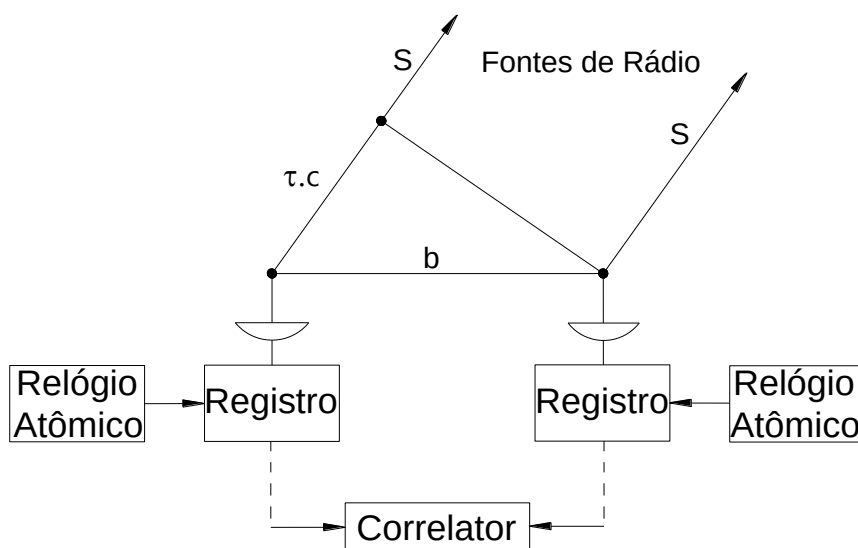
As vantagens da técnica VLBI, em comparação com as técnicas que utilizam satélites é que ela é independente do campo de gravidade, como consequência disto o VLBI possui algumas vantagens sendo elas, (DREWES, 2000 apud SEEBER, 2003):

- VLBI não é afetado por erros de órbita de satélites no campo de gravidade;
- VLBI é independente do valor de incerteza GM (Constante Gravitacional da Terra) e, portanto, dos problemas relacionados à escala.

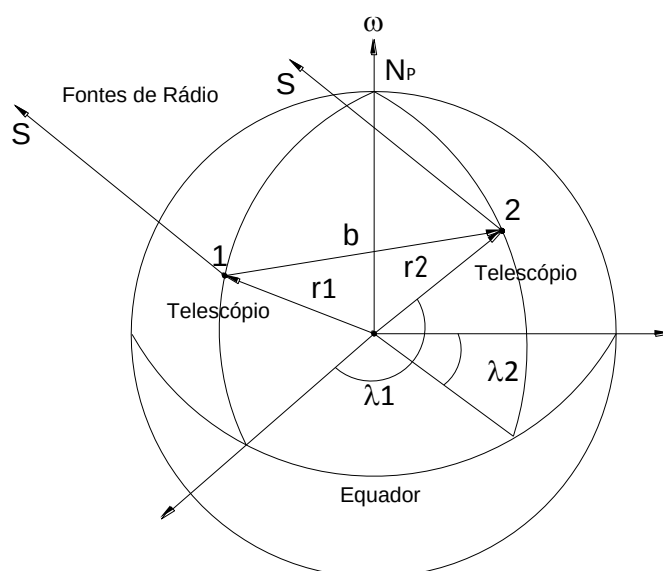
Já as desvantagens são que a técnica VLBI, Seeber (2003):

- É uma técnica muito cara, como consequência, existem números limitados de Telescópios;
- Os erros instrumentais como deformação da antena VLBI, não são fáceis de solucionar;
- Os resultados ainda não estão disponíveis em tempo real.

O princípio básico do posicionamento para a técnica VLBI pode ser visto na Figura 2.13 e 2.14, sendo S: Fontes de rádio particular; b: Linha de base intercontinentais das antenas VLBI definidas na Terra; c: Velocidade da luz no ambiente de vácuo; τ : Diferença no tempo de chegada do sinal nas duas antenas.

Figura 2.13 Ilustração do princípio básico da Técnica VLBI.

Fonte: Adaptado de SEEGER (2003)

Figura 2.14 Relação geométrica para a Técnica VLBI.

Fonte: Adaptado de SEEGER (2003)

Os sinais de Rádio que são captados pelas antenas participantes da sessão VLBI vêm de uma fonte de rádio particular (S), nas quais se considera paralelas, por conta da distância (milhares de anos luz) dos quasares em

relação à Terra. Sendo estas, registradas em ambas as estações, em fitas magnéticas, juntamente com os sinais de temporização precisos, a partir de um oscilador ultra-estável. As fitas são então enviadas para facilitar o processamento de dados VLBI e reproduzidas através do correlacionador como se não tivesse havido ligação direta entre os telescópios (TEKE, 2011 e SEEGER, 2003).

Sabido que, neste caso, correlação quer dizer confrontar e/ou cruzar os fluxos de dados, até que ambos os fluxos de sinais estejam perfeitamente alinhados. A saída do dispositivo de correlação mostra um padrão de interferência de amplitude máxima do sinal de alinhamento. O tempo de atraso associado, τ , é a diferença no tempo de chegada de sinal nas duas antenas. O atraso de sinal, τ , é uma função da variável tempo, t , definido pelos relógios das estações, porque a Terra, com as antenas, está se movendo no espaço inercial. A quantidade $\tau(t)$ são as observáveis VLBI mais importantes para aplicações geodésicas.

Seguindo a relação geométrica na Figura 2.13 e 2.14, é adicionado o termo de correção principal, em que obtem-se a equação de observação fundamental (Campbell, Witte, 1978; Campbell, 2000b apud Seeber, 2003):

$$\tau(t) = -\frac{1}{c} b \cdot s(t) + \Delta\tau_{Ab}(t) + \Delta\tau_{Instr} + \Delta\tau_{Atm} \quad (2.4)$$

sendo o termo de aberração diurna:

$$\Delta\tau_{Ab}(t) = -\frac{1}{c} (\dot{r}_2 s) \tau(t) \quad (2.5)$$

e a correção da distorção e deriva do s relógios da estação

$$\Delta\tau_{Instr} = a_1 + a_2 t \quad (2.6)$$

onde, $\Delta\tau_{Atm}$, é a correção para a refração troposférica, com base em modelos adequados (cf. (Campbell, 1979, 2000a; McCarthy, 2000) apud Seeber, 2003).

Seguindo a Figura 2.13, o produto escalar $b.s(t)$ a partir da equação 2.4, pode ser reescrita com respeito a um sistema cartesiano de referência fixo da Terra, o sistema instantâneo equatorial, de modo que:

$$bs(t) = b_x \cos\delta_s \cosh_s + b_y \cos\delta_s \sinh_s + b_z \sin\delta_s \quad (2.7)$$

com, b_x, b_y, b_z : vetor dos componentes da linha de base b ; α_s, δ_s : coordenadas esféricas equatoriais da fonte de rádio S e, $h_s = GST - \alpha_s$: ângulo horário Greenwich da fonte de rádio. Além da observável $\tau(t)$, que é utilizada principalmente em geodésia e na geodinâmica, a frequência de *fringe*, $f(t)$, é obtida. Segundo SEEBER (2003), os máximos e mínimos da amplitude interferométrica mostram certa frequência (equação 2.8), que é causada pela rotação da Terra.

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (2.8)$$

A diferença de fase, $\Phi(t)$, é relacionada com o atraso de propagação, $\tau(t)$, e pelo sinal de frequência recebido, ν_0 , por:

$$\Phi(t) = 2\pi\nu_0\tau(t) \quad (2.9)$$

Daí segue-se que:

$$f(t) = \nu_0 \frac{d\tau(t)}{dt} \quad (2.10)$$

Por analogia com (2.4) encontra-se a equação da frequência de *fringe*:

$$f(t) = -\frac{v_0}{c} b \cdot \dot{s}(t) + \Delta f_{AB} + \Delta f_{Instr} + \Delta f_{Atm} \quad (2.11)$$

Conforme (2.7) a equação do produto escalar fica:

$$b \cdot \dot{s}(t) = -\omega (b_x \cos \delta_s \sinh_s - b_y \cos \delta_s \cosh_s) \quad (2.12)$$

onde, a velocidade angular, ω , é a derivada no tempo h_s .

As observações $\tau(t)$ advindas da estação correlacionadora são armazenadas em arquivos de texto no padrão "NGS Card File" e disponibilizados no site do IVS - (International VLBI Service for Geodesy & Astrometry), <http://ivscc.bkg.bund.de/products-data/data.html>.

Dependendo do objetivo a que se destinam os dados das sessões de observações VLBI, devem estar disponibilizados no mais tardar uma semana depois de realizadas as observações, como por exemplo, as sessões R1 e R4. As descrições das sessões dos anos de 2001 a 2008 e do ano 2011 são encontradas em: <http://ivscc.gsfc.nasa.gov/program/descrip.html>.

Tomando, como exemplo a descrição para o ano de 2008, o quadro 2.1 ilustra os tipos de sessões que foram realizadas.

Quadro 2.1 Tipo de seção e razão da realização.

(Continua)

Propósito das sessões	Código da Seção	Total de Sessões	Média de estações participantes	Total de dias	Média de gravação em GB por	Total TB por ano
Rapid turnaround EOP (Monday)	IVS-R1	52	8.0	416	1300	541
TRF, all stations 3-4 times per year	IVS-T2	7	12	84	700	59
Rapid turnaround EOP (Thursday)	IVS-R4	52	8.0	416	700	291
CRF	IVS-CRF	6	4.0	24	1200	29
CRF, emphasis on south	IVS-CRFDS	10	2.0	20	1000	20
CRF, emphasis on south	IVS-CRFMS	3	2.0	6	1786	11
20-station EOP/TRF/CRF sessions	RDV	6	17	102	1000	102
R&D Gigabit/s investigations	IVS-R&D	10	6.0	60	3000	180

(Conclusão)

Propósito das sessões	Código da Seção	Total de Sessões	Média de estações participantes	Total de dias	Média de gravação em GB por	Total TB por ano
Regional - Antártica	IVS-OHIG	6	7.0	42	300	13
Regional - Europe	EURO	6	9.0	54	665	36
Regional - Asia/Pacific	APSG	2	6.0	12	300	4
Regional - Asia/Pacific	JADE	12	3.6	43	900	39
	Total	172	-	1279	-	1325

Fonte: <http://ivsc.gsfc.nasa.gov/program/descrip.html>

Das sessões apresentadas no quadro 2.1, as de realização com maior frequência para o estudo desta dissertação são a IVS-R1 e IVS-R4, pois envolvem semanalmente as estações de Fortaleza (FORT) e do Chile (TIGO-CONC), valendo, pois, fazer um rápido relato sobre elas (<http://ivsc.gsfc.nasa.gov/program/descrip2008.html#r1>).

2.2.1.2.1 IVS-R1 e IVS-R4

O propósito das sessões IVS-R1 e IVS-R4 é proporcionar duas vezes por semana resultados para o EOP e dar sequência as séries temporais anteriores.

O "1" e o "4" indicam que as sessões são realizadas nas segundas-feiras e nas quintas-feiras, respectivamente. As sessões separadas durante a semana dão o intervalo de tempo necessário para monitorar as marés e a nutação.

O "R" significa retorno rápido, confirmando o compromisso das estações correladoras e analistas em fornecer os dados com tempo de atraso no máximo de 15 dias. As estações participantes têm 4 (quatro) dias para encaminhar os dados para estações correladoras.

Cada rede para as sessões de R1 e R4 tem 8 (oito) estações. Há uma rede de base para cada dia, mais uma ou duas outras estações. A sessão R1 é gravada com uma taxa de 256 Mbit/s de dados. A sessão R4 é gravada com uma velocidade de 128 Mbit/s de dados.

Quadro 2.2 As redes e as estações de correlação.

Seção	Dia	Redes	Correlator
R1	Segunda-feira	Ciclos através da rede BdFtHhNyOnTcWfWz FtHhMaNyTcTsWfWz HoKkNyTsWfWzYbZc HoKkNyShTsWfWzZc	Bonn
R4	Terça-feira	Ciclos através da rede FtKkNySvTcWzYbZc FtKkMaSvTcWzYbZc FtKkMaNySvTcWzZc BdFtKkMaSvTcWzYb BdFtKkMcSvTcWzZc BdFtHoKkMaSvTcWz	WACO

Fonte: <http://ivsc.gsfc.nasa.gov/program/descrip2008.html>

Cada estação VLBI tem uma sigla com dois caracteres conforme mostra a coluna redes do quadro 2.2. Essas siglas, junto com as informações completas das estações podem ser encontradas no endereço eletrônico <http://ivsc.gsfc.nasa.gov/about/org/components/ns-list.html>. O quadro 2.3 a seguir apresenta parte da informação desse site para as estações de interesse deste trabalho.

Quadro 2.3 Informações das estações VLBI da placa SOAM.

(location of station)	IVS Component Name (link to station web site)	IVS code (link to recent Annual Report)	8-letter name (link to configuration file)	On-site Technical Contact	Administrative Contact	Sponsoring Organization
Brazil	Fortaleza, Rádio Observatório Espacial do Nordes (ROEN)	Et	FORTLEZA	Macilio Lucena	Pierre Kaufmann	Centro de Rádio Astronomia e Aplicações Espaciais
Chile	Transportable Integrated Geodetic Observatory (TIGO)	Tc	TIGO-CONC	Hayo Hase	Ulrich Schreiber	Universidad de Concepción (UdeC), Instituto Geográfico Militar (IGM), Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG, Germany)

Fonte: <http://ivsc.gsfc.nasa.gov/about/org/components/ns-list.html>

As sessões de observações para um ano costumam ser planejadas anteriormente, por exemplo, para o ano de 2013 as sessões planejadas se encontram disponíveis em: <http://lupus.gsfc.nasa.gov/sess/master13.html>, conforme exemplo apresentado no quadro 2.4.

Quadro 2.4 Programa de observações VLBI para dezembro de 2013.

IVS-R1614 R1614 DEC02 336 17:00 24 FtHbKeMaNyTcWfWzYg -Ts	NASA BONN		XA NASA -132
IVS-CRF79 CRF79 DEC03 337 17:30 24 HbKeKkYg -Ts	USNO WASH		XN USNO -133
IVS-R4614 R4614 DEC05 339 18:30 24 BdFtHbKeKkNySvTcWzYsZc	USNO WASH		XE USNO -135
AUSTRAL-18 AUST18 DEC09 343 07:00 24 HbHtKeYg	VIEN CRTN		XA NASA -139
IVS-R1615 R1615 DEC09 343 17:00 24 FtHhMaNyOnTcWfWz -Ts	NASA BONN		XA NASA -139
VGOS-005 VGO005 DEC10 344 17:30 24 GsWf	HAYS HAYS		VG NASA -140
VLBA102 RV102 DEC11 345 18:00 24 MaNyOnVaWfWz -Ts	NASA VLBA		XA NASA -141
IVS-R4615 R4615 DEC12 346 18:30 24 BdFtHbKeKkMaNyTcWzYg -Ts	USNO WASH		XE USNO -142
AUSTRAL-19 AUST19 DEC16 350 07:00 24 HbKeYg	VIEN CRTN		XA NASA -146
IVS-R1616 R1616 DEC16 350 17:00 24 FtGsHhHtMaNyOnTcWfWz -Ts	NASA BONN		XA NASA -146
IVS-T2094 T2094 DEC17 351 17:30 24 13AiBdCcFtHhK1KgKmMhNtNyOnSmVmVsWfWzYsZc -Ts	BONN HAYS		XH BKG -147
IVS-R&D-10 RD1310 DEC18 352 18:00 24 GsHhKkNyOnTcWfWz -Ts	NASA HAYS		XA NASA -148
IVS-R4616 R4616 DEC19 353 18:30 24 BdFtHhHtKkNySvTcWzYsZc	USNO WASH		XE USNO -149
IVS-R1617 R1617 DEC23 357 17:00 24 FtKkTcUrWfYs	NASA BONN		XA NASA -153
IVS-R4617 R4617 DEC26 360 18:30 24 BdFtHhKkNySvTcWzYsZc	USNO WASH		XE USNO -156
IVS-R1618 R1618 DEC30 364 17:00 24 FtGsTcUrWfWz -Ts	NASA BONN		XA NASA -160

As sessões de observações já realizadas desde 1979, também são disponibilizadas (<http://ivsc.gsfc.nasa.gov/program/master.html>), tornando-se uma ferramenta muito importante para rever e analisar dados pretéritos.

Com isso pôde-se verificar que a estação de Fortaleza (Ft) ficou inativa de novembro de 2009 a junho de 2011. No apêndice D são mostradas as sessões utilizadas no processamento deste trabalho.

Devido às especificidades que o processamento VLBI envolve, não existem muitos softwares disponíveis para a realização do processamento. Os softwares oficializados pelo IVS no processamento VLBI e os responsáveis são (<http://ivsc.gsfc.nasa.gov/analysis/index.html>):

- CALC/SOLVE (John Gipson)
- MODEST (Ojars Sovers)

- OCCAM (Oleg Titov)
- GLORIA (Sébastien Lambert)
- SteelBreeze (Sergei Bolotin)
- GEOSAT (Per Helge Andersen)
- VieVS (Johannes Böhm)
- c5++ (Thomas Hobiger)

Dentre esses softwares, foi utilizado nesse trabalho o software VieVS, desenvolvido pelo Department of Geodesy and Geoinformation, Vienna University of Technology, e atualmente sob responsabilidade do Prof. Johannes Böhm. O Uso desse software, versão 1d, foi concedido para o Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, para fins de pesquisa, durante uma visita técnica dos professores Dra. Andrea de Seixas e Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés em agosto de 2011 à Universidade Técnica de Vienna (<http://views.geo.tuwien.ac.at/user-workshop/2011/>). O software foi desenvolvido no ambiente Matlab e na época contava com a equipe: T. Nilsson, L. Plank, H. Spicakova, K. Teke, S. Böhm, J. Böhm, J. Sun, C. Tierno Ros, M. Madzak, sob supervisão do Prof. Full Dr.-Ing. Dr.h.c. Harald Schuh, presidente do IVS.

2.2.2 Sistemas Geodésicos de Referência

Segundo Seeber (2003), em 1988 a responsabilidade de determinar e manter o CRS (*Celestial Reference System*), CRF (*Celestial Reference Frame*) passou a ser do IERS (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*) que utiliza técnicas terrestres e espaciais (VLBI, GNSS, DORIS, SLR e LLR) modernas. O Sistema de Referência Terrestre convencional (CTRS) estabelecido pelo IERS é o ITRS (*International Terrestrial Reference System*), cuja realização se dá pelo ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*). Cada realização é composta por um catálogo de coordenadas e velocidades de um grupo de estações IERS. Sendo designadas ITRF-yy. A primeira solução ITRF publicada foi o ITRF88, e desde então sucessivas versões

(ITRF88, ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005 e ITRF2008) tem sido publicadas, até a mais atual, denominada ITRF2008. No qual esta última foi liberada ao público no dia 28-05-2010. Vale resaltar a ausência das realizações para os anos 1995, 1998 e 1999.

Uma densificação das realizações do ITRS é a rede SIRGAS, cuja primeira realização ocorreu no período de 26 de maio a 14 de junho de 1995, e foi referida ao ITRF94, época 1995.4. A segunda campanha foi realizada de 10 a 19 de maio de 2000, (Monico, 2008). Com esta segunda campanha finalizada, o SIRGAS2000 ficou referido ao ITRF2000 na época 2000,4. Em 25 de fevereiro de 2005, o SIRGAS2000 foi oficializado pelo IBGE como o Sistema de Referência adotado pelo Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), (IBGE, 2005).

A transição do antigo referencial do SGB, o SAD 69 (*South American Datum 69*), para o SIRGAS2000, segundo IBGE (2005), tem o prazo até 2014 para os órgãos e entidades brasileiros fazerem a adaptação. Todavia, os demais sistemas não deixam de existir e para o SCN (Sistema Cartográfico Nacional), o SIRGAS2000 deverá ser utilizado simultaneamente com o SAD 69, e também com o Córrego Alegre, sempre que for necessário recorrer às informações contidas nesses sistemas. Nas próximas sessões serão tecidos aqui alguns pontos fundamentais no que diz respeito ao SAD 69, Córrego Alegre, WGS-84 (Sistema de Referência associado ao GPS) e o próprio SIRGAS2000.

2.2.2.1 Córrego Alegre

Segundo o IBGE (2005), o Sistema de referência oficialmente adotado pelo SGB até 1979 foi o Córrego Alegre. Na definição do Córrego Alegre são feitas coincidentes no ponto datum - vértice Córrego Alegre da rede de triangulação brasileira - a normal e a vertical. Os parâmetros definidores do Sistema são apresentados no quadro 2.5.

Quadro 2.5 Parâmetros do Córrego Alegre.

Sistema de Referência Córrego Alegre
Adota o Elipsóide Internacional de Hayford: 1924
$a = 6.378.388$ m (Semi-eixo maior)
$f = 1/297$ (Achatamento)
Orientação Topocêntrica no vértice de triangulação Córrego Alegre: $\varphi_G = \varphi_A = 19^\circ 50' 15,14''$ S $\lambda_G = \lambda_A = 48^\circ 57' 42,75''$ W $N = 0$ m (Ondulação Geoidal)

Em que:

φ_G = Latitude Geodésica;

φ_A = Latitude Astronômica;

λ_G = Longitude Geodésica;

λ_A = Longitude Astronômica;

N = Ondulação Geoidal.

2.2.2.2 Sistema SAD 69

Após 1979, o Sistema de referência oficial passou a ser o SAD 69, segundo o IBGE (1983) os parâmetros definidores do SAD 69 são (quadro 2.6):

Quadro 2.6 Parâmetros do SAD 69.

(Continua)

Sistema de referência SAD 69
Baseado no elipsóide internacional de 1967
$a = 6\,378\,160$ m (semi-eixo maior)
$f = 1/298,25$ (achatamento)
Possui o plano Meridiano origem paralelo ao plano Meridiano de Greenwich, de acordo com a definição encontrada no BIH (<i>Bureau International de l'Heure</i>)

(Conclusão)

Sistema de referência SAD 69
Orientação Topocêntrica no vértice Chuá da cadeia de triangulação do paralelo 20° S:
$\Phi = 19^{\circ} 45' 41,6527''$ S
$\lambda = 48^{\circ} 06' 04,0639''$ WGr
$\alpha = 271^{\circ} 30' 04,05''$ (Azimute de Chuá para Uberaba)
$N = 0$ m (Ondulação Geoidal)

Os componentes do desvio da vertical, determinadas no vértice Chuá, são (GEMAEL, 1994):

- $\xi_0 = -0,31''$ (Componente Meridiana) e $\eta_0 = 3,59''$ (Componente 1° Vertical).

2.2.2.3 Sistema de referência WGS-84

Nas efemérides transmitidas pelo GPS, o sistema geodésico de referência utilizado é o Sistema de Referência Global (WGS-84). Desta maneira, quando um levantamento é efetuado utilizando o GPS em sua forma convencional, as coordenadas dos pontos envolvidos no levantamento serão obtidas nesse sistema de referência. Segundo Monico (2008), o WGS-84 possui os seguintes parâmetros (Quadro 2.7):

Quadro 2.7 Parâmetros definidores do WGS-84.

Sistema de referência WGS-84
Elipsóide WGS-84
$a = 6378137$ m (semi-eixo maior)
$f = 1/298,257223563$ (achatamento)
$\omega_e = 7292115.10^{-8}$ rad/s (Velocidade angular da Terra)
$GM = 3986004,418.10^8$ m ³ /s ² (Constante gravitacional da Terra)
Sistema Geocêntrico
Ondulação Geoidal varia de 0,5 a 1 m, em nível global.

2.2.2.4 Sistema de referência SIRGAS2000

Concebido em 1993, o SIRGAS, originalmente chamado de Sistema de Referência Geocêntrico da América do Sul, e com duas campanhas GPS já realizadas, culminou com duas densificações do ITRF. Atualmente sua denominação é Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas. Onde passou a ser oficializado como atual sistema de referência do SGB pelo IBGE (2005). Os parâmetros que definem o sistema seguem ilustrados no quadro 2.8.

Quadro 2.8 Parâmetros do Sistema de referência SIRGAS2000.

Sistema de referência SIRGAS2000
Sistema Geodésico de Referência: Sistema de Referência Terrestre Internacional
Elipsóide GRS 80
$a = 6.378.137 \text{ m}$
$f = 1/298,257222101$
Sistema Geocêntrico
Orientação: Pólos e meridiano de referência consistentes em $\pm 0,005''$ com as direções definidas pelo <i>BIH (Bureau International de l'Heure)</i> , em 1984,0
Época de Referência das coordenadas: 2000,4
$\omega_e = 7292115.10 \cdot 10^{-8} \text{ rad/s}$ (velocidade angular da Terra)
$GM = 3986004.418 \text{ m}^3/\text{s}^2$ (constante gravitacional)

Através da realização SIRGAS2000, segundo Monico (2008), foi disponibilizado o campo de velocidade para as estações localizadas sobre a placa tectônica Sul-Americana, necessário para estudos que requerem alta precisão.

Atualmente a rede é composta por um conjunto de estações de operação contínua denominada SIRGAS-CON (rede de estações GNSS de

operação contínua – www.sirgas.org). Segundo IBGE (2013), a rede SIRGAS-CON é composta por aproximadamente 200 estações; e 6 Centros Locais de Processamento realizam as atividades de processamento da Rede. A operacionalidade da rede SIRGAS-CON se dá pela contribuição voluntária de mais de 50 países latino-americanos, os quais instalaram estações e são responsáveis pelo funcionamento, delas permitindo assim, a disponibilização para os centros de análise de dados.

A rede SIRGAS-CON, é compreendida em dois níveis de classificação. Estes níveis são a SIRGAS-CON-C (rede de cobertura continental) e a SIRGAS-CON-D (rede de densificação).

A partir do processamento e combinação dos resultados das redes SIRGAS-CON-C com o SIRGAS-CON-D, dar-se-á origem aos seguintes produtos:

Soluções semanais semi-livre; Cálculo das coordenadas semanais SIRGAS-CON; e suas multi-soluções.

Os centros de análise locais SIRGAS, responsáveis pelo processamento das coordenadas das estações da rede SIRGAS-CON-D (<http://www.sirgas.org/index.php?id=182>) são:

- **CEPGE:** Centro de Processamento de dados GNSS do Equador, Instituto Geográfico Militar (Equador);
- **CIMA:** Centro de processamento engenharia-Mendonça-Argentina da Universidade Nacional de Cuyo (Argentina);
- **CPAGS-LIGHT:** Centro de Processamento e Análises GNSS SIRGAS da Universidade de Zulia (Venezuela);
- **IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brasil);
- **IGAC:** Codazzi (Colômbia) do Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Colômbia);
- **IGM-Cl:** Instituto Geográfico Militar (Chile);
- **IGN-Ar:** Instituto Geográfico Nacional (Argentina);
- **INEGI:** Instituto Nacional de Estadística e Geografía (México);

- **SGM:** Serviço Geográfico Militar (Uruguai).

Os centros experimentais de processamento são:

- **CNPDG-A:** Centro Nacional de Processamento de Dados GNSS, da Universidade Nacional (Costa Rica);
- **IGS-RNAAC-SIR.**

Os Centros de combinação são:

- **IBGE** (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), Brasil;
- **DGFI** (*Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut*), Alemanha.

2.2.3 Transformação de coordenadas geodésicas elipsoidais (φ, λ, h) em Cartesianas Geocêntricas (X, Y, Z) .

O sistema de referência (oficial) associado ao GPS, quando se utilizam efemérides transmitidas, é o WGS-84. Sendo assim, ao utilizar o GPS na sua forma condicional, as coordenadas das estações, por exemplo, são obtidas no mesmo sistema de referência das órbitas.

No IBGE, (1989), encontram-se as fórmulas oficiais que possibilitam transformar coordenadas geodésicas elipsoidais (φ, λ, h) em cartesianas geocêntricas (X, Y, Z) . Permitindo compatibilizar as coordenadas encontradas com o GPS e os sistemas de referência (como por exemplo, o Córrego Alegre e o SAD 69). São elas:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N + h) \cdot \cos\varphi \cdot \cos\lambda \\ (N + h) \cdot \cos\varphi \cdot \sin\lambda \\ (N \cdot (1 + e^2) + h) \cdot \sin\varphi \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \cdot \sin^2\varphi)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.14)$$

$$e^2 = 2.f - f^2 \quad (2.15)$$

sendo, X, Y, Z : coordenadas cartesianas tridimensionais; N : raio de curvatura da seção primeiro vertical (mais conhecida por grande normal); H : altitude geométrica; φ, λ : coordenadas geodésicas; h : altitude elipsoidal; e : primeira excentricidade do elipsóide; e f : achatamento do elipsóide.

De posse das coordenadas cartesianas tridimensionais, no primeiro sistema (S_1), transformando-os para um segundo sistema (S_2), basta utilizar os parâmetros de transformação oficiais adotados no Brasil.

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

sendo, X_1, Y_1, Z_1 : coordenadas cartesianas tridimensionais no sistema S_1 ; X_2, Y_2, Z_2 : coordenadas cartesianas tridimensionais no sistema S_2 ; e $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: parâmetros de transformação entre o sistema S_1 e S_2 .

Após a aplicação dos parâmetros torna-se necessário transformar as coordenadas cartesianas tridimensionais X_2, Y_2, Z_2 , em coordenadas geodésicas, ou seja, aplicar as fórmulas 2.17, 2.18 e 2.19:

$$\varphi_2 = \arctan\left(\frac{Z_2 + e_2'^2 b_2 \sin^3 u}{\sqrt{X_2^2 + Y_2^2} - e_2^2 a_2 \cos^3 u}\right) \quad (2.17)$$

$$\lambda_2 = \arctan\left(\frac{Y_2}{X_2}\right) \quad (2.18)$$

$$h_2 = \frac{\sqrt{X_2^2 + Y_2^2}}{\cos \varphi_2} - N_2 \quad (2.19)$$

onde,

$$\sin u = \frac{\tan u}{\sqrt{1 + \tan^2 u}}, \quad \cos u = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 u}}, \quad \tan u = \frac{Z_2}{\sqrt{X_2^2 + Y_2^2}} \cdot \frac{a_2}{b_2}$$

$$e_2'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} = \frac{2f - f^2}{(1 - f)^2}, f = \frac{a - b}{a} \therefore b = a(1 + f).$$

sendo, φ_2, λ_2 : coordenadas geodésicas no S_2 ; h : altitude elipsoidal no S_2 ; a : semi-eixo maior do elipsóide; b : semi-eixo menor do elipsóide; $e_2'^2$: segunda excentricidade.

2.2.4 Transformações entre referenciais terrestres e atualização de coordenadas

Em trabalhos onde é exigido um alto nível de precisão, se faz necessário associar as coordenadas a uma dada época, sendo atualizadas para a época de interesse, podendo assim segundo Mônico (2008) envolver ou não referenciais distintos. Para isso pode-se utilizar a transformação generalizada de Helmert.

2.2.4.1 Transformação Generalizada de Helmert

Quando se quer transformar referenciais, nos quais se encontram estáticos, ou seja, não varia com o tempo, a aplicação de Helmert é perfeitamente aplicável, onde a mesma possui 7 parâmetros de transformação (3 translação, 1 escala e 3 rotações). Porém, caso se queira compatibilizar diferentes referenciais, onde se considera a evolução temporal das coordenadas. Faz-se necessário, segundo Souza (2008), a aplicação de uma transformação que use simultaneamente as translações, rotações, fator de escala e respectivas taxas de variação com relação ao tempo, além do mais a velocidade da estação (3 componentes de velocidades (V_x , V_y e V_z)). Essa transformação é conhecida por Transformação Generalizada de Helmert (generalização da transformada de Helmert), a qual possui 14 parâmetros de transformação, sendo 7 referente a transformação (3 translação, 1 escala e 3 rotações) e 7 referente as taxas de variação com relação ao tempo).

Em sua aplicação, a mesma, considera as coordenadas de um ponto P, associadas a um referencial ITRF_{yy}, em uma época de referência (t_0), na qual permite a obtenção das coordenadas deste ponto num referencial ITRF_{zz} numa época (t_k), representado na equação 2.20 por $\vec{X}_{ITRFzz}$, (SOLER, 1999):

$$\begin{aligned} \vec{X}_{ITRFzz} = & \vec{T} + (1 + s)[\varepsilon + I][\vec{X}_{ITRFyy} + \vec{V}_{ITRFyy} \cdot (t_k - t_0)] \\ & + \left[\dot{\vec{T}} + [(1 + s)\dot{\varepsilon} + \dot{s}[\varepsilon + I]]\vec{X}_{ITRFyy} \right] (t_k - t_0) \end{aligned} \quad (2.20)$$

sendo, $\vec{T}$ o vetor de parâmetros de translação do sistema ITRF_{yy} para o sistema ITRF_{zz} na época t_0 , isto é os parâmetros de translação; ε é a matriz de rotações diferenciais (expressa em radianos) em torno dos eixos x, y e z do sistema ITRF_{yy}, serve para estabelecer o paralelismo com o sistema ITRF_{zz}; s é o fator diferencial de escala entre os sistemas ITRF_{yy} e ITRF_{zz} expresso em ppm (10^{-6}) na época t_0 ; $\vec{X}_{ITRFyy}$ vetor de coordenadas cartesianas do ponto P no sistema ITRF_{yy}, na época t_0 (em unidades metricas); $\vec{X}_{ITRFzz}$ vetor de coordenadas cartesianas do ponto P no sistema ITRF_{zz} na época t_k (em unidades metricas); $\vec{V}_{ITRFyy}$ vetor de velocidade do ponto P (m/ano), na época t_0 , por causa do movimento da placa tectônica que o contém; $(t_k - t_0)$ intervalo de tempo expresso (expresso em anos e sua fração). $\dot{\vec{T}}$, $\dot{\varepsilon}$, $\dot{s}$ são as variações em translação, rotação e fator diferencial de escala, respectivamente, entre os sistemas ITRF_{yy} e ITRF_{zz}, em relação ao tempo.

Tendo em vista que, se as coordenadas das estações não variarem com o tempo, a equação 2.20 pode ser escrita da seguinte maneira (MONICO, 2008):

$$\vec{X}_{ITRFzz} = \vec{T} + (1 + s)[\varepsilon + I] \cdot \vec{X}_{ITRFyy} \quad (2.21)$$

ou seja, (eq. 2.12) transformação de Helmert com sete parâmetros.

Monico (2008) acrescenta ainda que da mesma forma que as coordenadas, é possível calcular as velocidades, partindo das velocidades conhecida em outro sistema de referência. Fazendo uso da seguinte formulação:

$$\vec{V}_{ITRFzz} = \dot{\vec{T}} + [(1+s)\dot{\varepsilon} + \dot{s}[\varepsilon + I]]\vec{X}_{ITRFyy} + (1+s)[\varepsilon + I] \cdot \vec{V}_{ITRFyy} \quad (2.22)$$

$\vec{V}_{ITRFzz}$ são as componentes lineares referidas aos eixos cartesianos do campo de velocidade associado ao ponto $\vec{X}_{ITRFzz}$, no sistema referencial ITRFzz. Os termos restantes contidos na equação 2.22 são análogos aos da equação 2.20.

