UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

CENTRO ESTADUAL DE PESQUISA EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

POTENCIALIDADES DE SERVIÇOS ON-LINE DE POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO EM APLICAÇÕES GEODÉSICAS: UMA ANÁLISE ENVOLVENDO LONGO PERÍODO DE DADOS DAS ESTAÇÕES DA RBMC

JOSÉ LUIZ FAY DE AZAMBUJA
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Tomio Matsuoka
Porto Alegre (RS), Agosto de 2015

JOSÉ LUIZ FAY DE AZAMBUJA

POTENCIALIDADES DO SERVIÇO ON-LINE DE POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO EM APLICAÇÕES GEODÉSICAS: Uma análise envolvendo longo período de dados das estações da RBMC

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Sensoriamento Remoto.

Área de Concentração: Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

Linha de Pesquisa: Geodésia por Satélite.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Tomio Matsuoka

PORTO ALEGRE
2015

BANCA EXAMINADORA

Dra. Andréa Lopes Iescheck
Departamento de Geodésia da UFRGS

Dr. Jorge Luiz Barbosa da Silva
Departamento de Geodésia da UFRGS

Dr. Sergio Florencio de Souza
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto – UFRGS

À minha esposa Tais, pelo seu amor demonstrado através da permanente parceria e incentivo para a realização desta Tese.

Aos nossos filhos José Rodrigo e José Ricardo, responsáveis por levar adiante o essencial de nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, origem de tudo e presença permanente em nossa vida.

Aos meus pais, Ruy e Marila, que são responsáveis, por meio de seu amor, pela nossa existência.

A todos aqueles que, em diferentes momentos e pelas mais variadas formas, colaboraram para a execução deste trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, particularmente ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, especialmente na pessoa do saudoso Professor Doutor Vitor Francisco de Araújo Haertel, do qual tive o privilégio de ter sido aluno, bem como de todos os seu professores e colaboradores, que me proporcionaram a oportunidade de exercitar o saber.

Ao NRCan – Natural Resources Canada, que possibilitou o processamento gratuito, através de seu sítio, de mais de 170.000 arquivos de dados GPS.

A Engenheira Sonia Maria Alves Costa, da Diretoria de Geociências do IBGE, pela atenção dispensada na elucidação de questionamentos surgidos ao longo do desenvolvimento da Tese.

Agradeço também aos Professores Doutores Andréa Lopes Iescheck, Jorge Luiz Barbosa da Silva e Sergio Florencio de Souza, por terem aceito o convite para participar da banca examinadora.

Finalmente agradeço ao meu orientador Professor Doutor Marcelo Tomio Matsuoka, que tem idade para ser meu filho, pelo apoio, incentivo e paciência demonstrados ao longo deste caminho.

RESUMO

Um método de posicionamento por GNSS (*Global Navigation Satellite System*) que vem se popularizando nos últimos anos é o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). Este método de posicionamento se utiliza de dados de apenas um receptor e requer, fundamentalmente, o uso de efemérides e correções dos relógios dos satélites precisos. O PPP nos últimos anos ganhou um impulso significativo em sua popularidade devido, principalmente, ao surgimento de serviços gratuitos de processamento on-line. Entre estes serviços on-line de processamento de PPP, destaca-se o fornecido pelo NRCan (Natural Resource Canada), denominado CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning). Nesta Tese utilizou-se o serviço canadense CSRS-PPP no processamento de um longo período de dados superior a onze anos coletados em noventa e cinco das estações da RBMC. A análise das velocidades obtidas a partir das respectivas séries temporais referentes às coordenadas diárias estimadas pelo CSRS-PPP bem como a determinação de suas coordenadas – através do PPP – referidas à época 2000.4, mostraram resultados com pequenas discrepâncias quando comparadas com os valores oficiais adotados para as estações analisadas. O problema detectado, refere-se à impossibilidade da adoção de velocidades lineares de translação no sistema cartesiano X, Y e Z, tendo em vista que na grande maioria das estações constatou-se um comportamento sazonal referente à altura elipsoidal, variação esta que afeta as translações em X, Y e Z ao longo do ano. Como solução, propõe-se a adoção das velocidades de deslocamento calculadas para coordenadas planas, particularmente as coordenadas UTM, sendo a altura elipsoidal corrigida através de modelos estabelecidos em função da variação sazonal registrada em cada uma das estações da RBMC.

Palavras-chave: GPS/GNSS; Posicionamento por Ponto Preciso; Velocidades de Translação da Placa Sul Americana; Variação Anual da Altura Elipsoidal

ABSTRACT

A positioning method for GNSS (Global Navigation Satellite System) that has become more popular in recent years is the Precise Point Positioning (PPP). The PPP refers to the positioning method that utilizes data to only one receiver and requires fundamentally the use of ephemeris and corrections to the precise satellite clock. The PPP in recent years gained a significant boost in its popularity, mainly due to the emergence of free services online processing. Among these PPP processing on-line services, there is the one provided by NRCan (Natural Resource Canada) called CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System - Precise Point Positioning). In this Thesis used if the Canadian service CSRS-PPP to process data for a long period upper through eleven collected at ninety-five of RBMC stations. The analysis of the rates obtained from the respective time series relating to the daily coordinates estimated by the CSRS-PPP and the determination of its coordinates - through PPP - said at the time 2000.4, showed results with minor discrepancies compared with the official values adopted for the analyzed stations. The problem detected, refers to the impossibility of adopting linear translation speeds in the Cartesian system X, Y, and Z, considering that in most of the stations found a seasonal pattern related to the ellipsoidal height, this variation that affects translations in X, Y and Z throughout the year. As a solution, it is proposed the adoption of the forward speeds calculated for planar coordinates, particularly UTM coordinates, and the ellipsoid height corrected by established models depending on seasonal variations recorded in each of the stations RBMC.

Keywords: GPS/GNSS; Precise Point Positioning; Translation speeds of South American Plate; Annual Change height Elipsoidal

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Evolução do deslocamento dos continentes 33
Figura 3.1 – Parte do arquivo em pdf gerado no processamento. 37
Figura 3.2 – Parte do arquivo .sum gerado no processamento. 38
Figura 3.3 – Parte do arquivo .pos gerado no processamento. 39
Figura 3.4 – Localização e Status das Estações da RBMC em 2014 42
Figura 3.5 – Evolução da coordenada X referente à estação de Brasília. 46
Figura 3.6 – Evolução da coordenada Y referente à estação de Brasília. 47
Figura 3.7 – Evolução da coordenada Z referente à estação de Brasília. 47
Figura 3.8 – Evolução da coordenada UTM norte referente à estação de Brasília. 48
Figura 3.9 – Evolução da coordenada UTM leste referente à estação de Brasília. 48
Figura 3.10 – Deslocamento planimétrico referente à estação de Brasília. 49
Figura 3.11 – Evolução da altura elipsoidal referente à estação de Brasília. 49
Figura 3.12 – Velocidade das estações na direção norte (em m/ano). 73
Figura 3.13 – Velocidade das estações na direção leste (em m/ano). 73
Figura 3.14 – Velocidade das estações em relação à altura elipsoidal (em m/ano). 74
Figura 3.15 – Representação das estações classificadas pela amplitude da oscilação vertical 79
Figura 3.16 – Diferenças em mm de alturas elipsoidais entre 01.04 e 25.05. 80
Figura 3.17 – Diferenças em mm de alturas elipsoidais entre 01.10 e 25.05. 81
Figura 3.18 – Oscilação vertical de estações mais próximas a Brasília 82
Figura 3.19 – Oscilação da altura elipsoidal (em metros) da estação de São Luís para análise da ocorrência da maré oceânica. 83
Figura 3.20 – Oscilação altura elipsoidal (em metros) da estação de Brasília para análise da ocorrência da maré oceânica 84
Figura 4.1 – Tela da planilha Excel que calcula Velocidades de Translação em Norte, Leste e Altura Elipsoidal 89
Figura 4.2 – Tela da planilha Excel que calcula Coordenadas UTM e Altura Elipsoidal. 92

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Parâmetros do elipsóide do WGS 84. 19
Tabela 3.1 – Período de observações nas estações da RBMC. 40
Tabela 3.2 – Número de arquivos processados por estação e importância relativa das mesmas com relação à estação com maior número de dados (Cuiabá) 43
Tabela 3.3 – Parâmetros de transformação do ITRF2008 para ITRFs anteriores. 45
Tabela 3.4 – Coordenadas Cartesianas calculadas para cada estação e comparação com IBGE. 50
Tabela 3.5 – Estações com diferença espacial menor do que 0,052 m em relação ao IBGE 58
Tabela 3.6 – Estações com diferença espacial maior do que 0,052 m em relação ao IBGE 60
Tabela 3.7 – Coordenadas UTM calculadas para cada estação e comparação com IBGE. 61
Tabela 3.8 – Estações com diferença planimétrica menor do que 0,042 m em relação ao IBGE. 67
Tabela 3.9 – Estações com diferença planimétrica maior do que 0,042 m 69
Tabela 3.10 – Velocidades de translação das estações da RBME em X, Y, Z, n, e e u em m/ano 69
Tabela 3.11 – Velocidades planimétricas médias e seus respectivos desvios padrão 72
Tabela 3.12 – Estações Planas. 76
Tabela 3.13 – Oscilação Baixa. 76
Tabela 3.14 – Oscilação Média. 77
Tabela 3.15 – Oscilação Média Alta. 78
Tabela 3.16 – Oscilação Alta. 78
Tabela 3.17 – Oscilação Muito Alta. 78

LISTA DE SÍMBOLOS

n	número total de observações
NC	Nível de confiança considerado
H	Função salto de Heaviside
vi	Representação de efeitos não modelados
$\sum$	Somatório
X	Coordenada Cartesiana no eixo X
Y	Coordenada Cartesiana no eixo Y
Z	Coordenada Cartesiana no eixo Z
n	Coordenada UTM na direção Norte
e	Coordenada UTM na direção Leste
u	Altura Elipsoidal
σ	Desvio-padrão
μ	Média Aritmética

LISTA DE ABREVIATURAS

APKIM 2000 – Actual Plate Kinematic Model
AS – Anti-Spoofing
COMPASS – Compass Navigation Satelllite System
CSRS-PPP – Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning
DoD – Department of Defense
EGM 96 – Earth Gravitational Model 1996
GALILEO – Sistema de navegação por satélite da União Européia
GLONASS – GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikkovaya Sistema
GM – Constante de Gravitação Universal
GPS – Global Positioning System
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGU – Órbita IGS Ultrarrápida,
IGR – Órbita IGS Rápida
IGS – Órbita IGS Final,
IGS – International GNSS Geodynamics Service
ITRF – International Terrestrial Reference Frame
JPL – Jet Propulsion Laboratory
MAPGEO2010 – Modelo Geoidal do IBGE 2010
NAD-83 – North American Datum
NASA – Agência Espacial Norte-Americana
NNR-NUVEL 1ª – Modelo de Deslocamento de Placas Tectônicas
NRCan – Natural Resource Canada
PPP – Posicionamento por Ponto Preciso
RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RINEX – Formato do arquivo Receiver INdependent EXchange
SA – Selective Availability
SAD-69 – South American Datum-69
SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SCA – Sistemas de Controle Ativos
UTM – Projeção Universal Transversa de Mercator
VELINTER – Modelo de Velocidades
VEMOS2009 – VElocity MOdel of Sirgas - Modelo de Velocidades para a América do Sul e Caribe
VLBI – Very Long Baseline Interferometry
WGS84 – World Geodetic System de 1984

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 Caracterização do assunto 12
1.2 Objetivo 14
1.3 Justificativa 15
1.4 Estrutura do trabalho 16
2 CONSIDERAÇÕES GERAIS E REVISÃO TEÓRICA 17
2.1 Histórico dos sistemas de posicionamento 17
2.1.1 Advento do GNSS 18
2.2 Métodos de processamento 20
2.2.1 Posicionamento por ponto simples ou posicionamento absoluto 20
2.2.2 Posicionamento diferencial 21
2.2.3 Posicionamento relativo 22
2.2.4 Posicionamento por ponto preciso 24
2.2.5 Tectônica das placas 31
3 EXPERIMENTOS E RESULTADOS OBTIDOS 36
3.1 Conjunto de dados e estratégia de processamento 36
3.2 Resultados e análises 40
3.3 Análise do comportamento dos deslocamentos planimétricos 72
3.4 Constatação de deslocamentos altimétricos 74
3.5 Considerações sobre maré terrestre e oceânica 82
4 ELABORAÇÃO DE SOFTWARES 86
4.1 Estabelecimento de Modelo de Deslocamento da Placa Tectônica 86
4.2 Determinação de coordenadas transformadas norte (n), leste (e) e altura elipsoidal (u) para a época de referência do SIRGAS2000 90
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 94
5.1 Considerações Finais 94
5.2 Conclusões 94
5.3 Recomendações 95
REFERÊNCIAS 97

1 INTRODUÇÃO

A comunidade técnica e científica que opera atividades relacionadas com a Geodésia e a Topografia, tem como premissa o conhecimento da localização de pontos, normalmente materializados no terreno.

Muito embora teorias elaboradas há cerca de um século atrás preconizavam o deslocamento das placas tectônicas e, por consequência, a variação das coordenadas dos pontos situados na superfície da terra, pouca importância era dada a este aspecto, haja visto as grandes dificuldades para aferir suas magnitudes, associadas às precisões a ela relacionadas.

O advento de técnicas modernas, que somente se tornaram possíveis pela conquista do espaço envolvendo o lançamento de satélites e a exploração lunar, tornaram possível o desenvolvimento do sistema GPS e de outras técnicas descritas ao longo desta Tese, que facilitaram a determinação dos deslocamentos das Placas Tectônicas formadoras da superfície terrestre.

Nesta Tese é analisada a potencialidade do método do Processamento por Ponto Preciso (PPP) – adotado no processamento de dados obtidos por GPS – para ser utilizado na mensuração desses deslocamentos, visando transformar as coordenadas de um ponto, determinadas para uma certa época, em coordenadas relativas a uma época distinta, normalmente estabelecida como base de um sistema de referência – no caso brasileiro o SIRGAS2000.

1.1 Caracterização do assunto

A superfície terrestre está em constante movimentação em razão dos aspectos geodinâmicos que permanentemente agem sobre a Terra. Inicialmente constituída de um único bloco, foi sendo segmentada, ao longo das eras geológicas, em diversos blocos que atualmente recebem a denominação de Placas Tectônicas e que se movimentam, irregularmente, em diversas direções.

Em vista disso, é evidente que as coordenadas geodésicas variam constantemente. Cabe aos pesquisadores tentar captar os movimentos já ocorridos e estabelecer modelos de deslocamentos para o futuro, que normalmente estão relacionados com o tempo.

Para tanto é necessário realizar, através de observações periódicas e sistemáticas em pontos determinados, o monitoramento de movimentações na superfície das placas.

Inicialmente esta tarefa era bastante trabalhosa e imprecisa, mas a partir dos anos sessenta do século passado, com o advento da técnica VLBI (Very Long Baseline Interferometry) e de outras técnicas espaciais de posicionamento desenvolvidas na década de 70 (Doppler, SLR - Satellite Laser Ranging), foi alvo de progressos significativos, culminando com o surgimento, na década de 70, do sistema GPS (Global Positioning System) que será descrito posteriormente.

Nos estudos relacionados à movimentação da Terra, sejam referentes a sua rotação e a sua translação, sejam em relação à movimentação das placas tectônicas, o GPS tem se mostrado como um dos mais importantes instrumentos utilizados (DING, 2005).

Uma de suas principais características que resulta na sua importância, refere-se ao fato de que se utiliza de satélites para determinar alterações ocorridas em terra, o que torna possível obter conclusões de forma mais confiáveis.

Considerando que o planeta está em constante movimento, é importante para a determinação de coordenadas geodésicas que se conheça, da melhor forma possível, como ocorrem essas movimentações.

O advento do GPS, com seus contínuos aperfeiçoamentos e popularização, forneceu à comunidade científica uma ferramenta de alto potencial para o estudo e determinação dos movimentos da crosta terrestre.