Lembrando que a transformação de um referencial para outro pode também, segundo Monico (2008), ser realizada mediante a atualização das coordenadas e parâmetros de transformação do referencial de origem, fazendo uso da equação:

$$\vec{X}(t) = \vec{X}_0 + \vec{V}_0(t - t_0) \quad (2.23)$$

em seguida aplica-se a equação:

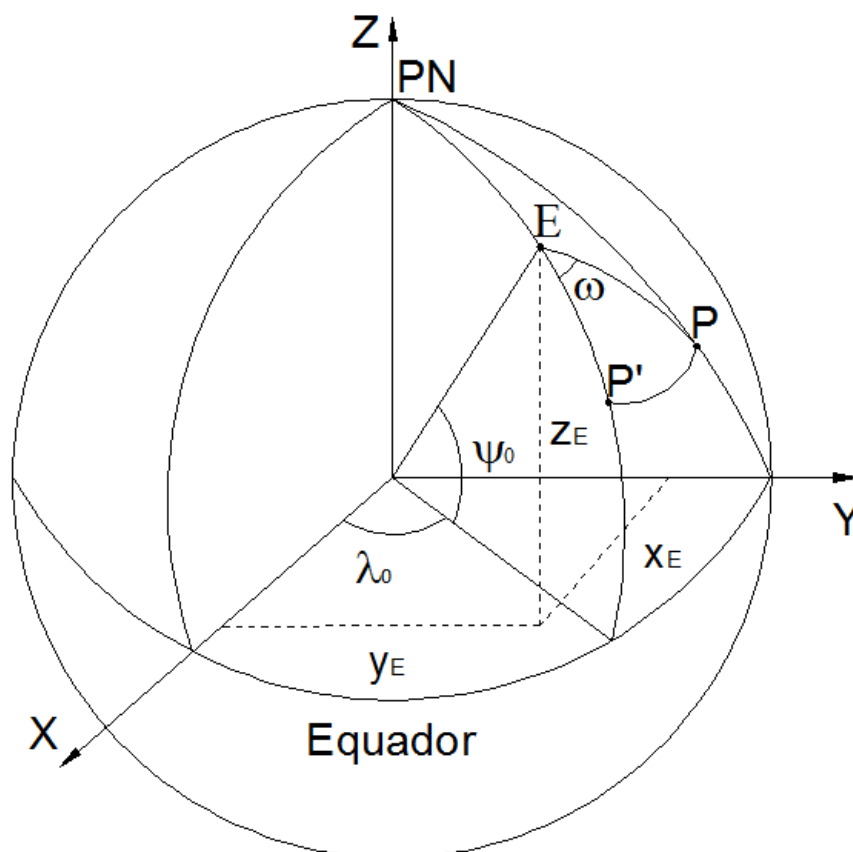
$$\vec{X}_{ITRF-zz} = \vec{T}_X + (1+S)(\varepsilon + I)\vec{X}_{ITRF-yy} \quad (2.24)$$

Monico (2008) acrescenta ainda que, para o caso dos parâmetros, a velocidade na equação 2.23, deve ser substituída pela taxa de variação do parâmetro e as coordenadas pelo parâmetro propriamente dito. No site: <http://itrf.ensg.ign.fr>, constam os parâmetros de transformação (chamados parâmetros de Helmert) que podem ser usados para comparar os dados ou resultados obtidos em duas realizações diferentes ITRS. Inclusive a última materialização, ITRF2008.

2.2.4.2 Variação Temporal das coordenadas devido a Geodinâmica e modelos disponíveis para a obtenção da velocidade das estações

Com base na teoria da *tectônica de placas* e em trabalhos como o de Faustino (2006), é possível verificar que as placas litosféricas se movimentam a uma velocidade relativa entre 1 e 10 cm/ano. Sabido que, uma maneira de descrever tal movimentação na superfície terrestre, é através dos vetores de rotação de Euler, também conhecido por vetor geocêntrico de rotação ($\vec{\Omega}_k$). No qual, o módulo do vetor de Euler é proporcional à velocidade angular no extremo do vetor ($\omega = t(\Omega_x^2 + \Omega_y^2 + \Omega_z^2)^{1/2}$, ou seja, leva um ponto $P(X, Y, Z)$ na época t_1 para a posição $P'(X', Y', Z')$ numa época t_2), localizado na superfície do modelo da Terra ou não, este ponto é conhecido por Pólo de Euler ($E(\Psi_0, \lambda_0)$). A seguir (Fig. 2.15) são apresentados o Pólo de Euler e o ângulo de rotação, considerando a Terra uma esfera.

Figura 2.15 Representação do Pólo de Euler e do ângulo de rotação.



Onde, o vetor de Euler, pode ser representado por coordenadas latitude e longitude (Ψ_0, λ_0) ou coordenadas cartesianas (x_E, y_E, z_E) - em termos dos eixos X, Y e Z:

$$\vec{\Omega}_k = \begin{bmatrix} \Omega_x \\ \Omega_y \\ \Omega_z \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Partindo dos conceitos da álgebra, tem-se que o produto vetorial $a \times b$ de dois vetores a e b , é um vetor. Sendo $a \times b$ definido quando a e b são vetores tridimensionais. Trazendo esta definição para a pesquisa, foram utilizados três vetores de ordem três, nos quais o primeiro contém, um vetor simbólico de base padrão (i, j, k) no qual esse pode ser expandido caso haja necessidade, o vetor de Euler $\vec{\Omega}_k(\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z)^T$ e o ponto $\vec{P}(X, Y, Z)$, ficando assim representada:

$$\vec{\Omega}_k \times \vec{P} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ \Omega_x & \Omega_y & \Omega_z \\ X & Y & Z \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

calculando este produto vetorial (eq. 2.26), tem-se:

$$\vec{\Omega}_k \times \vec{P} = (\Omega_y Z - \Omega_z Y)i - (\Omega_x Z - \Omega_z X)j + (\Omega_x Y - \Omega_y X)k \quad (2.27)$$

de onde vem da física, (com respeito a movimentos de corpos) a relação entre a velocidade média de um corpo, o tempo gasto nesse movimento e a distância ou deslocamento que esse corpo descreveu, a equação:

$$V_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2.28)$$

fazendo correlação com a pesquisa, tem-se:

$$\Delta \vec{x} = (\vec{\Omega}_k \times \vec{P}) \Delta t \quad (2.29)$$

onde Δt é o intervalo de tempo, num dado sistema cartesiano.

Substituindo o produto vetorial (eq. 2.29) na equação 2.28, tem-se:

$$\begin{cases} V_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \Omega_y Z - \Omega_z Y \\ V_y = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \Omega_z X - \Omega_x Z \\ V_z = \frac{\Delta z}{\Delta t} = \Omega_x Y - \Omega_y X \end{cases} \quad (2.30)$$

De acordo com Costa (2001) a vantagem da utilização dos resultados obtidos por este tipo de método, é que este representa o movimento das estações, de forma fiel ou mais atual, ou seja, na representação do campo de velocidades. Uma aplicação disto pode ser visto em Costa (2001) no qual a mesma afirma que estes resultados podem substituir os resultados obtidos pelos modelos NNR-NUVEL-1A e APKIM8.80 para com a placa Sul-Americana.

Dentre os quais, tais modelos, baseados em informações geofísicas e geodésicas respectivamente, são capazes de estimar os movimentos das placas litosféricas. Abaixo, adaptado de Monico (2008), estão listados alguns dos modelos existentes para este fim:

NNR-NUVEL-1A (*No Net Rotation – Northwestern University VELOCITY model 1A*):

- o *Descreve as velocidades angulares relativas das 14 maiores placas litosféricas que compõem a crosta terrestre, tomando como referência a placa do Pacífico e definidas sobre a condição de que é uma rede sem rotações residuais (No Net Rotation). Sua confiabilidade se dá devido ao mesmo combinar várias informações, tais como anomalias*

magnéticas, azimutes de falhas na crosta e vetores de terremotos para estimar a velocidade relativa de cada placa litosférica.

APKIM8.8 (Actual Plate Kinematic and Deformation Model):

- Baseado em observações geodésicas (VLBI, SLR e GPS), sobre a condição NNR. Foi desenvolvido pelo Deutsches Geodatisches Forschungsinstitut (DGFI), (Drewes, 1982). Existindo outras versões mais atualizadas (APKIM 2000 e APKIM 2002).

Perez, Monico e Chaves (2003):

- Desenvolvido numa dissertação de mestrado (intitulada: "Campo de velocidade para as estações da RBMC e do IGS localizadas na placa Sul-Americana: estimativa a partir do processamento de dados GPS". Com processamento PPP.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística):

- Fornece programa, para interpolar coordenadas geográficas (latitude e longitude), baseado num gride de velocidades (geográficas), desenvolvido para o projeto SIRGAS. Encontrando-se disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas/principal.htm>. Com o intuito de calcular o campo de velocidades da placa Sul-Americana.

Costa, Santos e Gemaél (2003):

- Obtidos a partir dos resultados fornecidos pelo processamento de dados GPS de nove estações da RBMC e dez estações IGS localizadas na borda da placa Sul-Americana e em placas adjacentes. Com o intuito de estimar o campo de velocidades, fazendo uso de observações que abrangiram cinco grupos de 15 dias cada, nas épocas 1997,3, 1997,9, 1998,3, 1998,9 e 1999,2. Visto que os resultados

foram compatíveis com vários modelos, dentre os quais o NNR-NUVEL 1A e o APKIM8.8. Onde os vetores de velocidades estimados para as estações da RBMC tiveram um bom acordo com esses dois modelos, apresentando uma magnitude de aproximadamente 2 cm/ano.

ITRF2000 (*International Terrestrial Reference Frame*):

- o *Realizado pelo IERS, através de um conjunto global de estações que efetuam observações espaciais geográficas. Sendo alinhado ao NNR-NUVEL 1A, a diferença residual pode exceder 3 mm/a.*

Para calcular tais modelos, são necessárias algumas considerações, como: considerar a Terra um corpo rígido que gira em torno de seu eixo, a superfície da mesma ser coberta por um conjunto de placas litosféricas, o movimento relativo de uma placa - considerada uma calota esférica rígida - num determinado sistema de coordenadas ser descrito pelo vetor de rotação geocêntrico de Euler. Sabido que o módulo do vetor de Euler é proporcional à velocidade angular na extremidade do vetor, localizado na superfície da Terra, entre outras.

No quadro 1 visto no estado da arte são apresentadas as componentes $\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$ dos vetores de rotação de Euler para a placa Sul-Americana derivados de fontes de alguns desses modelos (NNR-NUVEL 1A, APKIM 2000 (DREWES, 2001), ITRF 2000 (ALTAMIMI, SILLARD e BOUCHER, 2002)), e alguns valores calculados para o Brasil, obtidos a partir dos resultados fornecidos pelo processamento de dados GPS de estações da RBMC e do IGS (Costa, Santos e Gemaél, 2003; Perez, Monico e Chaves, 2003).

Em termos de coordenadas geodésicas, segue abaixo (Quadro 2.9) os elementos do pólo de rotação para a placa Sul-Americana:

Quadro 2.9 Elementos do pólo de rotação para a placa Sul-Americana.

MODELOS	$\Phi (^{\circ})$	$\sigma_{\Phi} (^{\circ})$	$\Lambda (^{\circ})$	$\sigma_{\Lambda} (^{\circ})$	$\omega (^{\circ}/M.anos)$	$\sigma_{\omega} (^{\circ}/M.anos)$
Perez (2002)	- 19,457	-	- 115,821	-	0,1256	-
Costa, Santos e Gemael (2003)	- 18,380	-	- 210,780	-	0,1971	-
ITRF 2000	- 21,457	2,806	- 134,631	4,762	0,1130	0,0050
NNR-NUVEL 1A	- 25,348	-	- 124,417	-	0,1164	-
APKIM 2002	- 10,740	1,599	239,630	4,340	0,1094	0,0028

Para este estudo as componentes do vetor de Euler foram calculadas, segundo os eixos X, Y e Z para a placa Sul-Americana, conforme as velocidades V_x, V_y, V_z fornecidas pelas estações pertencentes tanto a RBMC como ao IGS. Tais velocidades são resultantes do processamento PPP e do SIRGAS-CON, e representam a variação ocorrida na posição de um dado ponto, nas quais servem para atualizar as coordenadas para uma determinada época. Sendo assim, esta redução (atualização) é dada da velocidade na data do levantamento para a época de referência 2000,4. Para isto fosse possível, foi utilizado o modelo de velocidade de placas tectônicas, usado pelo IBGE, que faz uso do ITRF2005, VEMOS (2009) por Drewes and Heidbach (2009). Onde o mesmo, foi calculado a partir das coordenadas SIRGAS95 e SIRGAS2000, das velocidades SIRGAS-CON determinadas pelo IGS-RNAAC-SIR (IGS *Regional Network Associate Analysis Center for SIRGAS*) e diferentes projetos geodinâmicos desenvolvidos na região, (Drewes and Heidbach, 2009), fornecendo os valores das velocidades da placa Sul-Americana e Caribe com latitude e longitude em um gride $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, que forão interpoladas através do programa AstGeoTop. Sendo a precisão média do modelo VEMOS 2009 aproximadamente 1,5 mm/ano, segundo o site do SIRGAS (2012). O modelo matemático utilizado para atualização das coordenadas é dado por SIRGAS (2012):

$$X(t) = X(t_0) + (t - t_0).V_x \quad (2.31)$$

$$Y(t) = Y(t_0) + (t - t_0).V_y \quad (2.32)$$

$$Z(t) = Z(t_0) + (t - t_0).V_z \quad (2.33)$$

onde:

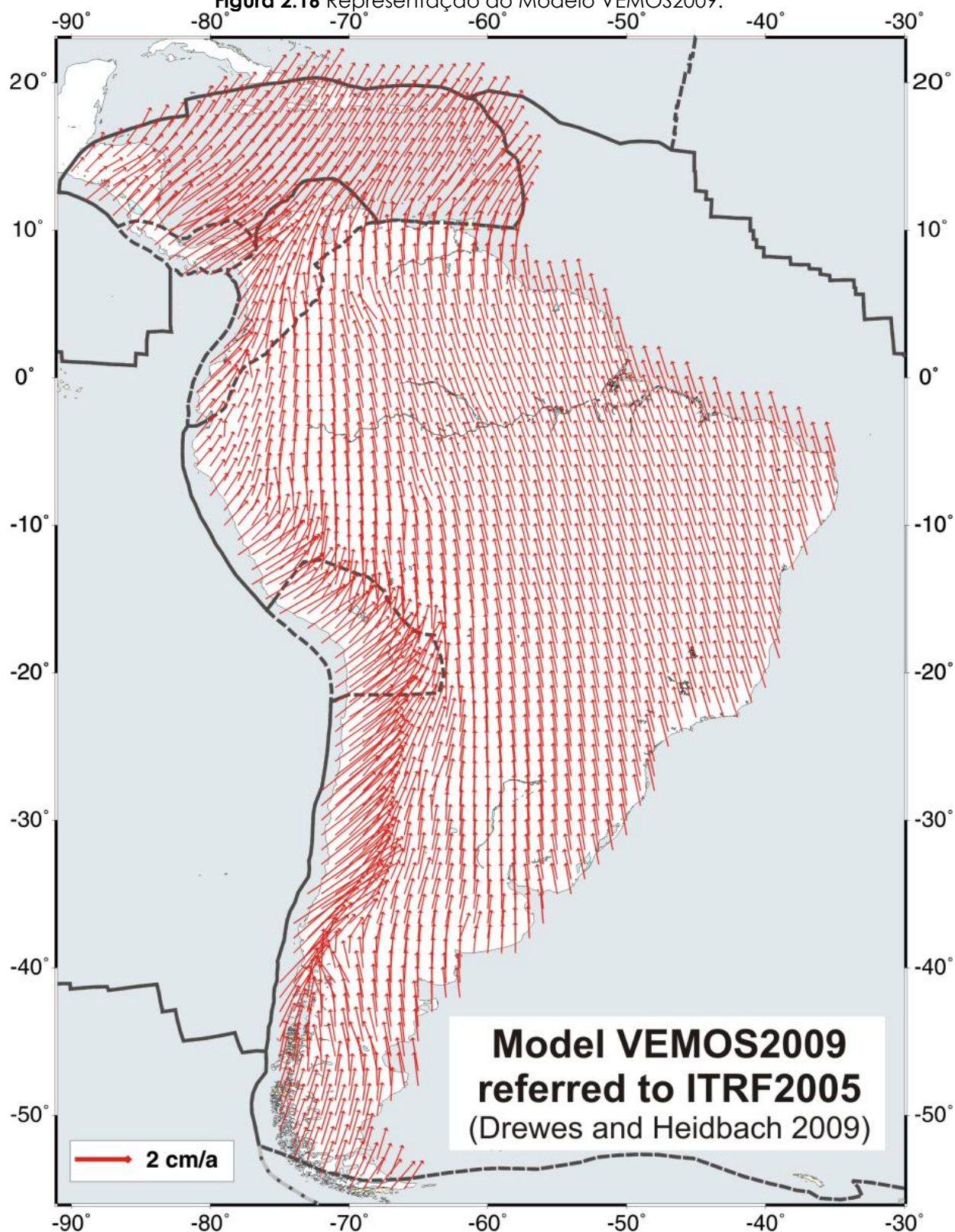
$X(t)$, $Y(t)$ e $Z(t)$: coordenadas na época desejada;

$X(t_0)$, $Y(t_0)$ e $Z(t_0)$: Coordenadas das estações na época de referência;

$(t - t_0)$: Intervalo de tempo transcorrido entre a realização do sistema de referência e o levantamento GNSS;

V_x , V_y , e V_z : Velocidades da estação de referência.

SIRGAS (2012) acrescenta ainda, que as velocidades (V_x , V_y , e V_z) devem, preferencialmente, ser obtidas a partir da análise de posicionamento GNSS, que abranjam um intervalo mínimo de dois anos. A figura 2.16 abaixo apresenta o grid dos vetores das velocidades do modelo VEMOS 2009.

Figura 2.16 Representação do Modelo VEMOS2009.

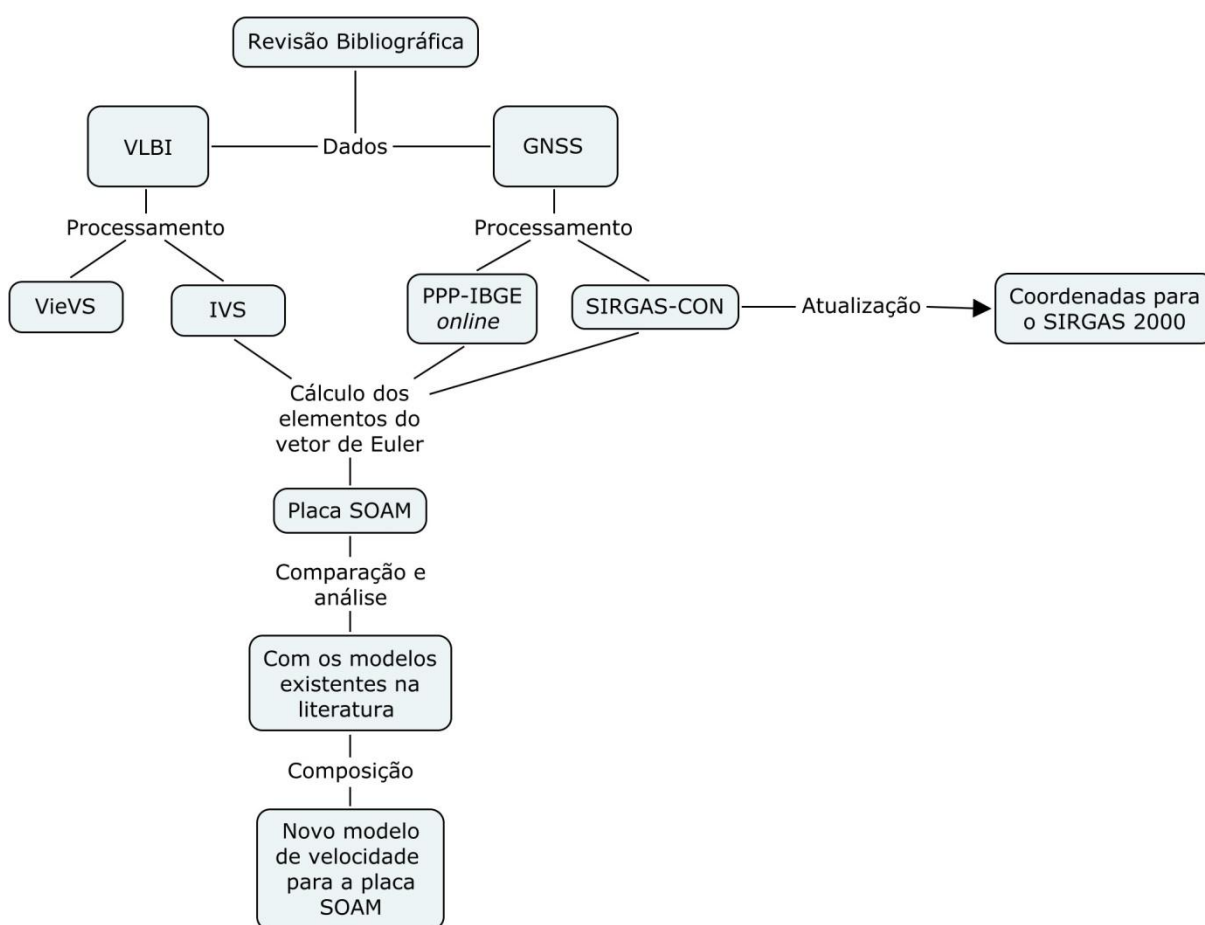
Fonte: www.sirgas.org; AstGeoTop.
Ano: 2012.

3 METODOLOGIA

O objeto de estudo desta pesquisa é a placa Tectônica Sul-Americana. Na qual está inserida dentre as 7 principais existentes no planeta.

No desenvolvimento deste trabalho, foram realizados processamentos de dados VLBI e GNSS em programas computacionais, nos quais fornecem subsídios suficientes para a análise no movimento da placa tectônica Sul-Americana. Para isso, executaram-se as atividades relacionadas na figura 3.1, com o intuito de atingir os objetivos propostos, esclarecidas nos tópicos subsequentes.

Figura 3.1 Esquema metodológico.



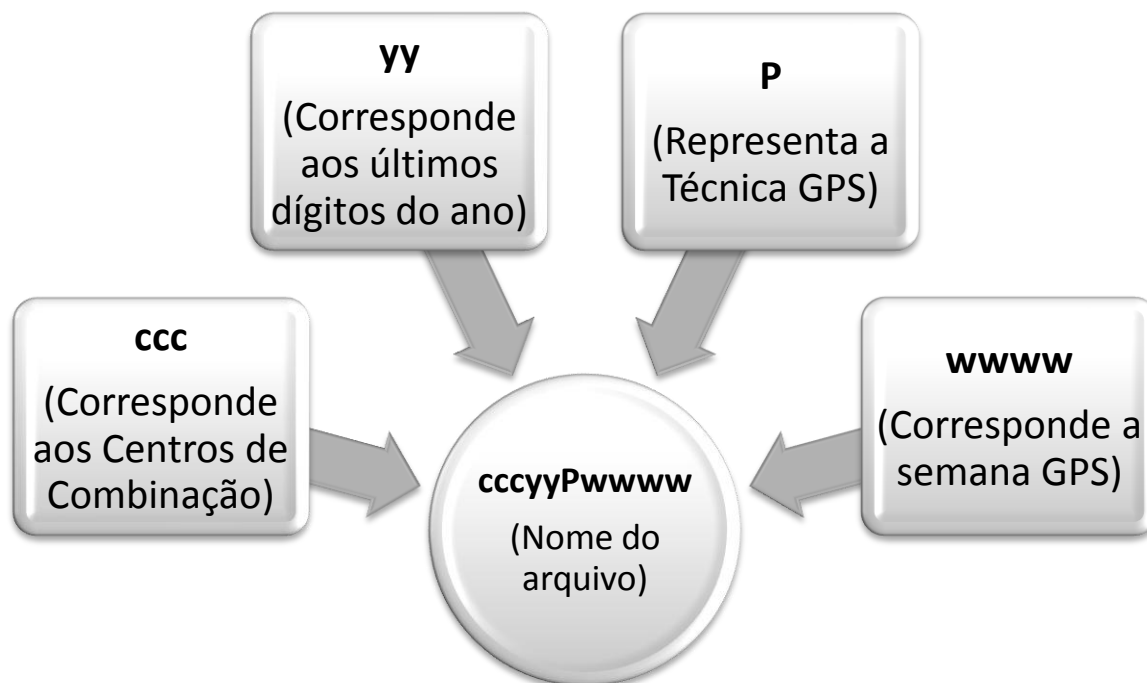
3.1 Coleta e preparo dos dados GNSS (SIRGAS-CON)

Os dados GNSS do processamento SIRGAS-CON, foram extraídos dos centros de processamento SIRGAS, que podem ser encontradas no site do IBGE: <http://www.sirgas.org/index.php?id=153>.

3.1.1 Processamento dos dados GNSS (SIRGAS-CON)

As coordenadas semanais finais das estações SIRGAS-CON derivam da combinação das soluções individuais proporcionadas pelos centros de processamento SIRGAS citados acima, cujos, os arquivos que possuem extensão CRD contêm as coordenadas finais e os de extensão SUM contém o relatório da semana correspondente. Os arquivos são nomeados conforme o esquema abaixo:

Figura 3.2 Representação da nomenclatura dos arquivos do processamento SIRGAS-CON.



Foram selecionados arquivos com extensões CRD (coordenadas finais) da primeira semana GPS de cada ano, para que não houvesse a

necessidade de quebrar a semana (GPS) correspondente ao ano. Conforme a literatura (COSTA, 1999) o período de cinco anos é apropriado para iniciar estudos de Geodinâmica. Onde se acredita que quanto maior o período, mais confiável serão os resultados. Foram selecionados então, arquivos correspondentes aos anos de 2008, 2009, 2010, 2011 e 2012, formando um total de quatro períodos. Os arquivos estão descritos na tabela (3.1).

Tabela 3.1 Descrição dos arquivos pertencentes ao SIRGAS-CON.

Nome do arquivo	Ano	Semana GPS	Semana de processamento	Época	ITRF
si108P1461.crd	2008	1461	06/jan/2008 à 12/jan/2008	09/jan/2008 – 2008.0	IGS05
sir09P1513.crd	2009	1513	04/jan/2009 à 10/jan/2009	07/jan/2009 – 2009.0	IGS05
sir10P1565.crd	2010	1565	03/jan/2010 à 09/jan/2010	06/jan/2010 – 2010.0	IGS05
sir11P1617.crd	2011	1617	02/jan/2011 à 08/jan/2011	05/jan/2011 – 2011.0	IGS05
sir12P1669.crd	2012	1669	01/jan/2012 à 07/jan/2012	04/jan/2012 – 2012.0	IGS08

Dos arquivos informados na tabela 3.1, foram selecionadas 14 estações, nas quais se encontram bem distribuídas sobre a placa Sul-Americana, estações estas, pertencentes à RBMC, a RIBaC (Rede INCRA de Bases Comunitárias do GNSS) e ao IGS, descritas na tabela 18. O critério utilizado para a seleção das mesmas, é que elas pertencessem simultaneamente aos arquivos escolhidos na tabela 3.1, para tornar possível o cálculo da velocidade média anual e estivessem próximas às antenas VLBI. Entretanto, para a estação Recife (RECF), apenas para o ano 2012, não foi possível calcular, pois a mesma não se encontra no arquivo (sir12P1669.crd), pois até a semana escolhida estava inativa.

Quadro 3.1 Descrições das estações.

Id	Localização	Rede	Agência
BELE	Belém	RBMC/RIBaC	IBGE/INCRA/SIPAM
BOMJ	B. J. da Lapa	IGS+/RBMC/RIBaC	IBGE/INCRA/Marinha
BRAZ	Brasília	IGS08-núcleo/RBMC/RIBaC	IBGE/INCRA
BRFT	Fortaleza	IGb08,RBMC	NOAA-NGS,BBSR
CHPI	Cachoeira	IGS/ RBMC	JPL/UNAVCO/INPE
CONZ	Concepcion, Chile	IGS08	BKG, Udec-DG
CRO1	Saint Croix, USA	IGb08	JPL/UNAVCO/NRAO
CUIB	Cuiabá	IGS+/RBMC/RIBaC	IBGE/INCRA/INPE
POVE	Porto velho	IGS/RBMC/RIBaC	IBGE/INCRA/SIPAM
PSTE	Pres. Prudente	IGS+/RBMC/RIBaC	IBGE/INCRA/UNESP
RECF	Recife	IGS/ RBMC/ RIBaC	IBGE/INCRA/UFPE
SAGA	S. G. da Cach.	IGS+/RBMC	IBGE
SANT	Santiago de Chile	IGS08	JPL/UNAVCO
SMAR	Santa Maria	RBMC/ RIBaC	IBGE/INCRA/UFMS
TOPL	Palmas	IGS+/RBMC	IBGE/INCRA

Feito isso se utilizou a transformação de Helmert generalizada, para que fosse possível atualizar as coordenadas para o SIRGAS2000. Onde, os parâmetros de translação e rotação utilizados foram os fornecidos pelo processamento do PPP *online* do IBGE (Figuras 3.3 e 3.4).

Figura 3.3 Parâmetros de transformação ITRF(IGS05) para SIRGAS2000.

Parametros de transformacao entre sistemas de referencia						
ITRF (IGS05)->SIRGAS2000						
Translacoes (Tx,Ty,Tz), Rotacoes (Rx,Ry,Rz), Escala (S)						
Tx	Ty	Tz	S	Rx	Ry	Rz
(cm)	(cm)	(cm)	(ppb)	(mas)	(mas)	(mas)
-0.510	-0.650	-0.990	0.000	0.150	0.020	0.021
dTx	dTy	dTz	dS	dRx	dRy	dRz
(cm/y)	(cm/y)	(cm/y)	(ppb/y)	(mas/y)	(mas/y)	(mas/y)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fonte: Arquivo de extensão SUM do Processamento do IBGE.

Figura 3.4 Parâmetros de transformação ITRF (IGS08) para SIRGAS2000.

Parametros de transformacao entre sistemas de referencia						
ITRF (IGS08)->SIRGAS2000						
Translacoes (Tx,Ty,Tz), Rotacoes (Rx,Ry,Rz), Escala (S)						
Tx	Ty	Tz	S	Rx	Ry	Rz
(cm)	(cm)	(cm)	(ppb)	(mas)	(mas)	(mas)
0.250	0.430	0.460	-1.100	0.140	-0.010	0.080
dTx	dTy	dTz	dS	dRx	dRy	dRz
(cm/y)	(cm/y)	(cm/y)	(ppb/y)	(mas/y)	(mas/y)	(mas/y)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fonte: Arquivo de extensão SUM do Processamento do IBGE.

A figura 3.5, apresenta a distribuição das estações selecionadas.

Figura 3.5 Localização das estações.

3.1.1.1 Obtenção do vetor velocidade (SIRGAS-CON)

Uma vez com os arquivos atualizados para o SIRGAS2000, calculou-se as discrepâncias (de uma época de um ano para a outra do ano seguinte) existentes entre as coordenadas (x (m), y (m) e z (m)) de cada estação. De posse dessas discrepâncias usou-se a Equação (3.0) e obteve-se o vetor de velocidade das coordenadas cartesianas geocêntricas correspondente:

$$V_x = \frac{\Delta x}{nd} .365,25 \quad (3.0)$$

em que, $V_x = [v_x \ v_y \ v_z]$: Vetor de velocidade das coordenadas cartesianas Geocêntricas em metros; $\Delta x = [X - X_0 \ Y - Y_0 \ Z - Z_0]$: diferença entre as coordenadas das estações em metros na época (t_0) e na época (t); e nd : N° de dias decorridos entre as épocas (t_0) e (t).

3.1.1.1.1 Obtenção do Vetor de Euler

Dentre os possíveis modelos que poderiam ser tentados para se obter a velocidade da placa SOAM, citados no estado da arte, optou-se neste trabalho por usar o dado pela equação (1.3), explicitada na sessão 2.2.2.6.2. Os parâmetros são componentes do vetor de Euler e seriam obtidos de um ajustamento por MMQ das equações residuais lineares (3.1).

$$r = Ax - L_b \quad (3.1)$$

Esse modelo paramétrico $L_a = F(x_a)$ se justifica pelo fato de considerar o vetor de referência (x época t_1) livre de erros observacionais, transferindo para o vetor de observações as correspondentes incertezas mediante a lei de propagação das covariâncias (GEMAEL, 1994):

$$\mathbf{E}_Y = \mathbf{G} \mathbf{E}_X \mathbf{G}^T. \quad (3.2)$$

O vetor de Euler consiste do raio vetor partindo do centro do modelo geométrico da Terra até atingir um ponto “imaginário” onde a placa tectônica rotaciona-se. Este ponto pode estar na superfície no modelo da Terra ou não, por exemplo, no modelo de Drewes (1982), o modelo geométrico da Terra é a esfera e o pólo de Euler se encontra na superfície desta. Utilizando-se o modelo com a matriz antissimétrica (Equação 2.30), o modelo geométrico da Terra pode ser ampliado para o elipsóide de revolução e se trabalhar com coordenadas geodésicas latitude e longitude. Para o pólo de Euler no interior ou exterior ao elipsóide seria necessário a retirada da indeterminação da altitude elipsoidal na sua relação com a latitude geocêntrica e geodésica e desta forma outros modelos deveriam ser desenvolvidos, fugindo ao escopo deste trabalho.

A equação (3.3), representada termo a termo pela equação matricial é:

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ r_{m-2} \\ r_{m-1} \\ r_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & Z_1 & -Y_1 \\ -Z_1 & 0 & X_1 \\ Y_1 & -X_1 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & Z_n & -Y_n \\ -Z_n & 0 & X_n \\ Y_n & -X_n & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_X \\ \Omega_Y \\ \Omega_Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (X_1^{t_2} - X_1^{t_1})/t \\ (Y_1^{t_2} - Y_1^{t_1})/t \\ (Z_1^{t_2} - Z_1^{t_1})/t \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ (X_n^{t_2} - X_n^{t_1})/t \\ (Y_n^{t_2} - Y_n^{t_1})/t \\ (Z_n^{t_2} - Z_n^{t_1})/t \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Onde:

n : corresponde ao número de pontos a ser usado na determinação dos parâmetros do modelo;

m=3n : corresponde ao número de equações de observação (igual ao número de equações de resíduos) do sistema linear;

X, Y, Z : são as coordenadas geodésicas cartesianas do referencial geodésico no qual se está trabalhando, por exemplo, SIRGAS2000;

t_1 e t_2 superescritos são as épocas nas quais as coordenadas foram realizadas com unidades em número de dias a partir de uma época de referência t_0 ;

$t = (t_2 - t_1) / 365,25$: intervalo de tempo entre as épocas t_1 e t_2 em anos;

$\Omega_X, \Omega_Y, \Omega_Z$: são os três parâmetros ($u=3$) a determinar correspondendo as componentes do vetor de rotação de Euler com unidade rad/ano;

As componentes $\Omega_X, \Omega_Y, \Omega_Z$ muitas vezes são apresentadas com a unidade de radianos/milhões de anos, para isso se multiplica os resultados advindos do ajustamentos por um milhão, $\mathbf{x} = 1.000.000,000 [\Omega_X, \Omega_Y, \Omega_Z]^T$. Quando vêm em segundos por milhões de anos, basta dividir por $\text{sen } 1''$: $\mathbf{x} = 1.000.000,000 [\Omega_X, \Omega_Y, \Omega_Z]^T / \text{sen } 1''$.