Nos últimos anos, o método denominado PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) tem ganhando cada vez mais popularidade. Muito embora seja usado com sucesso desde a década passada (ex: Zumberge, et al., 1997), o PPP se limitava basicamente aos usuários que possuíam aplicativos computacionais de cunho científico, o que, de certa forma, o afastava da grande maioria dos usuários. Alguns trabalhos brasileiros já foram realizados empregando o método PPP, como por exemplo, MONICO (2000), PEREZ et al. (2003), ABREU e FONSECA Jr. (2005).

A partir do início deste século, diversos serviços on-line gratuitos de processamento de dados GNSS foram disponibilizados, sendo que alguns utilizam o método de PPP. A facilidade de acesso e a simplicidade do uso desses serviços estão fazendo com que o método PPP torne-se a cada dia mais popular.

Dentre os serviços on-line de processamento de PPP, encontra-se o fornecido pelo NRCan (Natural Resource Canada), denominado CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning) (NRCan, 2009; LAHAYE et al., 2008).

Ao longo desta Tese foram realizados estudos envolvendo longo período de dados coletados nas estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) usando o serviço on-line do NRCan de processamento do PPP, para verificar a potencialidade deste método em aplicações geodésicas, particularmente na determinação da velocidade de deslocamento da Placa Tectônica da América do Sul.

Muitos pesquisadores de inúmeras instituições internacionais vêm reunindo esforços dedicados ao processamento diário dos dados das estações IGS com o intuito estimar vetores de velocidade para pontos e regiões localizadas em todas as partes da Terra.

Particularmente no Brasil, o IBGE implantou e mantém a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), que é constituída por uma estrutura nacional com as mesmas características da rede IGS (International GNSS Service), e que está em plena atividade desde agosto de 1997 (FORTES, 1997).

Esta realidade proporcionou ao autor uma análise da variação temporal das coordenadas de todas as estações no período de 2002 a 2013, através do processamento dos dados GPS pelo método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) realizado através do NRCan.

1.2 Objetivo

O objetivo geral desta Tese é estudar o deslocamento da Placa Tectônica da América do Sul, particularmente de sua porção localizada em território brasileiro, através do processamento de dados obtidos nas estações componentes da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) mantida pelo IBGE.

Para tanto, serão determinadas as velocidades de deslocamento dessas estações no sistema cartesiano X, Y e Z, bem como no plano horizontal (planimétrico) em território brasileiro e analisado o comportamento de seus deslocamentos verticais, mediante a utilização do processamento de dados GPS realizados através do Método de Processamento por Ponto Preciso – PPP, utilizando-se dos serviços on-line fornecido pelo NRCan (Natural Resource Canada), denominado CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning).

O conhecimento das velocidades de deslocamento da Placa Tectônica da América do Sul em território brasileiro, reveste-se de grande importância na medida em que o PPP fornece resultados referentes à época da coleta de dados e, na maioria das vezes, é necessário

compatibilizar estes resultados relacionando-os aos de outra época – no caso brasileiro à época 2000.4 considerada como referência do SIRGAS2000.

O ser humano vive sobre a litosfera, composta pela camada da Terra onde são realizadas a maioria das ações naturais e antrópicas, e que encontra-se em contínuo movimento, causando a mudança de posição dos pontos em virtude não somente das deformações causadas por interações geodinâmicas intraplacas, mas de outros tipos de perturbações.

Assim sendo, é de grande importância que se tenha conhecimento de como e porque estes movimentos ocorrem, visando dentre outros objetivos, obter condições de calcular, com bastante precisão, as coordenadas dos pontos situados na superfície terrestre e dispor de instrumentos para prever suas variações no futuro.

Como objetivo específico, cita-se o estabelecimento de um modelo para a determinação das velocidades de deslocamento da Placa Tectônica da América do Sul abrangendo todo o território brasileiro, considerando tanto o movimento horizontal quanto o vertical.

1.3 Justificativa

Para a comunidade de usuários de nosso país, dentre a qual se incluem diversos grupos de pesquisadores, é importante que se disponha de um modelo para predizer e recuperar o campo de velocidade de qualquer ponto situado no território brasileiro.

O Sistema Geodésico oficial atualmente vigente no país é o SIRGAS2000, que tem como origem das coordenadas a época 2000.4. Considerando-se a existência da movimentação das Placas Tectônicas, é inegável que hoje o Brasil não está mais na posição que ocupava no ano 2000. Assim sendo é relevante saber onde estamos e, para tanto, é necessário que se tenha o conhecimento das velocidades de deslocamento da Placa Tectônica da América do Sul, sobre a qual situa-se o nosso país.

Acredita-se que os resultados obtidos nesta Tese venham a se constituir em importante ferramenta para os usuários do método de Posicionamento por Ponto Preciso, cuja utilização vem crescendo em nosso país.

1.4 Estrutura do trabalho

Esta Tese está dividida em cinco capítulos, conforme descrito a seguir.

O primeiro capítulo, denominado Introdução, é composto pela caracterização do assunto relativo à Tese, seus objetivos, tanto gerais quanto específicos, bem como a justificativa de seu desenvolvimento.

No segundo capítulo, são apresentadas considerações gerais sobre o objeto da Tese e é realizada uma revisão teórica sobre os principais assuntos tratados no desenrolar do trabalho, abordando os diversos sistemas de posicionamento por satélites, métodos de processamento de GPS – dando-se ênfase ao Posicionamento por Ponto Preciso – e aspectos relacionados com a tectônica das placas.

No terceiro capítulo são apresentados e descritos todos os procedimentos executados para a obtenção dos resultados propostos nos objetivos da Tese, apresentados através de gráficos e tabelas; são descritos os métodos de processamento, detalhadas as correções de arquivos em função das antenas e das trocas de ITRF, feitas considerações sobre deslocamentos planimétricos e altimétricos bem como citados aspectos relacionados com as marés terrestres e oceânicas.

O quarto capítulo descreve os procedimentos realizados para a elaboração de softwares que serão utilizados na transformação de coordenadas entre épocas distintas.

Finalizando, no quinto capítulo são apresentadas as considerações finais, bem como as conclusões e as recomendações sugeridas após a elaboração da Tese.

2 CONSIDERAÇÕES GERAIS E REVISÃO TEÓRICA

Neste capítulo, é apresentada uma revisão teórica sobre os principais temas envolvidos nesta Tese, abordando os diversos sistemas de posicionamento por satélites, métodos de processamento de GPS – dando-se ênfase ao Posicionamento por Ponto Preciso – e aspectos relacionados com a tectônica das placas. Para mais detalhes sobre estes temas, sugere-se consultar as referências citadas.

2.1 Histórico dos sistemas de posicionamento

O ser humano, desde suas origens, sentiu a necessidade de se localizar. O seu "mundo", inicialmente formado apenas por grupos de pessoas que viviam nas proximidades, foi se expandindo em função das condições de locomoção.

Com o passar dos tempos sua área de influência foi se ampliando para territórios próximos, atingindo posteriormente os mares e oceanos, e daí todos os continentes que formam a superfície terrestre.

Atualmente pode-se afirmar que as necessidades de localização abrangem praticamente todo o universo.

Nesta trajetória histórica, que perpassa milênios, os sistemas de posicionamento foram evoluindo e nas últimas décadas verificou-se um avanço espetacular com o advento do GPS.

Já mais recentemente, com o avanço registrado na área da eletrônica, novos sistemas de posicionamento foram sendo desenvolvidos, muito embora normalmente apresentassem algum tipo de problema.

Como se denota, o mundo estava carente de uma solução que oferecesse, além de abrangência global, uma boa precisão, facilidade e continuidade de uso, associados a custos acessíveis para um grande número de usuários.

A solução encontrada para o problema de posicionamento surgiu em meados da década de 1970 com a proposta do GPS (Global Positioning System), como se verá a seguir.

2.1.1 Advento do GNSS

O termo GNSS foi criado em 1991 e atualmente refere-se aos sistemas de posicionamento globais por satélites, tendo como principais exemplos: o GPS (Global Positioning System), o GLONASS (GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikkovaya Sistema), o COMPASS/BeiDou (CNSS - Compass Navigation Satelllite System) e o Galileo.

Enquanto o GPS é de responsabilidade dos EUA, a Federação da Rússia é responsável pelo GLONASS, a União Europeia pelo Galileo e a China é responsável pelo COMPASS (SEEBER, 2003).

O GPS, ou NAVSTAR-GPS, foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América - DoD (Department of Defense), para ser utilizado pelas forças armadas americanas.

Na área de Geodésia uma grande vantagem da utilização do GPS em comparação com os métodos tradicionais, consiste em não ser necessária a intervisibilidade entre estações, associado ao fato de que a utilização do GPS pode ser feita em qualquer condição de clima.

Resumidamente, para se obter o posicionamento (coordenadas de um ponto) através das técnicas de GPS, parte-se do princípio de que é necessário o conhecimento das distâncias entre o usuário (representado pela antena do receptor) e um grupo de satélites (no mínimo quatro), bem como as coordenadas dos respectivos satélites num mesmo sistema de referência que se deseja obter as coordenadas do ponto considerado.

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) adota como referência o World Geodetic System de 1984 (WGS-84). Isto faz com que os resultados dos posicionamentos realizados com o GPS referem-se a esse sistema geodésico, devendo ser transformados para um dos sistemas oficiais adotados no Brasil – SIRGAS2000 ou SAD-69, este último vigente somente até o início de 2015.

Cabe registrar que o GPS fornece os resultados em coordenadas cartesianas X, Y e Z. O usuário, via de regra, realiza transformações geométricas, utilizando-se de softwares específicos, através das quais pode determinar Latitude, Longitude, altura elipsoidal, coordenadas planas UTM, etc., que são calculadas em qualquer sistema de referência desejado, dependendo do software utilizado.

Especificamente quanto à componente altimétrica, é importante salientar que sua transformação para altura geométrica envolve a utilização de modelos geoidais específicos, dentre os quais cita-se o modelo oficial do IBGE, denominado MAPGEO2010, cuja precisão é da ordem de cinquenta centímetros.

O sistema de referência do GPS, quando se utilizam efemérides transmitidas, normalmente utilizadas quando se processam os dados através dos métodos relativo e diferencial e ponto isolado, é o WGS 84.

Já no Posicionamento por Ponto Preciso, utilizam-se as efemérides precisas, referidas ao ITRF vigente na época das observações, o que normalmente acarreta a necessidade de realizar ajustes para compatibilizá-lo com a época do SIRGAS2000, sistema oficial do Brasil.

Desta forma, quando um levantamento é efetuado usando o GPS, as coordenadas dos postos envolvidos serão obtidas no sistema de referência WGS 84, cuja origem é o centro de massa da Terra, com os eixos cartesianos X, Y e Z idênticos aos do CTRS, para a época 1984.0.

Com o refinamento do WGS 84, alguns parâmetros relacionados a esse sistema sofreram alterações.

Na Tabela 2.1 estão listados os parâmetros fundamentais do elipsóide do WGS 84. O novo valor de GM foi implementado no sistema operacional do GPS em outubro de 1994, melhorando a qualidade das coordenadas cartesianas dos satélites.

No entanto, no processo de obtenção dos elementos keplerianos, a partir das coordenadas cartesianas dos satélites, ainda se adota o valor antigo. Uma mudança nesses parâmetros faria com que milhões de receptores existentes em operação deveriam sofrer alterações, o que implicaria em elevados custos para toda comunidade.

Dessa forma, a determinação das órbitas dos satélites foram bastante melhoradas com a adoção do novo valor de GM, enquanto que os softwares residentes nos receptores não necessitaram sofrer alterações, melhorando os resultados dos posicionamentos sem a incidência de custos adicionais.

Tabela 2.1 – Parâmetros do elipsóide do WGS 84.

Descrição	Parâmetros e valores	
	Anterior	Atual
Semi-eixo maior	a = 6.378.137 m	Igual ao anterior
Achatamento	f = 1/298,257.222.100	f = 1/298,257.223.563
Velocidade Angular da Terra	Wc = 7.292.115 * 10-8 rad/s	Igual ao anterior
Constante gravitacional da Terra	GM = 3.986.005 * 108 m3/s2	GM = 3.986.004,418 * 108 m3/s2

Fazem parte ainda do WGS 84 as alturas geoidais entre o elipsóide do WGS 84 e o geóide, as quais foram derivadas do EGM 96 (Earth Gravitational Model 1996 – Modelo Gravitacional da Terra). A incerteza absoluta das alturas geoidais é estimada situar-se no intervalo de cinquenta centímetros a um metro, em nível global, pouco acima da exatidão preconizada no MAPGEO2010 (da ordem de cinquenta centímetros).

2.2 Métodos de processamento

O processamento de dados no sistema GPS pode ser realizado através de diversos métodos, utilizando-se de softwares desenvolvidos para tal.

Dentre os métodos de processamento – dando-se ênfase ao Posicionamento por Ponto Preciso – citam-se os seguintes:

2.2.1 Posicionamento por ponto simples ou posicionamento absoluto

Nos primórdios da utilização do sistema GPS, a forma mais comum de se obter o posicionamento de um ponto era feita através da coleta das pseudodistâncias desde os satélites visíveis num instante qualquer até uma estação receptora.

Assim sendo, cada observação coletada gerava uma equação que, no seu conjunto, compunha um sistema de equações redundantes as quais, devidamente ajustadas, forneciam as coordenadas da estação.

Neste método de Posicionamento por Ponto Simples, também conhecido como Posicionamento Absoluto, necessita-se de apenas um receptor e de no mínimo quatro satélites visíveis simultaneamente, possíveis de serem rastreados numa mesma época.

Isto é necessário tendo em vista que, para se realizar o posicionamento, há quatro parâmetros a serem determinados, sendo três relativos às coordenadas da estação (X, Y, Z) e um relativo ao erro do relógio do receptor.

No entanto, para realização do ajustamento, seriam necessários um mínimo de cinco satélites visíveis simultaneamente numa mesma época.

Neste caso, o posicionamento instantâneo de uma estação apresenta precisão planimétrica e altimétrica da ordem de 100 e 140 metros, respectivamente, com probabilidade de 95%.

Se o receptor permanecer estacionário sobre a estação, coletando observações por um longo período de tempo, a qualidade dos resultados não melhora consideravelmente, tendo em vista que nos dados envolvidos no processamento há erros de natureza sistemática.

Caso esteja disponível, é possível incluir no processamento, além da pseudo-distância, a medida da fase da onda portadora.

Esta técnica não atende aos requisitos de precisão intrínseco ao posicionamento geodésico, tendo em vista a ocorrência de importantes erros relacionados com a qualidade (precisão) da observável utilizada (pseudo-distância) e a acurácia dos parâmetros transmitidos nas mensagens de navegação.

No que concerne à acurácia dos parâmetros transmitidos nas mensagens de navegação, enquanto a da órbita do satélite é da ordem de poucos metros, a dos relógios dos satélites é uma ordem de magnitude maior (ZUMBERGE & BERTIGER, 1996). Acrescentam-se a estes erros aqueles advindos da refração troposférica e ionosférica, multicaminho do sinal, dentre outros (MONICO, 2008).

Dessa forma, esse método não atende aos requisitos de precisão intrínsecos ao posicionamento geodésico (MONICO, 2008).

A precisão planimétrica e altimétrica desse método estava situada na faixa de cem a cento e quarenta metros, respectivamente, até maio de 2000, sendo que atualmente, após a retirada da SA, a acurácia tanto horizontal como vertical instantânea está situada em torno de pouco mais de uma dezena de metros (MONICO, 2008).

2.2.2 Posicionamento diferencial

Ainda na vigência dos erros causados pela introdução da SA nas efemérides transmitidas – o que mais tarde mostrou-se afetando principalmente os erros dos relógios dos satélites – procuraram-se estabelecer métodos que aumentassem a precisão das coordenadas obtidas no processamento.