Outro resultado que aparece junto com o vetor de Euler consiste das coordenadas geodésicas do Pólo de Euler $E(\varphi_0, \lambda_0)$, as quais podem ser obtidas usando o modelo elipsoidal pela equações a seguir:

$$E = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \therefore \begin{aligned} E_x &= N \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 \\ E_y &= N \cos \varphi_0 \text{sen} \lambda_0 \\ E_z &= N(1 - e^2) \text{sen} \varphi_0 \end{aligned} \quad (3.4)$$

onde N é a grande normal e e^2 a primeira excentricidade do elipsóide ao quadrado.

Calculando o versor do vetor de Euler

$$\bar{E} = \frac{E}{\|E\|} = \begin{bmatrix} \bar{E}_x \\ \bar{E}_y \\ \bar{E}_z \end{bmatrix}, \quad (3.5)$$

sendo $\|(\cdot)\|$ sendo a norma euclidiana de vetor.

Os parâmetros provenientes do ajustamento, de fato são:

$$\Omega_x = \bar{E}_x \omega / t \quad (3.6)$$

$$\Omega_y = \bar{E}_y \omega / t \quad (3.7)$$

$$\Omega_z = \bar{E}_z \omega / t \quad (3.8)$$

Assim, o ângulo de rotação (ω) no pólo de Euler $E(\varphi_0, \lambda_0)$ que leva um ponto $P(X,Y,Z)$ na época t_1 para a posição $P'(X',Y',Z')$ numa época t_2 é calculado por:

$$\omega = t (\Omega_x^2 + \Omega_y^2 + \Omega_z^2)^{1/2} \quad (3.9)$$

Uma vez determinado o ângulo de rotação (ω), volta-se as equações (3.6) até (3.8) e obtém-se as componentes do versor de Euler:

$$\bar{E}_x = \frac{\Omega_x t}{\omega} = \frac{N}{\|E\|} \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 \quad (3.10)$$

$$\bar{E}_y = \frac{\Omega_y t}{\omega} = \frac{N}{\|E\|} \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 \quad (3.11)$$

$$\bar{E}_z = \frac{\Omega_z t}{\omega} = \frac{N(1 - e^2)}{\|E\|} \sin \varphi_0 \quad (3.12)$$

Pela divisão da equação (3.11) e (3.12) tem-se a longitude do pólo de Euler.

$$\operatorname{tg} \lambda_0 = \frac{\bar{E}_y}{\bar{E}_x} \quad (3.13)$$

A Latitude geocêntrica (ψ_0) pode ser calculada apenas com as componentes do versor de Euler:

$$\operatorname{tg} \psi_0 = \frac{\bar{E}_z}{\sqrt{\bar{E}_x^2 + \bar{E}_y^2}} \quad (3.14)$$

E, enfim, a latitude geodésica do pólo de Euler na superfície do Elipsóide se obtém transformando a latitude geocêntrica em geodésica (φ_0), mediante a equação (GEMAEL, 1977) :

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = (1 - e^2)^{-1} \operatorname{tg} \psi_0 . \quad (3.15)$$

A solução por MMQ (método dos mínimos quadrados) do sistema de equações (3.3) se obtém mediante a minimização da função quadrática segundo o vetor dos parâmetros $\mathbf{x}$, de dimensão $u \times 1$, sendo u o número de parâmetros a determinar, e $\mathbf{P}$ uma matriz de pesos definida positiva.

$$\min_{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^u} \mathbf{r}^T \mathbf{P} \mathbf{r} = (\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{L}_b)^T \mathbf{P} (\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{L}_b)^T \quad (3.16)$$

Sendo $m \geq u$ (mais equações do que parâmetros) com posto $(\mathbf{A})=u$, a solução do problema (3.16) pode ser explicitada usando as equações normais de mínimos quadrados (GARNÉS, 1996):

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{L}_b) \quad (3.17)$$

A matriz de covariâncias dos parâmetros ajustados e os resíduos calculados são obtidos pelas equações (GEMAEL, 1994):

$$\mathbf{E}_x = \hat{\sigma}_0^2 (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \quad (3.18)$$

$$\mathbf{r} = \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{L}_b , \quad (3.19)$$

com $\mathbf{x}$ advindo do ajustamento, equação (3.17) e a variância da unidade peso estimada a posteriori, calculada por:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\mathbf{r}^T \mathbf{P} \mathbf{r}}{m - \text{posto}(\mathbf{A})}. \quad (3.20)$$

A matriz dos pesos é obtida a partir da matriz de covariância das observações (GEMAEL, 1994):

$$\mathbf{P} = \sigma_0^2 (\Sigma \mathbf{L}_b)^{-1} \quad (3.21)$$

A matriz $\Sigma \mathbf{L}_b$ é obtida considerando as diferenças das coordenadas nas épocas t_1 e t_2 .

$$\mathbf{L}_b = \begin{bmatrix} \Delta X_1 = (X_1^{t_2} - X_1^{t_1})/t \\ \Delta Y_1 = (Y_1^{t_2} - Y_1^{t_1})/t \\ \Delta Z_1 = (Z_1^{t_2} - Z_1^{t_1})/t \\ \vdots \\ \Delta X_n = (X_n^{t_2} - X_n^{t_1})/t \\ \Delta Y_n = (Y_n^{t_2} - Y_n^{t_1})/t \\ \Delta Z_n = (Z_n^{t_2} - Z_n^{t_1})/t \end{bmatrix}, \quad \Sigma \mathbf{X} = \begin{bmatrix} \sigma_{x_1^{t_1}}^2 & & & & & & & & \\ & \sigma_{y_1^{t_1}}^2 & & & & & & & \\ & & \sigma_{z_1^{t_1}}^2 & & & & & & \\ & & & \sigma_{x_1^{t_2}}^2 & & & & & \\ & & & & \ddots & & & & \\ & & & & & \ddots & & & \\ & & & & & & \sigma_{x_n^{t_2}}^2 & & \\ & 0 & & & & & & \sigma_{y_n^{t_2}}^2 & \\ & & & & & & & & \sigma_{z_n^{t_2}}^2 \end{bmatrix}$$

A matriz $\mathbf{G}$ da equação (3.2), com o padrão montado para $\Sigma \mathbf{X}$ acima fica com a seguinte forma:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & \cdots & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & \cdots & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

3.2 Coleta e preparo dos dados GNSS (Serviço PPP-IBGE online)

Os arquivos de dados GNSS, para o processamento PPP *online*, foram obtidos na Internet pelo site do IBGE: <http://downloads.ibge.gov.br>

/downloads_geociencias.htm e do site da NASA via FTP: <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/data/daily/>. Onde, os dados das estações ficam disponíveis no formato RINEX⁶. Para este estudo foram utilizadas observações diárias a um intervalo de registro de 30 em 30 segundos para os dados colhidos via ftp-CDDIS e de 15 em 15 segundos para os dados colhidos no site do IBGE

3.2.1 Processamento dos dados GNSS e obtenção do vetor velocidade (Serviço PPP-IBGE online)

Inicialmente, para que se possa comparar o processamento PPP com o SIRGAS-CON, (que tem seu processamento semanal - 7dias), os RINEX foram agrupados, para cada semana GPS, e divididos em duas partes, geralmente na primeira contendo quatro dias (respectivamente quatro dias do ano GPS para aquela época) e na segunda parte três arquivos, com exceção de alguns arquivos que ao serem agrupados num único arquivo, ultrapassaram 20 MB (capacidade máxima para o processamento PPP do IBGE), portanto houve a necessidade de particionar em três ou até quatro arquivos.

Para efetuar o processamento, foi utilizado o serviço PPP *online* do IBGE, admitindo que no mesmo faz a atualização das coordenadas para o SIRGAS2000 utilizando a transformação generalizada de Helmert. O modo de processamento utilizado foi o estático, que faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo NRCAN (Canadá), disponível no site: <http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>. Os dados, pós-processados, além de outras informações fornecem as coordenadas na data do levantamento⁷ no Sistema de Referência SIRGAS-2000, isto é, ITRF2000.

Para o cálculo das velocidades, foi preciso retirar a média aritmética das coordenadas na data do levantamento de dois arquivos (respectivos aos anos escolhidos), transformar as coordenadas de Geodésicas elipsóidais para cartesianas geocêntricas, calcular as discrepâncias e por fim calcular

⁶ Formato Rinx (*Receiver Independent Exchange Format*) é um formato padrão para o processamento de dados GPS.

⁷ Data do Levantamento é a data do início da sessão.

as velocidades através da Equação (3.0), feito por um programa seguindo o algoritmo apresentado no **apêndice E**.

3.3 Processamento VLBI

Para a realização do processamento dos dados VLBI procurou-se seguir as mesmas datas dos dados do processamento GNSS. No entanto, conforme já mencionado na seção (2.2.5.1), os dados da estação de Fortaleza (Ft) não foram coletados durante o período do final do ano de 2009 até meados do ano de 2011. E desta forma o ano de 2010 e 2011 ficam prejudicados.

As sessões utilizadas no processamento foram previamente verificadas para os meses de janeiro dos anos de 2008, 2009 e 2012. Pelo fato de não ter tido dados da estação (Ft) para os meses de janeiro de 2010 e janeiro de 2011. Utilizou-se os dados imediatamente antes da perda de operacionalidade e imediatamente após a volta da operacionalidade da estação (Ft) que foram de 5 de outubro de 2009 e 6 de junho de 2011. No apêndice D estão as sessões de planejamento do processamento.

3.4 Processamento comparativo com o modelo VEMOS

Nesta etapa utilizou-se o programa computacional AstGeoTop, onde no mesmo está inserido o modelo de velocidade para América do Sul e Caribe (VEMOS2009), mesmo modelo que o IBGE utiliza, sendo este referente ao ITRF 2005, no qual se caracteriza por uma grade com intervalo de grau em grau (latitude e longitude) de velocidades dessas coordenadas (DREWES AND HEIDBACH, 2009).

Para o processamento, foram utilizadas as médias das coordenadas cartesianas geocêntricas do processamento SIRGAS-CON, uma vez que a diferença de localização entre as coordenadas do processamento PPP e do SIRGAS-CON, diferem de poucos centímetros e, contudo resultariam nos mesmos valores de velocidades interpoladas no VEMOS. Para a interpolação

as coordenadas cartesianas geocêntricas foram transformadas em geodésicas elipsoidais e depois se utilizou o interpolador bilinear do modulo: modelo VEMOS © Versão 2012.03.23 no programa AstGeoTop. O resultado pode ser visto no **Apêndice G**.

4 RESULTADOS

Este capítulo de resultados foi estruturado em sub-capítulos para cada tipo de procedimento utilizado, iniciando com o SIRGAS-CON, PPP *online*, VLBI e finalizando com uma análise comparativa com os principais modelos existentes na literatura.

4.1 Resultados do processamento SIRGAS-CON

No **apêndice A** são mostradas as coordenadas processadas pelo SIRGAS-CON do ano de 2008, 2009, 2010, 2011 e 2012 reduzidas para o SIRGAS2000 pela transformação generalizada de Helmert com os parâmetros descritos na seção (3.1.1), conforme uso do IBGE no PPP- *online*.

A seguir são mostradas na forma gráfica a evolução das coordenadas na direção Norte-Sul, Leste-Oeste e vertical para cada uma das 14 estações utilizadas, contadas a partir do ano de 2008 até o ano de 2012. As discrepâncias mostradas nas Figuras 4.1 e 4.2 estão na projeção UTM.

Figura 4.1 Discrepâncias anuais das coordenadas das estações RBMC/IGS processadas pelo SIRGAS-CON: BELE, BOMJ, BRAZ, BRFT, CHPI, CONZ, CRO1 e CUIB.

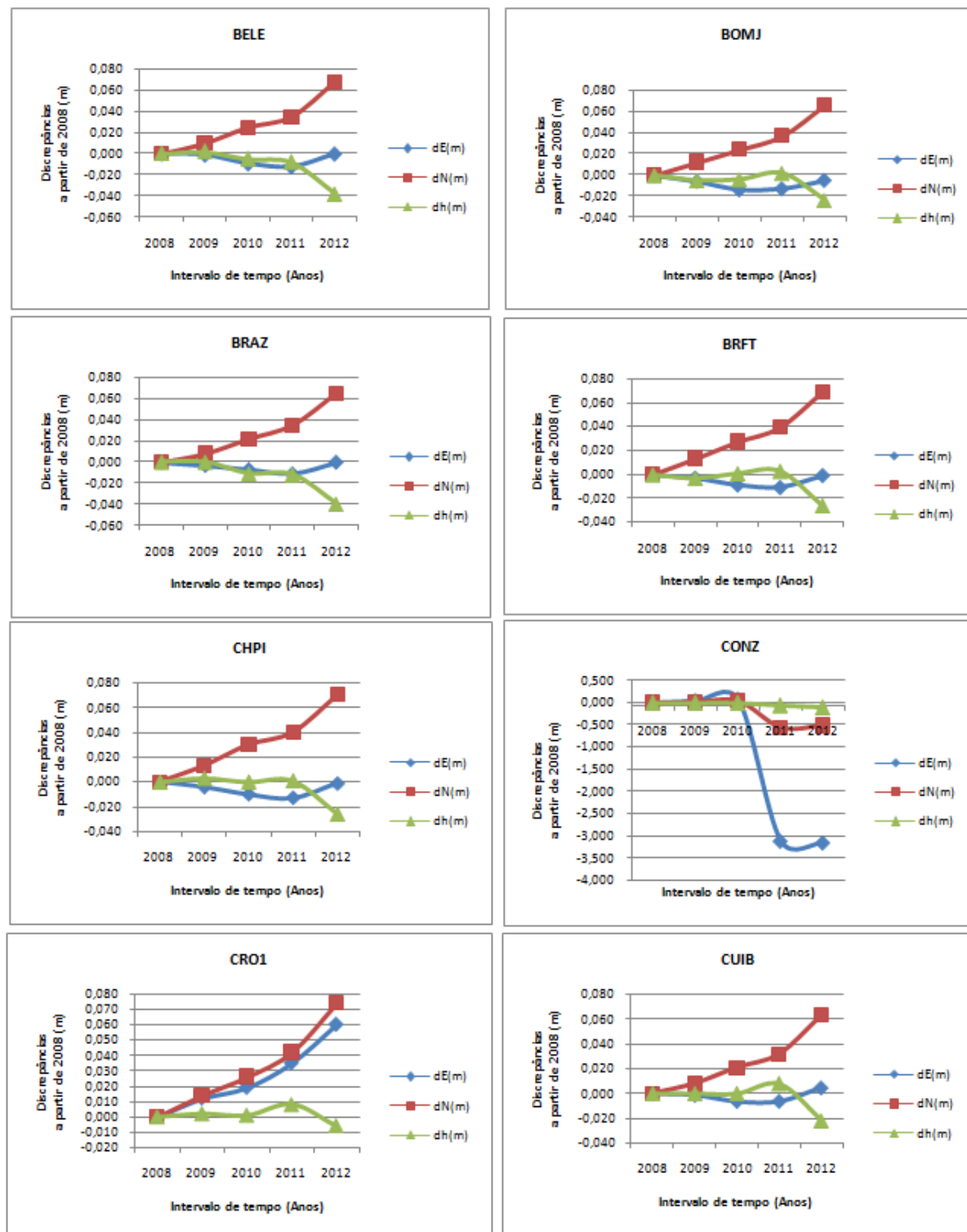
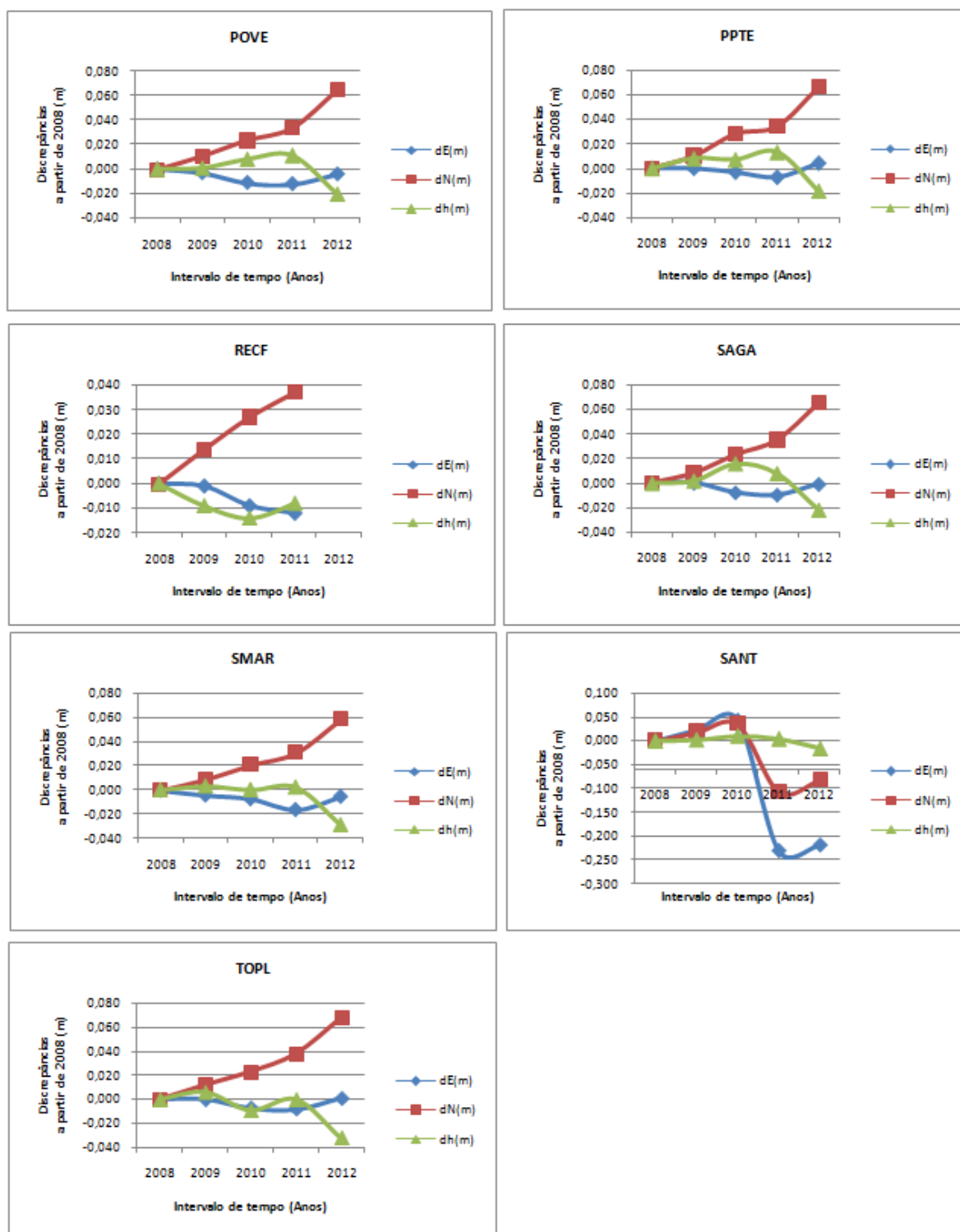


Figura 4.2 Discrepâncias anuais das coordenadas das estações RBMC/IGS processadas pelo SIRGAS-CON: POVE, PPTE, RECF, SAGA, SMAR, SANT e TOPL.



Observando as estações CONZ e SANT verifica-se um salto na tendência dE (leste-oeste) das discrepâncias, de maneira que vale a pena analisar os valores numéricos que geraram os gráficos dessas estações. Todavia, para completar uma análise em bloco, verifica-se que as estações BELE, BOMJ, BRAZ, BRFT, CHPI, CRO1, CUIB, POVE, PPTE, SMAR têm comportamento muito semelhante de modo que será escolhida, por exemplo, a estação BELE de Belém para realizar uma verificação numérica mais detalhada. Com este intuito, apresenta-se na tabela 4.1 as coordenadas e as discrepâncias dessas três estações.

Tabela 4.1 Coordenadas cartesianas geocêntricas e discrepância em coordenadas UTM com referência ao ano de 2008.

Est	Ano	X	Y	Z	dE(m)	dN(m)	dh(m)
CONZ	2008	1492007,684	-4887910,737	-3803639,904	0,000	0,000	0,000
	2009	1492007,720	-4887910,738	-3803639,887	0,034	0,020	-0,001
	2010	1492007,756	-4887910,742	-3803639,867	0,068	0,044	-0,001
	2011	1492004,585	-4887911,250	-3803640,362	-3,126	-0,550	-0,057
	2012	1492004,546	-4887911,253	-3803640,298	-3,163	-0,503	-0,102
SANT	2008	1769693,582	-5044574,181	-3468320,917	0,000	0,000	0,000
	2009	1769693,608	-5044574,184	-3468320,903	0,023	0,018	0,002
	2010	1769693,633	-5044574,192	-3468320,894	0,044	0,035	0,010
	2011	1769693,345	-5044574,208	-3468321,006	-0,231	-0,107	0,004
	2012	1769693,356	-5044574,200	-3468320,974	-0,219	-0,083	-0,016
BELE	2008	4228139,03	-4772752,12	-155761,283	0,000	0,000	0,000
	2009	4228139,03	-4772752,12	-155761,272	-0,001	0,010	0,002
	2010	4228139,02	-4772752,12	-155761,258	-0,009	0,025	-0,005
	2011	4228139,01	-4772752,12	-155761,247	-0,012	0,035	-0,008
	2012	4228139	-4772752,09	-155761,214	0,000	0,068	-0,038

A causa do salto de 3,126 para oeste, 0,550m para o sul e -0,057 para baixo nas coordenadas da estação CONZ, bem como os 23,1cm para oeste e 10,7cm para o sul nas coordenadas da estação SANT, foi o terremoto do dia 27 de fevereiro de 2010, que atingiu 8,8 graus na escala Richeter com epicentro próximo a cidade de Concepcion no Chile. Os registros de quantidades muito próximas as mostradas na tabela 4.2 são encontrados em

Nilsson *et al.*, 2011, por técnicas VLBI e Silva *et al.*, 2010 por técnicas GNSS. A Figura 4.3 ilustra a estação CONZ antes e após o terremoto.

Figura 4.3 Estação GNSS CONZ, antes e depois do terremoto de 27/02/2010 Chile.

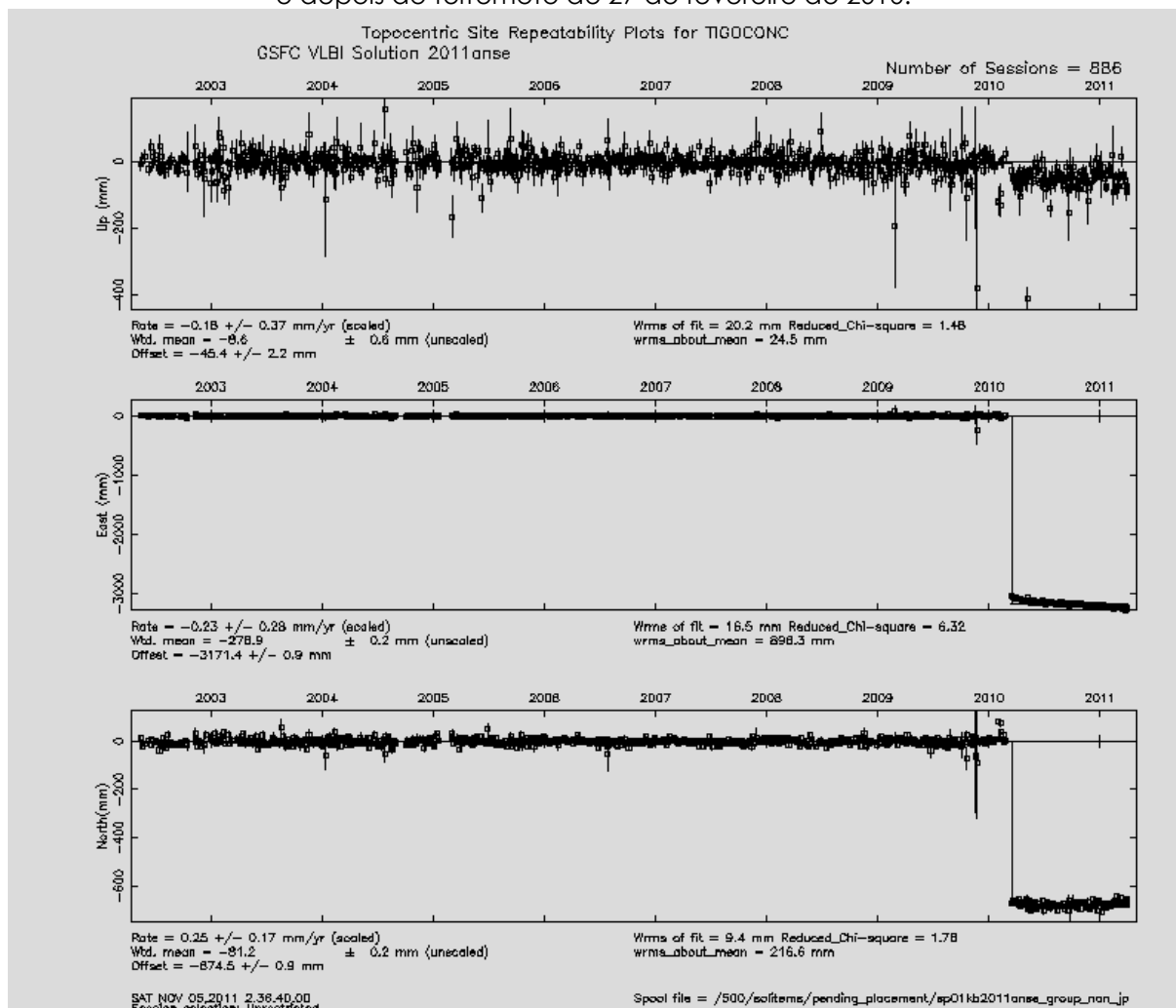


Fonte: Tobias Nilson (2011)

A NASA também apresenta o efeito desse terremoto analisando os dados VLBI na estação TIGO-CONC conforme ilustra a figura 4.4, com as grandezas de -45,4mm para baixo, 3171,4mm para oeste e 674,5mm para o sul.

A análise dessas estações são importantíssimas na definição do modelo de velocidade da placa SOAM uma vez que tais variações ocorreram dentro de um intervalo de tempo de 3 minutos (tempo que durou o terremoto), corresponderiam dezenas de anos na dinâmica natural do movimento da placa. A inserção desses dados descuidadamente na modelagem fariam mascarar os resultados de um modelo adequado de velocidades, uma vez que a deformação ocorrida foi apenas na borda da placa tectônica. A Tabela 4.2 a seguir mostra o efeito do terremoto do dia 27 de ferereiro de 2010 em duas linhas de base longas; a linha BRFT-CONZ e a linha BRFT-SANT. Na linha de base BRFT-CONZ houve uma variação de 2,682m após o terremoto. Para a linha de base BRFT-SANT a variação foi de 0,290 m após o terrmoto.

Figura 4.4 análise temporal por processamento VLBI da estação TIGO-CONC no Chile antes e depois do terremoto de 27 de fevereiro de 2010.



Fonte: http://lupus.gsfc.nasa.gov/files_nuvel_sets/2011an/site/repeat/gif/tigoconc-2011an.se.gif

Tabela 4.2 Variação das Linhas de base longas BRFT-CONZ e BRFT-SANT.

Ano	L. B.	Dist. Incl	Diferença	L. B.	Dist. Incl	Diferença
2008	BRFT - CONZ	4946326,273	***	BRFT - SANT	4557287,489	***
2009	BRFT - CONZ	4946326,242	-0,031	BRFT - SANT	4557287,468	-0,021
2010	BRFT - CONZ	4946326,211	-0,031	BRFT - SANT	4557287,453	-0,015
2011	BRFT - CONZ	4946328,893	2,682	BRFT - SANT	4557287,743	0,290
2012	BRFT - CONZ	4946328,892	-0,001	BRFT - SANT	4557287,728	-0,015

Chama-se a atenção agora para a estação BELE, com exeção das demais estações com tendências semelhantes, conforme já foi mencionado anteriormente e ilustradas nas Figuras 4.1 e 4.2. As discrepâncias que vinham decrescendo de leste para oeste com -1mm, -9mm e -12mm voltaram para 0mm em 2012. As discrepâncias de acréscimo para norte de 1cm, 2,5cm e 3,5cm, isto é, em torno de 1,5cm por ano, em 2012 teve um salto de 3,3cm. Esse fato é facilmente explicável, pela mudança de referencial geodésico que até então estava no ITRF2005 para os dados de 2008 a 2011 e no ITRF2008 para os dados do ano de 2012, ou seja mudança de PCV IGS05.atx para IGS08.atx (ver por exemplo fig. 4.1 - altitude). Ao compatibilizar os dados para um único referencial SIRGAS2000 usando a transformação generalizada de Helmert com os parâmetros do PPP- IBGE (Figuras 3.3 e 3.4) a variação acaba aparecendo.

A observância da mudança de referencial é muito importante, as consequências de sua inserção no modelo da placa SOAM seriam o retardo na componente leste-oeste e aceleração na componente norte-sul no movimento da placa. Desta forma, para não incorrer em erros não naturais os dados de 2012 não serão utilizados na concepção do modelo de velocidade da placa SOAM.

As Figuras 4.5 e 4.6 ilustram o sentido de deslocamento da placa SOAM nos pontos de estudo. A mudança de direção do ano 2011 para 2012 conforme já foi esclarecido se deve a mudança de ITRF e não deve ser interpretada como sentido de deslocamento da placa. O sentido de deslocamento mostrado nos cálculos estão de acordo com os indicados pelo modelo VEMOS de Drewes e Hedbach(2009), Figura 4.5, ou seja, sentido noroeste no Brasil e sentido nordeste para Chile e Ilhas virgens.

Figura 4.5 Poligonais formando o deslocamento das coordenadas das estações BELE, BOMJ, BRAZ, BRFT, CHPI, CONZ, CRO1, CUIB sobre a placa SOAM nos anos de 2008 a 2011 – ITRF2000 a partir do ITRF2005 e 2012 ITRF2000 a partir do ITRF2008.

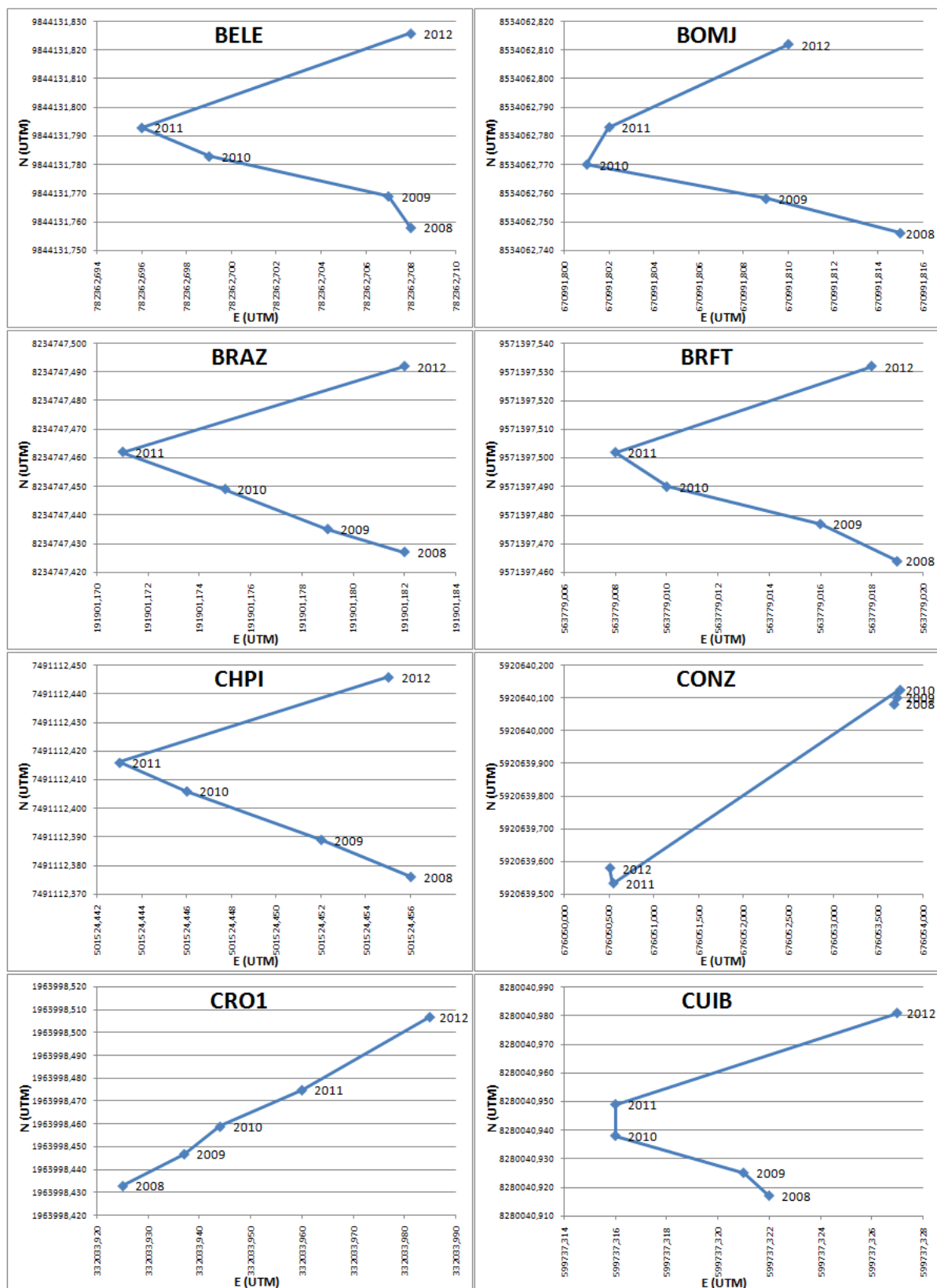
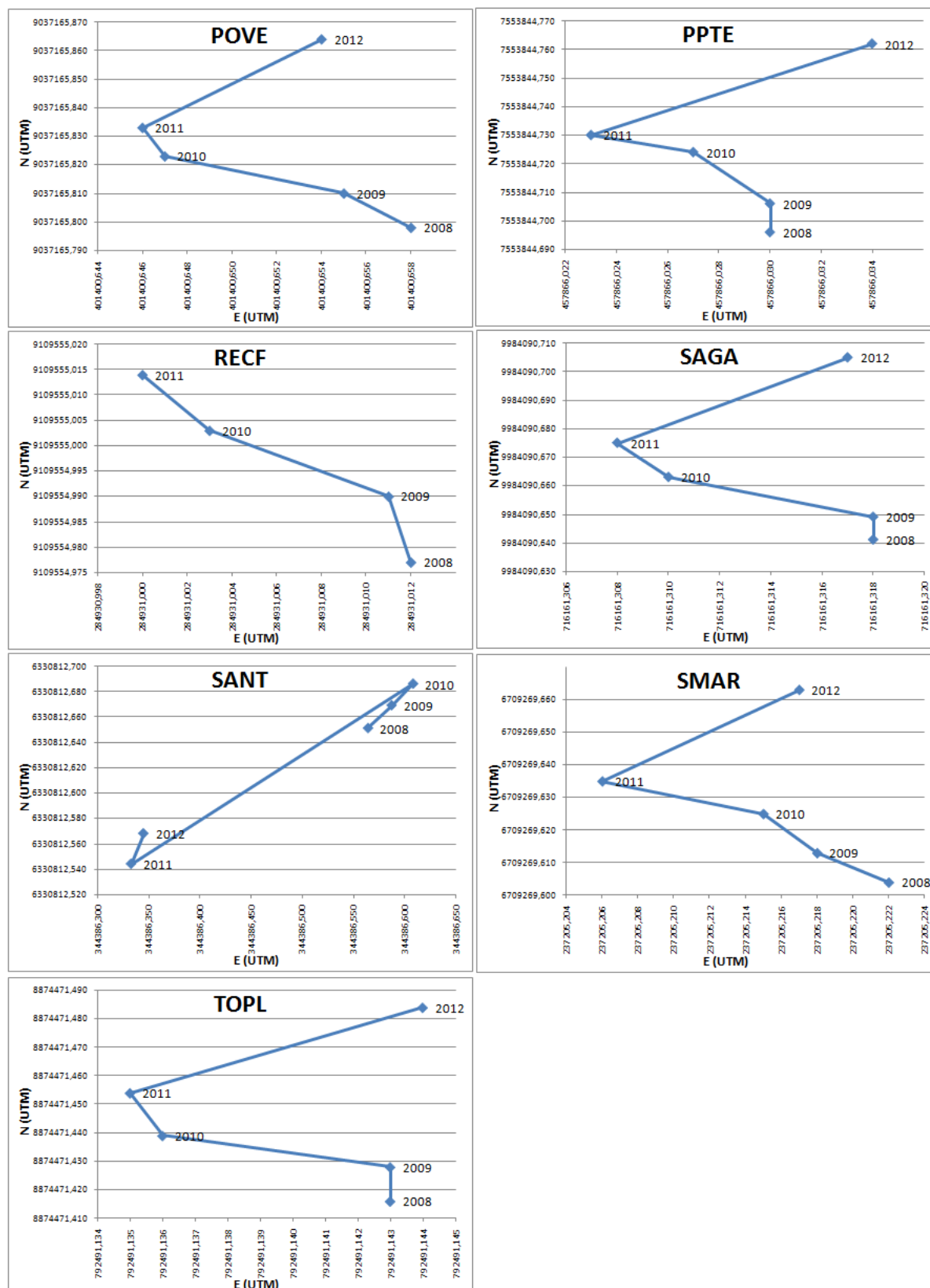


Figura 4.6 Poligonais formando o deslocamento das coordenadas das estações POVE, PPTE, RECF, SAGA, SANT, SMAR, TOPL sobre a placa SOAM nos anos de 2008 a 2011 – ITRF2000 a partir do ITRF2005 e 2012 ITRF2000 a partir do ITRF2008.



O processamento para obtenção dos parâmetros do vetor de Euler foi realizado no AstGeoTop: módulo ModelTectônica © Versão 2013.07.05. Neste módulo as entradas são as datas das coordenadas (1ª linha), as coordenadas das estações, os desvios-padrão e os coeficientes de correlação, conforme o exemplo do Quadro 4.1.

Quadro 4.1 Formato do arquivo de entrada para processamento no AstGeoTop: ModelTectônica © Versão 2013.07.05.

09/01/2008									
EST	X	Y	Z	$\sigma X(m)$	$\sigma Y(m)$	$\sigma Z(m)$	CorrX_Y	Corr_X_Z	Corr_Y_Z
BELE	4228139,028	-4772752,121	-155761,2826	0,0033	0,0035	0,0015	-0,4061	-0,0451	0,0485
BOMJ	4510195,822	-4268322,363	-1453035,208	0,0021	0,0021	0,0020	-0,1403	-0,0512	0,0488
BRAZ	4115014,077	-4550641,593	-1741443,936	0,0064	0,0066	0,0029	-0,4308	-0,604	0,6396

O software organiza os arquivos selecionadas pela ordem cronológica e calcula o número de dias entre um arquivo e outro, para a realização do cálculo das velocidades. As velocidades são ponderadas pela aplicação da lei de propagação das covariâncias e o ajustamento feito de acordo com o modelo paramétrico. Parte do relatório é exposto a seguir, mas sua integra se encontra no **apêndice E**, com o processamento final SIRGAS-CON do ano de 2008 a 2011. Durante o ajustamento sequencial (Tabela 4.3) se pode ver a influência de cada estação no cálculo dos parâmetros do modelo e também é feito o teste de hipótese por Qui-quadrado (Tabela 4.4), estação por estação, assim se alguma estação com erro grosseiro entra no ajustamento ela é imediatamente detectada, conforme mostra as três últimas estações SANT, CRO1 e CONZ em que a hipótese H_0 foi rejeitada. De fato o erro detectado pelo teste de hipótese não foi um erro grosseiro, mas sim a diferença de direções das velocidades em relação ao restante do grupo.

AstGeoTop Módulo: ModelTectônica © Versão 2013.07.07

RELATÓRIO DA MODELAGEM

ORDEM CRONOLÓGICA DOS ARQUIVOS

NOME_ARQUIVO	DATA DO PROCESSAMENTO	Nº Dias
SIRGAS-CON2008.txt	09/01/2008	0
SIRGAS-CON2009.txt	07/01/2009	364
SIRGAS-CON2010.txt	06/01/2010	728
SIRGAS-CON2011.txt	05/01/2011	1092

VELOCIDADES OBSERVADAS

ARQUIVOS: SIRGAS-CON2008.txt–SIRGAS-CON2009.txt

Intervalo de dias =364

Tabela 4.3 Vetor de velocidade e vetor de rotação de Euler determinados por ajustamento sequencial.

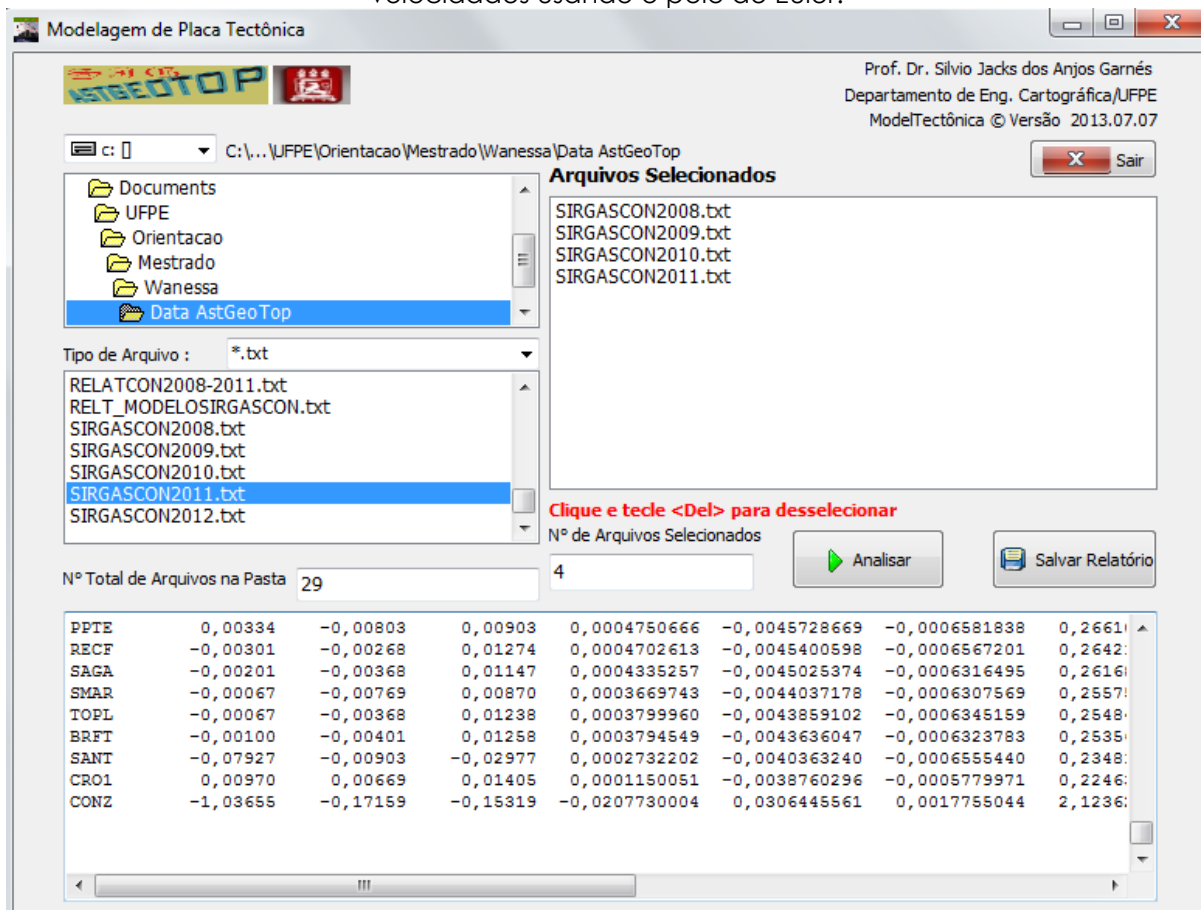
Id.	Velocidades Observadas			Componentes Estimados do Vetor de Euler		
	Vx	Vy	Vz	Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)
BELE	0,00000	-0,00201	0,01044	0,0120541569	-0,0160821067	-0,0006971466
BOMJ	-0,00502	-0,00301	0,01304	-0,0025539807	0,0001149103	-0,0003531134
BRAZ	0,00000	-0,00401	0,00803	-0,0019482587	-0,0003080931	-0,0004407256
CHPI	0,00301	-0,00903	0,01104	-0,0015184826	-0,0009511375	-0,0005613273
CUIB	0,00100	-0,00201	0,00803	-0,0012805148	-0,0010929718	-0,0005197443
POVE	-0,00100	-0,00401	0,01104	-0,0013586123	-0,0010149108	-0,0004812981
PPTE	0,00702	-0,00803	0,00702	-0,0011116157	-0,0012990534	-0,0005242645
RECF	-0,00602	0,00301	0,01525	-0,0011334740	-0,0013227320	-0,0004911431
SAGA	0,00000	-0,00201	0,00793	-0,0013772580	-0,0010065814	-0,0003286392
SMAR	0,00100	-0,00803	0,00602	-0,0014590963	-0,0008812696	-0,0003125227
TOPL	0,00502	-0,00602	0,01104	-0,0014930099	-0,0008970712	-0,0002958419
BRFT	-0,00401	-0,001	0,01244	-0,0014349741	-0,0009912829	-0,0003339264
SANT	0,02609	-0,00301	0,01405	-0,0009658779	-0,0017264896	-0,0003971752
CRO1	0,01003	0,00702	0,01405	-0,0017340713	-0,0008865107	-0,0000584064
CONZ	0,03612	-0,001	0,01706	0,0005353486	-0,0048296674	-0,0002985539

Tabela 4.4 Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide, quadrática do ajustamento e A. Estatística.

Estadística.						
Id.	Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide			Quadrática do ajustamento		A.Estatística
Est	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTPV	sig2_pos	Qui2 prob.95%
BELE	1,1522334639	-2°00`00,0"	-0°55`39,3"	0,066	não def.	não def.
BOMJ	0,1478709722	-7°54`58,6"	3°05`47,9"	3,759	1,253	OK
BRAZ	0,1158008864	-12°40`38,5"	-2°59`05,1"	5,487	0,914	OK
CHPI	0,1075809747	-17°30`17,4"	-2°34`55,2"	7,887	0,876	OK
CUIB	0,1009518402	-17°15`55,2"	-2°26`06,2"	13,017	1,085	OK
POVE	0,1010019029	-15°56`45,3"	-2°30`00,0"	13,173	0,878	OK
PPTE	0,1024630919	-17°09`19,6"	-2°16`43,0"	17,407	0,967	OK
RECF	0,1036975203	-15°50`47,9"	-2°16`45,5"	21,113	1,005	OK
SAGA	0,0995372881	-10°58`34,2"	-2°30`37,6"	23,927	0,997	OK
SMAR	0,0992932496	-10°27`28,3"	-2°35`53,7"	25,663	0,950	OK
TOPL	0,1012262173	-9°42`12,3"	-2°36`02,0"	29,121	0,971	OK
BRFT	0,1017431613	-10°54`36,6"	-2°32`13,4"	30,117	0,913	OK
SANT	0,1156102543	-11°25`35,8"	-2°04`51,1"	129,559	3,599	rejeitada
CRO1	0,1116358802	-1°43`45,7"	-2°40`08,4"	169,025	4,334	rejeitada
CONZ	0,2789393713	-3°32`22,2"	-1°27`37,4"	1018,898	24,259	rejeitada

A figura 4.7, a seguir ilustra, a tela do programa com os quatro arquivos SIRGAS-CON selecionados.

Figura 4.7 Software para determinação dos parâmetros por MMQ sequencial do modelo de velocidades usando o pólo de Euler.



Fonte: AstGeoTop Módulo: ModelTectônica © Versão 2013.07.05

Retirando as três estações cujas direções dos vetores velocidades discrepam do conjunto e reprocessando; o ajustamento sequencial dos arquivos agrupados tendo com o referência o arquivo da época 9 de janeiro de 2008 (SIRGAS2000), são mostrados a seguir (quadro 4.2):

Quadro 4.2 Resultado final do Modelo com coordenadas SIRGAS-CON.

Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.
-0,0014218600	-0,0011970247	-0,0005526803	0,1111007815	-16°39'56,3"	-2°26'30,6"
VTPV	sig2_pos	H0			
63,676	0,606	Não-rejeitada			

4.2 Resultados do processamento PPP-IBGE online

As coordenadas processadas pelo PPP *online* do IBGE conforme metodologia de particionamento dos arquivos explicados na sessão (3.1.1) são apresentadas no **apêndice B**. As Figuras 4.8, 4.9 E 4.10 a seguir, ilustram o deslocamento das estações entre os anos 2008 a 2012 em SIRGAS2000.

Figura 4.8 Poligonais formando o deslocamento das coordenadas das estações BELE, BOMJ, BRAZ, BRFT sobre a placa SOAM nos anos de 2008 a 2011 – ITRF2000 a partir do ITRF2005 e 2012 ITRF2000 a partir do ITRF2008.

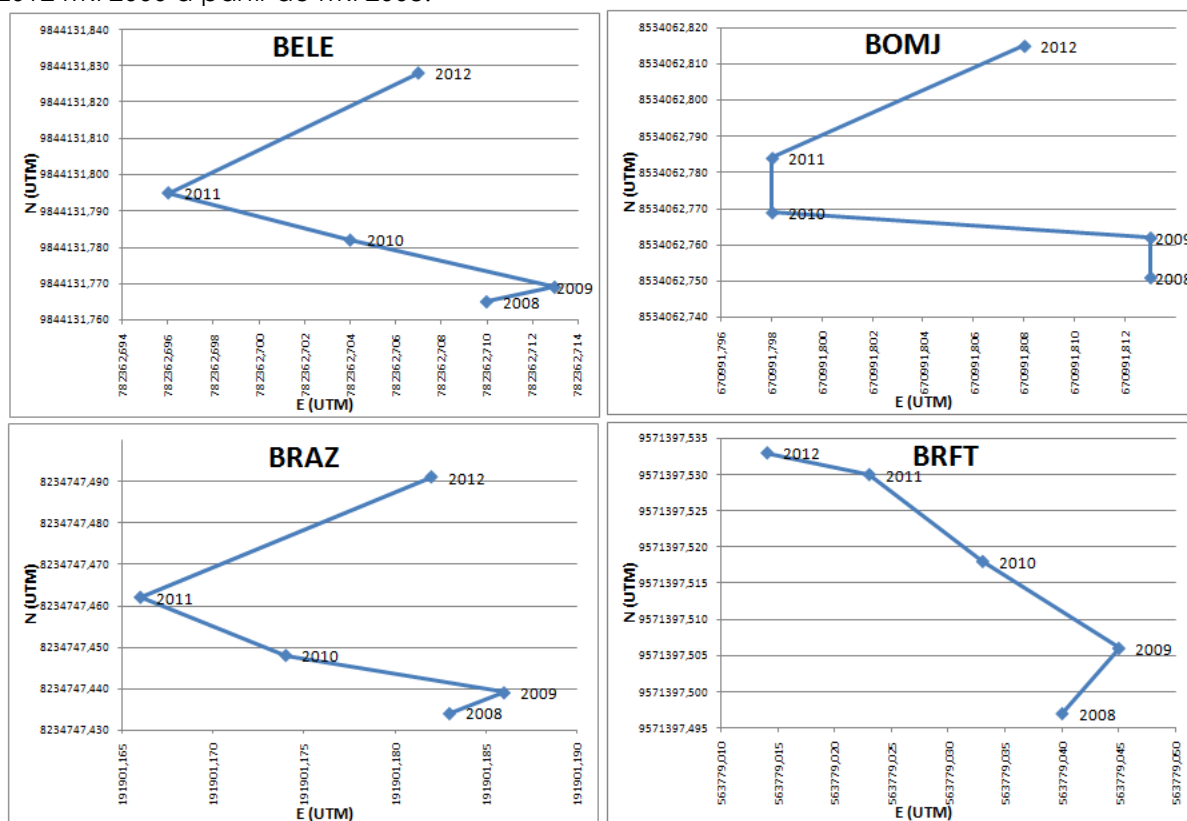


Figura 4.9 Continuação Poligonais formando o deslocamento das coordenadas das estações CHPI, CONZ, CRO1, CUIB, POVE, PPTE, RECF, SAGA sobre a placa SOAM nos anos de 2008 a 2011 – ITRF2000 a partir do ITRF2005 e 2012 ITRF2000 a partir do ITRF2008.

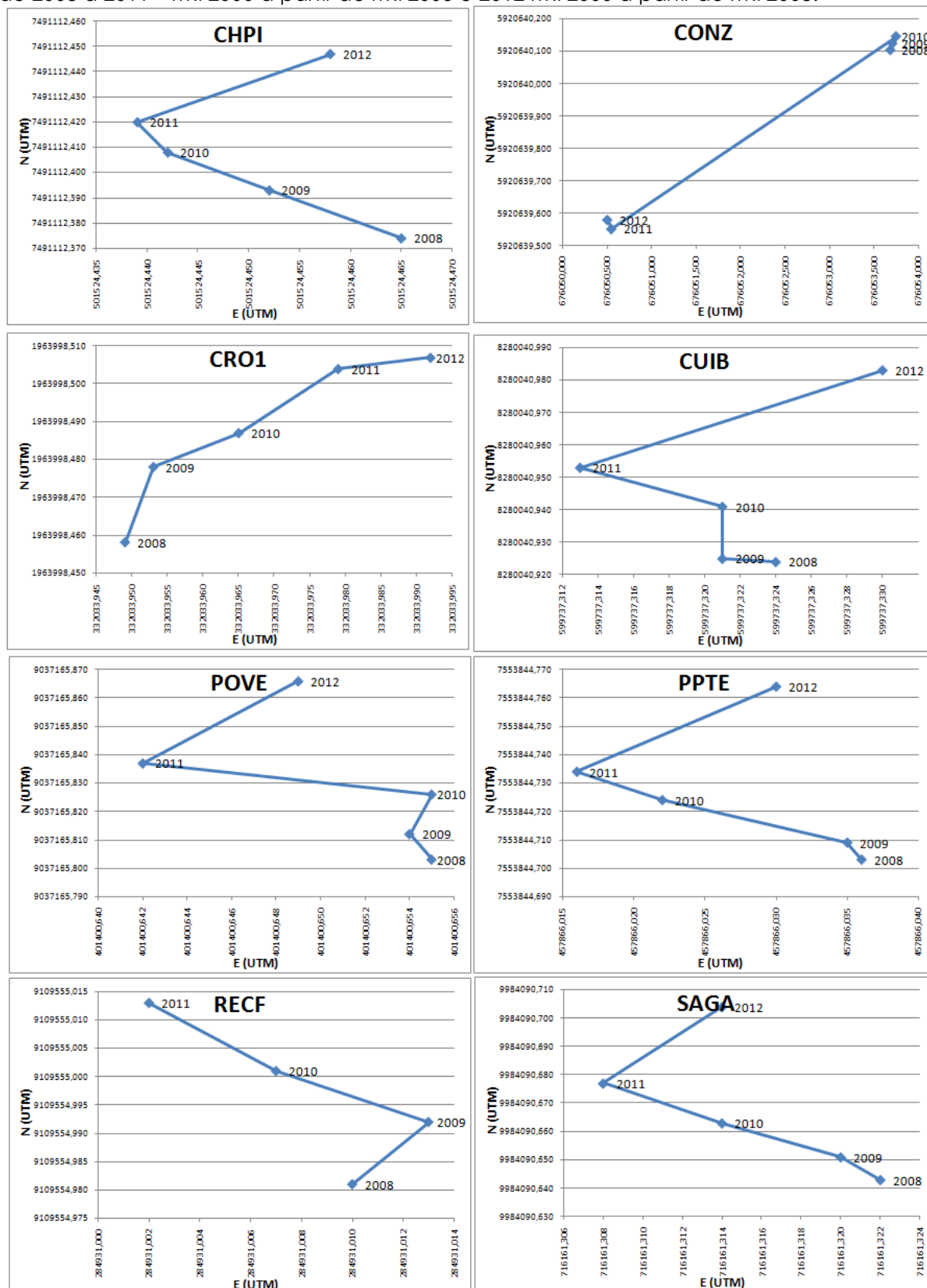
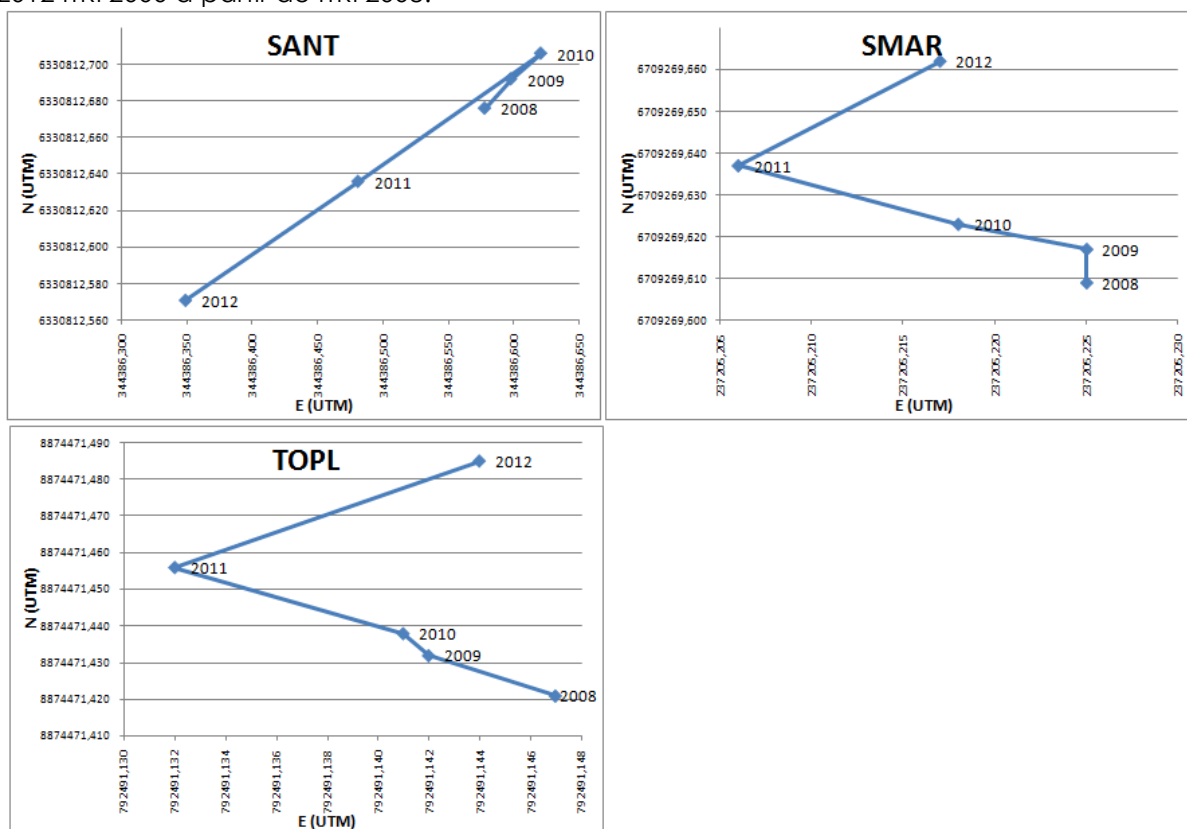


Figura 4.10 Poligonais formando o deslocamento das coordenadas das estações SANT, SMAR, TOPL sobre a placa SOAM nos anos de 2008 a 2011 – ITRF2000 a partir do ITRF2005 e 2012 ITRF2000 a partir do ITRF2008.



Verifica-se que a problemática da mudança do ITRF2005 para o ITRF2008 aparece na maioria das estações, cujo deslocamento seguia no sentido noroeste e passa de 2011 para 2012 para o sentido nordeste, ver (BELE, BOMJ, BRAZ, CHPI, CUIB, POVE, PPT, SAGA, SMAR, TOPL). Desta forma a decisão de não considerar o ano de 2012 para a definição do modelo, será novamente tomada.

Na estação CRO1 o deslocamento não mudou de direção, continuou no sentido nordeste desde a primeira época em 2008. Na estação CONZ verifica-se o salto na posição do ponto por ocorrência do terremoto de 27 de fevereiro de 2010 no Chile. Na estação SANT percebe-se a mudança do deslocamento devido ao terremoto, mas a posição da estação em 2012 não volta a seguir o fluxo normal do deslocamento que havia nos anos anteriores de 2008 a 2010 (sabe-se que existe um período de acomodação

regional da placa após os terremotos, e provavelmente na localização dessa estação a placa ainda não se acomodou completamente).

Pela indefinição de um sentido de deslocamento bem definido das estações ao longo dos anos de 2008 a 2011, faz com que o teste de hipótese realizado no ajustamento sequencial, rejeite para as primeiras estações a normalidade dos vetores de velocidade, conforme mostrado no trecho do relatório a seguir (Tabela 4.5 e 4.6):

AstGeoTop Módulo: ModelTectônica © Versão 2013.07.07

RELATÓRIO DA MODELAGEM

ORDEM CRONOLÓGICA DOS ARQUIVOS

NOME_ARQUIVO	DATA DO PROCESSAMENTO	Nº Dias
PPPIBGE2008.txt	09/01/2008	0
PPPIBGE2009.txt	07/01/2009	364
PPPIBGE2010.txt	06/01/2010	728
PPPIBGE2011.txt	05/01/2011	1092

VELOCIDADES OBSERVADAS

ARQUIVOS: PPPIBGE2008.txt - PPPIBGE2009.txt

Intervalo de dias = 364

Tabela 4.5 Vetor de velocidade e vetor de rotação de Euler determinados por ajustamento sequencial.

Id.	Velocidades Observadas			Componentes Estimados do Vetor de Euler		
Est.	Vx	Vy	Vz	Ex (rad/M.anos)	Ey (rad/M.anos)	Ez (rad/M.anos)
BELE	-0,01084	0,01696	0,00512	-0,0096281310	0,0097727801	0,0008440968
BOMJ	-0,0006	0,0006	0,01094	0,0029041283	-0,0046219471	-0,0002603884
BRAZ	-0,00341	0,00823	0,00712	0,0025458301	-0,0041353962	-0,0003699191
CHPI	-0,01385	-0,00431	0,02288	0,0009694809	-0,0028437471	-0,0005850853
CUIB	-0,00221	-0,00201	0,00151	0,0023511610	-0,0042237005	-0,0012406200
POVE	0,00000	-0,00351	0,00943	-0,0007299188	-0,0008762151	-0,0002443305
PPTE	-0,00552	0,00452	0,00943	-0,0007373971	-0,0008202887	-0,0002504997
RECF	0,00622	-0,0009	0,01013	-0,0002196482	-0,0015679965	-0,0004066062
SAGA	-0,00341	0,00401	0,00773	-0,0005249932	-0,0012606296	-0,0002969094
SMAR	0,00231	-0,00311	0,00672	-0,0005373985	-0,0012538805	-0,0003004035
TOPL	-0,01194	0,00652	0,01325	-0,0005035942	-0,0013754584	-0,0003822475
BRFT	0,00000	0,00602	0,00903	-0,0005463350	-0,0013209988	-0,0002571160
SANT	0,01967	0,00682	0,01846	-0,0008521725	-0,0010266999	-0,0000629132
CRO1	0,0014	0,00743	0,01907	-0,0016224247	-0,0002932057	0,0001945535
CONZ	0,02348	0,00241	0,02288	-0,0018686133	-0,0000562240	0,0003627396

Tabela 4.6 Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide, quadrática do ajustamento e A. Estatística.

Estadística.						
Id.	Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide			Quadrática do ajustamento		A.Estatística
Est	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTPV	sig2_pos	Qui2 prob.95%
BELE	0,7875213408	3°32`40,3"	2°20`55,5"	5,534	não def.	não def.
BOMJ	0,3131106019	-2°44`58,0"	-1°00`35,3"	9,439	3,146	rejeitada
BRAZ	0,2790462872	-4°23`07,1"	-1°01`08,3"	11,475	1,912	OK
CHPI	0,1753767152	-11°05`32,0"	-1°14`32,1"	46,048	5,116	rejeitada
CUIB	0,2859440688	-14°29`12,9"	-1°03`46,3"	48,880	4,073	rejeitada
POVE	0,0668234813	-12°10`18,4"	-2°15`55,3"	68,021	4,535	rejeitada
PPTE	0,0648070241	-12°52`42,8"	-2°18`10,9"	69,817	3,879	rejeitada
RECF	0,0936604089	-14°29`44,8"	-1°42`35,9"	74,085	3,528	rejeitada
SAGA	0,0800699028	-12°20`48,1"	-1°57`55,5"	76,290	3,179	rejeitada
SMAR	0,0800349602	-12°29`59,2"	-1°58`32,5"	76,342	2,827	rejeitada
TOPL	0,0867346445	-14°43`12,9"	-1°55`18,4"	83,304	2,777	rejeitada
BRFT	0,0832195971	-10°15`48,9"	-1°57`46,6"	86,009	2,606	rejeitada
SANT	0,0765337067	-2°43`03,9"	-2°15`48,9"	110,768	3,077	rejeitada
CRO1	0,0951193226	6°46`29,7"	-2°57`46,1"	173,046	4,437	rejeitada
CONZ	0,1091098322	11°03`11,2"	-3°06`41,4"	205,650	4,896	rejeitada

Mesmo sabendo da rejeição da hipótese nula do teste Qui-quadrado para solução da modelagem da placa SOAM pelo vetor de rotação de Euler, procedeu-se para o processamento PPP IBGE *online* de maneira semelhante ao submetido para o processamento SIRGAS-CON e o resultado é apresentado no **apêndice F**, com o resultado final resumido a seguir:

Quadro 4.3 Resultado final da estimação do modelo (vetor de Euler) com coordenadas PPP-IBGE *online*.

Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.
-0,0010682781	-0,0010619491	-0,0005492450	0,0918632746	-20°09'27,3"	-2°21'33,0"
VTPV	sig2_pos	H0			
160,140	1,525	Rejeitada			

4.3 Resultado do Processamento VLBI, VieVS e IVS

As coordenadas processadas para estação Ft (Fortaleza) e TIGOCONS pelo software VieVs e pelo serviço de processamento do IVS são

apresentadas no **apêndice D** (D.1 VieVs e D.2 IVS service). O resultado em termos das componentes horizontal e vertical são mostrados na Figura 4.11 e Figura 4.12, para estação de Ft e TIGOCON, respectivamente.

Figura 4.11 Deslocamento da estação ft-VLBI de Fortaleza pelos processamentos VieVs e serviço IVS.

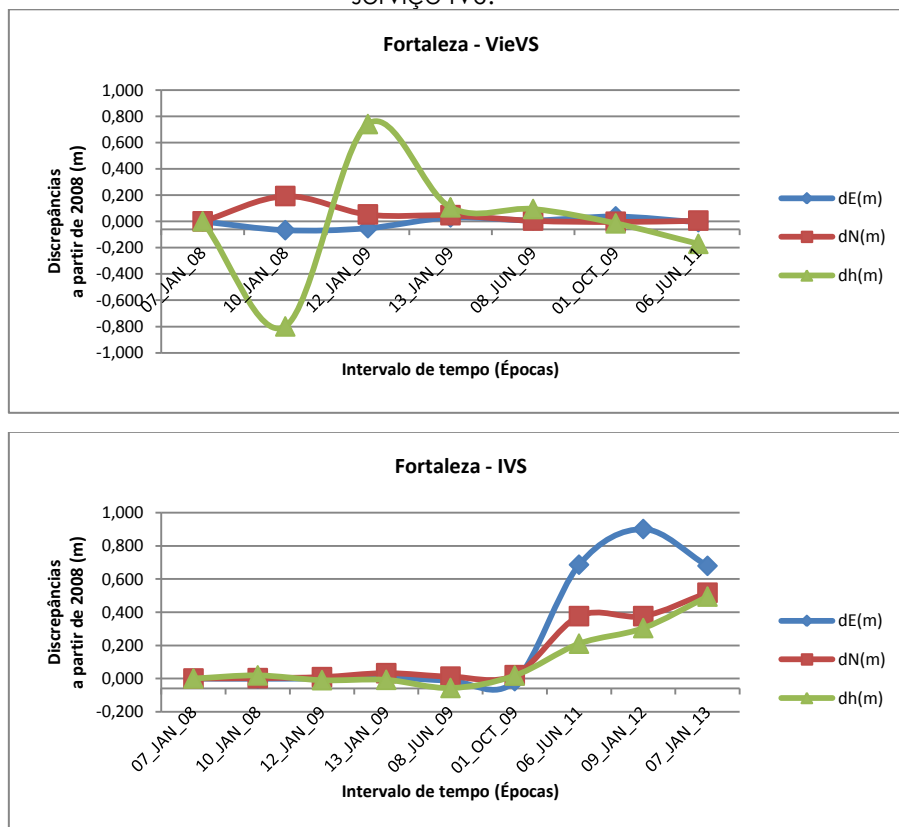
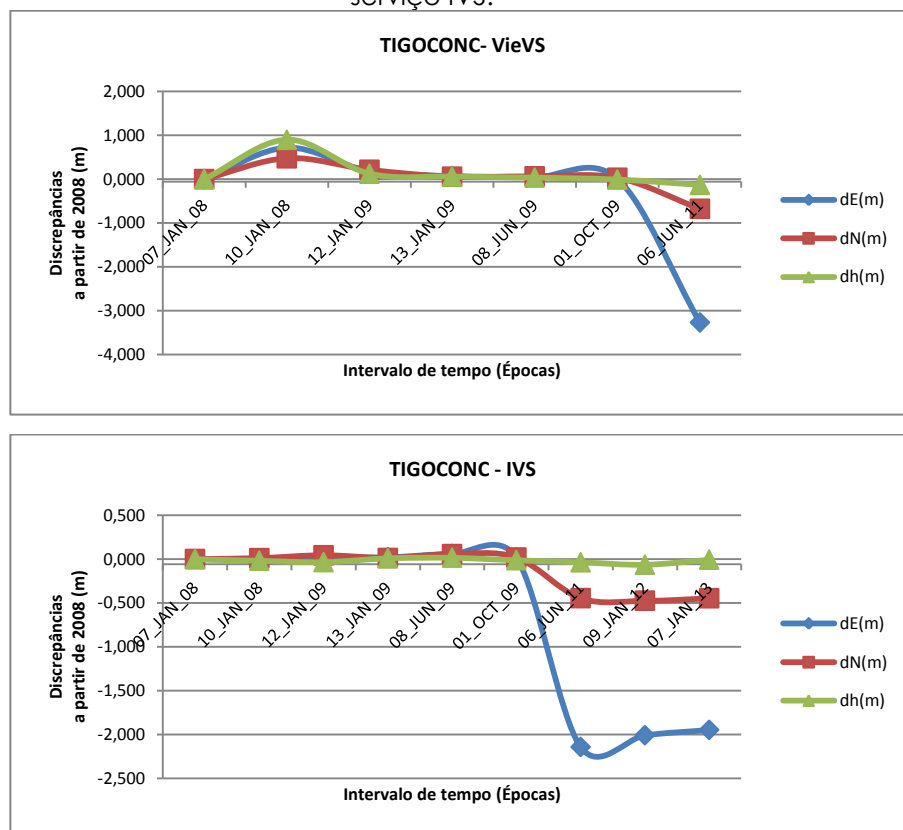


Figura 4.12 Deslocamento da estação TIGO-CONC do Chile pelos processamentos VieVs e serviço IVS.