Assim sendo, partindo do pressuposto de que os erros de posicionamento causados por efeitos naturais ou propositadamente inseridos fossem de mesma magnitude em distâncias relativamente próximas, desenvolveu-se o método de posicionamento diferencial que consiste, basicamente, no seguinte:

Coloca-se um dos receptores numa estação de coordenadas conhecidas ao mesmo tempo em que outro receptor é colocado no ponto onde se deseja obter o posicionamento.

Através do método de Posicionamento por Ponto Convencional, calculam-se, em cada época observada, as coordenadas de ambos os pontos.

Conhecidas as coordenadas de um dos pontos, aplicam-se os mesmos erros verificados na estação conhecida ao ponto que se deseja obter as coordenadas.

Assim sendo, as posições absolutas calculadas para um receptor são corrigidas por um outro receptor estacionado num ponto de coordenadas conhecidas.

Este processo pode ser realizado “on line” através de link de rádio ou ser pós processado. Em ambos os casos a precisão obtida situa-se na faixa de um a dez metros, dependendo da distância entre as estações e das condições de geometria dos satélites.

2.2.3 Posicionamento relativo

O Posicionamento Relativo é mais preciso do que o Posicionamento por Ponto Simples e do Posicionamento Diferencial, sendo bastante utilizado para aplicações geodésicas de precisão.

Dependendo da técnica utilizada (estático, cinemático ou dinâmico) é possível, através deste método, obter-se precisão de até 1 ppm.

Para o caso de aplicações científicas, como o estabelecimento da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC, a precisão requerida é da ordem de 0,1 ppm.

As estações devem ser ocupadas simultaneamente até que uma quantidade suficiente de dados oriundos de quatro ou mais satélites tenham sido coletados, sendo que o tempo de observação varia conforme a quantidade de satélites visíveis, bem como das condições atmosféricas, do tipo de receptor utilizado e do comprimento da linha de base.

Ao contrário de Método Diferencial, que é aplicado em linhas de base relativamente curtas, no Método Relativo as linhas de base podem ficar distantes desde alguns metros até centenas de quilômetros.

Cabe registrar que existindo estações oficiais que disponibilizam dados on line – Sistemas de Controle Ativos (SCA) – pela internet, é possível realizar tanto o Posicionamento Relativo quanto o Diferencial em tempo real, utilizando-se de apenas um receptor GPS e um equipamento que colete os dados gerados na estação de monitoramento.

Saliente-se que no Posicionamento Relativo a simultaneidade das observações reduz alguns tipos de erros, como o erro do relógio do satélite. Na prática isso só ocorre quando os relógios dos receptores estiverem sincronizados no nível de milisegundos com o tempo GPS (MONICO, 2008).

As linhas de base são compostas por duas ou mais estações possibilitando que, ao conhecerem-se as coordenadas de pelo menos uma delas, determinem-se coordenadas de estações desconhecidas.

Essa técnica é utilizada no posicionamento relativo com a vantagem de que os erros presentes nas observações originais são reduzidos quando se formam as diferenças entre as observáveis das estações originando assim as simples, duplas e triplas diferenças (MONICO, 2008).

Simples diferenças podem ser formadas entre dois receptores, dois satélites ou duas épocas (MONICO, 2008), onde o erro do relógio do satélite é eliminado enquanto que os erros devidos às posições dos satélites (determinadas pelas efemérides transmitidas) e à refração atmosférica são minimizados, principalmente em bases curtas, onde os efeitos da ionosfera e troposfera são muito parecidos em cada estação (MONICO, 2008).

A dupla diferença é a diferença entre duas simples diferenças, envolvendo dois receptores e dois satélites (MONICO, 2008).

A equação das duplas diferenças é a observável mais utilizada nos processamentos de dados GPS envolvendo a fase da onda portadora no posicionamento relativo, pois apresenta a melhor relação entre ruído resultante e a eliminação de erros sistemáticos envolvidos nas observáveis originais (MONICO, 2008).

Segundo HOFMANN et. al. (2001), no início deste século o Posicionamento Relativo no modo estático era considerado o método de levantamento mais preciso até então utilizado.

No posicionamento relativo estático o período de ocupação das estações é relativamente longo, por isso somente as duplas diferenças da fase da onda portadora são incluídas como observáveis.

As pseudodistâncias são utilizadas no pré-processamento para estimar o erro do relógio do receptor, ou estimar o instante aproximado de transmissão do sinal pelo satélite. Os softwares comerciais utilizam, por padrão, esse método (MONICO, 2008).

Segundo (MONICO, 2008) o posicionamento relativo estático permite obter precisão da ordem de 1 a 0,1 ppm, ou mesmo melhor do que isso. Em linhas de base médias e longas (maiores do que 20 km) é imprescindível o uso de receptores geodésicos quando a precisão requerida é muito alta.

2.2.4 Posicionamento por ponto preciso

Considerado como uma evolução do processamento por ponto simples, que se utiliza das efemérides transmitidas pelos satélites, o PPP – Posicionamento por Ponto Preciso é um método que se baseia em observações não diferenciadas, utilizando as efemérides precisas das órbitas dos satélites.

Como já mencionando anteriormente, as efemérides precisas estão associadas tanto às órbitas dos satélites propriamente ditas, quanto aos erros dos relógios dos respectivos satélites.

Estes produtos podem ser utilizados no processamento de observações de pseudo-distâncias, fase da onda portadora, ou ambas, as quais podem ter sido coletadas por receptores de uma ou duas frequências.

Nesse caso, tem-se o método de PPP, o qual geralmente se utiliza de receptor de dupla frequência, envolvendo o uso das duas observáveis nas duas portadoras. Este método apresenta grande potencialidade de ser utilizado em aplicações de geodinâmica, com significativas vantagens sobre o processamento de redes GPS, onde há um elevado dispêndio computacional.

Segundo LEICK (2004), o PPP refere-se ao posicionamento com GNSS utilizando dados de apenas um receptor, com precisão em torno do centímetro – quando se considera o modo estático e um longo período de coleta de dados – até a precisão da ordem de alguns decímetros, quando utilizado o modo cinemático.

Nesses casos, para atingir este nível de qualidade, deve-se considerar como observável no processamento a combinação linear livre da ionosfera (*ion-free*) para a fase da onda portadora e/ou código (LEICK, 2004; HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008), o que obviamente implica no uso de receptor de dupla frequência.

É importante salientar que o PPP também tem sido realizado com dados de receptores de simples frequência, implicando, porém, na obtenção de resultados que apresentam menor precisão.

A razão para essa degradação na qualidade, ao se usarem-se dados de receptores de simples frequência, é o efeito resultante da ionosfera, devido à impossibilidade de formar a observável *ion-free*.

Uma alternativa para minimizar os efeitos da ionosfera no PPP para usuário de receptor de simples frequência é o uso de algum modelo da ionosfera (exemplos: Modelo de Klobuchar; Modelo Global da Ionosfera do IGS).

Como já referido anteriormente, um dos requisitos fundamentais do PPP é o uso de efemérides e correções dos relógios dos satélites, ambos com alta precisão (MONICO, 2007; WITCHAYANGKOON, 2000). Essas informações têm sido produzidas e disponibilizadas pelo IGS e centros associados, sem nenhum custo (IGS, 2008).

Atualmente, o IGS produz três tipos de efemérides e correções para o relógio dos satélites, denominadas de efemérides IGS, IGR e IGU. Uma descrição detalhada desses produtos pode ser obtida em MONICO (2008).

A maioria desses produtos tem cada um dos elementos disponibilizados (coordenadas X, Y e Z e erro do relógio de cada satélite) em intervalos de 15 minutos, sendo esse intervalo adequado para realizar interpolações das coordenadas dos satélites, mas nem sempre para as correções dos relógios (MONICO, 2008).

Visando reduzir a degradação resultante da interpolação, o GSD, do NRCan, gera correções dos relógios dos satélites com intervalo de 30 segundos (HÉROUX e KOUBA, 1995) sendo que o JPL também realiza trabalho similar (MONICO, 2007). O IGS produz, desde outubro de 2000, arquivos com correções dos relógios dos satélites com intervalo de 5 minutos.

A qualidade das coordenadas estimadas no PPP está relacionada principalmente aos erros considerados no processamento dos dados, cuja remoção parcial ou completa dos efeitos é realizada através dos modelos matemáticos (ROSA, 2008).

Com relação ao erro devido à ionosfera, quando se dispõe de receptores de simples frequência devem ser utilizados modelos disponíveis para minimizar este erro.

No caso de serem utilizados receptores de dupla frequência – muito comum no PPP – o erro correspondente à ionosfera é eliminado por meio da combinação linear livre da ionosfera (WUEBBENA et al., 1997), utilizando as observações do código e da fase da onda portadora nas duas frequências.

O objeto a ser posicionado pode estar imóvel, caracterizando o posicionamento estático, ou estar em movimento, caracterizando o Posicionamento por Ponto Preciso Cinemático.

No método cinemático, o receptor coleta dados enquanto está se deslocando, permitindo estimar as coordenadas de sua trajetória (MONICO, 2008).

À exemplo dos outros tipos de processamento, o erro do relógio do receptor assim como outros erros, incluindo aquele advindo da refração troposférica, são estimados no ajustamento.

No decorrer do ajustamento, quando se trata do processamento pelo PPP, que se utiliza das efemérides precisas, tanto os erros dos relógios dos satélites quanto ao das órbitas por eles descritas, são considerados conhecidos.

Segundo IGS (2007), as coordenadas dos satélites e o erro do relógio podem ser determinadas com precisão inferior a cinco centímetros e 0,1 ns, respectivamente, com uma latência de dezessete horas.

É possível a ocorrência de outros erros, dentre os quais citam-se os associados ao multicaminho e à variação do centro de fase da antena, que podem ser removidos da equação livre da ionosfera, desde que sejam tratados adequadamente.

Para SEEBER (2003), o multicaminho afeta tanto as observações de fase quanto as do código, embora em magnitudes diferentes.

Já os efeitos sobre as observações do código P (militar) normalmente são afetados com uma magnitude duas vezes maior que as observações de fase, podendo alcançar de decímetros a metros.

É sabido que uma das formas de se obter redução nos efeitos do multicaminho se constitui na utilização de antenas tipo choke ring, muito embora seja consenso de que a melhor forma para se evitar este tipo de erro reside na escolha de locais apropriados para realizar o levantamento, evitando superfícies refletoras próximas à antena.

Há também o problema referente à variação do centro de fase da antena que pode ser minimizado através do emprego de antenas calibradas. Segundo MADER (2001), ignorando as variações do centro de fase os erros verticais podem chegar a dez centímetros.

Já FREIBERGER Jr. (2005) realizou um estudo com o objetivo de investigar métodos de calibração de antenas de receptores GNSS.

Para alcançar alta precisão no posicionamento por ponto, especialmente tratando-se do PPP, esses erros devem ser eliminados ou reduzidos a valores negligenciáveis.

Quanto ao erro devido ao atraso troposférico, o mesmo pode ser separado em duas partes, uma seca e outra úmida, dos quais cerca de noventa por cento são devidos à parte seca, e que pode ser estimada com precisão próxima a um por cento quando a pressão atmosférica é conhecida. Já com relação à parte úmida, sua modelagem é mais difícil de ser realizada.

Para reduzir a influência dessa fonte de erro no PPP, o atraso zenital troposférico para a parte úmida, associado a uma função de mapeamento, é modelada como mais um parâmetro, juntamente com os demais, a ser estimado no ajustamento.

Assim sendo, o ajustamento de observações relativo ao Posicionamento por Ponto Preciso consiste na determinação dos parâmetros correspondentes às três coordenadas da estação rastreada, do erro do relógio do receptor, de um parâmetro correspondente ao atraso zenital troposférico (parte úmida) bem como dos termos de ambiguidades (livre da ionosfera e não inteiros) para tantos quanto forem o número de satélites observados.

O PPP geralmente requer dados de receptores de dupla frequência. Desta forma, as equações linearizadas que fazem parte do PPP para receptores de dupla frequência são a pseudodistância e a fase da onda portadora.

Quando se utilizam dados de receptores de dupla frequência, tanto de pseudodistância quanto de fase, os modelos matemáticos envolvidos no PPP que descrevem as observáveis depois de realizada a combinação linear ion-free, são dados por (MONICO, 2008; LEICK, 2004):

$$\begin{aligned} PD^{s}_{r(IF)} &= \rho^{s}_{r} + c\left(dt_r - dt^{s}\right) + T^{s}_{r\,0} + dT_z m(E) \\ \varphi^{s}_{r(IF)} &= \frac{f_1}{c}\rho^{s}_{r} + f_1\left(dt_r - dt^{s}\right) + N_{IF} + \frac{f_1}{c}T^{s}_{r\,0} + \frac{f_1}{c}dT_z m(E) \end{aligned} \quad (1)$$

onde:

$PD^{s}_{r(IF)}$ = pseudodistância resultante da combinação linear ion-free;

$\varphi^{s}_{r(IF)}$ = fase obtida da combinação linear ion-free;

ρ^{s}_{r} = distância geométrica entre o centro de fase da antena do satélite e do receptor;

dt_r = erro do relógio do receptor;

dt^{s} = erro do relógio do satélite;

N_{IF} = ambiguidade da observável ion-free;

$T^{s}_{r\,0}$ = atraso troposférico aproximado por algum modelo disponível;

dT_z = atraso zenital troposférico residual a ser estimada no modelo;

$m(E)$ = função de mapeamento em função do ângulo de elevação E do satélite;

c = velocidade da luz no vácuo; e

f_1 = é a frequência da observável ion-free (igual a da portadora L1).

No modelo matemático apresentado anteriormente, comparecem somente os erros mais comuns. Considerando a equação (1), pode-se observar que os parâmetros (incógnitas) a serem estimados envolvem as coordenadas da estação (presentes no termo ρ^{s}_{r}), o erro do relógio do receptor (dt_r), a correção residual da troposfera (dT_z) e o vetor de ambiguidades (NIF).

O erro do relógio do satélite (dt^s) é injuncionado pelo valor disponibilizado pelo IGS ou por qualquer outro centro (exemplo: NRCan, JPL). O valor do atraso troposférico aproximado ($T_{r\,0}^s$) é obtido pelo uso de algum modelo disponível, como por exemplo, o de Hopfield e o Saastamoinen (MONICO, 2008).

Outros erros, como o relacionado ao centro de fase da antena dos satélites e do receptor também devem ser tratados no PPP. Adicionalmente, os erros relacionados a marés terrestres, carga dos oceanos, entre outros, podem também ser levados em conta. Uma descrição detalhada dos erros envolvidos pode ser encontrada em MONICO (2008), LEICK (2004) e HOFMANN-WELLENHOF et al., (2008) e WITCHAYANGKOON (2000).

Pode-se observar que há o envolvimento de quatro observáveis para cada um dos satélites visíveis numa determinada época. As duas observáveis de fase de batimento da onda portadora podem ser combinadas linearmente, reduzindo os efeitos de refração ionosférica.

De forma análoga, é possível realizar este procedimento com as pseudodistâncias. A refração troposférica pode ser minimizada utilizando um dos vários modelos existentes em conjunto com alguma técnica de parametrização (MONICO, 2008).

O ponto central desta técnica é a não utilização das efemérides e das correções dos relógios dos satélites contidos na mensagem de navegação, as quais estão degradadas pelos efeitos da SA. Desta forma, estes parâmetros devem ser disponibilizados para os usuários por alguma fonte independente.

No que diz respeito à qualidade das efemérides, elas apresentam precisão da ordem de 0,10 m, 0,50 m e 1,00 m para as órbitas IGS, IGR e IGP respectivamente.

As correções para os relógios dos satélites, pelo menos para os produtos denominados IGS, apresentam precisão da ordem de poucos centímetros. Estes produtos são disponibilizadas com espaçamento de quinze minutos.

Este intervalo é adequado para realizar interpolações das órbitas dos satélites, mas não para as correções dos relógios dos mesmos, face à alta variabilidade devido aos efeitos da SA, o que acarreta uma grande degradação na qualidade das correções interpoladas.

As correções para os relógios dos satélites, em conjunto com as efemérides precisas, podem proporcionar posicionamento por ponto, utilizando apenas pseudodistâncias de uma única época de observação, com precisão da ordem de um metro ou melhor.

No que se refere ao posicionamento por ponto de alta precisão, é imprescindível ter à disposição dados de receptores de dupla frequência, isto é, pseudodistância e fase da onda nas duas portadoras.

Desta forma, a equação pode ser escrita para as pseudodistâncias em L1 e L2. Além disto, duas equações de fase da onda portadora também fazem parte do processamento.

Trata-se, portanto, de um processamento que envolve quatro observáveis para cada um dos satélites visíveis numa determinada época. As duas observáveis de fase de batimento da onda portadora podem ser combinadas linearmente, reduzindo consideravelmente os efeitos da refração ionosférica. Procedimento similar pode ser realizado com as pseudodistâncias.

2.2.4.1 Serviços online de processamento do PPP

O PPP tem sido empregado, principalmente pela comunidade científica, desde o final do século passado, quando era limitado basicamente aos usuários com acesso a programas computacionais de processamento de dados de caráter científico tais como Bernese, Gipsy-OASIS).

Porém, nos últimos anos ganhou um impulso significativo em sua popularização devido principalmente ao surgimento de serviços gratuitos de processamento on-line do PPP, sendo que as três principais organizações que têm disponibilizado esse tipo de serviço são: o JPL, a UNB e o NRCan.

Para o desenvolvimento desta Tese, o serviço utilizado para o processamento dos dados foi o do NRCan e uma breve descrição do serviço será realizada na sequência. Informações relacionadas aos outros serviços podem ser obtidas em MONICO (2007, p.318).

O serviço de processamento de dados GPS do NRCan é gratuito, exigindo apenas um cadastramento do usuário no sistema. O nome dado ao serviço é CSRS-PPP (CSRS – *Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning*), estando disponível, on-line, desde novembro de 2003 (LAHAYE et al., 2008).

O CSRS-PPP processa dados GPS tanto de receptores de simples quanto de dupla frequência, quer no modo estático, quer no cinemático, ambos pós-processados.

O usuário, após realizado seu cadastramento, envia o arquivo de dados GPS (devendo estar no formato RINEX e de preferência compactado) pela internet na página eletrônica do serviço (http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php), informando se a ocupação é estática ou cinemática; após alguns minutos o *link* com o resultado do processamento é enviado para o e-mail do usuário, cadastrado previamente.

O sistema de referência adotado pelo serviço pode ser o ITRS (*International Terrestrial Reference System*) ou o NAD-83, cabendo ao usuário escolher previamente um dos dois sistemas, muito embora os resultados divulgados sejam fornecidos em ambos os sistemas.

Obviamente, para o usuário do Brasil, é de interesse o resultado vinculado ao ITRS, uma vez que é o sistema de referência geodésico adotado pelo SIRGAS2000 (ver IBGE, 2005, p.2). Como se sabe, há diversas realizações do ITRS, sendo que o serviço utiliza a realização do ITRS utilizado nas efemérides precisas referente ao dia dos dados GPS que foi enviado.

A época relacionada às coordenadas estimadas pelo serviço é referente ao dia da obtenção do arquivo de dados GPS.

Dessa forma, o usuário deve estar atento, pois, se necessário qualquer atualização à outra época que não a da obtenção dos dados, ficará sob sua responsabilidade este procedimento podendo, para isso, utilizar as velocidades das coordenadas obtidas por algum modelo disponível (exemplos podem ser obtidos em MONICO, 2008, p.132).

Um fato importante no qual o usuário deve estar atento é quanto à marca e o modelo da antena empregada, bem como a altura de instalação da antena em relação ao ponto que se deseja obter as coordenadas.

Essas informações devem constar no cabeçalho do arquivo de dados que for submetido ao serviço, pois o CSRS-PPP irá aplicar, automaticamente, as correções e reduções do centro de fase da antena, desde que esta esteja cadastrada em seus banco de dados. Mais especificações quanto ao serviço CSRS-PPP podem ser obtidas em NRCan (2004) e LAHAYE et al. (2008).

Uma das principais motivações pela escolha de se utilizar o CSRS-PPP nesse estudo é o fato de que o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), através de uma parceria firmada com o NRCan, já disponibiliza, desde abril de 2009 através do endereço http://www1.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/ppp.shtm um serviço on-line de PPP utilizando o mesmo aplicativo de processamento empregado pelo NRCan.

2.2.4.2 Característica do PPP: necessidade de compatibilizar temporalmente coordenadas

Como já referido anteriormente o PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) é um método de processamento de dados GNSS que opera com apenas um equipamento de coleta de dados, sendo que o processamento se realiza de forma independente de outras estações geodésicas localizadas nas proximidades.

Outra característica do processamento é o fato de fornecer coordenadas em diversos sistemas (cartesiano, geodésico, UTM) mas sempre referidas à época em que os dados foram coletados.

Considerando que para a grande parte das aplicações ligadas à Geodésia – exceção feita à área de estudos geofísicios onde se tem como objetivo medir deslocamentos da crosta terrestre – é importante referir as coordenadas a uma determinada época não coincidente com a época da obtenção do dado e tornando-se fundamental que se estabeleçam modelos de atualização temporal das coordenadas.

Assim sendo, diversos modelos foram desenvolvidos para a atualização temporal das coordenadas, normalmente determinando as velocidades de deslocamento para cada local, ao longo dos eixos coordenados X, Y e Z.

Dentre os modelos utilizados no Brasil, e aceitos pelo IBGE, citam-se o VELINTER e, mais recentemente, o VEMOS (ver www.sirgas.org).

No caso brasileiro eram usados simultaneamente até fevereiro de 2015, dois Sistemas Geodésicos de Referência: o SAD69 e o SIRGAS2000 sendo as coordenadas normalmente referidas à época 2000.4, a qual estão referenciadas todas as estações integrantes da RBMC.

Considerando que a variação das coordenadas ao longo do tempo estão diretamente relacionadas ao movimento das placas tectônicas, na sequência será realizada uma breve análise deste fenômeno que ocorre na superfície de nosso planeta desde os primórdios de sua existência.

2.2.5 Tectônica das placas

Um dos princípios da Geodésia Clássica é estipular na prática que as coordenadas são fixas, ou seja, não variam em função do tempo. Tal princípio talvez estivesse relacionado com a precisão da obtenção das coordenadas, que era menor do que a magnitude dos movimentos registrados ao longo do tempo das observações.

No entanto, à medida em que a precisão na obtenção das coordenadas geodésicas foi melhorando, alcançando níveis centimétricos, as coordenadas das estações geodésicas passaram a ser dependentes do tempo (COSTA, 2009), fazendo com que, ao informarem-se as coordenadas de um ponto, devia ser também conhecida a época a qual está relacionada, tendo em vista a influência do movimento da crosta terrestre, havendo a necessidade do estabelecimento de modelos que os represente.

Originalmente, baseados na Teoria da Tectônica de Placas, desenvolvida na década de 70, estes modelos, derivados de observações geofísicas, consideravam a geometria de um conjunto de placas rígidas, estimando seus parâmetros como a rotação de uma capa esférica indeformável.

Posteriormente, modelos de deformação regional vêm representando as deformações intraplaca, ou seja, as deformações dentro das placas rígidas ao longo de falhas ativas e cadeias de montanhas (DREWES, 1993). TORGE (1991, p. 206), já mencionava que medições efetuadas por meio de técnicas geodésicas como VLBI e GPS eram especialmente adequadas ao monitoramento de deformações regionais, considerando-se campanhas com coletas de dados de duração de poucos anos.

Recentes movimentos crustais (horizontais e verticais) são determinados pela repetição de medições geodésicas, realizadas em uma certa quantidade de épocas ou continuamente (TORGE, 2001, p. 355), tornando-se cada vez mais evidente a adoção de técnicas relacionadas ao GPS que permitem monitorar continuamente fenômenos ocorridos em escala global.

De acordo com a Teoria da Deriva Continental, a crosta terrestre é uma camada rochosa descontínua, que apresenta vários fragmentos, denominados placas litosféricas ou placas tectônicas. Essas placas compreendem partes de continentes e o fundo dos oceanos e mares.

A crosta terrestre é a porção sólida das camadas da terra e a mais extensa de sua estrutura física. Essa faixa é extremamente fina quando comparada com o volume total do planeta, haja visto que suas profundidades não ultrapassam os 70 km sendo que o núcleo interior encontra-se a uma distância aproximada de 6.370 km da superfície terrestre.

As placas tectônicas são subdivisões da crosta terrestre que se movimentam de forma lenta e contínua sobre o manto, aproximando-se ou afastando-se umas das outras provocando abalos na superfície como terremotos e atividades vulcânicas. Tais movimentos ocorrem pelo fato do interior terrestre ser bastante aquecido fazendo com que as correntes de convecção (correntes circuladas em grandes correntes) determinem a forma de seus movimentos.

O primeiro cientista a estabelecer um conceito ou uma explicação razoável para demonstrar que os continentes se movimentam, foi o alemão Alfred Lothar Wegener. Esse conceito lhe rendeu uma importante obra "A Origem dos Continentes e Oceanos", publicada em 1915. Para Wegener os continentes se encontravam à deriva sobre uma massa de aspecto pastoso com elevadíssimas temperaturas originadas no interior da terra e o conjunto destas afirmações e teses deu origem à conhecida Teoria da Deriva Continental.

No momento histórico no qual viveu Wegener, as indagações seriam evidentes. No entanto, ele tinha como provar que os continentes em épocas remotas estiveram unidos a partir

de evidências geológicas. Afirmava que, há aproximadamente 200 milhões de anos, havia somente uma massa continental – a Pangéia (palavra que significa “toda terra”) e um único oceano contínuo, o Pantalassa.

A Pangéia se encontrava dividida em Laurásia (localizada ao norte, onde os atuais continentes se encontravam juntos, como América do Norte, Europa e Ásia) e Gondwana (localizada ao sul, dos atuais continentes da África, Antártica, América do Sul, Península Arábica, Índia e Oceania).

Os desmembramentos ocorridos bem como os deslocamentos verificados deram origem às principais placas tectônicas de nossos dias, quais sejam: Placa do Pacífico, Placa de Nazca, Placa Sul-Americana, Placa Norte-Americana, Placa da África, Placa Antártica, Placa Indo-Australiana, Placa Euroasiática Ocidental, Placa Euroasiática Oriental e Placa das Filipinas. A evolução desses deslocamentos são mostrados na figura 2.1.

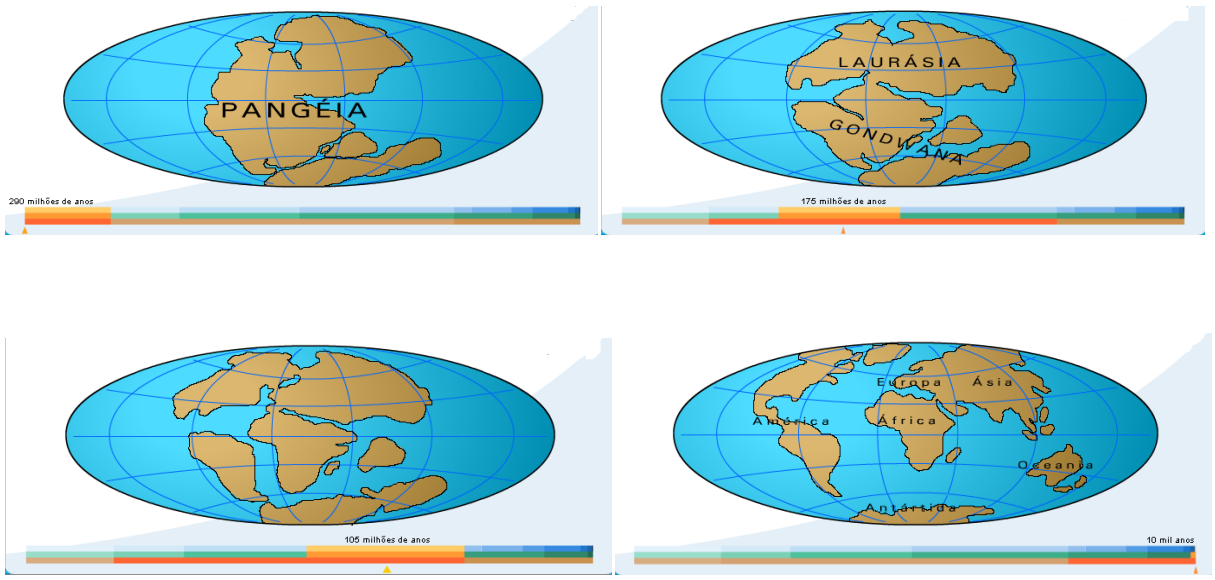


Figura 2.1 – Evolução do deslocamento dos continentes
Fonte: http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA0C8AA/a-formacao-terra

Para constituir sua teoria, Wegener observou também o relevo entre as terras da América do Sul e da África que se completava como se fosse uma massa continental contínua, além dos fósseis de animais encontrados em ambos os continentes, mesmo estando geograficamente separados.

Dessa forma, constatou que não haveria uma forma de chegar a um dos lados devido à barreira imposta pelo Oceano Atlântico, concluindo que a única explicação é que essas partes da Terra estiveram juntas no passado.

Apesar dos esforços em convencer a classe científica, Wegener não obteve êxito, tendo a Teoria das Placas Tectônicas lhe envolvido em uma grande polêmica por parte da classe científica de sua época, que desprezava sua teoria por não apresentar explicações claras acerca de quais seriam as forças que teria a capacidade de mover um continente.

Assim sendo, a Teoria das Placas Tectônicas foi totalmente ignorada e sucumbiu. Em 1930, o meteorologista faleceu e pouco tempo depois, no final dos anos 50, passadas quase três décadas do falecimento do criador da teoria, seus estudos e afirmações foram entendidos e aceitos pelos cientistas, que contaram com a colaboração da NASA (Agência Espacial Norte-Americana) a qual, por meio de imagens, obteve informações evidentes da movimentação dos continentes, levando os cientistas a estabelecer algumas alterações nas conclusões estabelecidas por Wegener.

Nos anos sessenta do século passado, novas evidências surgiram através da exploração de petróleo em alto mar, confirmando a Teoria da Deriva Continental e da Tectônica de Placas.

Quando a idade de algumas rochas retiradas do fundo do mar foram determinadas, obteve-se a evidência que faltava para comprovar as duas hipóteses: à medida que aumentava a distância entre o local onde as rochas foram encontradas e a Dorsal Atlântica (cadeia montanhosa submersa no meio do Oceano Atlântico), tanto para leste como para oeste, aumentava também a idade das rochas.

Isso prova que há uma enorme falha no assoalho oceânico, dividindo-o em duas enormes placas que se afastam uma da outra.

Nos dias atuais é sabido que não só os continentes se locomovem, mas também os oceanos, afirmação esta que só é possível de ser realizada em função da Teoria das Placas Tectônicas, que estabelece que a totalidade da crosta terrestre não é inteira e se forma por um conjunto de pequenas placas que se movimentam de forma lenta sobre o manto terrestre, promovendo a aproximação, distanciamento e colisão entre elas.

A configuração dos oceanos e continentes atuais possui uma grande disparidade em relação a seu período de formação. Mas para atingir o estágio atual os continentes e os oceanos passaram por longos e lentos processos de mudanças de posicionamento no decorrer dos períodos geológicos.

A estimativa das variações na forma da terra, são importantes para o estudo de atividades tectônicas relacionadas à ocorrência de terremotos e vem de há muito tempo despertando interesse de geodesistas, mesmo quando as precisões instrumentais não garantiam estimativas confiáveis de deslocamentos de pontos na crosta terrestre.

O avanço tecnológico, assim como a chegada da era da Geodésia Espacial, associado ao desenvolvimento de novas técnicas de posicionamento e a disponibilidade de equipamentos precisos, como as envolvidas no GNSS, proporcionaram uma extensa atividade de pesquisa na aplicação de diferentes metodologias para as estimativas geodésica de deformações da crosta terrestre.