A Figura 4.12 do processamento VLBI mostra claramente o deslocamento em posição da estação TIGO-CONC após o terremoto de 27 de fevereiro de 2010 que ocorreu com epicentro próxima a esta estação.

A análise da variação das coordenadas nos sentidos leste-oeste e norte-sul, do processamento VLBI, ilustrados nas figuras 4.11 e 4.12, não apresentaram um comportamento sistemático como era de se esperar, com base no que ocorreu com os processamentos GNSS com CRO1 e CONZ mostrados nas Figuras 4.5, 4.6, 4.8 e 4.9.

A análise da poligonal mostrando o percurso planimétrico dessas estações pelo processamento VLBI, permite ver que a posição das coordenadas não mantêm o deslocamento sistemático da placa tectônica, por exemplo, de janeiro de 2008 a outubro de 2009, conforme ilustra a Figura 4.13.

Figura 4.13 comportamento da Estação Ft - Fortaleza pelo processamento VLBI do IVS, 07 de janeiro de 2008 a 1 de outubro de 2009.

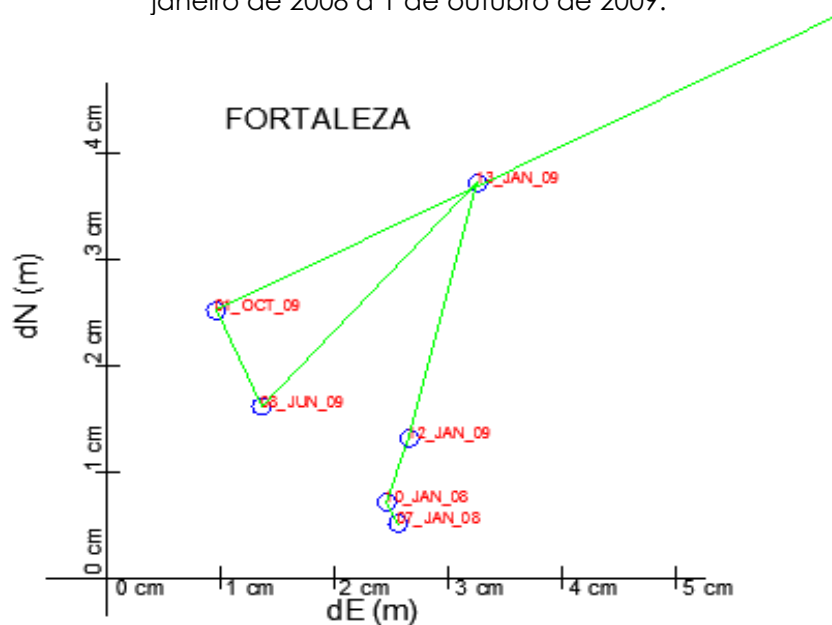
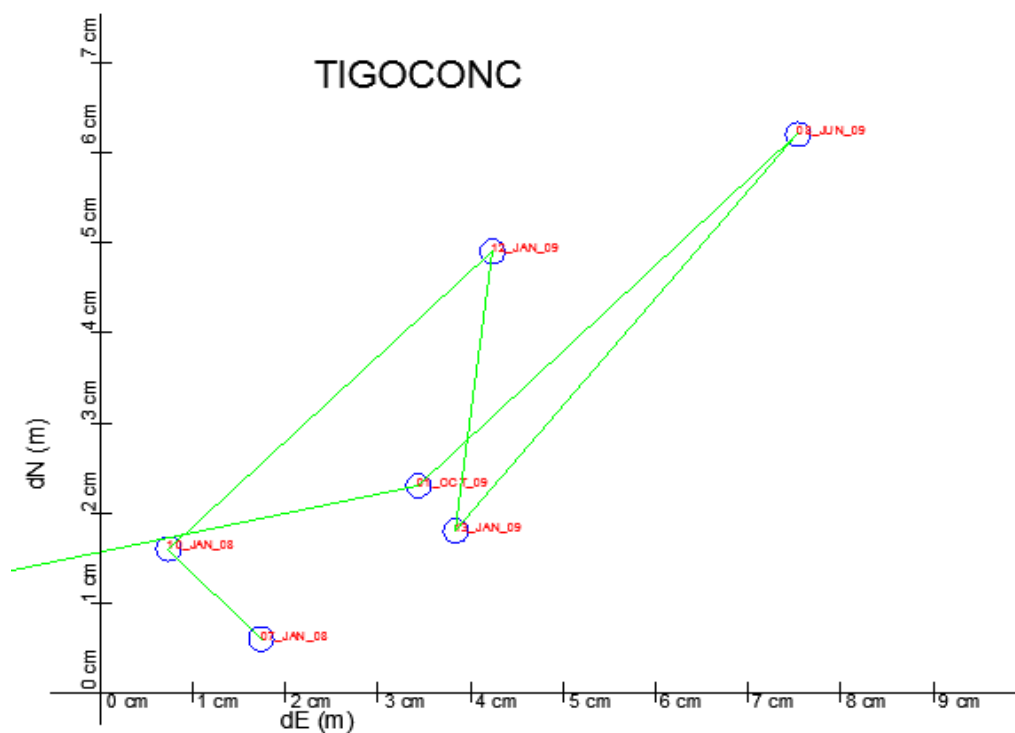


Figura 4.14 comportamento da Estação tigo – Concepcion Chile pelo processamento VLBI do IVS, 07 de janeiro de 2008 a 1 de outubro de 2009.



O processamento no software VieVs foi realizado apenas no seu modo default, de maneira que muitos refinamentos ainda deveriam ser levados em consideração para se ter as coordenadas finais com maior confiabilidade; entre elas, a correção dos chamados “clock breaks” e outros “erros grosseiros” que surgem nas observações VLBI, que em geral são eliminados usando o critério de 5 sigma para os resíduos. Este processamento refinado ficará fora do escopo desta pesquisa, pois pretende-se realizar novas averiguações com a equipe do software VieVs, da Universidade Técnica de Vienna.

Considerando apenas o processamento IVS das duas estações VLBI, Ft e TIGOCON, montou-se o arquivo para gerar o vetor de rotação de Euler no software AstGeoTop e fazer uma comparação com o vetor de Euler processado com o SIRGAS-CON das estações BRFT e CONZ, uma vez que a distância entre as estações GNSS e VLBI são inferiores a 300m. A seguir são apresentados os arquivos usados e resultado final do ajustamento sequencial, quadro 4.4.

AstGeoTop Módulo: ModelTectônica © Versão 2013.07.07

RELATÓRIO DA MODELAGEM

ORDEM CRONOLÓGICA DOS ARQUIVOS

NOME_ARQUIVO	DATA DO PROCESSAMENTO	Nº Dias
07_JAN_08.txt	07/01/2008	0
13_JAN_09.txt	13/01/2009	372
01_OUT_09.txt	01/10/2009	633

Quadro 4.4 Resultado final da estimação do modelo (vetor de Euler) com coordenadas VLBI –IVS apenas com estações Ft e TIGOCON.

Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.
0,0003650407	-0,0042359339	-0,0002631878	0,2440669659	-3°33'57,8"	-1°39'24,3"
VTPV	sig2_pos	H0			
0,000	0,000	Não-rejeitada			

AstGeoTop Módulo: ModelTectônica © Versão 2013.07.07

RELATÓRIO DA MODELAGEM**ORDEM CRONOLÓGICA DOS ARQUIVOS**

NOME_ARQUIVO	DATA DO PROCESSAMENTO	Nº Dias
CONVLBI2008.txt	09/01/2008	0
CONVLBI2009.txt	07/01/2009	364
CONVLBI2010.txt	06/01/2010	728
CONVLBI2011.txt	05/01/2011	1092

Quadro 4.5 Resultado final da estimação do modelo (vetor de Euler) com coordenadas GNSS–SIRGAS–CON apenas com estações BRFT e CONZ.

Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.
0,0004124213	-0,0077981703	0,0003091725	0,4477771992	2°16'57,0"	-1°31'04,7"
VTPV	sig2_pos	H0			
354,971	29,581	Rejeitada			

Comparando-se os quadros 4.4 e 4.5, verifica-se que os resultados são diferentes, pois a componente Ex do vetor de Euler tem sentido contrário, logo a posição do pólo de Euler muda de hemisfério, o VLBI com latitude sul e o GNSS com latitude norte.

Com as análises até aqui apresentadas e os dados usados neste trabalho, já se pode tirar de foco a borda oeste e borda norte da placa SOAM, os resultados estão inconsistentes. Assim o foco ficará concentrado ao território brasileiro com os modelos existentes na literatura.

4.4 Modelos existentes

Os modelos existentes na literatura para as velocidades da placa SOAM que aplicam os vetores de rotação de Euler, foram resumidos no quadro 1.1, da seção 1.3, desta dissertação. O modelo VEMOS atualmente utilizado pelo IBGE no posicionamento PPP online na aplicação da transformação generalizada de Helmert. Um dos meios de se obter a velocidade pelo modelo VEMOS é utilizar o software VMS.EXE (Drewes and

Heidbach 2009). Para as estações dessa pesquisa, as coordenadas foram transformadas em graus decimais e colocadas num arquivo com a extensão txt como visto na Tabela 4.7 e executado no software VMS.exe.

Tabela 4.7 Dados das estações dessa pesquisa.

SIRGAS2000-95		
ID	LAT (Grau dec.)	LONG (Grau dec.)
BELE	-1,40879457530069	-48,462549964817
BOMJ	-13,2555575694736	-43,421735561774
BRAZ	-15,94747455365	-47,87786931205
CHPI	-22,687145556777	-44,985158558603
CUIB	-15,555262229127	-56,0698668933466
POVE	-8,70933588399965	-63,8963199401594
PPTE	-22,1199039527331	-51,4085342839677
RECF	-8,05096306554096	-34,9515166941939
SAGA	-0,14385371532692	-67,0577812941854
SMAR	-29,7189231827783	-53,7165933785105
TOPL	-10,1710527378965	-48,3306794198589
BRFT	-3,87744658633071	-38,4255374472950
CRO1	17,7568984150002	-64,5843195343278
SANT	-33,1502879061317	-70,6685535152915
CONZ	-36,8437607356749	-73,0254804135389

Os resultados foram:

Interpolated Station Velocities From 1 Degree * 1 Degree Velocity Field Grid

Geographic v(Lat), v(Long) and geocentric v(X), v(Y), v(Z) velocities [m/a]
SIRGAS2000-95

Interpolated from VEMOS2009 in ITRF2005 (Drewes and Heidbach 2009)

Station	Latitude	Longitude	v(Lat)	v(Long)	v(X)	v(Y)	v(Z)	n°

BELE	-1.409	-48.463	0.0125	-0.0045	-0.0032	-0.0032	0.0125	4
BOMJ	-13.256	-43.422	0.0126	-0.0040	-0.0007	-0.0049	0.0123	4
BRAZ	-15.947	-47.878	0.0123	-0.0037	-0.0005	-0.0050	0.0119	4
CHPI	-22.687	-44.985	0.0117	-0.0034	0.0008	-0.0056	0.0108	4
CUIB	-15.555	-56.070	0.0120	-0.0035	-0.0011	-0.0046	0.0115	4
POVE	-8.709	-63.896	0.0102	-0.0043	-0.0032	-0.0033	0.0100	4
PPTE	-22.120	-51.409	0.0120	-0.0026	0.0008	-0.0051	0.0111	4
RECF	-8.051	-34.952	0.0117	-0.0031	-0.0004	-0.0035	0.0116	2
SAGA	-0.144	-67.058	0.0113	-0.0029	-0.0026	-0.0011	0.0113	4

SMAR	-29.719	-53.717	0.0122	-0.0019	0.0021	-0.0060	0.0106	4
TOPL	-10.171	-48.331	0.0120	-0.0037	-0.0013	-0.0040	0.0118	4
BRFT	-3.877	-38.426	0.0118	-0.0036	-0.0016	-0.0033	0.0118	3
CRO1	17.757	-64.584	0.0127	0.0102	0.0076	0.0079	0.0121	4
SANT	-33.150	-70.669	0.0171	0.0202	0.0221	-0.0021	0.0143	4
CONZ	-36.844	-73.025	0.0224	0.0318	0.0343	-0.0035	0.0179	3

A diferença entre a interpolação do software VMS(Drewes and Heidbach 2009), com o modelo VEMOS usando interpolador bi-linear do software AstGeoTop módulo SOAM @ versão 2013.07.07, apendice G.1, é mostrada na tabela 4.8, com diferença máxima de 0,6mm/ano na longitude de CRO1, de maneira que os interpoladores podem ser considerados equivalentes.

Tabela 4.8 Comparação VEMOS do software VMS.EXE (Drewes and Heidbach 2009) e AstGeoTop SOAM @ versão 2013.07.08.

NOME	dlat	dlong	dVX	dVY	dVZ
BELE	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
BOMJ	0,0000	-0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
BRAZ	0,0000	-0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
CHPI	-0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	-0,0001
CUIB	0,0000	-0,0001	-0,0001	-0,0001	0,0001
POVE	-0,0003	-0,0001	-0,0001	0,0000	-0,0002
PPTE	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0001	0,0000
RECF	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SAGA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SMAR	-0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
TOPL	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
BRFT	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SANT	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
CRO1	0,0000	0,0006	0,0006	0,0002	0,0000
CONZ	-0,0001	-0,0003	-0,0003	-0,0001	-0,0001

Tomando como referência o modelo gerado nessa pesquisa pelos resultados da rede SIRGAS-CON, quadro 4.2, repetido a seguir no quadro 4.6 por conveniência, fez-se comparações com os demais modelos: VEMOS 2009; NNR- NUVEL 1A; APKIM 2000; APKIM 8.8; ITRF 2000; COSTA,SANTOS e GEMAEL 2003; PEREZ,MONICO e CHAVES 2003.

Quadro 4.6 Resultado final da estimação do modelo encontrado (vetor de Euler) com coordenadas SIRGAS-CON, usado na comparação com demais modelos.

Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.
-0,0014218600	-0,0011970247	-0,0005526803	0,1111007815	-16°39'56,3"	-2°26'30,6"
VTPV	sig2_pos	H0			
63,676	0,606	Não-rejeitada			

Tabela 4.9 MODELO ENCONTRADO X VEMOS 2009 (unidades m/ano).

Estação	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	0,0007	-0,0010	0,0000	-0,0007	-0,0006	0,0007
BOMJ	0,0008	-0,0005	0,0000	0,0018	-0,0023	0,0005
BRAZ	0,0005	-0,0002	0,0000	0,0020	-0,0024	0,0001
CHPI	-0,0002	0,0002	0,0000	0,0033	-0,0029	-0,0011
CUIB	0,0002	-0,0001	0,0000	0,0013	-0,0021	-0,0002
POVE	-0,0019	-0,0009	0,0000	-0,0008	-0,0007	-0,0020
PPTE	0,0001	0,0009	0,0000	0,0033	-0,0026	-0,0007
RECF	-0,0001	0,0004	0,0000	0,0021	-0,0009	-0,0002
SAGA	-0,0006	0,0007	0,0000	-0,0001	0,0015	-0,0005
SMAR	0,0003	0,0017	0,0000	0,0046	-0,0034	-0,0012
TOPL	0,0002	-0,0002	0,0000	0,0012	-0,0014	0,0000
BRFT	0,0000	-0,0001	0,0000	0,0009	-0,0007	0,0000
SANT	0,0052	0,0243	0,0000	0,0252	0,0007	0,0025
CRO1	0,0008	0,0139	0,0000	0,0102	0,0105	0,0003
CONZ	0,0105	0,0350	0,0000	0,0365	-0,0010	0,0060

Tabela 4.10 MODELO ENCONTRADO X NNR-NUVEL 1A (unidades m/ano).

Estação	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	-0,0005	-0,0020	0,0000	-0,0014	-0,0012	-0,0004
BOMJ	-0,0003	-0,0015	0,0000	0,0010	-0,0028	-0,0005
BRAZ	-0,0004	-0,0011	0,0000	0,0012	-0,0028	-0,0008
CHPI	-0,0003	-0,0008	0,0000	0,0026	-0,0036	-0,0011
CUIB	-0,0009	-0,0007	0,0000	0,0006	-0,0022	-0,0013
POVE	-0,0016	-0,0011	0,0000	-0,0010	-0,0008	-0,0017
PPTE	-0,0006	-0,0003	0,0000	0,0021	-0,0031	-0,0014
RECF	-0,0001	-0,0020	0,0000	0,0007	-0,0028	-0,0002
SAGA	-0,0020	-0,0020	0,0000	-0,0026	0,0004	-0,0019
SMAR	-0,0008	0,0006	0,0000	0,0034	-0,0035	-0,0022
TOPL	-0,0004	-0,0014	0,0000	0,0001	-0,0022	-0,0006
BRFT	-0,0001	-0,0020	0,0000	-0,0003	-0,0022	-0,0001
SANT	-0,0024	0,0027	0,0000	0,0034	-0,0025	-0,0039
CRO1	-0,0017	-0,0036	0,0000	-0,0052	0,0023	-0,0021
CONZ	-0,0027	0,0035	0,0000	0,0040	-0,0027	-0,0044

Tabela 4.11 MODELO ENCONTRADO X APKIM 2000 (unidades m/ano).

Estação	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	-0,0024	-0,0003	0,0000	-0,0002	-0,0001	-0,0024
BOMJ	-0,0023	0,0000	0,0000	0,0016	-0,0015	-0,0025
BRAZ	-0,0024	0,0002	0,0000	0,0018	-0,0015	-0,0027
CHPI	-0,0023	0,0004	0,0000	0,0028	-0,0022	-0,0030
CUIB	-0,0027	0,0006	0,0000	0,0014	-0,0011	-0,0030
POVE	-0,0032	0,0004	0,0000	0,0002	0,0000	-0,0032
PPTE	-0,0025	0,0007	0,0000	0,0025	-0,0019	-0,0031
RECF	-0,0023	-0,0004	0,0000	0,0014	-0,0013	-0,0024
SAGA	-0,0034	-0,0003	0,0000	-0,0010	0,0011	-0,0033
SMAR	-0,0026	0,0014	0,0000	0,0035	-0,0024	-0,0037
TOPL	-0,0024	0,0000	0,0000	0,0010	-0,0010	-0,0025
BRFT	-0,0023	-0,0003	0,0000	0,0006	-0,0008	-0,0023
SANT	-0,0037	0,0030	0,0000	0,0035	-0,0018	-0,0050
CRO1	-0,0032	-0,0014	0,0000	-0,0030	0,0029	-0,0036
CONZ	-0,0039	0,0036	0,0000	0,0040	-0,0019	-0,0054

Tabela 4.12 MODELO ENCONTRADO X APKIM 8.8 (unidades m/ano).

Estação	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	0,0017	-0,0010	0,0000	-0,0007	-0,0007	0,0018
BOMJ	0,0013	-0,0020	0,0000	0,0009	-0,0035	0,0010
BRAZ	0,0017	-0,0019	0,0000	0,0009	-0,0038	0,0012
CHPI	0,0015	-0,0025	0,0000	0,0019	-0,0053	0,0005
CUIB	0,0022	-0,0014	0,0000	0,0005	-0,0032	0,0017
POVE	0,0023	-0,0009	0,0000	-0,0006	-0,0013	0,0022
PPTE	0,0019	-0,0019	0,0000	0,0015	-0,0048	0,0010
RECF	0,0004	-0,0019	0,0000	0,0008	-0,0028	0,0003
SAGA	0,0023	-0,0009	0,0000	-0,0016	0,0008	0,0024
SMAR	0,0020	-0,0018	0,0000	0,0023	-0,0060	0,0003
TOPL	0,0017	-0,0016	0,0000	0,0003	-0,0026	0,0016
BRFT	0,0008	-0,0014	0,0000	0,0001	-0,0018	0,0008
SANT	0,0023	0,0005	0,0000	0,0022	-0,0056	0,0000
CRO1	0,0023	-0,0007	0,0000	-0,0031	0,0047	0,0017
CONZ	0,0022	0,0011	0,0000	0,0026	-0,0061	-0,0005

Tabela 4.13 MODELO ENCONTRADO X ITRF 2000 (unidades m/ano).

Estação	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	-0,0017	0,0022	0,0000	0,0016	0,0015	-0,0016
BOMJ	-0,0016	0,0023	0,0000	0,0033	0,0001	-0,0018
BRAZ	-0,0017	0,0025	0,0000	0,0036	-0,0001	-0,0020
CHPI	-0,0016	0,0025	0,0000	0,0046	-0,0009	-0,0023
CUIB	-0,0020	0,0029	0,0000	0,0035	0,0001	-0,0023
POVE	-0,0024	0,0028	0,0000	0,0024	0,0010	-0,0025
PPTE	-0,0018	0,0029	0,0000	0,0044	-0,0007	-0,0024
RECF	-0,0016	0,0020	0,0000	0,0028	0,0005	-0,0017
SAGA	-0,0027	0,0021	0,0000	0,0012	0,0020	-0,0026
SMAR	-0,0019	0,0035	0,0000	0,0054	-0,0014	-0,0031
TOPL	-0,0017	0,0024	0,0000	0,0028	0,0005	-0,0018
BRFT	-0,0016	0,0021	0,0000	0,0022	0,0011	-0,0016
SANT	-0,0030	0,0051	0,0000	0,0056	-0,0014	-0,0043
CRO1	-0,0025	0,0009	0,0000	-0,0011	0,0041	-0,0029
CONZ	-0,0032	0,0057	0,0000	0,0061	-0,0017	-0,0048

Tabela 4.14 MODELO ENCONTRADO X COSTA; SANTOS; GEMAEL 2003 (unidades m/ano).

Estação	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	0,0086	-0,0035	0,0000	-0,0024	-0,0024	0,0086
BOMJ	0,0082	-0,0045	0,0000	0,0003	-0,0063	0,0077
BRAZ	0,0085	-0,0042	0,0000	0,0005	-0,0067	0,0078
CHPI	0,0083	-0,0048	0,0000	0,0021	-0,0087	0,0068
CUIB	0,0089	-0,0034	0,0000	-0,0002	-0,0059	0,0082
POVE	0,0089	-0,0030	0,0000	-0,0020	-0,0031	0,0087
PPTE	0,0087	-0,0039	0,0000	0,0015	-0,0081	0,0073
RECF	0,0071	-0,0045	0,0000	0,0001	-0,0055	0,0070
SAGA	0,0088	-0,0034	0,0000	-0,0038	-0,0001	0,0088
SMAR	0,0088	-0,0034	-0,0001	0,0029	-0,0097	0,0062
TOPL	0,0086	-0,0039	0,0000	-0,0007	-0,0050	0,0083
BRFT	0,0076	-0,0038	0,0000	-0,0011	-0,0040	0,0076
SANT	0,0085	0,0000	-0,0001	0,0028	-0,0090	0,0053
CRO1	0,0089	-0,0036	0,0000	-0,0067	0,0052	0,0079
CONZ	0,0083	0,0010	-0,0001	0,0036	-0,0097	0,0044

Tabela 4.15 MODELO ENCONTRADO X PEREZ; MONICO; CHAVES 2003 (unidades m/ano).

Estação	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	0,0003	-0,0010	0,0000	-0,0007	-0,0006	0,0004
BOMJ	0,0007	-0,0001	0,0000	0,0021	-0,0020	0,0004
BRAZ	0,0004	0,0004	0,0000	0,0024	-0,0020	-0,0001
CHPI	0,0006	0,0009	0,0000	0,0040	-0,0026	-0,0003
CUIB	-0,0005	0,0008	0,0000	0,0019	-0,0014	-0,0008
POVE	-0,0015	0,0002	0,0000	0,0002	-0,0003	-0,0015
PPTE	0,0000	0,0013	0,0000	0,0036	-0,0022	-0,0008
RECF	0,0012	-0,0008	0,0000	0,0015	-0,0020	0,0011
SAGA	-0,0019	-0,0011	0,0000	-0,0018	0,0008	-0,0019
SMAR	-0,0002	0,0025	0,0000	0,0051	-0,0026	-0,0017
TOPL	0,0003	-0,0002	0,0000	0,0012	-0,0015	0,0002
BRFT	0,0010	-0,0009	0,0000	0,0004	-0,0014	0,0010
SANT	-0,0025	0,0047	0,0000	0,0053	-0,0018	-0,0040
CRO1	-0,0016	-0,0034	0,0000	-0,0051	0,0024	-0,0020
CONZ	-0,0029	0,0056	0,0000	0,0060	-0,0019	-0,0046

Fazendo a comparação dos diversos modelos existentes com o modelo encontrado pelo processamento SIRGA-CON conforme metodologia exposta anteriormente, verifica-se uma máxima discrepância para os pontos do território brasileiro na estação de Porto Velho POVE, com **resultante máxima** de 2,1mm/ano (Tabela 4.9), quando se compara com o modelo VEMOS 2009; **resultante máxima** de 2,8mm/ano (Tabela 4.10) quando se compara com o modelo NNR-NUVEL 1A; **resultante máxima** de 3,4mm/ano (Tabela 4.11) na estação SAGA quando se compara com o modelo APIKIM2000; **resultante máxima** de 2,9mm/ano (tabela 4.12) na estação CHPI quando se compara com o modelo APIKIM 8.8; **resultante máxima** de 3,9mm/ano (Tabela 4.13) na estação SMAR quando se compara com o modelo ITRF2000; **resultante máxima** de 9,6mm/ano (Tabela 4.14) nas estações CHPI e PPTE quando se compara com o modelo de COSTA; SANTOS; GEMAEL 2003; **resultante máxima** de 2,5mm/ano (Tabela 4.15) na estação SMAR quando se compara com o modelo por PEREZ;MONICO;CHAVES(2003).

Considerando as demais estações o modelo encontrado está consistente com o modelo VEMOS 2009 e com o modelo apresentado por PEREZ;MONICO;CHAVES(2003), de tal forma que procedeu-se uma confrontação direta entre eles e o VEMOS 2009, chegando a um resultado balanceado de 6 estações contra 6 estações na placa SOAM em território brasileiro em que as resultantes são menores em um dos modelos (Tabela 4.16).

Tabela 4.16 Comparação dos modelos VEMOS2009, PEREZ; MONICO; CHAVES 2003 e Encontrado.

VEMOS2009 x PEREZ; MONICO; CHAVES 2003				Encontrado x VEMOS2009			
Estação	V(lat)	V(long)	Result	Estação	V(lat)	V(long)	Result
BELE	-0,0003	0,0000	0,0003	BELE	0,0007	-0,0010	0,0012
BOMJ	-0,0001	0,0004	0,0004	BOMJ	0,0008	-0,0005	0,0009
BRAZ	-0,0001	0,0006	0,0007	BRAZ	0,0005	-0,0002	0,0005
CHPI	0,0008	0,0007	0,0011	CHPI	-0,0002	0,0002	0,0003
CUIB	-0,0006	0,0009	0,0011	CUIB	0,0002	-0,0001	0,0002
POVE	0,0004	0,0010	0,0011	POVE	-0,0019	-0,0009	0,0021
PPTE	-0,0001	0,0004	0,0004	PPTE	0,0001	0,0009	0,0009
RECF	0,0013	-0,0012	0,0018	RECF	-0,0001	0,0004	0,0004
SAGA	-0,0014	-0,0018	0,0022	SAGA	-0,0006	0,0007	0,0009
SMAR	-0,0005	0,0008	0,0010	SMAR	0,0003	0,0017	0,0017
TOPL	0,0002	0,0000	0,0002	TOPL	0,0002	-0,0002	0,0003
BRFT	0,0011	-0,0009	0,0014	BRFT	0,0000	-0,0001	0,0001
SANT	-0,0077	-0,0197	0,0211	SANT	0,0052	0,0243	0,0249
CRO1	-0,0024	-0,0173	0,0174	CRO1	0,0008	0,0139	0,0139
CONZ	-0,0134	-0,0294	0,0323	CONZ	0,0105	0,0350	0,0365

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesta dissertação propôs-se a determinar um novo modelo de velocidade da placa tectônica Sul-Americana fazendo investigações com resultados do processamento PPP do serviço oferecido pelo IBGE em convênio com o NRCAN do Canadá, e também aproveitando-se de dados de duas estações VLBI sobre a placa SOAM; uma estação (Ft) localizada na cidade de Fortaleza – CE, Brasil e outra a estação TIGOCON localizada em Concepción no Chile. Usou-se ainda dados processados semanalmente pelo SIRGAS-CON das mesmas estações escolhidas para a realização do processamento PPP IBGE *online*. Com os dados obtidos e modelados pelo vetor de rotação de Euler, o melhor resultado encontrado foi aquele utilizando os dados da solução semanal do processamento SIRGAS-CON, com os valores do vetor de Euler para os anos de 2008, 2009, 2010 e 2011 no SIRGAS2000 de (Quadro 4.6): Ω_x (rad/M.anos) = -0,0014218600; Ω_y (rad/M.anos) = -0,0011970247; Ω_z (rad/M.anos) = -0,0005526803; ω (°/M.anos) = 0,1111007815; Lat. geod. = -16° 39' 56,3" e Long. geod. = -2° 26' 30,6".

Um comparativo desse modelo, com outros modelos existentes na literatura, mostrou consistências para aplicações práticas que permitam erros maiores que 3cm em quatorze anos, como é o caso das reduções das coordenadas PPP atuais para a época oficial do SGB 2000,4. Em particular, na comparação com o modelo VEMOS 2009, atual modelo utilizado pelo IBGE, a máxima discrepância ocorreu na estação POVE de Porto Velho - RO, com 2,1mm/ano. Com isso, pode-se concluir que: o modelo VEMOS 2009 está consistente com as velocidades atuais da Placa Sul-Americana; e que a metodologia ficou validada pela equivalência das velocidades do modelo encontrado com o VEMOS.

Como recomendação para trabalhos futuros deve-se buscar a modelagem com séries de dados mais longas disponibilizada pelo SIRGAS-CON, usar modelos mais completos como a própria transformação generalizada de Helmert; modelos que utilizem o pólo de Euler no interior ou

exterior a superfície elipsoidal e não na superfície apenas como foi utilizado neste trabalho; realizar ajustamento apenas com velocidades médias e também com posições médias como foi o caso do modelo por Perez; Monico e Chaves (2003); Incluir na modelagem as equações de observação que permitam variar a distância do pólo de Euler ao ponto em estudo inserindo assim injunção de distância; Buscar também aprofundamentos na aplicação VLBI para modelagem de velocidades de placas e rever os refinamentos necessários eliminando, por exemplo, os “clock breaks” dos relógios das antenas VLBI, melhorando não só a linha de base, mas também a posição da estação em termos absolutos. Este tipo de pesquisa está apenas se iniciando na Geodésia brasileira e carece ainda de muitos estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALVES, C. M. D. ; MONICO, J.F.G. ; ROMAO, V. M. C. **Análise da Acurácia no PPP a partir da solução de ambiguidades GPS em curtos períodos de ocupação.** RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online), v. 63, p. 439-448, 2011.
- [2] ANDRADE, J. B. de. **NAVSTAR-GPS.** Curitiba, 1988. 63 f. Apostila - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.
- [3] CLARK JR., S. P. **Estrutura da Terra. Série de textos básicos em geociência.** Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo – SP, p. 12. 1973
- [4] CASACA, J.M.; MATOS, J.L.; DIAS, J.M.B. (2007) **Topografia Geral.** 4ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 208p.
- [5] CONDIE, K. C., 1997, **Plate Tectonics and Crustal Evolution** (Fourth Edition): Oxford, UK, Butterworth-Heinemann, 282 p.
- [6] COSTA, S.M.A.. **Integração da Rede Geodésica Brasileira aos Sistemas de Referência Terrestres**, tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 1999.
- [7] COSTA, S.M.A.. **Estimativa do Campo de Velocidade a partir das Estações da RBMC**, Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre, 2001.
- [8] COSTA, S.M.A.; SANTOS, M. C.; GEMAEL, C.. **A velocity field estimation of the Brazilian portion of the SOAM plate.** GPS solutions, (2003), 7, 186 – 193.

- [9] COSTA, S.M.A.; SILVA, A.L.; LIMA, M.A.A.; JÚNIOR, N.J.M.. **Centro de análise SIRGAS – IBGE: novas estratégias de processamento e combinação, e a influência da mudança do referencial global nos resultados**. Boletim de Ciências Geodésicas. Curitiba, v.18, nº1, p. 63 – 85, 2012.
- [10] DREWES H. (1982). **A geodetic approach for the recovery of global kinematic plate parameters**. Bull Geod 56:70–79.
- [11] DREWES H.; Angermann D. (2001) **The actual plate kinematic and crustal deformation model 2000** (APKIM 2000) as a geodetic reference system. In: Book of Abstracts, International Association of Geodesy General Assembly, 2–7 September, Budapest, Hungary.
- [12] FAUSTINO, R. C.. **Posicionamento por ponto preciso estático e cinemático: implementação e análise**. Dissertação de mestrado, curso de pós-graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista - UNESP. Presidente Prudente, 2006.
- [13] GARNÉS, S. J. A. AstGeoTop. **Software**. Recife-PE: Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco. Compilação nov. 2011.
- [14] GARNÉS, S. J. dos A. **Ajustamento paramétrico por mínimos quadrados com análise na estabilidade da solução**. Curitiba, 1996. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geodésia) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.
- [15] GARNÉS, S. J. A. **Resolução das ambiguidades GPS para linhas de base curta: análise dos algoritmos de otimização**. Tese de Doutorado, Curso

de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

- [16] GEMAEL, C.: **Introdução a Geodésia Geométrica**: 1ª parte, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, 1977.
- [17] Gemael C. (1994). **Introdução ao Ajustamento de Observações – Aplicações Geodésicas**. Editora da Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- [18] Thomas, I. D.; King, M. A.; Clarke, P. J.. **A comparison of GPS, VLBI and model estimates of ocean tide loading displacements**. Journal of geodesy. Springer Verlag, pp. 359-368, 2007.
- [19] IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Nacional** (IBGE - Resolução PR nº 22, de 21 de julho de 1983). Acesso em: 01/03/2012. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_normas.shtm.
- [20] IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Centro de Processamento SIRGAS IBGE**, http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas_proc/introduca.shtm, acesso em: 20/03/2013. 2013.
- [21] IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **IBGE-PPP Posicionamento por Ponto Preciso on-line**. Diretoria de Geociências. Coordenação de Geodésia. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf>. Acesso: 20/12/2011. 2009.