Nesse sentido, PEREZ et al (2003) abordaram as vantagens da utilização do método de Processamento por Ponto Preciso (PPP) em relação ao método de processamento através do Posicionamento Relativo, tendo em vista que o primeiro opera de forma independente, ao contrário do Posicionamento Relativo que utiliza outras estações próximas.

Em seu trabalho foi utilizado o GPS para estimar e inferir coordenadas, velocidades de translação e parâmetros de translação para um conjunto de estações, visando determinar os deslocamentos da Placa Tectônica da América do Sul (PEREZ et al., 2003).

Após o processamento dos dados, os autores realizaram comparações entre os resultados obtidos e aqueles preconizados tanto pelo ITRF 2000/97 quanto pelos modelos NNR-NUVEL 1A. Verificaram que ocorrem maiores diferenças nas estações localizadas sobre os limites das placas e nas estações situadas no território brasileiro – em regiões de boa estabilidade da placa Sul Americana – e que há boa concordância dos valores obtidos pelo GPS (através do processamento PPP) com aqueles constantes dos modelos acima referenciados.

Os registros mostraram que as menores diferenças se verificam para o modelo NNR-NUVEL 1A, ao contrário do que se esperaria, pois o modelo APKIM 2000 baseia-se tanto no GPS quanto no SLR e medições VLBI.

A conclusão final é de que o PPP pode ser aplicado a casos que requerem um elevado nível de precisão, tais como a estimativa de coordenadas das estações, dos vetores de velocidade assim como o vetor de rotação da Placa Tectônica da América do Sul.

Estimativa das componentes de deformação por redes geodésicas foram investigadas por muitos pesquisadores, dentre eles pode-se citar: FRANK, 1966; BIBBY, 1975; BORRE, 2007; BRUNNER, 1979; LIVIERATOS, 1980; BRUNNER et al., 1981; DERMANIS & LIVIERATOS, 1983; DONG et al., 1998; CRESPI et al., 2000; HEKIMOGLU et al., 2002; BOS et al., 2003; KAPOVIC et al., 2006; RUEGG et al., 2009; DENIZ & OZENER, 2010; MAROTTA et al., 2013.

Visando contribuir para o estabelecimento de uma modelagem referente ao deslocamento da Placa Tectônica da América do Sul, nesta Tese foram analisados os deslocamentos de todas as estações ativas da RBMC no período de 2002 a 2013, totalizando noventa e cinco estações.

3 EXPERIMENTOS E RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentados todos os procedimentos realizados para a obtenção dos resultados propostos nos objetivos da presente Tese, incluindo descrição do método de processamento, detalhamento das correções de arquivos em função das antenas e das trocas de ITRF, considerações sobre deslocamentos planimétricos e altimétricos bem como aspectos relacionados com as marés terrestres e oceânicas.

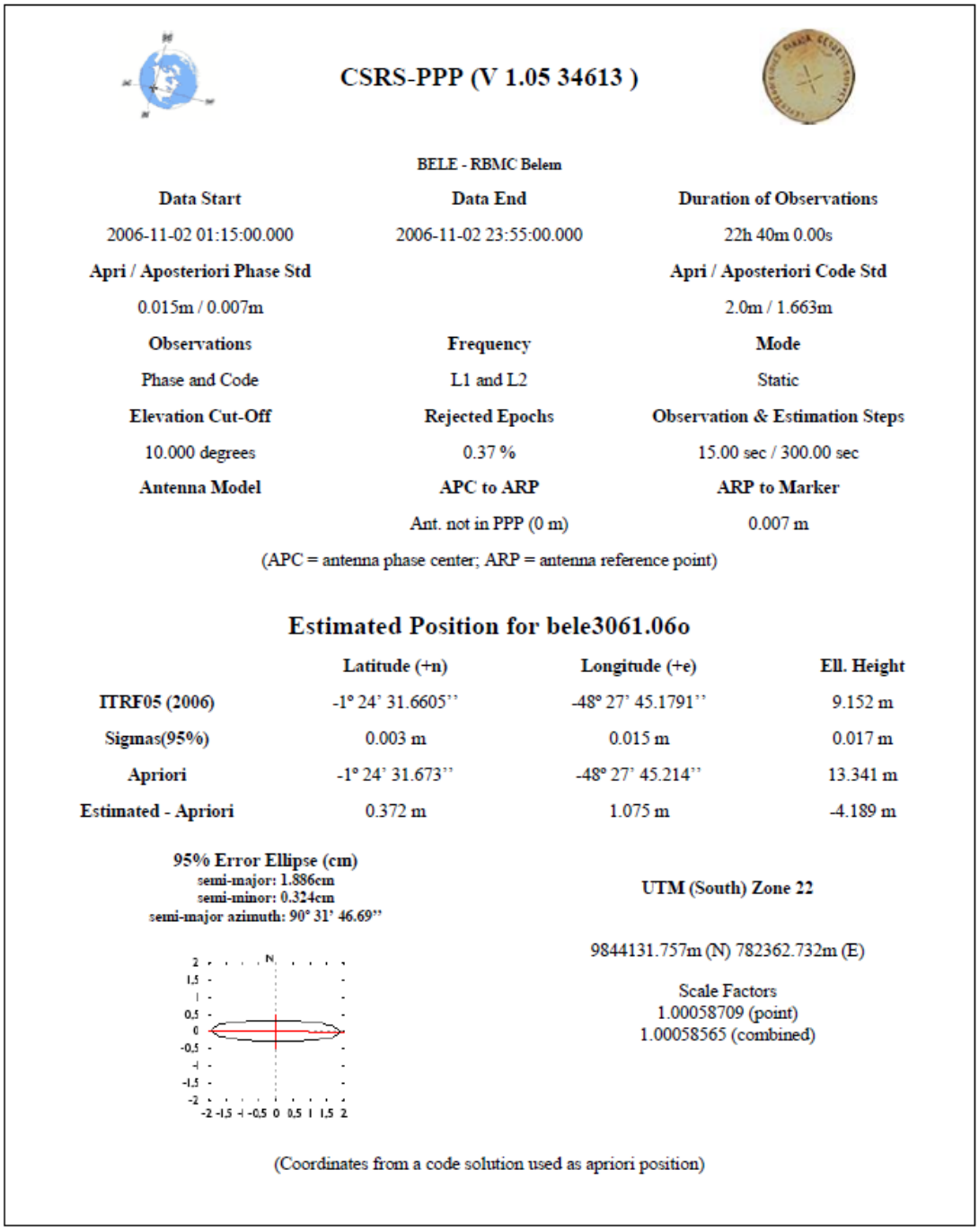
3.1 Conjunto de dados e estratégia de processamento

No desenvolvimento desta Tese foram coletados os dados disponíveis no sítio do IBGE referentes às noventa e cinco estações componentes da RBMC que estiveram ativas no período de primeiro de janeiro de dois mil e dois a onze de setembro de dois mil e treze, totalizando 175.740 arquivos de dados, um por dia de cada estação, registrando coleta de dados com taxa de 15 segundos, obtendo-se, ao final de todo o processamento, uma longa série temporal de coordenadas estimadas pelo serviço on-line CSRS-PPP para cada dia e para cada estação.

Coletados os dados, estes foram sendo agrupados e encaminhados, via internet, para o sítio http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php, pertencente ao Serviço Geológico do Canadá (NRCAN), onde foram processados, de forma gratuita, tendo gerado como resultado, três arquivos – para cada dia e para cada estação – a seguir descritos, onde constam todas as informações necessárias relativas ao processamento.

O primeiro arquivo, no formato .pdf, fornece os elementos básicos do resultado do processamento tais como coordenadas do ponto, tanto em Latitude e Longitude e Altura Elipsoidal quanto em coordenadas cartesianas (X, Y e Z) e UTM (Norte e Leste) – estas a partir de meados de 2007 – com os respectivos desvios-padrão, satélites utilizados e diversos gráficos elucidativos de todo o processamento.

A seguir é apresentada a Figura 3.2, onde consta parte do arquivo pdf gerado no processamento.



CSRS-PPP (V 1.05 34613)

BELE - RBMC Belem

Data Start	Data End	Duration of Observations
2006-11-02 01:15:00.000	2006-11-02 23:55:00.000	22h 40m 0.00s
Apri / Aposteriori Phase Std		**Apri / Aposteriori Code Std**
0.015m / 0.007m		2.0m / 1.663m
Observations	**Frequency**	**Mode**
Phase and Code	L1 and L2	Static
Elevation Cut-Off	**Rejected Epochs**	**Observation & Estimation Steps**
10.000 degrees	0.37 %	15.00 sec / 300.00 sec
Antenna Model	**APC to ARP**	**ARP to Marker**
	Ant. not in PPP (0 m)	0.007 m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

Estimated Position for bele3061.06o

	Latitude (+n)	Longitude (+e)	Ell. Height
ITRF05 (2006)	-1° 24' 31.6605''	-48° 27' 45.1791''	9.152 m
Sigmas(95%)	0.003 m	0.015 m	0.017 m
Apriori	-1° 24' 31.673''	-48° 27' 45.214''	13.341 m
Estimated - Apriori	0.372 m	1.075 m	-4.189 m

95% Error Ellipse (cm)
semi-major: 1.886cm
semi-minor: 0.324cm
semi-major azimuth: 90° 31' 46.69''

UTM (South) Zone 22

9844131.757m (N) 782362.732m (E)

Scale Factors
1.00058709 (point)
1.00058565 (combined)

(Coordinates from a code solution used as apriori position)

Figura 3.1 – Parte do arquivo em pdf gerado no processamento.

Um segundo arquivo, que entendemos ser o mais importante, é gerado no formato .sum, compatível com uma planilha de cálculo, onde são encontradas, dentre outras informações, uma descrição da estratégia e dos produtos adotados no processamento do PPP, as coordenadas finais estimadas associadas aos seus respectivos desvios-padrão bem como todas as informações utilizadas e geradas no processamento.

Através deste arquivo pode-se analisar, dentre outros aspectos, a qualidade do processamento, satélites utilizados, observações rejeitadas, utilização ou não de características de antena, desvios padrão, etc.

A seguir está mostrada a Figura 3.3 onde consta parte do arquivo .sum gerado no processamento.

```
--------------------------------------------------------------------------
------
GPS Precise Point Positioning (CSRS-PPP ver.        1.05/34613/2013-12-
12)
Natural Resources Canada, Geodetic Survey Division, Geomatics Canada
615 Booth Street, room 440, Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0E9
Phone: (613) 995-4410, fax: (613) 995-3215
Email: information@geod.nrcan.gc.ca
--------------------------------------------------------------------------
------


 ------------------------------------------------------------------------
-------
 SECTION 1. File Summary
 ------------------------------------------------------------------------
-------
 Content                 INPUT Filenames
 Observations            bele3061.06o
 Processing options      gpsppp.cmd
 Satellite orbits        igs13994.sp3
 Satellite clocks        igs13994.clk
 Satellite orbits        igs13995.sp3
 Satellite clocks        igs13995.clk
                         OUTPUT Filenames
 Processing summary      bele3061.sum
 Estimated parameters    bele3061.pos
 Final Normal Eq.  (bin) bele3061.ipx
                         INTERNAL Filenames
 Filter thresholds       gpsppp.flt
 Satellite offsets       gpsppp.svb
 Antenna offsets         gpsppp.pcv
 Ocean loading           gpsppp.olc
 ITR->NAD transform      gpsppp.trf
 ------------------------------------------------------------------------
-------


 ------------------------------------------------------------------------
-------
SECTION 2. Summary of processing parameters
 ------------------------------------------------------------------------
-------

 2.1 Observation filter thresholds - CM
     Multipath  :       150.0
     Time gap   :       300.0
     Narrowlane :         8.1 Adaptive
     Widelane   :       130.0 Adaptive
     P3 filtered:          NO
     Code L1    :       P1|C1
     Code L2    :       P2|C2
     P1-C1 bias :    APPLIED
     P2-C2 bias :    APPLIED
```

Figura 3.2 – Parte do arquivo .sum gerado no processamento.

Através da observação do arquivo .sum constata-se que o processamento dos dados pelo CSRS-PPP envolveu como observável básica a ion-free (código e fase), sendo utilizadas efemérides precisas e arquivos de correção dos relógios dos satélites, produzidos pelo IGS. Adotou-se 15 segundos como o intervalo de estimação e somente observações coletadas com ângulo de elevação igual ou superior a 10 graus foram incluídas.

O atraso troposférico foi estimado durante o processamento. Também foram aplicadas as correções relacionadas à variação do centro de fase da antena dos satélites e do receptor utilizando informações fornecidas pelo IGS.

Cabe aqui ressaltar que o usuário somente envia o arquivo de dados GPS (no formato RINEX) ao serviço CSRS-PPP, o que de certa forma o torna de fácil uso. Por outro lado, toda a estratégia de processamento adotada e os arquivos necessários para a realização do PPP ficam a cargo do próprio serviço, não tendo o usuário quaisquer acessos para mudar a configuração de processamento.

Porém, todo o procedimento adotado para a realização do PPP é informado ao usuário no arquivo sumário (.sum), tornando possível a descrição feita anteriormente. Não se pode desconsiderar a grande vantagem que o serviço é totalmente gratuito.

O terceiro arquivo gerado, do tipo .pos, contém, dentre outras informações processadas, a Latitude, Longitude, Altura Elipsoidal bem como informações sobre a data de coleta dos dados para cada época de observação (no caso das estações da RBMC a cada quinze segundos).

A seguir está mostrada a figura 3.3 onde consta parte do arquivo .pos gerado no processamento.

```
latitude_decimal_degree,longitude_decimal_degree,ellipsoidal_height_m,decimal_hour,day_of_year,year,rcvr_clk_ns
-1.4087980,-48.4625553,6.011,1.25000,306,2006,472227.517
-1.4087932,-48.4625548,9.737,1.33333,306,2006,401508.457
-1.4087940,-48.4625519,9.182,1.41667,306,2006,330431.909
-1.4087944,-48.4625512,9.349,1.50000,306,2006,258994.996
-1.4087945,-48.4625497,9.208,1.58333,306,2006,187243.810
-1.4087945,-48.4625490,9.209,1.66667,306,2006,115275.915
-1.4087945,-48.4625487,9.171,1.75000,306,2006,43052.294
-1.4087944,-48.4625491,9.158,1.83333,306,2006,-29402.695
-1.4087944,-48.4625493,9.139,1.91667,306,2006,-102054.694
-1.4087944,-48.4625495,9.141,2.00000,306,2006,-174875.003
-1.4087944,-48.4625493,9.159,2.16667,306,2006,-320690.026
-1.4087944,-48.4625493,9.181,2.25000,306,2006,-393367.670
-1.4087944,-48.4625493,9.178,2.33333,306,2006,-465871.109
-1.4087944,-48.4625494,9.193,2.41667,306,2006,461557.218
-1.4087944,-48.4625495,9.193,2.50000,306,2006,388730.692
-1.4087944,-48.4625495,9.191,2.58333,306,2006,315728.090
-1.4087944,-48.4625495,9.187,2.66667,306,2006,242477.325
-1.4087944,-48.4625495,9.181,2.75000,306,2006,169054.871
-1.4087944,-48.4625495,9.177,2.83333,306,2006,95454.726
-1.4087944,-48.4625495,9.179,2.91667,306,2006,21765.805
-1.4087944,-48.4625495,9.180,3.00000,306,2006,-52001.331
```

Figura 3.3 – Parte do arquivo .pos gerado no processamento.

3.2 Resultados e análises

Como já referido anteriormente, o processamento de dados envolveu noventa e cinco estações da RBMC que estiveram ativas em algum momento no período de janeiro de 2002 a setembro de 2013, totalizando 175.740 arquivos de observação, conforme mostra a Tabela 3.1 onde consta o nome da estação, código e unidade da Federação onde a mesma está localizada, bem como as datas de início e final das observações, indicando o número de arquivos (dias) processados referentes a cada estação:

Tabela 3.1 – Período de observações nas estações da RBMC.