- [22] IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Resolução da Presidência n.º 1, de 25/02/2005 (R.PR 01/05)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. 8p.
- [23] ICHIKAWA, R.; KAWAI, E.; SEKIDO, M.. **“Kashima 34-m Radio Telescope”**. In: International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2011 Annual Report, edited by K. D. Baver and D. Behrend, NASA/TP-2012-217505, 54–57, 2011.
- [24] KEAREY, Philip; KLEPEIS, Keith A.; VINE, Frederick J. (2009). **Global Tectonics** (3 ed.). Chichester: Wiley. pp. 67. ISBN 978-1-4051-0777-8.
- [25] Larson, K.M.; Freymueller, J.T.; Philipson, S.. **Global plate velocities from global positioning system**. Journal of Geophysical Research, vol 102, n° B5, pp. 9961–9981, 1997.
- [26] McCARTHY, D., (Ed.), **IERS Conventions, IERS Tech. Note 21**, Obs. de Paris, Paris, 1996.
- [27] MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicação**. 2ª ed. São Paulo: UNESP, 2008. 476p.
- [28] NEVES, S. P. **Dinâmica do manto e deformação continental**. 2ª ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2008. 166p.
- [29] T. Nilsson, J. Böhm, S. Böhm, M. Madzak, V. Nafisi, L. Plank, H. Spicakova, J. Sun, C. Tierno Ros, and H. Schuh, **Status and future plans for the Vienna VLBI Software VieVS**, 20th VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting (EVGA), Bonn, Germany, 2011.

- [30] NRCAN (NATURAL RESOURCE CANADA). 2009. **CSRS-PPP an online Global GPS Processing Service**. Canadian Spatial Reference System, Geodetic Survey Canada. Disponível em: <http://facility.unavco.org/project_support/polar/support/PPP.pdf> Acesso: 20 dezembro 2011.
- [31] PEREIRA, R. A., FERREIRA, W. G., BEZERRA, A. D. S. 2008. **Abalos sísmicos no Brasil e no mundo**. Disponível em: <<http://www.creaes.org.br/Creaes/>> Acesso: 20 de maio de 2012.
- [32] PEREZ, J. A. S. **Campo de velocidade para as estações da RBMC e do IGS localizadas na placa Sul-Americana: estimativa a partir do processamento de dados GPS**. Presidente Prudente – SP, 2002. 166 p. Dissertação (mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual de Paulista.
- [33] PEREZ, J. A. S., MONICO, J. F. G., CHAVES, J. C. **Velocity Field Estimation Using GPS Precise Point Positioning: The South American Plate Case**. Journal of Global Positioning systems. Vol. 2, nº 2, 2003.
- [34] ROGERS, J.J.W. ; SANTOSH, M. **Continents and Supercontinents**. Oxford University Press, New York (2004) 289 pp.
- [35] SAPUCCI, L.F. **Estimativa do vapor d'água atmosférico e avaliação da modelagem do atraso zenital troposférico utilizando GPS**. 2001. 167f. Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

- [36] SCAN, Sky. **Canadians in Radio Astronomy: Interferómetro Very Long Baseline**. Disponível em: < <http://www.skyscan.ca/Canadians.ht> >. Acessado em: 06/03/2012 às 14h00min.
- [37] SCHUH, H.; BEHREND, D. **VLBI: A fascinating technique for geodesy and astrometry**. Elsevier - Journal of Geodynamics, 2012.
- [38] SEEGER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications**. 2nd. ed. , Berlin, New-York: Walter de Gruyter, 2003.
- [39] SEGANTINE, P. C. L. ; MENZORI, M. . **PLURIS2010**. 2010. (Apresentação de Trabalho/Congresso).
- [40] SIRGAS. (2012). **Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, Rede SIRGAS-CON**, <http://www.sirgas.org>, último acesso: 20/09/2012.
- [41] SILVA, A.L.; COSTA, S.M.A.; VAZ, J.A.. **Deslocamento das estações SIRGAS-CON em função do terremoto ocorrido no Chile – Uma abordagem do Centro de processamento SIRGAS – IBGE**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnológicas da Geoinformação, Recife – PE, 2010.
- [42] SOLER, T. **Transformações Rigorosas entre sistemas de referência de coordenadas: aplicação ao GPS (ITRF, WGS84) e GLONASS (PZ90)**. *GeoConvergência*, p.30-38, março, 1999.
- [43] SOUZA, E. M.; ALVES, D.B.M.; MONICO, J.F.G. **As diferentes versões da transformada de Helmert e suas aplicações na transformação entre sistemas de Referência**. *TEMA. Tendências em Matemática Aplicada e computacional*, v.9, p. 481–490, 2008.

- [44] **Spectraprecision** (2013). Disponível em: <http://www.spectraprecision.com/gnss-planning-17876.kjsp>, ultimo acesso em: nov, 2013.
- [45] TEKE, Kamil. **Sub-daily parameter estimation in VLBI data analysis**. Vienna, Austria, 2011. 273 p. Tese (Dotourado em Ciências Técnicas) – Instituto de Geódesia e Geofísica, Universidade de Tecnologia de Viena.
- [46] THORNTON, C.L.; BORDER, J.S.. **Radiometric Tracking Tech-niques for Deep Space Navigation**. Monograph 1, Deep Space Communications and Navigation Series, Jet Propulsion Labora-tory, California Institute of Technology, Pasadena, California, 85 p. 2000.
- [47] DREWES, H., O. HEIDBACH (2012). **The 2009 Horizontal Velocity Field for South America and the Caribbean**. In: Kenyon S., M.C. Pacino, U. Marti (Eds.), "Geodesy for Planet Earth", IAG Symposia, 136: 657-664.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Coordenadas do processamento SIRGAS-CON em SIRGAS2000.

APÊNDICE B – Coordenadas do processamento PPP-IBGE *online* em SIRGAS2000.

APÊNDICE C – Discrepâncias entre coordenadas GNSS SIRGAS-CON e PPP-IBGE *online*.

APÊNDICE D – Coordenadas VLBI processadas no software VieVs e pelo IVS.

APÊNDICE E – Relatório do processamento dos arquivos SIRGAS-CON para obtenção do vetor de Euler pelo AstGeoTop.

APÊNDICE F – Relatório do processamento dos arquivos PPP-IBGE *online* para obtenção do vetor de Euler pelo AstGeoTop.

APÊNDICE G – Velocidades determinadas por modelos conhecidos.

G.1– Velocidades da aplicação do Modelo **VEMOS** às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

G.2 – Velocidades da aplicação do Modelo **NNR- NUVEL 1A** às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

G.3 – Velocidades da aplicação do Modelo **APKIM 2000** às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

G.4 – Velocidades da aplicação do Modelo **APKIM 8.8** às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

G.5 – Velocidades da aplicação do Modelo **ITRF 2000** às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

G.6 – Velocidades da aplicação do Modelo **COSTA;SANTOS;GEMAEI 2003** às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

G.7 – Velocidades da aplicação do Modelo **PEREZ;MONICO;CHAVES 2003** às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

APÊNDICE A – Coordenadas do processamento SIRGAS-CON em SIRGAS2000.

Data	EST	X	Y	Z	D.Padrão_X(m)	D.Padrão_Y(m)	D.Padrão_Z(m)	Corr_X_Y	Corr_X_Z	Corr_Y_Z
9 de janeiro de 2008	BELE	4228139,0280	-4772752,1210	-155761,2826	0,0033	0,0035	0,0015	-0,4061	-0,0451	0,0485
	BOMJ	4510195,8220	-4268322,3630	-1453035,2080	0,0021	0,0021	0,0020	-0,1403	-0,0512	0,0488
	BRAZ	4115014,0770	-4550641,5930	-1741443,9360	0,0064	0,0066	0,0029	-0,4308	-0,6040	0,6396
	CHPI	4164613,8840	-4162456,9060	-2445028,7900	0,0045	0,0045	0,0031	-0,9471	-0,7630	0,7630
	CUIB	3430711,3890	-5099641,6060	-1699432,8500	0,0031	0,0042	0,0023	-0,7983	-0,4617	0,4987
	POVE	2774265,6110	-5662060,1540	-959415,9098	0,0023	0,0041	0,0038	-0,8007	-0,0501	0,0568
	PPTÉ	3687624,3630	-4620818,7200	-2386880,2970	0,0035	0,0041	0,0036	-0,7774	-0,3217	0,3380
	RECF	5176588,6200	-3618162,1770	-887363,8341	0,0056	0,0042	0,0027	-0,8139	-0,2912	0,2729
	SAGA	2486243,7550	-5873685,3420	-15906,7423	0,0026	0,0058	0,0029	-0,9374	-0,0041	0,0043
	SMAR	3280748,4170	-4468909,7900	-3143408,6190	0,0027	0,0031	0,0034	-0,4974	-0,0778	0,0907
	TOPL	4174345,6070	-4690236,7390	-1118921,3430	0,0026	0,0026	0,0016	-0,2130	-0,1753	0,1921
	BRFT	4985393,5280	-3954993,4430	-428426,6856	0,0048	0,0040	0,0022	-0,8426	-0,1544	0,1489
	SANT	1769693,5820	-5044574,1810	-3468320,9170	0,0026	0,0039	0,0033	-0,3521	-0,2408	0,4478
	CRO1	2607771,2380	-5488076,6810	1932767,8110	0,0042	0,0076	0,0029	-0,7837	0,7636	-0,8806
	CONZ	1492007,6840	-4887910,7370	-3803639,9040	0,0013	0,0032	0,0027	-0,7389	-0,6042	0,7664

APÊNDICE A – Continuação

Data	EST	X	Y	Z	D.Padrão_X(m)	D.Padrão_Y(m)	D.Padrão_Z(m)	Corr_X_Y	Corr_X_Z	Corr_Y_Z
7 de janeiro de 2009	BELE	4228139,0280	-4772752,1230	-155761,2722	0,0019	0,0021	0,0010	-0,8295	-0,0540	0,0551
	BOMJ	4510195,8170	-4268322,3660	-1453035,1950	0,0014	0,0013	0,0008	-0,9854	-0,4581	0,4577
	BRAZ	4115014,0770	-4550641,5970	-1741443,9280	0,0011	0,0011	0,0007	0,1388	-0,1791	0,2008
	CHPI	4164613,8870	-4162456,9150	-2445028,7790	0,0007	0,0007	0,0007	-0,9692	-0,4240	0,4240
	CUIB	3430711,3900	-5099641,6080	-1699432,8420	0,0005	0,0007	0,0007	-0,9647	-0,0599	0,0607
	POVE	2774265,6100	-5662060,1580	-959415,8988	0,0006	0,0010	0,0007	-0,7923	-0,1368	0,1562
	PPTÉ	3687624,3700	-4620818,7280	-2386880,2900	0,0022	0,0028	0,0016	-0,9941	-0,8560	0,8571
	RECF	5176588,6140	-3618162,1740	-887363,8189	0,0028	0,0020	0,0018	-0,9997	-0,2093	0,2093
	SAGA	2486243,7550	-5873685,3440	-15906,7344	0,0009	0,0011	0,0008	-0,2133	-0,0009	0,0018
	SMAR	3280748,4180	-4468909,7980	-3143408,6130	0,0013	0,0018	0,0013	-0,8941	-0,9006	0,9298
	TOPL	4174345,6120	-4690236,7450	-1118921,3320	0,0018	0,0020	0,0011	-0,8831	-0,3617	0,3667
	BRFT	4985393,5240	-3954993,4440	-428426,6732	0,0028	0,0023	0,0016	-0,9706	-0,1225	0,1217
	SANT	1769693,6080	-5044574,1840	-3468320,9030	0,0004	0,0008	0,0007	-0,6668	-0,3071	0,4100
	CRO1	2607771,2480	-5488076,6740	1932767,8250	0,0005	0,0009	0,0006	-0,6406	0,2146	-0,2737
	CONZ	1492007,7200	-4887910,7380	-3803639,8870	0,0003	0,0009	0,0008	-0,8187	-0,3654	0,4290

APÊNDICE A – Continuação

Data	EST	X	Y	Z	D.Padrão_X(m)	D.Padrão_Y(m)	D.Padrão_Z(m)	Corr_X_Y	Corr_X_Z	Corr_Y_Z
6 de janeiro de 2010	BELE	4228139,0180	-4772752,1230	-155761,2580	0,0031	0,0035	0,0010	-0,9694	-0,1029	0,1033
	BOMJ	4510195,8140	-4268322,3740	-1453035,1830	0,0018	0,0017	0,0013	-0,9565	-0,3613	0,3605
	BRAZ	4115014,0690	-4550641,5950	-1741443,9110	0,0008	0,0009	0,0009	-0,9561	-0,1563	0,1570
	CHPI	4164613,8850	-4162456,9220	-2445028,7620	0,0018	0,0018	0,0011	-0,9221	-0,8531	0,8531
	CUIB	3430711,3870	-5099641,6140	-1699432,8290	0,0018	0,0026	0,0010	-0,9977	-0,9066	0,9074
	POVE	2774265,6070	-5662060,1690	-959415,8870	0,0005	0,0009	0,0006	-0,8356	-0,1431	0,1587
	PPTE	3687624,3710	-4620818,7350	-2386880,2740	0,0015	0,0018	0,0011	-0,8777	-0,7596	0,7805
	RECF	5176588,6070	-3618162,1790	-887363,8056	0,0009	0,0007	0,0024	-0,7326	0,2281	-0,2078
	SAGA	2486243,7540	-5873685,3600	-15906,7201	0,0009	0,0021	0,0015	-0,9519	-0,0023	0,0023
	SMAR	3280748,4170	-4468909,8020	-3143408,6010	0,0007	0,0007	0,0007	0,0193	0,0136	-0,0186
	TOPL	4174345,5980	-4690236,7400	-1118921,3190	0,0018	0,0020	0,0013	-0,9927	-0,2921	0,2923
	BRFT	4985393,5240	-3954993,4520	-428426,6596	0,0022	0,0018	0,0022	-0,8928	-0,0323	0,0315
	SANT	1769693,6330	-5044574,1920	-3468320,8940	0,0014	0,0018	0,0017	-0,2155	-0,1128	0,2463
	CRO1	2607771,2520	-5488076,6660	1932767,8360	0,0010	0,0017	0,0008	-0,7855	0,6421	-0,7395
	CONZ	1492007,7560	-4887910,7420	-3803639,8670	0,0006	0,0009	0,0010	-0,3169	0,2129	-0,4426

APÊNDICE A – Continuação

Data	EST	X	Y	Z	D.Padrão_X(m)	D.Padrão_Y(m)	D.Padrão_Z(m)	Corr_X_Y	Corr_X_Z	Corr_Y_Z
5 de janeiro de 2011	BELE	4228139,0140	-4772752,1230	-155761,2470	0,0013	0,0015	0,0014	-0,9724	-0,0160	0,0160
	BOMJ	4510195,8210	-4268322,3800	-1453035,1720	0,0008	0,0008	0,0014	-0,8134	0,1276	-0,1263
	BRAZ	4115014,0680	-4550641,5990	-1741443,8990	0,0017	0,0018	0,0008	-0,8560	-0,7279	0,7385
	CHPI	4164613,8870	-4162456,9270	-2445028,7530	0,0013	0,0013	0,0011	-0,8680	-0,5708	0,5707
	CUIB	3430711,3930	-5099641,6230	-1699432,8210	0,0006	0,0008	0,0007	-0,9423	-0,2277	0,2327
	POVE	2774265,6080	-5662060,1730	-959415,8770	0,0014	0,0027	0,0008	-0,9028	-0,5155	0,5477
	PPTÉ	3687624,3730	-4620818,7440	-2386880,2700	0,0007	0,0008	0,0005	-0,7795	-0,7540	0,7920
	RECF	5176588,6110	-3618162,1850	-887363,7960	0,0017	0,0013	0,0022	-0,8544	0,0116	-0,0110
	SAGA	2486243,7490	-5873685,3530	-15906,7080	0,0004	0,0010	0,0005	-0,9666	-0,0036	0,0036
	SMAR	3280748,4150	-4468909,8130	-3143408,5930	0,0018	0,0024	0,0017	-0,8922	-0,9068	0,9367
	TOPL	4174345,6050	-4690236,7500	-1118921,3060	0,0014	0,0016	0,0013	-0,9694	-0,1931	0,1937
	BRFT	4985393,5250	-3954993,4550	-428426,6480	0,0024	0,0021	0,0025	-0,7064	-0,0219	0,0204
	SANT	1769693,3450	-5044574,2080	-3468321,0060	0,0014	0,0014	0,0015	0,0477	0,0584	-0,1767
	CRO1	2607771,2670	-5488076,6610	1932767,8530	0,0020	0,0024	0,0012	-0,2473	0,3420	-0,5893
	CONZ	1492004,5850	-4887911,2500	-3803640,3620	0,0007	0,0013	0,0014	-0,5013	0,0379	-0,0623

APÊNDICE A –Continuação

Data	EST	X	Y	Z	D.Padrão_X(m)	D.Padrão_Y(m)	D.Padrão_Z(m)	Corr_X_Y	Corr_X_Z	Corr_Y_Z
4 de janeiro de 2012	BELE	4228139,0040	-4772752,0940	-155761,2140	0,0007	0,0008	0,0005	-0,9290	-0,0366	0,0369
	BOMJ	4510195,8120	-4268322,3610	-1453035,1380	0,0016	-0,8974	0,0006	-0,8974	-0,7402	0,7360
	BRAZ	4115014,0640	-4550641,5770	-1741443,8620	0,0009	0,0010	0,0013	-0,5243	0,0644	-0,0676
	CHPI	4164613,8860	-4162456,9090	-2445028,7150	0,0035	0,0035	0,0027	-0,9014	-0,5933	0,5933
	CUIB	3430711,3910	-5099641,5990	-1699432,7820	0,0007	0,0011	0,0013	-0,9127	0,0270	-0,0279
	POVE	2774265,6040	-5662060,1470	-959415,8420	0,0018	0,0036	0,0009	-0,9799	-0,6876	0,6962
	PPTE	3687624,3710	-4620818,7240	-2386880,2290	0,0018	0,0022	0,0013	-0,9661	-0,8038	0,8099
	RECF	5176588,6110	-3618162,1850	-887363,7960	***	***	***	***	***	***
	SAGA	2486243,7450	-5873685,3220	-15906,6780	0,0019	0,0043	0,0005	-0,9291	-0,0233	0,0245
	SMAR	3280748,4160	-4468909,7950	-3143408,5540	0,0010	0,0014	0,0010	-0,9369	-0,9485	0,9666
	TOPL	4174345,5940	-4690236,7240	-1118921,2710	0,0016	0,0017	0,0009	-0,9062	-0,4010	0,4053
	BRFT	4985393,5100	-3954993,4310	-428426,6160	0,0021	0,0018	0,0025	-0,7025	-0,0051	0,0048
	SANT	1769693,3560	-5044574,2000	-3468320,9740	0,0015	0,0040	0,0032	-0,8954	-0,6182	0,6726
	CRO1	2607771,2800	-5488076,6290	1932767,8800	0,0019	0,0024	0,0010	-0,2668	0,4249	-0,7208
	CONZ	1492004,5460	-4887911,2530	-3803640,2980	0,0009	0,0027	0,0024	-0,8496	-0,4361	0,4974

APÊNDICE B – Coordenadas do processamento PPP-IBGE *online* em SIRGAS2000.

Data	EST	X	Y	Z	D.Padrão_X(m)	D.Padrão_Y(m)	D.Padrão_Z(m)	Corr_X_Y	Corr_X_Z	Corr_Y_Z
9 de janeiro de 2008 - Época 2008.0	BELE	4228139,0435	-4772752,1351	-155761,2763	0,0046	0,0049	0,0010	-0,5970	-0,1236	0,1298
	BOMJ	4510195,8177	-4268322,3609	-1453035,2012	0,0068	0,0066	0,0025	-0,6199	-0,7128	0,6980
	BRAZ	4115014,0797	-4550641,5949	-1741443,9291	0,0063	0,0063	0,0027	-0,5730	-0,7273	0,7592
	CHPI	4164613,8979	-4162456,9074	-2445028,7960	0,0074	0,0074	0,0043	-0,5483	-0,7594	0,7592
	CUIB	3430711,3936	-5099641,6093	-1699432,8443	0,0041	0,0051	0,0019	-0,5468	-0,6600	0,7867
	POVE	2774265,6091	-5662060,1546	-959415,9056	0,0038	0,0055	0,0013	-0,5027	-0,4577	0,6384
	PPTE	3687624,3741	-4620818,7236	-2386880,2933	0,0047	0,0054	0,0028	-0,6388	-0,7985	0,8657
	RECF	5176588,6149	-3618162,1761	-887363,8283	0,0077	0,0061	0,0016	-0,6412	-0,7410	0,6535
	SAGA	2486243,7620	-5873685,3498	-15906,7400	0,0039	0,0066	0,0010	-0,5644	-0,0121	0,0169
	SMAR	3280748,4182	-4468909,7865	-3143408,6122	0,0048	0,0055	0,0036	-0,3830	-0,7063	0,8534
	TOPL	4174345,6224	-4690236,7512	-1118921,3416	0,0045	0,0048	0,0014	-0,5874	-0,6184	0,6488
	BRFT	4985393,5460	-3954993,4310	-428426,6530	0,0066	0,0057	0,0012	-0,6444	-0,3982	0,3670
	SANT	1769693,5943	-5044574,1725	-3468320,8846	0,0055	0,0081	0,0057	-0,3240	-0,4639	0,8911
	CRO1	2607771,2607	-5488076,6722	1932767,8376	0,0039	0,0062	0,0023	-0,5668	0,6492	-0,8740
	CONZ	1492007,7018	-4887910,7395	-3803639,8820	0,0063	0,0087	0,0068	-0,2194	-0,3835	0,9119

APÊNDICE B –Continuação

Data	EST	X	Y	Z	D.Padrão_X(m)	D.Padrão_Y(m)	D.Padrão_Z(m)	Corr_X_Y	Corr_X_Z	Corr_Y_Z
7 de janeiro de 2009 – Época 2009.0	BELE	4228139,0327	-4772752,1182	-155761,2712	0,0046	0,0049	0,0010	-0,5970	-0,1236	0,1298
	BOMJ	4510195,8171	-4268322,3603	-1453035,1903	0,0054	0,0052	0,0019	-0,6749	-0,7728	0,7591
	BRAZ	4115014,0763	-4550641,5867	-1741443,9220	0,0045	0,0047	0,0019	-0,5730	-0,7273	0,7592
	CHPI	4164613,8841	-4162456,9117	-2445028,7732	0,0045	0,0045	0,0025	-0,5476	-0,7926	0,7924
	CUIB	3430711,3914	-5099641,6113	-1699432,8428	0,0032	0,0042	0,0017	-0,6791	-0,6627	0,7498
	POVE	2774265,6091	-5662060,1581	-959415,8962	0,0038	0,0055	0,0013	-0,5027	-0,4577	0,6384
	PPTE	3687624,3686	-4620818,7191	-2386880,2839	0,0033	0,0038	0,0021	-0,6782	-0,7556	0,8120
	RECF	5176588,6211	-3618162,1770	-887363,8182	0,0077	0,0061	0,0016	-0,6412	-0,7410	0,6535
	SAGA	2486243,7586	-5873685,3458	-15906,7323	0,0036	0,0056	0,0010	-0,4741	-0,0095	0,0143
	SMAR	3280748,4205	-4468909,7896	-3143408,6055	0,0035	0,0039	0,0026	-0,3449	-0,6575	0,8039
	TOPL	4174345,6105	-4690236,7447	-1118921,3284	0,0051	0,0055	0,0016	-0,6789	-0,6882	0,7143
	BRFT	4985393,5460	-3954993,4250	-428426,6440	0,0041	0,0035	0,0011	-0,7139	-0,2936	0,2750
	SANT	1769693,6139	-5044574,1657	-3468320,8662	0,0042	0,0057	0,0039	-0,2401	-0,4370	0,9268
	CRO1	2607771,2621	-5488076,6648	1932767,8566	0,0052	0,0079	0,0029	-0,5452	0,6655	-0,9104
	CONZ	1492007,7252	-4887910,7371	-3803639,8592	0,0032	0,0047	0,0037	-0,2672	-0,4160	0,9253

APÊNDICE B –Continuação

Data	EST	X	Y	Z	D.Padrão_X(m)	D.Padrão_Y(m)	D.Padrão_Z(m)	Corr_X_Y	Corr_X_Z	Corr_Y_Z
6 de janeiro de 2010 – Época 2010.0	BELE	4228139,0226	-4772752,1208	-155761,2588	0,0070	0,0075	0,0020	-0,5253	-0,0886	0,0938
	BOMJ	4510195,8103	-4268322,3746	-1453035,1842	0,0054	0,0052	0,0019	-0,6749	-0,7728	0,7591
	BRAZ	4115014,0627	-4550641,5894	-1741443,9103	0,0045	0,0047	0,0019	-0,5730	-0,7273	0,7592
	CHPI	4164613,8845	-4162456,9262	-2445028,7610	0,0045	0,0045	0,0025	-0,5476	-0,7926	0,7924
	CUIB	3430711,3937	-5099641,6147	-1699432,8280	0,0032	0,0042	0,0017	-0,6791	-0,6627	0,7498
	POVE	2774265,6137	-5662060,1654	-959415,8841	0,0041	0,0064	0,0014	-0,5950	-0,5364	0,7006
	PPTÉ	3687624,3679	-4620818,7389	-2386880,2734	0,0047	0,0054	0,0028	-0,6388	-0,7985	0,8657
	RECF	5176588,6125	-3618162,1785	-887363,8083	0,0067	0,0052	0,0015	-0,7281	-0,7130	0,6485
	SAGA	2486243,7549	-5873685,3528	-15906,7201	0,0036	0,0056	0,0010	-0,4741	-0,0095	0,0143
	SMAR	3280748,4143	-4468909,7926	-3143408,5977	0,0030	0,0037	0,0026	-0,6360	-0,7639	0,8533
	TOPL	4174345,6035	-4690236,7391	-1118921,3205	0,0036	0,0039	0,0013	-0,7144	-0,5828	0,6025
	BRFT	4985393,5430	-3954993,4370	-428426,6320	0,0041	0,0035	0,0011	-0,7139	-0,2936	0,2750
	SANT	1769693,6398	-5044574,1691	-3468320,8573	0,0042	0,0057	0,0039	-0,2401	-0,4370	0,9268
	CRO1	2607771,2674	-5488076,6486	1932767,8624	0,0052	0,0079	0,0029	-0,5452	0,6655	-0,9104
	CONZ	1492007,7669	-4887910,7355	-3803639,8395	0,0044	0,0071	0,0056	-0,3360	-0,4376	0,8867

APÊNDICE B –Continuação

Data	EST	X	Y	Z	D.Padrão_X(m)	D.Padrão_Y(m)	D.Padrão_Z(m)	Corr_X_Y	Corr_X_Z	Corr_Y_Z
5 de janeiro de 2011 – Época 2011.0	BELE	4228139,0171	-4772752,1262	-155761,2450	0,0036	0,0040	0,0010	-0,7215	-0,1068	0,1104
	BOMJ	4510195,8108	-4268322,3756	-1453035,1687	0,0060	0,0058	0,0021	-0,7412	-0,8166	0,8050
	BRAZ	4115014,0630	-4550641,6008	-1741443,8984	0,0045	0,0047	0,0019	-0,5730	-0,7273	0,7592
	CHPI	4164613,8891	-4162456,9349	-2445028,7515	0,0045	0,0045	0,0025	-0,5476	-0,7926	0,7924
	CUIB	3430711,3947	-5099641,6296	-1699432,8189	0,0027	0,0034	0,0014	-0,5477	-0,5514	0,6571
	POVE	2774265,6007	-5662060,1673	-959415,8717	0,0041	0,0064	0,0014	-0,5950	-0,5364	0,7006
	PPTE	3687624,3701	-4620818,7508	-2386880,2671	0,0052	0,0061	0,0032	-0,7102	-0,8382	0,8943
	RECF	5176588,6113	-3618162,1833	-887363,7962	0,0052	0,0042	0,0013	-0,5696	-0,5931	0,5098
	SAGA	2486243,7492	-5873685,3553	-15906,7062	0,0034	0,0048	0,0010	-0,3576	-0,0069	0,0117
	SMAR	3280748,4137	-4468909,8122	-3143408,5906	0,0026	0,0031	0,0022	-0,4920	-0,6715	0,7842
	TOPL	4174345,6087	-4690236,7587	-1118921,3051	0,0030	0,0032	0,0012	-0,5878	-0,4743	0,4976
	BRFT	4985393,5370	-3954993,4460	-428426,6210	0,0034	0,0029	0,0010	-0,5884	-0,2279	0,2074
	SANT	1769693,4942	-5044574,1809	-3468320,9141	0,0042	0,0057	0,0039	-0,2401	-0,4370	0,9268
	CRO1	2607771,2854	-5488076,6555	1932767,8846	0,0052	0,0079	0,0029	-0,5452	0,6655	-0,9104
	CONZ	1492004,5885	-4887911,2452	-3803640,3327	0,0052	0,0071	0,0056	-0,2116	-0,3660	0,8800

APÊNDICE B –Continuação

Data	EST	X	Y	Z	D.Padrão_X(m)	D.Padrão_Y(m)	D.Padrão_Z(m)	Corr_X_Y	Corr_X_Z	Corr_Y_Z
4 de janeiro de 2012 – Época 2012.0	BELE	4228139,0058	-4772752,0972	-155761,2120	0,0036	0,0040	0,0010	-0,7215	-0,1068	0,1104
	BOMJ	4510195,8047	-4268322,3569	-1453035,1330	0,0054	0,0052	0,0019	-0,6749	-0,7728	0,7591
	BRAZ	4115014,0611	-4550641,5744	-1741443,8621	0,0030	0,0032	0,0015	-0,5739	-0,6104	0,6371
	CHPI	4164613,8898	-4162456,9093	-2445028,7158	0,0045	0,0045	0,0025	-0,5476	-0,7926	0,7924
	CUIB	3430711,3914	-5099641,5953	-1699432,7785	0,0027	0,0034	0,0014	-0,5477	-0,5514	0,6571
	POVE	2774265,5991	-5662060,1482	-959415,8398	0,0041	0,0064	0,0014	-0,5950	-0,5364	0,7006
	PPTE	3687624,3677	-4620818,7258	-2386880,2260	0,0056	0,0063	0,0032	-0,5400	-0,7787	0,8632
	RECF	5176588,6113	-3618162,1833	-887363,7962	*	*	*	*	*	*
	SAGA	2486243,7471	-5873685,3345	-15906,6785	0,0036	0,0056	0,0010	-0,4741	-0,0095	0,0143
	SMAR	3280748,4127	-4468909,7904	-3143408,5519	0,0026	0,0031	0,0022	-0,4920	-0,6715	0,7842
	TOPL	4174345,5917	-4690236,7213	-1118921,2684	0,0030	0,0032	0,0012	-0,5878	-0,4743	0,4976
	BRFT	4985393,5010	-3954993,4290	-428426,6150	0,0041	0,0035	0,0011	-0,7139	-0,2936	0,2750
	SANT	1769693,3582	-5044574,1964	-3468320,9697	0,0033	0,0049	0,0034	-0,3224	-0,4764	0,9168
	CRO1	2607771,2888	-5488076,6318	1932767,8814	0,0052	0,0079	0,0029	-0,5452	0,6655	-0,9104
	CONZ	1492004,5445	-4887911,2588	-3803640,2992	0,0043	0,0063	0,0051	-0,2725	-0,3891	0,8591

APÊNDICE C – Discrepâncias entre coordenadas GNSS SIRGAS-CON e PPP *online*.

(Continua)

Est	Ano	PROCESSAMENTO SIRGAS-CON			PROCESSAMENTO PPP-IBGE <i>online</i>			Discrep.	Discrep.	Discrep.
		X	Y	Z	X	Y	Z	3D	Horiz.	Dh
BELE	2008	4228139,028	-4772752,121	-155761,283	4228139,0435	-4772752,1351	-155761,2763	0,022	0,007	-0,021
BELE	2009	4228139,028	-4772752,123	-155761,272	4228139,0327	-4772752,1182	-155761,2712	0,007	0,006	0,001
BELE	2010	4228139,018	-4772752,123	-155761,258	4228139,0226	-4772752,1208	-155761,2588	0,005	0,005	-0,001
BELE	2011	4228139,014	-4772752,123	-155761,247	4228139,0171	-4772752,1262	-155761,2450	0,005	0,002	-0,004
BELE	2012	4228139,004	-4772752,094	-155761,214	4228139,0058	-4772752,0972	-155761,2120	0,004	0,002	-0,004
BOMJ	2008	4510195,822	-4268322,363	-1453035,208	4510195,8177	-4268322,3609	-1453035,2012	0,008	0,005	0,006
BOMJ	2009	4510195,817	-4268322,366	-1453035,195	4510195,8171	-4268322,3603	-1453035,1903	0,007	0,006	0,004
BOMJ	2010	4510195,814	-4268322,374	-1453035,183	4510195,8103	-4268322,3746	-1453035,1842	0,004	0,003	0,002
BOMJ	2011	4510195,821	-4268322,380	-1453035,172	4510195,8108	-4268322,3756	-1453035,1687	0,012	0,004	0,010
BOMJ	2012	4510195,812	-4268322,361	-1453035,138	4510195,8047	-4268322,3569	-1453035,1330	0,010	0,004	0,010
BRAZ	2008	4115014,077	-4550641,593	-1741443,936	4115014,0797	-4550641,5949	-1741443,9291	0,008	0,007	-0,001
BRAZ	2009	4115014,077	-4550641,597	-1741443,928	4115014,0763	-4550641,5867	-1741443,9220	0,012	0,008	0,009
BRAZ	2010	4115014,069	-4550641,595	-1741443,911	4115014,0627	-4550641,5894	-1741443,9103	0,008	0,001	0,008
BRAZ	2011	4115014,068	-4550641,599	-1741443,899	4115014,0630	-4550641,6008	-1741443,8984	0,006	0,005	0,002
BRAZ	2012	4115014,064	-4550641,577	-1741443,862	4115014,0611	-4550641,5744	-1741443,8621	0,004	0,001	0,004
BRFT	2008	4985393,528	-3954993,443	-428426,686	4985393,546	-3954993,431	-428426,653	0,039	0,000	0,000
BRFT	2009	4985393,524	-3954993,444	-428426,673	4985393,546	-3954993,425	-428426,644	0,041	0,000	0,000
BRFT	2010	4985393,524	-3954993,452	-428426,660	4985393,543	-3954993,437	-428426,632	0,037	0,000	0,000
BRFT	2011	4985393,525	-3954993,455	-428426,648	4985393,537	-3954993,446	-428426,621	0,030	0,000	0,000
BRFT	2012	4985393,510	-3954993,431	-428426,616	4985393,501	-3954993,429	-428426,615	0,009	0,000	0,000
CHPI	2008	4164613,884	-4162456,906	-2445028,790	4164613,8979	-4162456,9074	-2445028,7960	0,015	0,009	-0,012

(Continua)

Est	Ano	PROCESSAMENTO SIRGAS-CON			PROCESSAMENTO PPP-IBGE <i>online</i>			Discrep.	Discrep.	Discrep.
		X	Y	Z	X	Y	Z	3D	Horiz.	Dh.
CHPI	2009	4164613,887	-4162456,915	-2445028,779	4164613,8841	-4162456,9117	-2445028,7732	0,007	0,004	0,006
CHPI	2010	4164613,885	-4162456,922	-2445028,762	4164613,8845	-4162456,9262	-2445028,7610	0,004	0,004	-0,002
CHPI	2011	4164613,887	-4162456,927	-2445028,753	4164613,8891	-4162456,9349	-2445028,7515	0,008	0,006	-0,006
CHPI	2012	4164613,886	-4162456,909	-2445028,715	4164613,8898	-4162456,9093	-2445028,7158	0,004	0,003	-0,003
CONZ	2008	1492007,684	-4887910,737	-3803639,904	1492007,7018	-4887910,7395	-3803639,8820	0,028	0,027	0,007
CONZ	2009	1492007,720	-4887910,738	-3803639,887	1492007,7252	-4887910,7371	-3803639,8592	0,028	0,023	0,016
CONZ	2010	1492007,756	-4887910,742	-3803639,867	1492007,7669	-4887910,7355	-3803639,8395	0,030	0,024	0,019
CONZ	2011	1492004,585	-4887911,250	-3803640,362	1492004,5885	-4887911,2452	-3803640,3327	0,029	0,022	0,020
CONZ	2012	1492004,546	-4887911,253	-3803640,298	1492004,5445	-4887911,2588	-3803640,2992	0,006	0,004	-0,005
CRO1	2008	2607771,238	-5488076,681	1932767,811	2607771,2607	-5488076,6722	1932767,8376	0,036	0,035	-0,010
CRO1	2009	2607771,248	-5488076,674	1932767,825	2607771,2621	-5488076,6648	1932767,8566	0,036	0,035	-0,008
CRO1	2010	2607771,252	-5488076,666	1932767,836	2607771,2674	-5488076,6486	1932767,8624	0,035	0,035	0,001
CRO1	2011	2607771,267	-5488076,661	1932767,853	2607771,2854	-5488076,6555	1932767,8846	0,037	0,035	-0,012
CRO1	2012	2607771,280	-5488076,629	1932767,880	2607771,2888	-5488076,6318	1932767,8814	0,010	0,007	-0,006
CUIB	2008	3430711,389	-5099641,606	-1699432,850	3430711,3936	-5099641,6093	-1699432,8443	0,008	0,007	-0,004
CUIB	2009	3430711,390	-5099641,608	-1699432,842	3430711,3914	-5099641,6113	-1699432,8428	0,004	0,000	-0,004
CUIB	2010	3430711,387	-5099641,614	-1699432,829	3430711,3937	-5099641,6147	-1699432,8280	0,007	0,006	-0,004
CUIB	2011	3430711,393	-5099641,623	-1699432,821	3430711,3947	-5099641,6296	-1699432,8189	0,007	0,005	-0,006
CUIB	2012	3430711,391	-5099641,599	-1699432,782	3430711,3914	-5099641,5953	-1699432,7785	0,005	0,004	0,004
POVE	2008	2774265,611	-5662060,154	-959415,910	2774265,6091	-5662060,1546	-959415,9056	0,005	0,006	0,001
POVE	2009	2774265,610	-5662060,158	-959415,899	2774265,6091	-5662060,1581	-959415,8962	0,003	0,002	0,000
POVE	2010	2774265,607	-5662060,169	-959415,887	2774265,6137	-5662060,1654	-959415,8841	0,008	0,009	0,001
POVE	2011	2774265,608	-5662060,173	-959415,877	2774265,6007	-5662060,1673	-959415,8717	0,011	0,006	0,010
POVE	2012	2774265,604	-5662060,147	-959415,842	2774265,5991	-5662060,1482	-959415,8398	0,005	0,005	0,001
PPTE	2008	3687624,363	-4620818,720	-2386880,297	3687624,3741	-4620818,7236	-2386880,2933	0,012	0,009	-0,008
PPTE	2009	3687624,370	-4620818,728	-2386880,290	3687624,3686	-4620818,7191	-2386880,2839	0,011	0,006	0,010

(Continua)

Est	Ano	PROCESSAMENTO SIRGAS-CON			PROCESSAMENTO PPP-IBGE <i>online</i>			Discrep.	Discrep.	Discrep.
		X	Y	Z	X	Y	Z	3D	Horiz.	Dh.
PPTE	2010	3687624,371	-4620818,735	-2386880,274	3687624,3679	-4620818,7389	-2386880,2734	0,005	0,005	-0,001
PPTE	2011	3687624,373	-4620818,744	-2386880,270	3687624,3701	-4620818,7508	-2386880,2671	0,007	0,008	-0,002
PPTE	2012	3687624,371	-4620818,724	-2386880,229	3687624,3677	-4620818,7258	-2386880,2260	0,005	0,004	0,001
RECF	2008	5176588,620	-3618162,177	-887363,834	5176588,6149	-3618162,1761	-887363,8283	0,008	0,004	0,006
RECF	2009	5176588,614	-3618162,174	-887363,819	5176588,6211	-3618162,1770	-887363,8182	0,008	0,003	-0,007
RECF	2010	5176588,607	-3618162,179	-887363,806	5176588,6125	-3618162,1785	-887363,8083	0,006	0,004	-0,005
RECF	2011	5176588,611	-3618162,185	-887363,796	5176588,6113	-3618162,1833	-887363,7962	0,002	0,002	0,001
RECF	2012	***	***	***	***	***	***	***	***	***
SAGA	2008	2486243,755	-5873685,342	-15906,742	2486243,7620	-5873685,3498	-15906,7400	0,011	0,004	-0,010
SAGA	2009	2486243,755	-5873685,344	-15906,734	2486243,7586	-5873685,3458	-15906,7323	0,005	0,003	-0,003
SAGA	2010	2486243,754	-5873685,360	-15906,720	2486243,7549	-5873685,3528	-15906,7201	0,008	0,004	0,006
SAGA	2011	2486243,749	-5873685,353	-15906,708	2486243,7492	-5873685,3553	-15906,7062	0,003	0,002	-0,002
SAGA	2012	2486243,745	-5873685,322	-15906,678	2486243,7471	-5873685,3345	-15906,6785	0,012	0,003	-0,012
SANT	2008	1769693,582	-5044574,181	-3468320,917	1769693,5943	-5044574,1725	-3468320,8846	0,035	0,029	0,021
SANT	2009	1769693,608	-5044574,184	-3468320,903	1769693,6139	-5044574,1657	-3468320,8662	0,042	0,025	0,033
SANT	2010	1769693,633	-5044574,192	-3468320,894	1769693,6398	-5044574,1691	-3468320,8573	0,043	0,024	0,036
SANT	2011	1769693,345	-5044574,208	-3468321,006	1769693,4942	-5044574,1809	-3468320,9141	0,177	0,174	0,030
SANT	2012	1769693,356	-5044574,200	-3468320,974	1769693,3582	-5044574,1964	-3468320,9697	0,006	0,005	0,005
SMAR	2008	3280748,417	-4468909,790	-3143408,619	3280748,4182	-4468909,7865	-3143408,6122	0,008	0,006	0,005
SMAR	2009	3280748,418	-4468909,798	-3143408,613	3280748,4205	-4468909,7896	-3143408,6055	0,011	0,008	0,008
SMAR	2010	3280748,417	-4468909,802	-3143408,601	3280748,4143	-4468909,7926	-3143408,5977	0,010	0,004	0,010
SMAR	2011	3280748,415	-4468909,813	-3143408,593	3280748,4137	-4468909,8122	-3143408,5906	0,002	0,002	0,002
SMAR	2012	3280748,416	-4468909,795	-3143408,554	3280748,4127	-4468909,7904	-3143408,5519	0,006	0,001	0,006
TOPL	2008	4174345,607	-4690236,739	-1118921,343	4174345,6224	-4690236,7512	-1118921,3416	0,020	0,006	-0,019
TOPL	2009	4174345,612	-4690236,745	-1118921,332	4174345,6105	-4690236,7447	-1118921,3284	0,003	0,004	0,002
TOPL	2010	4174345,598	-4690236,740	-1118921,319	4174345,6035	-4690236,7391	-1118921,3205	0,006	0,005	-0,003

(Conclusão)

Est	Ano	PROCESSAMENTO SIRGAS-CON			PROCESSAMENTO PPP-IBGE <i>online</i>			Discrep.	Discrep.	Discrep.
		X	Y	Z	X	Y	Z	3D	Horiz.	Dh.
TOPL	2011	4174345,605	-4690236,750	-1118921,306	4174345,6087	-4690236,7587	-1118921,3051	0,009	0,004	-0,009
TOPL	2012	4174345,594	-4690236,724	-1118921,271	4174345,5917	-4690236,7213	-1118921,2684	0,005	0,001	0,004

APÊNDICE D – Coordenadas VLBI processadas no software VieVs e obtidas pelo IVS.**D.1** - Coordenadas processadas pelo software VieVs.

Ano	Seção	Data	Arquivo	Estação	Coordenadas VieVS			Linha de Base	Diferença
					X	Y	Z	dist. Incl.	
2008	R1310	07_JAN_08	08JAN07XA_N004	FORTALEZA	4985370,056	-3955020,377	-428472,134	4946182,811	***
	R1310	07_JAN_08	08JAN07XA_N004	TIGOCONC	1492054,363	-4887960,983	-3803541,274		
	R4310	10_JAN_08	08JAN10XE_N004	FORTALEZA	4985370,713	-3955020,812	-428472,381	4946182,583	-0,228
	R4310	10_JAN_08	08JAN10XE_N004	TIGOCONC	1492055,333	-4887961,745	-3803541,420		
2009	R1361	12_JAN_09	09JAN12XA_N004	FORTALEZA	4985369,507	-3955019,875	-428472,136	4946182,319	-0,264
	R1361	12_JAN_09	09JAN12XA_N004	TIGOCONC	1492054,593	-4887961,151	-3803541,175		
	RD0901	13_JAN_09	09JAN13XA_N004	FORTALEZA	4985369,952	-3955020,332	-428472,173	4946182,661	0,343
	RD0901	13_JAN_09	09JAN13XA_N004	TIGOCONC	1492054,452	-4887961,039	-3803541,265		
	R1382	08_JUN_09	09JUN08XA_N004	FORTALEZA	4985369,978	-3955020,325	-428472,134	4946182,712	0,051
	R1382	08_JUN_09	09JUN08XA_N004	TIGOCONC	1492054,423	-4887961,033	-3803541,243		
	R4398	01_OCT_09	09OCT01XE_N004	FORTALEZA	4985370,045	-3955020,416	-428472,132	4946182,773	0,061
	R4398	01_OCT_09	09OCT01XE_N004	TIGOCONC	1492054,371	-4887960,991	-3803541,244		
2011	R1486	06_JUN_11	11JUN06XA_N004	FORTALEZA	4985370,194	-3955020,478	-428472,151	4946185,623	2,850
	R1486	06_JUN_11	11JUN06XA_N004	TIGOCONC	1492051,089	-4887961,406	-3803541,791		
2012	R1515	09_JAN_12	12JAN09XA_N004	Não foi possível processar no VieVs por falta de atualização do arquivo EOP C04_08_1962_now.txt					
	R1515	09_JAN_12	12JAN09XA_N004						
2012	R1567	07_JAN_13	13JAN07XA_N004	Não foi possível processar no VieVs por falta de atualização do arquivo EOP C04_08_1962_now.txt					
	R1567	07_JAN_13	13JAN07XA_N004						

D.2 - Coordenadas processadas pelo IVS.

Ano	Seção	Data	Arquivo	Estação	Coordenadas IVS			Linha Base dist. Incl.	Diferença
					X	Y	Z		
2008	R1310	07_JAN_08	08JAN07XA_N004	FORTALEZA	4985370,033	-3955020,380	-428472,160	4946182,791	***
	R1310	07_JAN_08	08JAN07XA_N004	TIGOCONC	1492054,368	-4887961,006	-3803541,294		
	R4310	10_JAN_08	08JAN10XE_N004	FORTALEZA	4985370,047	-3955020,392	-428472,1586	4946182,795	0,004
	R4310	10_JAN_08	08JAN10XE_N004	TIGOCONC	1492054,355	-4887961,000	-3803541,275		
2009	R1361	12_JAN_09	09JAN12XA_N004	FORTALEZA	4985370,026	-3955020,373	-428472,1512	4946182,737	-0,058
	R1361	12_JAN_09	09JAN12XA_N004	TIGOCONC	1492054,391	-4887960,997	-3803541,238		
	RD0901	13_JAN_09	09JAN13XA_N004	FORTALEZA	4985370,032	-3955020,371	-428472,1274	4946182,797	0,060
	RD0901	13_JAN_09	09JAN13XA_N004	TIGOCONC	1492054,392	-4887961,015	-3803541,29		
	R1382	08_JUN_09	09JUN08XA_N004	FORTALEZA	4985369,981	-3955020,354	-428472,1452	4946182,703	-0,094
	R1382	08_JUN_09	09JUN08XA_N004	TIGOCONC	1492054,436	-4887961,035	-3803541,258		
	R4398	01_OCT_09	09OCT01XE_N004	FORTALEZA	4985370,038	-3955020,405	-428472,1414	4946182,776	0,074
	R4398	01_OCT_09	09OCT01XE_N004	TIGOCONC	1492054,384	-4887961,001	-3803541,273		
2011	R1486	06_JUN_11	11JUN06XA_N004	FORTALEZA	4985370,643	-3955019,988	-428471,798	4946185,364	2,588
	R1486	06_JUN_11	11JUN06XA_N004	TIGOCONC	1492052,232	-4887961,320	-3803541,664		
2012	R1515	09_JAN_12	12JAN09XA_N004	FORTALEZA	4985370,85	-3955019,879	-428471,8043	4946185,431	0,067
	R1515	09_JAN_12	12JAN09XA_N004	TIGOCONC	1492052,35	-4887961,244	-3803541,668		
2012	R1567	07_JAN_13	13JAN07XA_N004	FORTALEZA	4985370,868	-3955020,176	-428471,6769	4946185,437	0,006
	R1567	07_JAN_13	13JAN07XA_N004	TIGOCONC	1492052,426	-4887961,288	-3803541,68		

APÊNDICE E – Relatório do processamento dos arquivos SIRGAS-CON pelo AstGeoTop para modelagem da placa SOAM.

AstGeoTop Módulo: ModelTectônica © Versão 2013.07.07

RELATÓRIO DA MODELAGEM

ORDEM CRONOLÓGICA DOS ARQUIVOS

NOME_ARQUIVO	DATA DO PROCESSAMENTO	Nº Dias
CON2008.txt	09/01/2008	0
CON2009.txt	07/01/2009	364
CON2010.txt	06/01/2010	728
CON2011.txt	05/01/2011	1092

VELOCIDADES OBSERVADAS

ARQUIVOS: CON2008.txt - CON2009.txt Intervalo de dias =364

Vetor de velocidade e vetor de rotação de Euler determinados por ajustamento sequencial

- Velocidades Observadas -				- Componentes Estimados do Vetor de Euler -			Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide -			Quadrática do ajustamento		
A.Estatística												
Est	Vx	Vy	Vz	Ex (rad/M.anos)	Ey (rad/M.anos)	Ez (rad/M.anos)	w (°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTFV	sig2_pos	Qui2
prob.95%												
BELE	0,00000	-0,00201	0,01044	0,0120541569	-0,0160821067	-0,0006971466	1,1522334639	-2°00'00,0"	-0°55'39,3"	0,066	não def.	não def.
BOMJ	-0,00502	-0,00301	0,01304	-0,0025539807	0,0001149103	-0,0003531134	0,1478709722	-7°54'58,6"	3°05'47,9"	3,759	1,253	OK
BRAZ	0,00000	-0,00401	0,00803	-0,0019482587	-0,0003080931	-0,0004407256	0,1158008864	-12°40'38,5"	-2°59'05,1"	5,487	0,914	OK
CHPI	0,00301	-0,00903	0,01104	-0,0015184826	-0,0009511375	-0,0005613273	0,1075809747	-17°30'17,4"	-2°34'55,2"	7,887	0,876	OK
CUIB	0,00100	-0,00201	0,00803	-0,0012805148	-0,0010929718	-0,0005197443	0,1009518402	-17°15'55,2"	-2°26'06,2"	13,017	1,085	OK
POVE	-0,00100	-0,00401	0,01104	-0,0013586123	-0,0010149108	-0,0004812981	0,1010019029	-15°56'45,3"	-2°30'00,0"	13,173	0,878	OK
PPTE	0,00702	-0,00803	0,00702	-0,0011116157	-0,0012990534	-0,0005242645	0,1024630919	-17°09'19,6"	-2°16'43,0"	17,407	0,967	OK
RECF	-0,00602	0,00301	0,01525	-0,0011334740	-0,0013227320	-0,0004911431	0,1036975203	-15°50'47,9"	-2°16'45,5"	21,113	1,005	OK
SAGA	0,00000	-0,00201	0,00793	-0,0013772580	-0,0010065814	-0,0003286392	0,0995372881	-10°58'34,2"	-2°30'37,6"	23,927	0,997	OK
SMAR	0,00100	-0,00803	0,00602	-0,0014590963	-0,0008812696	-0,0003125227	0,0992932496	-10°27'28,3"	-2°35'53,7"	25,663	0,950	OK
TOPL	0,00502	-0,00602	0,01104	-0,0014930099	-0,0008970712	-0,0002958419	0,1012262173	-9°42'12,3"	-2°36'02,0"	29,121	0,971	OK
BRFT	-0,00401	-0,00100	0,01244	-0,0014349741	-0,0009912829	-0,0003339264	0,1017431613	-10°54'36,6"	-2°32'13,4"	30,117	0,913	OK

VELOCIDADES OBSERVADAS

ARQUIVOS: CON2008.txt - CON2010.txt Intervalo de dias =728

Vetor de velocidade e vetor de rotação de Euler determinados por ajustamento sequencial

- Velocidades Observadas -				- Componentes Estimados do Vetor de Euler -			Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide -			Quadrática do ajustamento		
A.Estatística												
Est	Vx	Vy	Vz	Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTFV	sig2_pos	Qui2
prob.95%												
BELE	-0,00502	-0,00100	0,01234	-0,0053060829	0,0030866428	-0,0005527492	0,3531363969	-5°10`47,4"	2°36`53,0"	0,219	não def.	não def.
BOMJ	-0,00401	-0,00552	0,01254	-0,0023570234	-0,0003232835	-0,0007128100	0,1422986490	-16°47`06,3"	-3°00`19,0"	0,688	0,229	OK
BRAZ	-0,00401	-0,00100	0,01254	-0,0019644789	-0,0006690438	-0,0007545098	0,1265196965	-20°06`13,1"	-2°48`48,0"	1,582	0,264	OK
CHPI	0,00050	-0,00803	0,01405	-0,0014745948	-0,0013993452	-0,0008888344	0,1271220638	-23°45`28,6"	-2°22`56,5"	3,844	0,427	OK
CUIB	-0,00100	-0,00401	0,01054	-0,0012697850	-0,0015443578	-0,0008870920	0,1253236598	-24°04`09,8"	-2°15`32,2"	5,527	0,461	OK
FOVE	-0,00201	-0,00753	0,01144	-0,0012428647	-0,0015816283	-0,0009145372	0,1266047333	-24°35`38,8"	-2°14`12,6"	6,364	0,424	OK
PPTE	0,00401	-0,00753	0,01154	-0,0010623703	-0,0018157019	-0,0009460163	0,1321577914	-24°21`27,7"	-2°06`00,7"	8,599	0,478	OK
RECF	-0,00652	-0,00100	0,01430	-0,0011240667	-0,0017452636	-0,0009037053	0,1297234437	-23°39`57,3"	-2°08`34,8"	9,873	0,470	OK
SAGA	-0,00050	-0,00903	0,01114	-0,0014505937	-0,0013626173	-0,0007232327	0,1213266162	-20°05`41,0"	-2°23`14,8"	12,670	0,528	OK
SMAR	0,00000	-0,00602	0,00903	-0,0014404871	-0,0013442691	-0,0007239636	0,1202690902	-20°18`00,8"	-2°23`26,6"	13,150	0,487	OK
TOPL	-0,00452	-0,00050	0,01204	-0,0014275320	-0,0013208614	-0,0007162683	0,1187497366	-20°20`35,4"	-2°23`42,0"	14,991	0,500	OK
BRFT	-0,00201	-0,00452	0,01304	-0,0014197554	-0,0013400938	-0,0007208230	0,1192405217	-20°23`24,7"	-2°23`06,2"	15,064	0,456	OK

VELOCIDADES OBSERVADAS

ARQUIVOS: CON2008.txt - CON2011.txt Intervalo de dias =1092

Vetor de velocidade e vetor de rotação de Euler determinados por ajustamento sequencial

- Velocidades Observadas -			- Componentes Estimados do Vetor de Euler -			Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide -			Quadrática do ajustamento		A.Estatística	
Est	Vx	Vy	Vz	Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTFV	sig2_pos	Qui2
prob.95%												
BELE	-0,00468	-0,00067	0,01191	0,0149166828	-0,0196378244	-0,0012235651	1,4146938077	-2°51'34,4"	-0°55'16,3"	0,415	não def.	não def.
BOMJ	-0,00033	-0,00569	0,01204	-0,0013811051	-0,0013128720	-0,0006573555	0,1154932908	-19°09'06,8"	-2°22'53,5"	0,588	0,196	OK
BRAZ	-0,00301	-0,00201	0,01238	-0,0012925767	-0,0013710297	-0,0006687285	0,1145582487	-19°39'41,1"	-2°19'36,3"	0,830	0,138	OK
CHPI	0,00100	-0,00702	0,01238	-0,0014491958	-0,0013053875	-0,0006657325	0,1180822033	-18°57'50,4"	-2°24'30,1"	1,341	0,149	OK
CUIB	0,00134	-0,00569	0,00970	-0,0013037632	-0,0014002401	-0,0006533894	0,1158365436	-18°58'24,9"	-2°19'13,9"	2,732	0,228	OK
POVE	-0,00100	-0,00636	0,01097	-0,0012785542	-0,0014320801	-0,0006742871	0,1165827230	-19°28'24,7"	-2°17'58,6"	3,179	0,212	OK
PPTE	0,00334	-0,00803	0,00903	-0,0012101235	-0,0015033322	-0,0006863301	0,1173578643	-19°41'56,3"	-2°14'54,8"	3,996	0,222	OK
RECF	-0,00301	-0,00268	0,01274	-0,0012311885	-0,0014817155	-0,0006709355	0,1168814271	-19°19'17,7"	-2°15'50,8"	4,199	0,200	OK
SAGA	-0,00201	-0,00368	0,01147	-0,0014313103	-0,0012531461	-0,0005633770	0,1136771634	-16°36'05,1"	-2°25'20,9"	4,761	0,198	OK
SMAR	-0,00067	-0,00769	0,00870	-0,0015287514	-0,0011109440	-0,0005495568	0,1127619679	-16°19'05,3"	-2°30'47,4"	6,113	0,226	OK
TOPL	-0,00067	-0,00368	0,01238	-0,0015363904	-0,0011215925	-0,0005453441	0,1133800169	-16°05'57,0"	-2°30'39,6"	6,280	0,209	OK
BRFT	-0,00100	-0,00401	0,01258	-0,0015299663	-0,0011399235	-0,0005491805	0,1137551625	-16°09'37,9"	-2°30'04,5"	6,378	0,193	OK

SEGUNDA FASE - AJUSTAMENTO SEQUENCIAL COM SEQUENCIAMENTO DOS ARQUIVOS

ARQUIVOS: CON2008.txt - CON2009.txt Intervalo de dias =364

Vetor de velocidade e vetor de rotação de Euler determinados por ajustamento sequencial

- Velocidades Observadas -			- Componentes Estimados do Vetor de Euler -			Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide -			Quadrática do ajustamento		A.Estatística	
Est	Vx	Vy	Vz	Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTFV	sig2_pos	Qui2
prob.95%												
BELE	0,00000	-0,00201	0,01044	0,0120541569	-0,0160821067	-0,0006971466	1,1522334639	-2°00'00,0"	-0°55'39,3"	0,066	não def.	não def.
BOMJ	-0,00502	-0,00301	0,01304	-0,0025539807	0,0001149103	-0,0003531134	0,1478709722	-7°54'58,6"	3°05'47,9"	3,759	1,253	OK
BRAZ	0,00000	-0,00401	0,00803	-0,0019482587	-0,0003080931	-0,0004407256	0,1158008864	-12°40'38,5"	-2°59'05,1"	5,487	0,914	OK

CHPI	0,00301	-0,00903	0,01104	-0,0015184826	-0,0009511375	-0,0005613273	0,1075809747	-17°30'17,4"	-2°34'55,2"	7,887	0,876	OK
CUIB	0,00100	-0,00201	0,00803	-0,0012805148	-0,0010929718	-0,0005197443	0,1009518402	-17°15'55,2"	-2°26'06,2"	13,017	1,085	OK
POVE	-0,00100	-0,00401	0,01104	-0,0013586123	-0,0010149108	-0,0004812981	0,1010019029	-15°56'45,3"	-2°30'00,0"	13,173	0,878	OK
PPTE	0,00702	-0,00803	0,00702	-0,0011116157	-0,0012990534	-0,0005242645	0,1024630919	-17°09'19,6"	-2°16'43,0"	17,407	0,967	OK
RECF	-0,00602	0,00301	0,01525	-0,0011334740	-0,0013227320	-0,0004911431	0,1036975203	-15°50'47,9"	-2°16'45,5"	21,113	1,005	OK
SAGA	0,00000	-0,00201	0,00793	-0,0013772580	-0,0010065814	-0,0003286392	0,0995372881	-10°58'34,2"	-2°30'37,6"	23,927	0,997	OK
SMAR	0,00100	-0,00803	0,00602	-0,0014590963	-0,0008812696	-0,0003125227	0,0992932496	-10°27'28,3"	-2°35'53,7"	25,663	0,950	OK
TOPL	0,00502	-0,00602	0,01104	-0,0014930099	-0,0008970712	-0,0002958419	0,1012262173	-9°42'12,3"	-2°36'02,0"	29,121	0,971	OK
BRFT	-0,00401	-0,00100	0,01244	-0,0014349741	-0,0009912829	-0,0003339264	0,1017431613	-10°54'36,6"	-2°32'13,4"	30,117	0,913	OK

ARQUIVOS: CON2008.txt - CON2010.txt Intervalo de dias =728

Continuação do ajustamento sequencial

- Velocidades Observadas - - Componentes Estimados do Vetor de Euler - Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide - Quadrática do ajustamento
A.Estatística

Est	Vx	Vy	Vz	Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VFPV	sig2_pos	Qui2
prob.95%												
BELE	-0,00502	-0,00100	0,01234	-0,0014115811	-0,0010545678	-0,0003591701	0,1030317288	-11°35'49,0"	-2°29'59,9"	31,419	0,873	OK
BOMJ	-0,00401	-0,00552	0,01254	-0,0014236730	-0,0010647430	-0,0003952533	0,1043467300	-12°36'59,1"	-2°29'58,0"	36,125	0,926	OK
BRAZ	-0,00401	-0,00100	0,01254	-0,0014271950	-0,0010648096	-0,0003960357	0,1045165073	-12°37'15,3"	-2°30'02,2"	36,588	0,871	OK
CHPI	0,00050	-0,00803	0,01405	-0,0016076204	-0,0009503353	-0,0003977050	0,1093996828	-12°06'02,8"	-2°36'27,8"	44,120	0,980	OK
CUIB	-0,00100	-0,00401	0,01054	-0,0015827194	-0,0009604334	-0,0004083608	0,1086233632	-12°31'12,5"	-2°35'46,2"	44,426	0,926	OK
POVE	-0,00201	-0,00753	0,01144	-0,0015103129	-0,0010415042	-0,0004764057	0,1086014047	-14°39'02,9"	-2°32'16,4"	49,225	0,965	OK
PPTE	0,00401	-0,00753	0,01154	-0,0014865925	-0,0010827262	-0,0004774337	0,1088649427	-14°38'48,5"	-2°30'43,6"	50,635	0,938	OK
RECF	-0,00652	-0,00100	0,01430	-0,0014579916	-0,0011280300	-0,0004955234	0,1093694425	-15°08'33,3"	-2°28'59,2"	52,269	0,917	OK
SAGA	-0,00050	-0,00903	0,01114	-0,0013733346	-0,0012247582	-0,0005431486	0,1099286504	-16°32'59,0"	-2°24'47,9"	54,353	0,906	OK
SMAR	0,00000	-0,00602	0,00903	-0,0013915284	-0,0011953287	-0,0005401955	0,1095679450	-16°30'46,6"	-2°25'54,8"	54,769	0,869	OK
TOPL	-0,00452	-0,00050	0,01204	-0,0013892298	-0,0011931839	-0,0005409273	0,1094071816	-16°33'39,3"	-2°25'55,1"	56,201	0,852	OK
BRFT	-0,00201	-0,00452	0,01304	-0,0013679144	-0,0012274309	-0,0005553082	0,1100040713	-16°55'08,0"	-2°24'37,0"	56,861	0,824	OK

ARQUIVOS: CON2008.txt - CON2011.txt Intervalo de dias =1092

Continuação do ajustamento sequencial

- Velocidades Observadas - - Componentes Estimados do Vetor de Euler - Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide - Quadrática do ajustamento
A.Estatística

Est	Vx	Vy	Vz	Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VFPV	sig2_pos	Qui2
prob.95%												
BELE	-0,00468	-0,00067	0,01191	-0,0013650296	-0,0012322662	-0,0005575295	0,1101007378	-16°58'23,5"	-2°24'26,2"	57,305	0,796	OK

BOMJ	-0,00033	-0,00569	0,01204	-0,0013664873	-0,0012383475	-0,0005612190	0,1104450837	-17°02'02,3"	-2°24'19,3"	57,652	0,769	OK
BRAZ	-0,00301	-0,00201	0,01238	-0,0013665052	-0,0012380789	-0,0005612489	0,1104364218	-17°02'10,6"	-2°24'19,7"	57,865	0,742	OK
CHPI	0,00100	-0,00702	0,01238	-0,0014011252	-0,0012211019	-0,0005622380	0,1112534914	-16°56'17,5"	-2°25'29,1"	59,059	0,729	OK
CUIB	0,00134	-0,00569	0,00970	-0,0013807856	-0,0012346388	-0,0005613583	0,1108939754	-16°58'02,5"	-2°24'43,3"	59,893	0,713	OK
POVE	-0,00100	-0,00636	0,01097	-0,0013759166	-0,0012404713	-0,0005681230	0,1110219993	-17°09'26,9"	-2°24'28,5"	60,535	0,696	OK
PPTE	0,00334	-0,00803	0,00903	-0,0013651408	-0,0012518840	-0,0005687643	0,1110166290	-17°10'41,8"	-2°23'58,0"	61,310	0,681	OK
RECF	-0,00301	-0,00268	0,01274	-0,0013613272	-0,0012597126	-0,0005704995	0,1111827102	-17°12'20,7"	-2°23'41,8"	61,535	0,662	OK
SAGA	-0,00201	-0,00368	0,01147	-0,0013859925	-0,0012327663	-0,0005575417	0,1109755901	-16°50'09,3"	-2°24'52,7"	61,830	0,644	OK
SMAR	-0,00067	-0,00769	0,00870	-0,0014209169	-0,0011864827	-0,0005523218	0,1106833056	-16°43'08,8"	-2°26'45,1"	63,342	0,640	OK
TOPL	-0,00067	-0,00368	0,01238	-0,0014245231	-0,0011902003	-0,0005511047	0,1109462777	-16°38'26,1"	-2°26'44,1"	63,556	0,623	OK
BRFT	-0,00100	-0,00401	0,01258	-0,0014218600	-0,0011970247	-0,0005526803	0,1111007815	-16°39'56,3"	-2°26'30,6"	63,676	0,606	OK

Resultado final do modelo com processamento SIRGAS-CON

Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTPV	sig2_pos	Ho
-0,0014218600	-0,0011970247	-0,0005526803	0,1111007815	-16°39'56,3"	-2°26'30,6"	63,676	0,606	Não-rejeitada

APÊNDICE F – Relatório do processamento dos arquivos PPP-IBGE *online* para obtenção do vetor de Euler pelo AstGeoTop.