NOME DA ESTAÇÃO	CÓDIGO	UF	INÍCIO	FINAL	DIAS
Altamira	PAAT	PA	05/03/10	11/09/13	1.209
Araçatuba	SPAR	SP	01/01/10	11/09/13	1.261
Arapiraca	ALAR	AL	03/04/08	11/09/13	1.717
Balsas	MABS	MA	05/03/10	11/09/13	675
Barra do Garças	MTBA	MT	29/08/08	11/09/13	1.801
Barreiras	BABR	BA	18/02/10	11/09/13	1.071
Belém	BELE	PA	01/01/04	11/09/13	3.338
Belo Horizonte	MGBH	MG	02/01/09	11/09/13	1.691
Boa Vista	BOAV	RR	05/09/07	11/09/13	2.085
Bom Jesus da Lapa	BOMJ	BA	01/01/03	11/09/13	3.617
Botucatu	SPBO	SP	15/01/12	11/09/13	500
Brasília	BRAZ	DF	02/01/03	11/09/13	3.805
Cachoeira Paulista	CHPI	SP	01/01/07	08/03/13	2.195
Campina Grande	PBCG	PB	03/04/08	11/09/13	1.925
Campinas	SPCA	SP	09/04/10	11/09/13	1.076
Campo Grande	MSCG	MS	01/01/08	11/09/13	1.774
Campos dos Goytacazes	RJCG	RJ	03/04/08	11/09/13	1.929
Cananéia	NEIA	SP	02/01/06	11/09/13	2.555
Canarana	MTCN	MT	25/03/11	14/08/13	696
Chapecó	SCCH	SC	03/04/08	11/09/13	1.885
Coari	AMCO	AM	11/09/12	11/09/13	353
Colider	MTCO	MT	10/04/09	11/09/13	1.485
Colorado d'Oeste	ROCD	RO	09/04/10	11/09/13	1.247
Crato	CRAT	CE	01/02/02	11/09/13	3.128
Cruzeiro do Sul	CRUZ	AC	05/09/07	11/09/13	833
Cuiabá	CUIB	MT	01/02/02	11/09/13	4.043
Curitiba	PARA	PR	01/02/02	22/07/07	1.782
Curitiba	UFPR	PR	05/09/07	11/09/13	1.826
Dourados	MSDO	MS	06/05/09	04/07/11	511
Fortaleza	FORT	CE	01/02/02	08/04/06	1.050
Fortaleza	BRFT	CE	01/01/06	11/09/13	2.586
Fortaleza	CEEU	CE	03/02/08	11/09/13	1.616
Fortaleza	CEFT	CE	01/01/10	11/09/13	1.148
Governador Valadares	GVAL	MG	01/07/04	11/09/13	3.073
Guajará-Mirim	ROGM	RO	01/01/08	10/09/13	1.843
Guarapuava	PRGU	PR	10/04/09	11/09/13	1.526
Gurupi	TOGU	TO	03/04/08	11/09/13	1.796
Humaitá	AMHU	AM	09/01/08	26/04/11	345
Ilha Solteira	ILHA	SP	19/06/09	11/09/13	1.365

Imbituba	IMBT	SC	05/09/07	11/09/13	2.047
Imperatriz	IMPZ	MA	01/02/02	11/09/13	3.666
Inconfidentes	MGIN	MG	02/01/08	11/09/13	1.972
Irecê	BAIR	BA	01/01/09	11/09/13	1.593
Itaituba	PAIT	PA	07/04/10	11/09/13	1.114
Jaboticabal	SPJA	SP	15/01/12	11/09/13	508
Jataí	GOJA	GO	06/04/08	11/09/13	1.788
Ji-Paraná	ROJI	RO	03/04/08	11/09/13	1.978
Lages	SCLA	SC	03/04/08	11/09/13	1.952
Macapá	MAPA	AP	13/01/06	20/07/13	2.623
Manaus	MANA	AM	01/02/02	01/10/03	211
Manaus	NAUS	AM	01/01/06	11/09/13	2.339
Marabá	MABA	PA	05/09/07	11/09/13	1.744
Maringá	PRMA	PR	10/04/09	11/09/13	1.575
Montes Claros/CEMIG	MCLA	MG	01/07/04	11/09/13	3.009
Montes Claros/CODEVASF	MGMC	MG	05/04/08	11/09/13	1.805
Mossoró	RNMO	RN	01/01/09	11/09/13	1.680
Natal	RNNA	RN	01/01/09	11/09/13	1.684
Ourinhos	OURI	SP	19/06/09	11/09/13	1.404
Palmas	TOPL	TO	01/01/08	11/09/13	2.040
Petrolina	PEPE	PE	01/01/08	11/09/13	2.048
Porto Alegre	POAL	RS	01/01/02	11/09/13	3.880
Porto Velho	POVE	RO	04/01/06	11/09/13	2.657
Pres. Prudente	PPTE	SP	01/01/06	11/09/13	2.767
Presidente Prudente	UEPP	SP	01/01/02	08/12/05	1.192
Recife	RECF	PE	16/04/02	11/09/13	3.479
Rio Branco	RIOB	AC	01/05/07	11/09/13	2.103
Rio de Janeiro - IBGE	RIOD	RJ	21/10/03	11/09/13	3.472
Rio de Janeiro - ON	ONRJ	RJ	30/03/07	11/09/13	2.324
Rio Paranaíba	MGRP	MG	05/03/10	11/09/13	1.265
Rosana	ROSA	SP	19/06/09	11/09/13	1.459
Salvador	SALV	BA	01/02/02	10/08/08	1.979
Salvador - INCRA	SAVO	BA	06/09/07	11/09/13	2.056
Salvador - Porto	SSA1	BA	05/09/07	11/09/13	2.126
Santa Maria	SMAR	RS	07/01/02	11/09/13	4.012
Santana	APSA	AP	26/02/09	11/09/13	827
Santarém	PAST	PA	03/04/12	09/09/13	503
São Carlos	EESC	SP	17/02/12	11/09/13	502
São Félix do Araguaia	MTSF	MT	03/04/08	11/09/13	1.869
São Gabriel da Cachoeira	SAGA	AM	16/09/07	11/09/13	1.806
São José do Rio Preto	SJRP	SP	19/06/09	11/09/13	1.499
São Luís	SALU	MA	05/09/07	11/09/13	2.038
São Paulo	POLI	SP	01/01/07	11/09/13	2.305
São Raimundo Nonato	PISR	PI	10/04/09	11/09/13	1.556
Sorriso	MTSR	MT	31/01/11	11/09/13	838
Teixeira de Freitas	BATF	BA	01/01/09	11/09/13	1.624

A distribuição espacial no final do ano de 2014 das estações componentes da RBMC – de acordo com seu "status", classificadas como ativas (em verde), inativas (em vermelho) e em observação (em amarelo) – estão mostradas na Figura 3.4. Nota-se uma acentuada concentração

de estações nos estados de São Paulo e sul de Minas Gerais enquanto que na região amazônica a distribuição é menos densificada.

Figura 3.4 – Localização e Status das Estações da RBMC em 2014

Após realizado o processamento dos arquivos no sitio do NRCAN, visando eliminar os resultados referentes aos arquivos que continham observações com problemas, realizou-se uma filtragem nos resultados obtidos de acordo com os seguintes critérios:

- Eliminação dos arquivos que contivessem menos de 50% de observações no período de vinte quatro horas, que correspondeu a 1,66% do total dos arquivos processados;

- Eliminação dos arquivos nos quais o percentual de observações rejeitadas no processamento ultrapassasse a 50%, que correspondeu a 2,86% do total dos arquivos processados;

- Eliminação dos arquivos nos quais o desvio padrão das coordenadas X, Y e Z fosse superior a 0,030m e na altura elipsoidal superior a 0,040m, resultando na rejeição somada de 2,70 %.

Considerando que um mesmo arquivo poderia ser rejeitado por mais de um dos critérios acima mencionados, a rejeição total do conjunto de arquivos foi de 5.994, o que corresponde a um percentual de 3,41% sobre os 175.740 arquivos processados.

É importante registrar que a eliminação desses arquivos, que representam menos de 3,50% do universo de arquivos processados, não pode ser considerada como um descarte de dados que eventualmente poderiam prejudicar os resultados a serem obtidos, mas sim como a não consideração de arquivos de má qualidade, seja pelo pequeno número de observações realizadas e/ou rejeitadas, seja pelo fato de apresentarem desvio padrão acima do esperado.

Na Tabela 3.2, estão registrados o número de arquivos processados e rejeitados em cada estação bem como o percentual de rejeição e da importância relativa de cada estação em função daquela que possui o maior número de arquivos processados e aceitos (Cuiabá com 4.041 arquivos aceitos).

Tabela 3.2 – Número de arquivos processados por estação e importância relativa das mesmas com relação à estação com maior número de dados (Cuiabá)

NOME DA ESTAÇÃO	CODIGO	PROC	REJEITO	ACEITE	% REJEITO	% TOTAL
Altamira	PAAT	1.209	21	1.188	1,74	29,40
Araçatuba	SPAR	1.261	16	1.245	1,27	30,81
Arapiraca	ALAR	1.717	35	1.682	2,04	41,62
Balsas	MABS	675	32	643	4,74	15,91
Barra do Garças	MTBA	1.801	30	1.771	1,67	43,83
Barreiras	BABR	1.071	12	1.059	1,12	26,21
Belém	BELE	3.338	130	3.208	3,89	79,39
Belo Horizonte	MGBH	1.691	19	1.672	1,12	41,38
Boa Vista	BOAV	2.085	26	2.059	1,25	50,95
Bom Jesus da Lapa	BOMJ	3.617	16	3.601	0,44	89,11
Botucatu	SPBO	500	178	322	35,60	7,97
Brasília	BRAZ	3.805	5	3.800	0,13	94,04
Cachoeira Paulista	CHPI	2.195	49	2.146	2,23	53,11
Campina Grande	PBCG	1.925	31	1.894	1,61	46,87
Campinas	SPCA	1.076	12	1.064	1,12	26,33
Campo Grande	MSCG	1.774	54	1.720	3,04	42,56
Campos dos Goytacazes	RJCG	1.929	113	1.816	5,86	44,94
Cananéia	NEIA	2.555	752	1.803	29,43	44,62
Canarana	MTCN	696	9	687	1,29	17,00
Chapecó	SCCH	1.885	28	1.857	1,49	45,95
Coari	AMCO	353	2	351	0,57	8,69
Colider	MTCO	1.485	26	1.459	1,75	36,10
Colorado d'Oeste	ROCD	1.247	1	1.246	0,08	30,83
Crato	CRAT	3.128	164	2.964	5,24	73,35
Cruzeiro do Sul	CRUZ	833	20	813	2,40	20,12
Cuiabá	CUIB	4.043	2	4.041	0,05	100,00

Curitiba	PARA	1.782	306	1.476	17,17	36,53
Curitiba	UFPR	1.826	8	1.818	0,44	44,99
Dourados	MSDO	511	25	486	4,89	12,03
Fortaleza	FORT	1.050	803	247	76,48	6,11
Fortaleza	BRFT	2.586	107	2.479	4,14	61,35
Fortaleza	CEEU	1.616	48	1.568	2,97	38,80
Fortaleza	CEFT	1.148	22	1.126	1,92	27,86
Governador Valadares	GVAL	3.073	78	2.995	2,54	74,12
Guajará-Mirim	ROGM	1.843	24	1.819	1,30	45,01
Guarapuava	PRGU	1.526	12	1.514	0,79	37,47
Gurupi	TOGU	1.796	38	1.758	2,12	43,50
Humaitá	AMHU	345	30	315	8,70	7,80
Ilha Solteira	ILHA	1.365	12	1.353	0,88	33,48
Imbituba	IMBT	2.047	38	2.009	1,86	49,72
Imperatriz	IMPZ	3.666	193	3.473	5,26	85,94
Inconfidentes	MGIN	1.972	103	1.869	5,22	46,25
Irecê	BAIR	1.593	23	1.570	1,44	38,85
Itaituba	PAIT	1.114	26	1.088	2,33	26,92
Jaboticabal	SPJA	508	3	505	0,59	12,50
Jataí	GOJA	1.788	84	1.704	4,70	42,17
Ji-Paraná	ROJI	1.978	23	1.955	1,16	48,38
Lages	SCLA	1.952	23	1.929	1,18	47,74
Macapá	MAPA	2.623	51	2.572	1,94	63,65
Manaus	MANA	211	15	196	7,11	4,85
Manaus	NAUS	2.339	28	2.311	1,20	57,19
Marabá	MABA	1.744	70	1.674	4,01	41,43
Maringá	PRMA	1.575	4	1.571	0,25	38,88
Monte Claros/CEMIG	MCLA	3.009	269	2.740	8,94	67,80
Monte Claros/CODEVASF	MGMC	1.805	60	1.745	3,32	43,18
Mossoró	RNMO	1.680	62	1.618	3,69	40,04
Natal	RNNA	1.684	157	1.527	9,32	37,79
Ourinhos	OURI	1.404	51	1.353	3,63	33,48
Palmas	TOPL	2.040	24	2.016	1,18	49,89
Petrolina	PEPE	2.048	36	2.012	1,76	49,79
Porto Alegre	POAL	3.880	36	3.844	0,93	95,12
Porto Velho	POVE	2.657	81	2.576	3,05	63,75
Pres. Prudente	PPTE	2.767	105	2.662	3,79	65,87
Presidente Prudente	UEPP	1.192	27	1.165	2,27	28,83
Recife	RECF	3.479	94	3.385	2,70	83,77
Rio Branco	RIOB	2.103	54	2.049	2,57	50,71
Rio de Janeiro - IBGE	RIOD	3.472	22	3.450	0,63	85,37
Rio de Janeiro - ON	ONRJ	2.324	67	2.391	2,88	59,17
Rio Paranaíba	MGRP	1.265	3	1.262	0,24	31,23
Rosana	ROSA	1.459	13	1.446	0,89	35,78
Salvador	SALV	1.979	147	1.832	7,43	45,34
Salvador - INCRA	SAVO	2.056	42	2.014	2,04	49,84
Salvador - Porto	SSA1	2.126	26	2.100	1,22	51,97
Santa Maria	SMAR	4.012	46	3.966	1,15	98,14
Santana	APSA	827	37	790	4,47	19,55
Santarém	PAST	503	70	433	13,92	10,72
São Carlos	EESC	502	6	496	1,20	12,27
São Félix do Araguaia	MTSF	1.869	52	1.817	2,78	44,96
São Gabriel da Cachoeira	SAGA	1.806	9	1.797	0,50	44,47
São José do Rio Preto	SJRP	1.499	9	1.490	0,60	36,87
São Luís	SALU	2.038	44	1.994	2,16	49,34
São Paulo	POLI	2.305	54	2.251	2,34	55,70
São Raimundo Nonato	PISR	1.556	30	1.526	1,93	37,76
Sorriso	MTSR	838	16	822	1,91	20,34

Teixeira de Freitas	BATF	1.624	32	1.592	1,97	39,40
Teresina	PITN	973	6	967	0,62	23,93
Ubatuba	UBAT	1.167	51	1.116	4,37	27,62
Uberlândia - CEMIG	UBER	3.157	64	3.093	2,03	76,54
Uberlândia - UFU	MGUB	2.046	27	2.019	1,32	49,96
Varginha	VARG	1.603	142	1.461	8,86	36,15
Varginha - CEMIG	MGVA	1.227	21	1.206	1,71	29,84
Viçosa	VICO	3.975	15	3.960	0,38	98,00
Vila Bela da S. Trindade	MTVB	560	4	556	0,71	13,76
Vitória	CEFE	2.215	25	2.190	1,13	54,19
Vitória da Conquista	BAVC	1.538	12	1.526	0,78	37,76

Filtrados os arquivos, os resultados do processamento relativos a cada uma das noventa e cinco estações componentes da RBMC foram reunidos em planilhas Excel (uma para cada estação).

Considerando que o processamento do NRCAN passou a fornecer coordenadas UTM a partir de meados de 2007, optou-se por recalculá-las em todo o período de processamento a partir das coordenadas cartesianas X, Y e Z, transformando-as em Latitude, Longitude e Altura Elipsoidal (u) e, destas, para UTM em Norte (n) e Leste (e).