AstGeoTop Módulo: ModelTectônica © Versão 2013.07.07
RELATÓRIO DA MODELAGEM

ORDEM CRONOLÓGICA DOS ARQUIVOS

NOME_ARQUIVO	DATA DO PROCESSAMENTO	Nº Dias
PPP2008.txt	09/01/2008	0
PPP2009.txt	07/01/2009	364
PPP2010.txt	06/01/2010	728
PPP2011.txt	05/01/2011	1092

VELOCIDADES OBSERVADAS

ARQUIVOS: PPP2008.txt – PPP2009.txt Intervalo de dias =364

Vetor de velocidade e vetor de rotação de Euler determinados por ajustamento sequencial

- Velocidades Observadas -				- Componentes Estimados do Vetor de Euler -			Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide -			Quadrática do ajustamento		
A.Estatística	Vx	Vy	Vz	Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTPV	sig2_pos	Qui2
Est												
prob.95%												
BELE	-0,01084	0,01696	0,00512	-0,0096281310	0,0097727801	0,0008440968	0,7875213408	3°32'40,3"	2°20'55,5"	5,534	não def.	não def.
BOMJ	-0,00060	0,00060	0,01094	0,0029041283	-0,0046219471	-0,0002603884	0,3131106019	-2°44'58,0"	-1°00'35,3"	9,439	3,146	rejeitada
BRAZ	-0,00341	0,00823	0,00712	0,0025458301	-0,0041353962	-0,0003699191	0,2790462872	-4°23'07,1"	-1°01'08,3"	11,475	1,912	OK
CHPI	-0,01385	-0,00431	0,02288	0,0009694809	-0,0028437471	-0,0005850853	0,1753767152	-11°05'32,0"	-1°14'32,1"	46,048	5,116	rejeitada
CUIB	-0,00221	-0,00201	0,00151	0,0023511610	-0,0042237005	-0,0012406200	0,2859440688	-14°29'12,9"	-1°03'46,3"	48,880	4,073	rejeitada

POVE	0,00000	-0,00351	0,00943	-0,0007299188	-0,0008762151	-0,0002443305	0,0668234813	-12°10'18,4"	-2°15'55,3"	68,021	4,535	rejeitada
PPTE	-0,00552	0,00452	0,00943	-0,0007373971	-0,0008202887	-0,0002504997	0,0648070241	-12°52'42,8"	-2°18'10,9"	69,817	3,879	rejeitada
RECF	0,00622	-0,00090	0,01013	-0,0002196482	-0,0015679965	-0,0004066062	0,0936604089	-14°29'44,8"	-1°42'35,9"	74,085	3,528	rejeitada
SAGA	-0,00341	0,00401	0,00773	-0,0005249932	-0,0012606296	-0,0002969094	0,0800699028	-12°20'48,1"	-1°57'55,5"	76,290	3,179	rejeitada
SMAR	0,00231	-0,00311	0,00672	-0,0005373985	-0,0012538805	-0,0003004035	0,0800349602	-12°29'59,2"	-1°58'32,5"	76,342	2,827	rejeitada
TOPL	-0,01194	0,00652	0,01325	-0,0005035942	-0,0013754584	-0,0003822475	0,0867346445	-14°43'12,9"	-1°55'18,4"	83,304	2,777	rejeitada
BRFT	0,00000	0,00602	0,00903	-0,0005463350	-0,0013209988	-0,0002571160	0,0832195971	-10°15'48,9"	-1°57'46,6"	86,009	2,606	rejeitada

VELOCIDADES OBSERVADAS

ARQUIVOS: PPP2008.txt - PPP2010.txt Intervalo de dias =728

Vetor de velocidade e vetor de rotação de Euler determinados por ajustamento sequencial

- Velocidades Observadas -			- Componentes Estimados do Vetor de Euler -			Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide -			Quadrática do ajustamento			
A.Estatística	Vx	Vy	Vz	Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTFV	sig2_pos	Qui2
Est												
prob.95%												
BELE	-0,01049	0,00717	0,00878	-0,0045408664	0,0031216349	-0,0003553017	0,3163760209	-3°42'50,6"	2°32'21,6"	1,347	não def.	não def.
BOMJ	-0,00371	-0,00687	0,00853	-0,0018008301	-0,0001061795	-0,0007160986	0,1112048969	-21°47'00,2"	-3°04'57,7"	1,601	0,534	OK
BRAZ	-0,00853	0,00276	0,00943	-0,0005995807	-0,0011779945	-0,0008958873	0,0914901138	-34°18'26,7"	-2°02'29,8"	3,321	0,553	OK
CHPI	-0,00672	-0,00943	0,01756	-0,0007634197	-0,0013928009	-0,0011421750	0,1120900478	-35°54'11,4"	-2°04'19,9"	17,459	1,940	rejeitada
CUIB	0,00005	-0,00271	0,00818	-0,0004642026	-0,0017037523	-0,0009985871	0,1162332459	-29°39'11,5"	-1°50'12,5"	18,352	1,529	OK
POVE	0,00231	-0,00542	0,01079	-0,0016281283	-0,0004338984	-0,0004489691	0,0999091689	-15°00'58,6"	-2°52'52,1"	21,427	1,428	OK
PPTE	-0,00311	-0,00768	0,00998	-0,0016785385	-0,0004159310	-0,0005171309	0,1034171292	-16°45'16,9"	-2°53'55,3"	22,183	1,232	OK
RECF	-0,00120	-0,00120	0,01003	-0,0014670767	-0,0007290687	-0,0005602819	0,0992023260	-18°59'55,9"	-2°40'49,4"	23,039	1,097	OK
SAGA	-0,00356	-0,00151	0,00998	-0,0014116404	-0,0007846926	-0,0005831384	0,0983840697	-19°58'33,0"	-2°38'03,3"	23,099	0,962	OK
SMAR	-0,00196	-0,00306	0,00727	-0,0013297664	-0,0007849029	-0,0005901993	0,0947147300	-21°02'47,5"	-2°36'30,1"	27,791	1,029	OK
TOPL	-0,00948	0,00607	0,01059	-0,0013445608	-0,0007327791	-0,0005545527	0,0933119008	-20°01'53,1"	-2°38'33,4"	31,019	1,034	OK
BRFT	-0,00151	-0,00301	0,01054	-0,0012677087	-0,0008611636	-0,0005781046	0,0938478490	-20°47'41,4"	-2°32'41,6"	31,886	0,966	OK

VELOCIDADES OBSERVADAS

ARQUIVOS: PPP2008.txt - PPP2011.txt Intervalo de dias =1092

Vetor de velocidade e vetor de rotação de Euler determinados por ajustamento sequencial

- Velocidades Observadas -			- Componentes Estimados do Vetor de Euler -			Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide -			Quadrática do ajustamento			
A.Estatística												
Est	Vx	Vy	Vz	Ex (rad/M.anos)	Ey (rad/M.anos)	Ez (rad/M.anos)	w (°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTFV	sig2_pos	Qui2
prob.95%												
BELE	-0,00883	0,00298	0,01047	0,0093381816	-0,0129691054	-0,0011164628	0,9178880820	-4°01'23,1"	-0°56'48,3"	1,137	não def.	não def.
BOMJ	-0,00231	-0,00492	0,01087	-0,0008098781	-0,0015486189	-0,0008072945	0,1102976857	-24°56'27,9"	-2°03'09,5"	1,211	0,404	OK
BRAZ	-0,00559	-0,00197	0,01027	-0,0007960308	-0,0014806670	-0,0008560786	0,1080889131	-27°08'35,0"	-2°03'50,7"	1,872	0,312	OK
CHPI	-0,00294	-0,00920	0,01488	-0,0008852831	-0,0015603570	-0,0009699991	0,1168516242	-28°33'39,5"	-2°05'12,7"	6,973	0,775	OK
CUIB	0,00037	-0,00679	0,00850	-0,0006419721	-0,0018108833	-0,0009889144	0,1238089843	-27°23'31,9"	-1°54'41,3"	7,269	0,606	OK
POVE	-0,00281	-0,00425	0,01134	-0,0013919948	-0,0009963991	-0,0007575309	0,1072566248	-24°00'47,0"	-2°31'13,2"	8,528	0,569	OK
PPTE	-0,00134	-0,00910	0,00876	-0,0014302299	-0,0009287499	-0,0007876595	0,1076267562	-24°56'17,5"	-2°33'56,4"	8,839	0,491	OK
RECF	-0,00120	-0,00241	0,01074	-0,0013572019	-0,0010363366	-0,0007693322	0,1073109166	-24°23'50,3"	-2°29'22,0"	9,247	0,440	OK
SAGA	-0,00428	-0,00184	0,01131	-0,0014477229	-0,0009452218	-0,0007404671	0,1077653857	-23°19'25,0"	-2°33'47,4"	9,419	0,392	OK
SMAR	-0,00151	-0,00860	0,00722	-0,0014281909	-0,0009190451	-0,0007668120	0,1067667111	-24°26'38,8"	-2°34'11,3"	10,936	0,405	OK
TOPL	-0,00458	-0,00251	0,01221	-0,0014175213	-0,0009634827	-0,0007750491	0,1077764939	-24°28'37,8"	-2°32'40,6"	11,720	0,391	OK
BRFT	-0,00301	-0,00502	0,01070	-0,0013985834	-0,0009930221	-0,0007916810	0,1082403104	-24°55'20,9"	-2°31'27,0"	11,773	0,357	OK

SEGUNDA FASE - AJUSTAMENTO SEQUENCIAL COM SEQUENCIAMENTO DOS ARQUIVOS

ARQUIVOS: PPP2008.txt - PPP2009.txt Intervalo de dias =364

Vetor de velocidade e vetor de rotação de Euler determinados por ajustamento sequencial

- Velocidades Observadas -			- Componentes Estimados do Vetor de Euler -			Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide -			Quadrática do ajustamento			
A.Estatística												
Est	Vx	Vy	Vz	Ex (rad/M.anos)	Ey (rad/M.anos)	Ez (rad/M.anos)	w (°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTPV	sig2_pos	Qui2
prob.95%												
BELE	-0,01084	0,01696	0,00512	-0,0096281310	0,0097727801	0,0008440968	0,7875213408	3°32'40,3"	2°20'55,5"	5,534	não def.	não def.
BOMJ	-0,00060	0,00060	0,01094	0,0029041283	-0,0046219471	-0,0002603884	0,3131106019	-2°44'58,0"	-1°00'35,3"	9,439	3,146	rejeitada
BRAZ	-0,00341	0,00823	0,00712	0,0025458301	-0,0041353962	-0,0003699191	0,2790462872	-4°23'07,1"	-1°01'08,3"	11,475	1,912	OK
CHPI	-0,01385	-0,00431	0,02288	0,0009694809	-0,0028437471	-0,0005850853	0,1753767152	-11°05'32,0"	-1°14'32,1"	46,048	5,116	rejeitada
CUIB	-0,00221	-0,00201	0,00151	0,0023511610	-0,0042237005	-0,0012406200	0,2859440688	-14°29'12,9"	-1°03'46,3"	48,880	4,073	rejeitada
POVE	0,00000	-0,00351	0,00943	-0,0007299188	-0,0008762151	-0,0002443305	0,0668234813	-12°10'18,4"	-2°15'55,3"	68,021	4,535	rejeitada
PPTE	-0,00552	0,00452	0,00943	-0,0007373971	-0,0008202887	-0,0002504997	0,0648070241	-12°52'42,8"	-2°18'10,9"	69,817	3,879	rejeitada
RECF	0,00622	-0,00090	0,01013	-0,0002196482	-0,0015679965	-0,0004066062	0,0936604089	-14°29'44,8"	-1°42'35,9"	74,085	3,528	rejeitada
SAGA	-0,00341	0,00401	0,00773	-0,0005249932	-0,0012606296	-0,0002969094	0,0800699028	-12°20'48,1"	-1°57'55,5"	76,290	3,179	rejeitada
SMAR	0,00231	-0,00311	0,00672	-0,0005373985	-0,0012538805	-0,0003004035	0,0800349602	-12°29'59,2"	-1°58'32,5"	76,342	2,827	rejeitada
TOPL	-0,01194	0,00652	0,01325	-0,0005035942	-0,0013754584	-0,0003822475	0,0867346445	-14°43'12,9"	-1°55'18,4"	83,304	2,777	rejeitada

BRFT 0,00000 0,00602 0,00903 -0,0005463350 -0,0013209988 -0,0002571160 0,0832195971 -10°15'48,9" -1°57'46,6" 86,009 2,606 rejeitada

ARQUIVOS: PPP2008.txt - PPP2010.txt Intervalo de dias =728

Continuação do ajustamento sequencial

- Velocidades Observadas -			- Componentes Estimados do Vetor de Euler -			Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide -			Quadrática do ajustamento			
A.Estatística												
Est	Vx	Vy	Vz	Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTPV	sig2_pos	Qui2
prob.95%												
BELE	-0,01049	0,00717	0,00878	-0,0005410790	-0,0013299882	-0,0002711713	0,0837218393	-10°45'54,9"	-1°57'25,8"	87,439	2,429	rejeitada
BOMJ	-0,00371	-0,00687	0,00853	-0,0005422665	-0,0013318287	-0,0003319701	0,0845578701	-13°05'02,3"	-1°57'26,9"	89,033	2,283	rejeitada
BRAZ	-0,00853	0,00276	0,00943	-0,0005497322	-0,0013044088	-0,0003542872	0,0836048725	-14°08'33,7"	-1°58'10,7"	90,982	2,166	rejeitada
CHPI	-0,00672	-0,00943	0,01756	-0,0005287943	-0,0013959025	-0,0004369797	0,0891150799	-16°25'16,0"	-1°55'58,5"	108,428	2,410	rejeitada
CUIB	0,00005	-0,00271	0,00818	-0,0005564653	-0,0013752246	-0,0004333551	0,0885529040	-16°23'14,7"	-1°57'19,1"	108,658	2,264	rejeitada
FOVE	0,00231	-0,00542	0,01079	-0,0008608772	-0,0010767172	-0,0003274021	0,0811827139	-13°26'48,3"	-2°14'42,9"	117,506	2,304	rejeitada
PPTE	-0,00311	-0,00768	0,00998	-0,0009069311	-0,0010551185	-0,0003729183	0,0825311283	-15°06'03,0"	-2°16'50,9"	121,663	2,253	rejeitada
RECF	-0,00120	-0,00120	0,01003	-0,0008553438	-0,0011327786	-0,0003879389	0,0843104421	-15°23'02,7"	-2°13'03,2"	122,160	2,143	rejeitada
SAGA	-0,00356	-0,00151	0,00998	-0,0009679108	-0,0010223828	-0,0003678974	0,0833740513	-14°44'20,8"	-2°19'43,8"	124,163	2,069	rejeitada
SMAR	-0,00196	-0,00306	0,00727	-0,0009538709	-0,0010140039	-0,0003837924	0,0827397502	-15°30'41,6"	-2°19'32,3"	126,131	2,002	rejeitada
TOPL	-0,00948	0,00607	0,01059	-0,0009538185	-0,0010101200	-0,0003914727	0,0826999243	-15°50'15,1"	-2°19'39,1"	128,814	1,952	rejeitada
BRFT	-0,00151	-0,00301	0,01054	-0,0009079746	-0,0010844748	-0,0004157173	0,0844665782	-16°29'00,6"	-2°16'04,2"	130,018	1,884	rejeitada

ARQUIVOS: PPP2008.txt - PPP2011.txt Intervalo de dias =1092

Continuação do ajustamento sequencial

- Velocidades Observadas -			- Componentes Estimados do Vetor de Euler -			Parâmetros do Pólo de Euler no Elipsóide -			Quadrática do ajustamento				
A.Estatística													
Est	Vx	Vy	Vz	Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	Lat. geod.	Long. geod.	VTPV	sig2_pos	Qui2	
prob.95%													
BELE	-0,00883	0,00298	0,01047	-0,0008989035	-0,0011115305	-0,0004411004	0,0857160393	-17°15`25,7"	-2°15`03,0"	132,321	1,838	rejeitada	
BOMJ	-0,00231	-0,00492	0,01087	-0,0008842073	-0,0011421072	-0,0004597579	0,0868481689	-17°46`05,7"	-2°13`46,6"	133,599	1,781	rejeitada	
BRAZ	-0,00559	-0,00197	0,01027	-0,0008869095	-0,0011401056	-0,0004725183	0,0870768185	-18°13`41,8"	-2°13`54,9"	134,177	1,720	rejeitada	
CHPI	-0,00294	-0,00920	0,01488	-0,0008752829	-0,0011809184	-0,0005008200	0,0889748144	-18°55`56,3"	-2°12`31,1"	143,026	1,766	rejeitada	
CUIB	0,00037	-0,00679	0,00850	-0,0008958339	-0,0011655108	-0,0005059428	0,0890744279	-19°06`39,5"	-2°13`34,0"	143,751	1,711	rejeitada	
POVE	-0,00281	-0,00425	0,01134	-0,0010174933	-0,0010484476	-0,0004819090	0,0881456302	-18°22`11,3"	-2°20`28,4"	148,754	1,710	rejeitada	
PPTE	-0,00134	-0,00910	0,00876	-0,0010362277	-0,0010371794	-0,0005009998	0,0887716635	-18°59`03,5"	-2°21`20,6"	150,547	1,673	rejeitada	

RECF	-0,00120	-0,00241	0,01074	-0,0009924404	-0,0011033471	-0,0005147641	0,0899980643	-19°14'58,8"	-2°18'12,0"	151,536	1,629	rejeitada
SAGA	-0,00428	-0,00184	0,01131	-0,0010868801	-0,0010102647	-0,0004953034	0,0896320739	-18°34'27,1"	-2°23'33,8"	154,944	1,614	rejeitada
SMAR	-0,00151	-0,00860	0,00722	-0,0010997736	-0,0009929811	-0,0005080733	0,0897488949	-19°02'41,5"	-2°24'25,8"	155,805	1,574	rejeitada
TOPL	-0,00458	-0,00251	0,01221	-0,0010957085	-0,0010187710	-0,0005264393	0,0908749688	-19°30'21,1"	-2°23'33,2"	159,103	1,560	rejeitada
BRFT	-0,00301	-0,00502	0,01070	-0,0010682781	-0,0010619491	-0,0005492450	0,0918632746	-20°09'27,3"	-2°21'33,0"	160,140	1,525	rejeitada

Resultado final do modelo com processamento PPP-IBGE online

Ex(rad/M.anos)	Ey(rad/M.anos)	Ez(rad/M.anos)	w(°/M.anos)	lat. geod.	Long. geod.	VTPV	sig2_pos	Ho
-0,0010682781	-0,0010619491	-0,0005492450	0,0918632746	-20°09'27,3"	-2°21'33,0"	160,140	1,525	Rejeitada

APÊNDICE G – Velocidades com modelos conhecidos.

G.1 – Velocidades da aplicação do Modelo VEMOS às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

Velocidade de Estações Interpoladas a Partir de um Grid de 1 Grau x 1 Grau de Velocidades

Em Geodésicas V(Lat), V(Long), V(h) e Cartesianas Geocêntricas V(X),V(Y),V(Z) velocidades [m/ano]

ITRF2000

Interpolação bilinear a partir do VEMOS2009 em ITRF2005 - Grid: Drewes and Heidbach(2009)

AstGeoTop: Modelo SOAM © Versão 2013.07.08 Prof. Silvio Jacks dos Anjos Garnés DECArt/UFPE BRASIL

Estação	Latitude	Longitude	h(m)	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	-1°24`31,66047"	-48°27`45,17987"	9,0893	0,01250	-0,00449	0,00000	-0,0032	-0,0032	0,0125
BOMJ	-13°15`20,00725"	-43°25`18,24802"	419,3960	0,01262	-0,00406	0,00000	-0,0007	-0,0049	0,0123
BRAZ	-15°56`50,90839"	-47°52`40,32952"	1106,0238	0,01235	-0,00377	0,00000	-0,0005	-0,0050	0,0119
CHPI	-22°41`13,72400"	-44°59`06,57081"	617,4227	0,01164	-0,00334	0,00000	0,0008	-0,0055	0,0107
CUIB	-15°33`18,94402"	-56°04`11,52082"	237,4464	0,01200	-0,00361	0,00000	-0,0012	-0,0047	0,0116
POVE	-8°42`33,60918"	-63°53`46,75178"	119,5959	0,00995	-0,00441	0,00000	-0,0033	-0,0033	0,0098
PPTE	-22°07`11,65423"	-51°24`30,72342"	431,0423	0,01199	-0,00261	0,00000	0,0008	-0,0052	0,0111
RECF	-8°03`03,46704"	-34°57`05,46010"	20,1488	0,01170	-0,00311	0,00000	-0,0004	-0,0035	0,0116
SAGA	-0°08`37,87338"	-67°03`28,01266"	94,9051	0,01130	-0,00287	0,00000	-0,0026	-0,0011	0,0113
SMAR	-29°43`08,12346"	-53°42`59,73616"	113,1152	0,01215	-0,00185	0,00000	0,0021	-0,0060	0,0106
TOPL	-10°10`15,78986"	-48°19`50,44591"	256,5512	0,01202	-0,00369	0,00000	-0,0013	-0,0040	0,0118
BRFT	-3°52`38,80771"	-38°25`31,93481"	21,6853	0,01180	-0,00359	0,00000	-0,0016	-0,0033	0,0118
SANT	-33°09`01,03646"	-70°40`06,79266"	723,0760	0,01706	0,02081	0,00000	0,0227	-0,0019	0,0143
CRO1	17°45`24,83429"	-64°35`03,55032"	-31,9499	0,01266	0,01033	0,00000	0,0077	0,0079	0,0121
CONZ	-36°50`37,53865"	-73°01`31,72949"	180,7172	0,02230	0,03148	0,00000	0,0340	-0,0036	0,0178

G.2 – Velocidades da aplicação do Modelo NNR- NUVEL 1A às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

Velocidade das Estações calculadas pelo modelo NNR- NUVEL 1A

Em Geodésicas V(Lat), V(Long), V(h) e Cartesianas Geocêntricas V(X),V(Y),V(Z) velocidades [m/ano]

ITRF2000

AstGeoTop: Modelo SOAM © Versão 2013.07.08 Prof. Silvio Jacks dos Anjos Garnés DECArt/UFPE BRASIL

Estação	Latitude	Longitude	h (m)	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	-1°24'31,66047"	-48°27'45,17987"	9,089	0,01139	-0,00548	0,0000	-0,0039	-0,0038	0,0114
BOMJ	-13°15'20,00725"	-43°25'18,24802"	419,396	0,01160	-0,00498	0,0000	-0,0015	-0,0054	0,0113
BRAZ	-15°56'50,90839"	-47°52'40,32952"	1106,024	0,01142	-0,00459	0,0000	-0,0013	-0,0054	0,0110
CHPI	-22°41'13,72400"	-44°59'06,57081"	617,423	0,01154	-0,00429	0,0000	0,0001	-0,0062	0,0107
CUIB	-15°33'18,94402"	-56°04'11,52082"	237,446	0,01091	-0,00419	0,0000	-0,0019	-0,0048	0,0105
POVE	-8°42'33,60918"	-63°53'46,75178"	119,596	0,01022	-0,00461	0,0000	-0,0035	-0,0034	0,0101
PPTE	-22°07'11,65423"	-51°24'30,72342"	431,042	0,01123	-0,00386	0,0000	-0,0004	-0,0057	0,0104
RECF	-8°03'03,46704"	-34°57'05,46010"	20,149	0,01175	-0,00548	0,0000	-0,0018	-0,0054	0,0116
SAGA	-0°08'37,87338"	-67°03'28,01266"	94,905	0,00989	-0,00553	0,0000	-0,0051	-0,0022	0,0099
SMAR	-29°43'08,12346"	-53°42'59,73616"	113,115	0,01108	-0,00291	0,0000	0,0009	-0,0061	0,0096
TOPL	-10°10'15,78986"	-48°19'50,44591"	256,551	0,01140	-0,00497	0,0000	-0,0024	-0,0048	0,0112
BRFT	-3°52'38,80771"	-38°25'31,93481"	21,685	0,01172	-0,00548	0,0000	-0,0028	-0,0048	0,0117
SANT	-33°09'01,03646"	-70°40'06,79266"	723,076	0,00946	-0,00087	0,0000	0,0009	-0,0051	0,0079
CRO1	17°45'24,83429"	-64°35'03,55032"	-31,950	0,01015	-0,00708	0,0000	-0,0077	-0,0003	0,0097
CONZ	-36°50'37,53865"	-73°01'31,72949"	180,717	0,00916	-0,00007	0,0000	0,0015	-0,0053	0,0074

G.3 – Velocidades da aplicação do Modelo APKIM 2000 às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

Velocidade das Estações calculadas pelo modelo APKIM 2000

Em Geodésicas V(Lat), V(Long), V(h) e Cartesianas Geocêntricas V(X),V(Y),V(Z) velocidades [m/ano]

ITRF2000

AstGeoTop: Modelo SOAM © Versão 2013.07.08 Prof. Silvio Jacks dos Anjos Garnés DECart/UFPE BRASIL

Estação	Latitude	Longitude	h(m)	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	-1°24'31,66047"	-48°27'45,17987"	9,089	0,00944	-0,00379	0,0000	-0,0027	-0,0027	0,0094
BOMJ	-13°15'20,00725"	-43°25'18,24802"	419,396	0,00954	-0,00357	0,0000	-0,0009	-0,0041	0,0093
BRAZ	-15°56'50,90839"	-47°52'40,32952"	1106,024	0,00946	-0,00329	0,0000	-0,0007	-0,0041	0,0091
CHPI	-22°41'13,72400"	-44°59'06,57081"	617,423	0,00951	-0,00317	0,0000	0,0003	-0,0048	0,0088
CUIB	-15°33'18,94402"	-56°04'11,52082"	237,446	0,00916	-0,00295	0,0000	-0,0011	-0,0037	0,0088
POVE	-8°42'33,60918"	-63°53'46,75178"	119,596	0,00870	-0,00318	0,0000	-0,0023	-0,0026	0,0086
PPTE	-22°07'11,65423"	-51°24'30,72342"	431,042	0,00935	-0,00280	0,0000	0,0000	-0,0045	0,0087
RECF	-8°03'03,46704"	-34°57'05,46010"	20,149	0,00953	-0,00389	0,0000	-0,0011	-0,0039	0,0094
SAGA	-0°08'37,87338"	-67°03'28,01266"	94,905	0,00846	-0,00382	0,0000	-0,0035	-0,0015	0,0085
SMAR	-29°43'08,12346"	-53°42'59,73616"	113,115	0,00926	-0,00215	0,0000	0,0010	-0,0050	0,0081
TOPL	-10°10'15,78986"	-48°19'50,44591"	256,551	0,00944	-0,00350	0,0000	-0,0015	-0,0036	0,0093
BRFT	-3°52'38,80771"	-38°25'31,93481"	21,685	0,00956	-0,00383	0,0000	-0,0019	-0,0034	0,0095
SANT	-33°09'01,03646"	-70°40'06,79266"	723,076	0,00816	-0,00050	0,0000	0,0010	-0,0044	0,0068
CRO1	17°45'24,83429"	-64°35'03,55032"	-31,950	0,00865	-0,00488	0,0000	-0,0055	0,0003	0,0082
CONZ	-36°50'37,53865"	-73°01'31,72949"	180,717	0,00795	0,00010	0,0000	0,0015	-0,0045	0,0064

G.4 – Velocidades da aplicação do Modelo APKIM 8.8 às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

Velocidade das Estações calculadas pelo modelo APKIM 8.8

Em Geodésicas V(Lat), V(Long), V(h) e Cartesianas Geocêntricas V(X),V(Y),V(Z) velocidades [m/ano]

ITRF2000

AstGeoTop: Modelo SOAM © Versão 2013.07.08 Prof. Silvio Jacks dos Anjos Garnés DECArt/UFPE BRASIL

Estação	Latitude	Longitude	h (m)	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	-1°24'31,66047"	-48°27'45,17987"	9,089	0,01358	-0,00456	0,0000	-0,0032	-0,0033	0,0136
BOMJ	-13°15'20,00725"	-43°25'18,24802"	419,396	0,01316	-0,00555	0,0000	-0,0016	-0,0061	0,0128
BRAZ	-15°56'50,90839"	-47°52'40,32952"	1106,024	0,01353	-0,00545	0,0000	-0,0016	-0,0064	0,0130
CHPI	-22°41'13,72400"	-44°59'06,57081"	617,423	0,01330	-0,00601	0,0000	-0,0006	-0,0079	0,0123
CUIB	-15°33'18,94402"	-56°04'11,52082"	237,446	0,01400	-0,00491	0,0000	-0,0020	-0,0058	0,0135
POVE	-8°42'33,60918"	-63°53'46,75178"	119,596	0,01418	-0,00447	0,0000	-0,0031	-0,0039	0,0140
PPTE	-22°07'11,65423"	-51°24'30,72342"	431,042	0,01376	-0,00541	0,0000	-0,0010	-0,0074	0,0128
RECF	-8°03'03,46704"	-34°57'05,46010"	20,149	0,01224	-0,00542	0,0000	-0,0017	-0,0054	0,0121
SAGA	-0°08'37,87338"	-67°03'28,01266"	94,905	0,01418	-0,00446	0,0000	-0,0041	-0,0018	0,0142
SMAR	-29°43'08,12346"	-53°42'59,73616"	113,115	0,01388	-0,00528	0,0000	-0,0002	-0,0086	0,0121
TOPL	-10°10'15,78986"	-48°19'50,44591"	256,551	0,01357	-0,00512	0,0000	-0,0022	-0,0052	0,0134
BRFT	-3°52'38,80771"	-38°25'31,93481"	21,685	0,01265	-0,00488	0,0000	-0,0024	-0,0044	0,0126
SANT	-33°09'01,03646"	-70°40'06,79266"	723,076	0,01411	-0,00302	0,0000	-0,0003	-0,0082	0,0118
CRO1	17°45'24,83429"	-64°35'03,55032"	-31,950	0,01418	-0,00420	0,0000	-0,0056	0,0021	0,0135
CONZ	-36°50'37,53865"	-73°01'31,72949"	180,717	0,01404	-0,00244	0,0000	0,0001	-0,0087	0,0113

G.5 – Velocidades da aplicação do Modelo ITRF 2000 às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008 .

Velocidade das Estações calculadas pelo modelo ITRF 2000

Em Geodésicas V(Lat), V(Long), V(h) e Cartesianas Geocêntricas V(X), V(Y), V(Z) velocidades [m/ano]

ITRF2000

AstGeoTop: Modelo SOAM © Versão 2013.07.08 Prof. Silvio Jacks dos Anjos Garnés DECart/UFPE BRASIL

Estação	Latitude	Longitude	h (m)	V (lat)	V (long)	V (h)	V (x)	V (y)	V (z)
BELE	-1°24'31,66047"	-48°27'45,17987"	9,089	0,01017	-0,00137	0,0000	-0,0009	-0,0011	0,0102
BOMJ	-13°15'20,00725"	-43°25'18,24802"	419,396	0,01025	-0,00126	0,0000	0,0008	-0,0025	0,0100
BRAZ	-15°56'50,90839"	-47°52'40,32952"	1106,024	0,01019	-0,00100	0,0000	0,0011	-0,0027	0,0098
CHPI	-22°41'13,72400"	-44°59'06,57081"	617,423	0,01023	-0,00100	0,0000	0,0021	-0,0035	0,0095
CUIB	-15°33'18,94402"	-56°04'11,52082"	237,446	0,00990	-0,00063	0,0000	0,0010	-0,0025	0,0095
POVE	-8°42'33,60918"	-63°53'46,75178"	119,596	0,00944	-0,00078	0,0000	-0,0001	-0,0016	0,0093
PPTE	-22°07'11,65423"	-51°24'30,72342"	431,042	0,01008	-0,00059	0,0000	0,0019	-0,0033	0,0094
RECF	-8°03'03,46704"	-34°57'05,46010"	20,149	0,01021	-0,00153	0,0000	0,0003	-0,0021	0,0101
SAGA	-0°08'37,87338"	-67°03'28,01266"	94,905	0,00920	-0,00139	0,0000	-0,0013	-0,0006	0,0092
SMAR	-29°43'08,12346"	-53°42'59,73616"	113,115	0,01000	-0,00008	0,0000	0,0029	-0,0040	0,0087
TOPL	-10°10'15,78986"	-48°19'50,44591"	256,551	0,01018	-0,00114	0,0000	0,0003	-0,0021	0,0100
BRFT	-3°52'38,80771"	-38°25'31,93481"	21,685	0,01026	-0,00143	0,0000	-0,0003	-0,0015	0,0102
SANT	-33°09'01,03646"	-70°40'06,79266"	723,076	0,00889	0,00161	0,0000	0,0031	-0,0040	0,0075
CRO1	17°45'24,83429"	-64°35'03,55032"	-31,950	0,00939	-0,00260	0,0000	-0,0036	0,0015	0,0089
CONZ	-36°50'37,53865"	-73°01'31,72949"	180,717	0,00867	0,00215	0,0000	0,0036	-0,0043	0,0070

G.6 – Velocidades da aplicação do Modelo COSTA;SANTOS;GEMAEI 2003 às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

Velocidade das Estações calculadas pelo modelo COSTA;SANTOS;GEMAEI 2003

Em Geodésicas V(Lat), V(Long), V(h) e Cartesianas Geocêntricas V(X),V(Y),V(Z) velocidades [m/ano]

ITRF2000

AstGeoTop: Modelo SOAM © Versão 2013.07.08 Prof. Silvio Jacks dos Anjos Garnés DECArt/UFPE BRASIL

Estação	Latitude	Longitude	h(m)	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	-1°24'31,66047"	-48°27'45,17987"	9,089	0,02043	-0,00698	0,0000	-0,0049	-0,0050	0,0204
BOMJ	-13°15'20,00725"	-43°25'18,24802"	419,396	0,02001	-0,00799	0,0000	-0,0022	-0,0089	0,0195
BRAZ	-15°56'50,90839"	-47°52'40,32952"	1106,024	0,02039	-0,00774	0,0000	-0,0020	-0,0093	0,0196
CHPI	-22°41'13,72400"	-44°59'06,57081"	617,423	0,02015	-0,00831	0,0000	-0,0004	-0,0113	0,0186
CUIB	-15°33'18,94402"	-56°04'11,52082"	237,446	0,02076	-0,00694	0,0000	-0,0027	-0,0085	0,0200
POVE	-8°42'33,60918"	-63°53'46,75178"	119,596	0,02072	-0,00655	0,0000	-0,0045	-0,0057	0,0205
PPTE	-22°07'11,65423"	-51°24'30,72342"	431,042	0,02059	-0,00744	0,0000	-0,0010	-0,0107	0,0191
RECF	-8°03'03,46704"	-34°57'05,46010"	20,149	0,01896	-0,00801	0,0000	-0,0024	-0,0081	0,0188
SAGA	-0°08'37,87338"	-67°03'28,01266"	94,905	0,02060	-0,00688	0,0000	-0,0063	-0,0027	0,0206
SMAR	-29°43'08,12346"	-53°42'59,73616"	113,115	0,02068	-0,00696	-0,0001	0,0004	-0,0123	0,0180
TOPL	-10°10'15,78986"	-48°19'50,44591"	256,551	0,02042	-0,00747	0,0000	-0,0032	-0,0076	0,0201
BRFT	-3°52'38,80771"	-38°25'31,93481"	21,685	0,01944	-0,00737	0,0000	-0,0036	-0,0066	0,0194
SANT	-33°09'01,03646"	-70°40'06,79266"	723,076	0,02036	-0,00352	-0,0001	0,0003	-0,0116	0,0171
CRO1	17°45'24,83429"	-64°35'03,55032"	-31,950	0,02070	-0,00715	0,0000	-0,0092	0,0026	0,0197
CONZ	-36°50'37,53865"	-73°01'31,72949"	180,717	0,02017	-0,00255	-0,0001	0,0011	-0,0123	0,0162

G.7 – Velocidades da aplicação do Modelo PEREZ;MONICO;CHAVES 2003 às coordenadas do SIRGAS-CON para época de referência 9/01/2008.

Velocidade das Estações calculadas pelo modelo PEREZ;MONICO;CHAVES 2003

Em Geodésicas V(Lat), V(Long), V(h) e Cartesianas Geocêntricas V(X),V(Y),V(Z) velocidades [m/ano]

ITRF2000

AstGeoTop: Modelo SOAM © Versão 2013.07.08 Prof. Silvio Jacks dos Anjos Garnés DECart/UFPE BRASIL

Estação	Latitude	Longitude	h (m)	V(lat)	V(long)	V(h)	V(x)	V(y)	V(z)
BELE	-1°24'31,66047"	-48°27'45,17987"	9,089	0,01216	-0,00453	0,0000	-0,0032	-0,0032	0,0122
BOMJ	-13°15'20,00725"	-43°25'18,24802"	419,396	0,01256	-0,00363	0,0000	-0,0004	-0,0046	0,0122
BRAZ	-15°56'50,90839"	-47°52'40,32952"	1106,024	0,01221	-0,00313	0,0000	-0,0001	-0,0046	0,0117
CHPI	-22°41'13,72400"	-44°59'06,57081"	617,423	0,01244	-0,00264	0,0000	0,0015	-0,0052	0,0115
CUIB	-15°33'18,94402"	-56°04'11,52082"	237,446	0,01138	-0,00272	0,0000	-0,0006	-0,0040	0,0110
POVE	-8°42'33,60918"	-63°53'46,75178"	119,596	0,01037	-0,00338	0,0000	-0,0023	-0,0029	0,0103
PPTE	-22°07'11,65423"	-51°24'30,72342"	431,042	0,01188	-0,00219	0,0000	0,0011	-0,0048	0,0110
RECF	-8°03'03,46704"	-34°57'05,46010"	20,149	0,01301	-0,00432	0,0000	-0,0010	-0,0046	0,0129
SAGA	-0°08'37,87338"	-67°03'28,01266"	94,905	0,00991	-0,00463	0,0000	-0,0043	-0,0018	0,0099
SMAR	-29°43'08,12346"	-53°42'59,73616"	113,115	0,01164	-0,00101	0,0000	0,0026	-0,0052	0,0101
TOPL	-10°10'15,78986"	-48°19'50,44591"	256,551	0,01217	-0,00370	0,0000	-0,0013	-0,0041	0,0120
BRFT	-3°52'38,80771"	-38°25'31,93481"	21,685	0,01286	-0,00445	0,0000	-0,0021	-0,0040	0,0128
SANT	-33°09'01,03646"	-70°40'06,79266"	723,076	0,00934	0,00115	0,0000	0,0028	-0,0044	0,0078
CRO1	17°45'24,83429"	-64°35'03,55032"	-31,950	0,01027	-0,00694	0,0000	-0,0076	-0,0002	0,0098
CONZ	-36°50'37,53865"	-73°01'31,72949"	180,717	0,00894	0,00204	0,0000	0,0035	-0,0045	0,0072