Antecedendo a elaboração dos gráficos, é importante registrar que durante o período de observações (de 2002 a 2013) ocorreram duas mudanças no ITRF, adotadas pelo NRCAN nas datas de 05.11.2006 (ITRF2000 para ITRF2005) e 17.04.2011 (ITRF2005 para ITRF2008), incorrendo na necessidade de serem corrigidas as coordenadas X, Y e Z para transformá-las para o ITRF2000, referência do SIRGAS2000. Para tanto utilizaram-se os parâmetros de transformação adotados pelo ITRF, conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Parâmetros de transformação do ITRF2008 para ITRFs anteriores.

SOLUÇÃO	Tx	Ty	Tz	D	Rx	Ry	Rz	ÉPOCA
UNIDADES	mm	mm	mm	ppb	0,001"	0,001"	0,001"	
TAXAS	mm/ano	mm/ano	mm/ano	ppb/ano	0,001"/ano	0,001"/ano	0,001"/ano	
ITRF2005	- 2,0	- 0,9	- 4,7	0,94	0,000	0,000	0,000	2.000.0
TAXAS	0,3	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	0,000	
ITRF2000	- 1,9	- 1,7	- 10,5	1,34	0,000	0,000	0,000	2.000.0
TAXAS	0,10	0,10	-1,08	0,08	0,000	0,000	0,000	

Fonte: adaptado de http://itrf.ensg.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2008_ITRFs.txt acessada em 18.12.14

Outro problema detectado na análise dos arquivos processados pelo NRCAN, é o fato de, por vezes, não ser considerada no processamento a existência da antena do receptor, fazendo com que as coordenadas calculadas se referissem ao centro de fase da antena e não à sua base.

Para corrigir este problema, que causa flagrantes descontinuidades nos gráficos das coordenadas, inicialmente identificaram-se as datas das transições dos processamentos com e sem antena em cada estação.

Identificada a data do último dia em que foi considerada a antena ou o primeiro dia a partir da qual a antena foi considerada, editou-se o arquivo RINEX correspondente, retirando as informações relativas à antena, e processando-o novamente.

Através deste procedimento, obtiveram-se valores distintos para as coordenadas cartesianas (X, Y e Z), observando-se que as coordenadas UTM mantinham-se praticamente inalteradas; calculando-se as diferenças em X, Y e Z, para cada estação, corrigiram-se as coordenadas calculadas em todo o período no qual a antena não foi considerada.

Cabe registrar que em algumas estações, no decorrer do período em que a antena não foi considerada, houve substituição de antena conforme registrado no sítio do IBGE, fazendo com que as respectivas correções em X, Y e Z fossem realizadas de forma diferenciada em cada um dos intervalos (antes e após a substituição da antena).

De posse das coordenadas cartesianas (X, Y, e Z) fornecidas pelo NRCAN e das coordenadas UTM calculadas pelo autor, todas foram devidamente corrigidas tanto em função da mudança do ITRF quanto da não consideração da antena; assim sendo, foi possível elaborar, para cada estação da RBMC, os respectivos gráficos relacionando as coordenadas com a variável tempo.

Os gráficos correspondentes a cada uma das noventa e cinco estações analisadas constam de arquivo anexo; como exemplo, são mostrados nas Figuras 3.6 a 3.11, os gráficos gerados relativos à estação de Brasília (BRAZ):

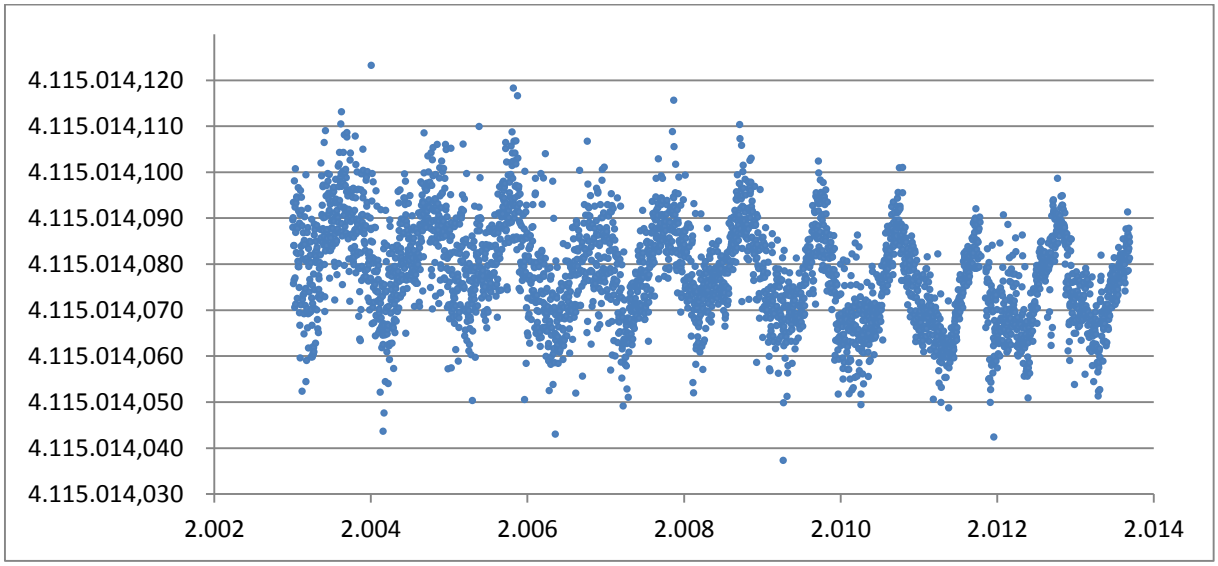


Figura 3.5 – Evolução da coordenada X referente à estação de Brasília.

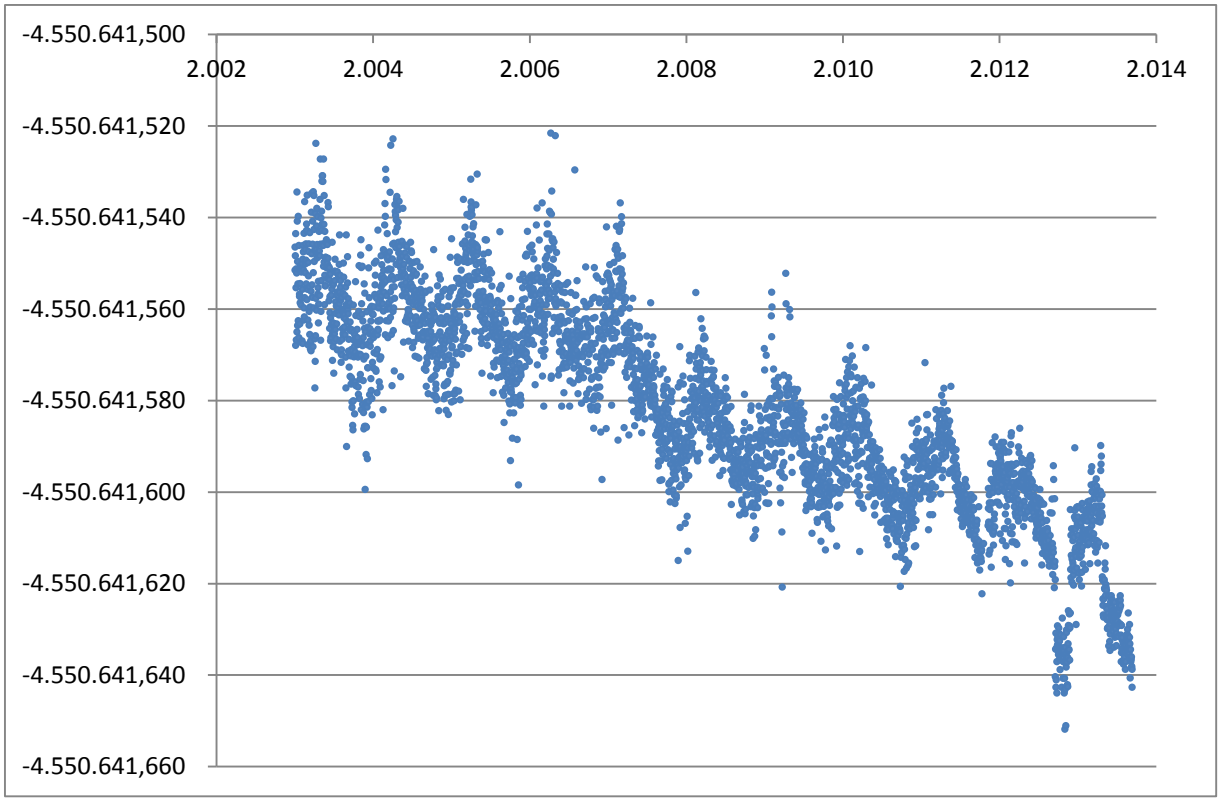


Figura 3.6 – Evolução da coordenada Y referente à estação de Brasília.

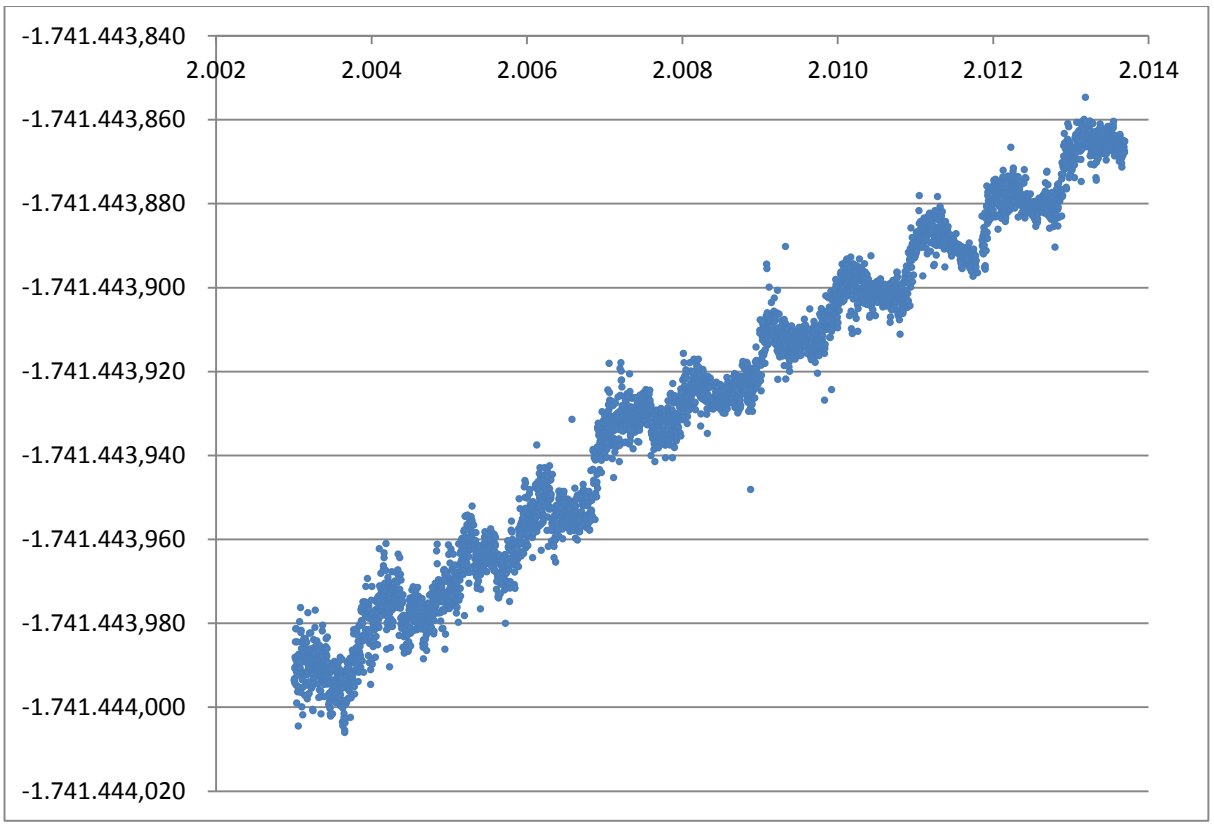


Figura 3.7 – Evolução da coordenada Z referente à estação de Brasília.

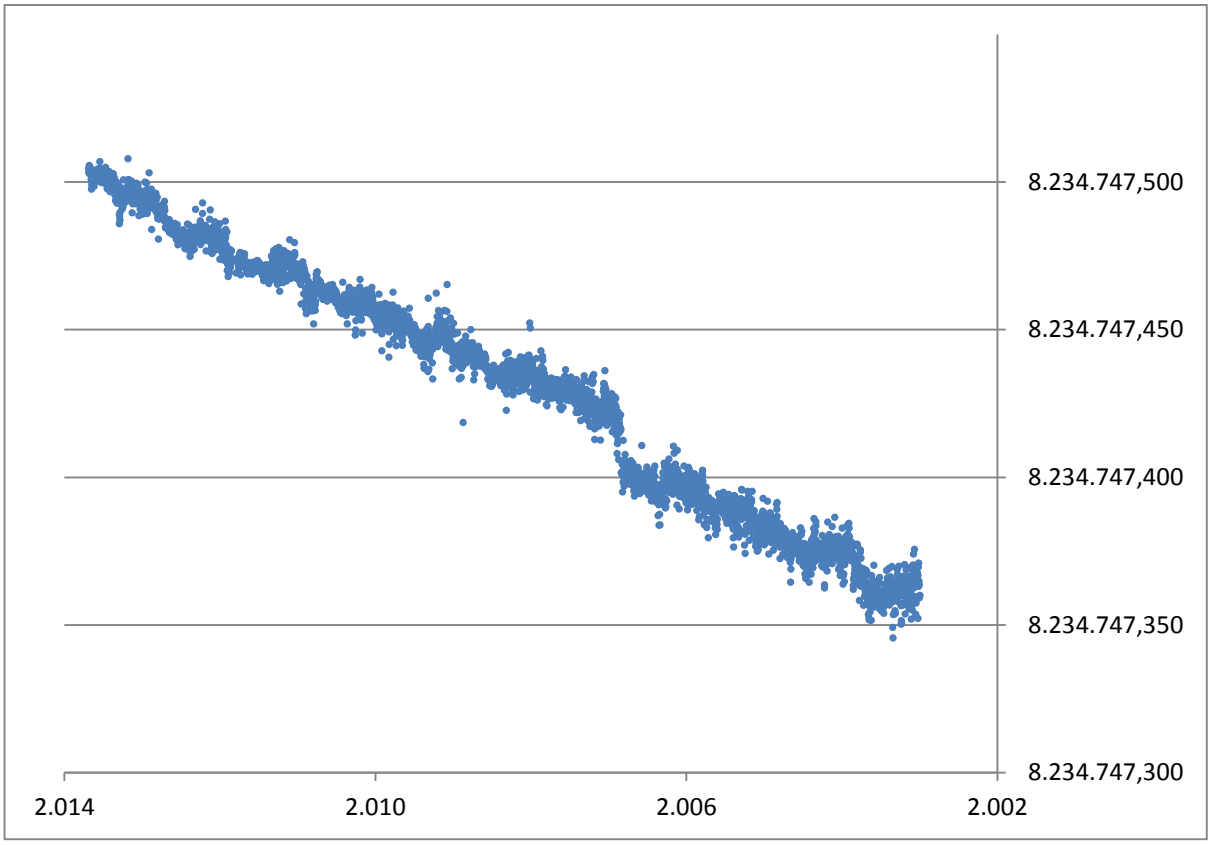


Figura 3.8 – Evolução da coordenada UTM norte referente à estação de Brasília.

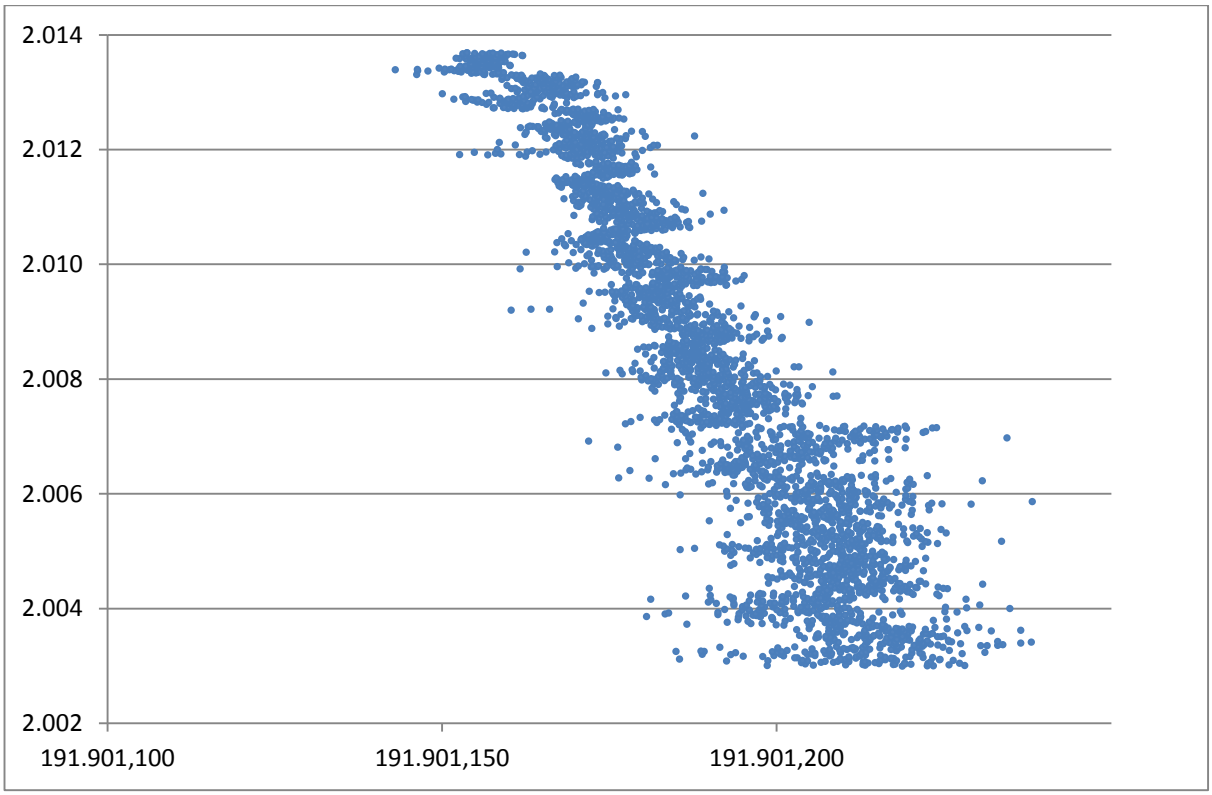


Figura 3.9 – Evolução da coordenada UTM leste referente à estação de Brasília.

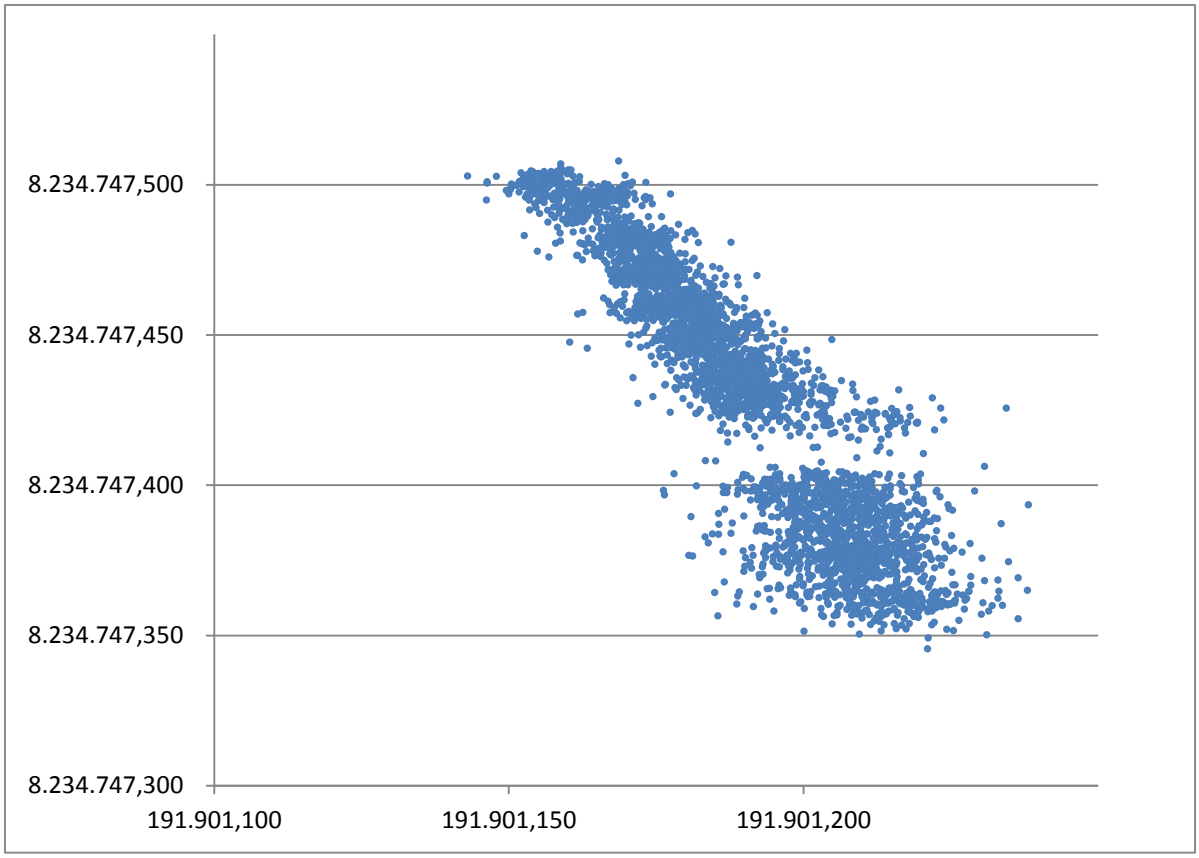


Figura 3.10 – Deslocamento planimétrico referente à estação de Brasília.

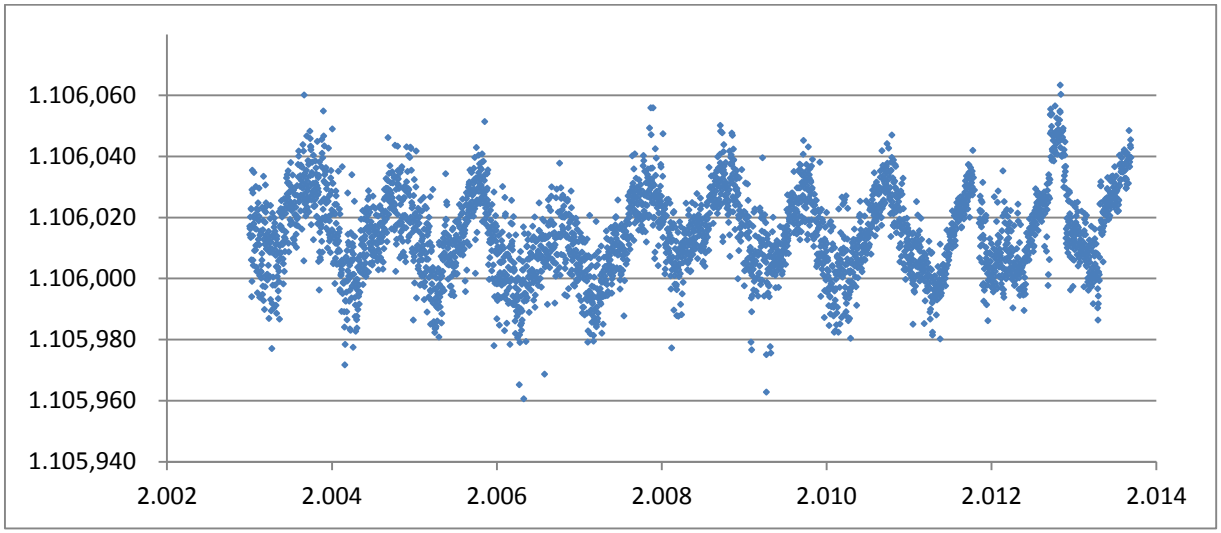


Figura 3.11 – Evolução da altura elipsoidal referente à estação de Brasília.

Numa observação inicial, que ocorre na grande maioria das estações analisadas, notam-se que as coordenadas cartesianas X, Y e Y bem como a altura elipsoidal – esta com maior ênfase, apresentam um certo padrão de variação cíclica, associada a um período próximo de um ano, comportamento este que será objeto de análise em tópicos posteriores. Já as coordenadas

planas UTM, Norte e Leste, possuem uma tendência de variação linear ao longo de todo o período analisado.

Considerando que no longo prazo o comportamento da variação dos valores das coordenadas cartesianas pode ser considerado linear, foi procedido o ajustamento de observações das coordenadas cartesianas de todas as noventa e cinco estações observadas, obtendo-se seus valores para a época 2000.4 (referência do SIRGAS2000), proporcionando a possibilidade de ser realizada uma comparação com as coordenadas oficiais do IBGE correspondente a cada uma das estações, conforme se pode observar na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Coordenadas Cartesianas calculadas para cada estação e comparação com IBGE.

Estação		X	Y	Z	Elipsoidal
ALAR	COORDENADA IBGE	5.043.729,726	- 3.753.105,556	- 1.072.967,067	266,230
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,002	0,001	0,004
	COORDENADA AJUSTE	5.043.729,726	- 3.753.105,560	- 1.072.967,074	266,233
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,007	0,003	0,010
	IBGE - AJUSTE	0,000	0,004	0,007	0,003
AMCO	COORDENADA IBGE	2.652.254,943	- 5.775.435,397	- 538.087,162	75,870
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,005	0,001	0,005
	COORDENADA AJUSTE	2.652.255,035	- 5.775.435,813	- 538.087,212	76,288
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,010	0,003	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,092	0,416	0,050	- 0,418
AMHU	COORDENADA IBGE	2.868.209,970	- 5.636.111,847	- 827.352,921	68,960
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,005	0,001	0,006
	COORDENADA AJUSTE	2.868.209,988	- 5.636.111,853	- 827.352,918	68,979
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,015	0,004	0,016
	IBGE - AJUSTE	- 0,018	0,006	- 0,003	- 0,019
APSA	COORDENADA IBGE	3.999.377,323	- 4.968.443,088	- 6.662,917	- 11,070
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,005	0,006	0,001	0,008
	COORDENADA AJUSTE	3.999.377,335	- 4.968.443,053	- 6.662,920	- 11,090
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,010	0,010	0,004	0,012
	IBGE - AJUSTE	- 0,012	- 0,035	0,003	0,020
BABR	COORDENADA IBGE	4.410.351,456	- 4.409.565,622	- 1.333.726,717	443,050
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,004	0,001	0,006
	COORDENADA AJUSTE	4.410.351,430	- 4.409.565,585	- 1.333.726,713	443,006
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,007	0,004	0,010
	IBGE - AJUSTE	0,026	- 0,037	- 0,004	0,044
BAIR	COORDENADA IBGE	4.659.351,654	- 4.174.512,197	- 1.242.318,987	723,920
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,003	0,001	0,005
	COORDENADA AJUSTE	4.659.351,660	- 4.174.512,202	- 1.242.318,990	723,928
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,006	0,003	0,009
	IBGE - AJUSTE	- 0,006	0,005	0,003	- 0,008
BATF	COORDENADA IBGE	4.677.358,321	- 3.889.198,806	- 1.911.504,019	108,880
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,005	0,004	0,002	0,007
	COORDENADA AJUSTE	4.677.358,291	- 3.889.198,755	- 1.911.504,031	108,830
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,006	0,005	0,010
	IBGE - AJUSTE	0,030	- 0,051	0,012	0,050
BAVC	COORDENADA IBGE	4.667.609,336	- 4.029.356,504	- 1.628.384,947	875,190
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,005	0,004	0,002	0,007
	COORDENADA AJUSTE	4.667.609,346	- 4.029.356,520	- 1.628.384,958	875,210
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,005	0,004	0,008
	IBGE - AJUSTE	- 0,010	0,016	0,011	- 0,020

BELE	COORDENADA IBGE	4.228.139,050	- 4.772.752,086	- 155.761,382	9,080
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,005	0,006	0,001	0,008
	COORDENADA AJUSTE	4.228.139,065	- 4.772.752,089	- 155.761,385	9,091
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,011	0,011	0,005	0,013
	IBGE - AJUSTE	- 0,015	0,003	0,003	- 0,011
BOAV	COORDENADA IBGE	3.117.452,219	- 5.555.487,820	314.480,738	69,480
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,005	0,001	0,006
	COORDENADA AJUSTE	3.117.452,253	- 5.555.487,862	314.480,742	69,534
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,011	0,004	0,012
	IBGE - AJUSTE	- 0,034	0,042	- 0,004	- 0,054
BOMJ	COORDENADA IBGE	4.510.195,835	- 4.268.322,324	- 1.453.035,300	419,400
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,001	0,001	0,001	0,002
	COORDENADA AJUSTE	4.510.195,832	- 4.268.322,309	- 1.453.035,298	419,387
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,011	0,010	0,006	0,013
	IBGE - AJUSTE	0,003	- 0,015	- 0,002	0,013
BRAZ	COORDENADA IBGE	4.115.014,086	- 4.550.641,548	- 1.741.444,018	1.106,020
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,001	0,001	0,001	0,001
	COORDENADA AJUSTE	4.115.014,086	- 4.550.641,529	- 1.741.444,025	1.106,009
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,010	0,011	0,006	0,014
	IBGE - AJUSTE	- 0,000	- 0,019	0,007	0,011
BRFT	COORDENADA IBGE	4.985.393,539	- 3.954.993,412	- 428.426,774	21,680
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,003	0,001	0,005
	COORDENADA AJUSTE	4.985.393,572	- 3.954.993,423	- 428.426,783	21,714
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,008	0,005	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,033	0,011	0,009	- 0,034
CEEU	COORDENADA IBGE	4.985.392,763	- 3.954.993,281	- 428.437,967	21,750
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,005	0,004	0,001	0,007
	COORDENADA AJUSTE	4.985.392,769	- 3.954.993,288	- 428.437,985	21,760
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,006	0,005	0,010
	IBGE - AJUSTE	- 0,006	0,007	0,018	- 0,010
CEFE	COORDENADA IBGE	4.562.488,496	- 3.871.935,794	- 2.200.001,574	14,310
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,002	0,001	0,004
	COORDENADA AJUSTE	4.562.488,494	- 3.871.935,782	- 2.200.001,572	14,301
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,006	0,005	0,009
	IBGE - AJUSTE	0,002	- 0,012	- 0,002	0,009
CEFT	COORDENADA IBGE	4.983.062,756	- 3.959.862,902	- 410.039,590	4,910
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,010	0,008	0,001	0,013
	COORDENADA AJUSTE	4.983.062,757	- 3.959.862,911	- 410.039,616	4,919
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,008	0,004	0,010
	IBGE - AJUSTE	- 0,001	0,009	0,026	- 0,009
CHPI	COORDENADA IBGE	4.164.613,872	- 4.162.456,858	- 2.445.028,859	617,410
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,001	0,001	0,001	0,004
	COORDENADA AJUSTE	4.164.613,895	- 4.162.456,890	- 2.445.028,858	617,445
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,008	0,006	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,023	0,032	- 0,001	- 0,035
CRAT	COORDENADA IBGE	4.888.826,036	- 4.017.957,453	- 798.309,016	436,050
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,001	0,001	0,002
	COORDENADA AJUSTE	4.888.826,019	- 4.017.957,427	- 798.309,016	436,016
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,014	0,012	0,005	0,017
	IBGE - AJUSTE	0,017	- 0,026	0,000	0,034
CRUZ	COORDENADA IBGE	1.883.105,459	- 6.035.606,255	- 839.206,321	236,030
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,005	0,001	0,005
	COORDENADA AJUSTE	1.883.105,467	- 6.035.606,244	- 839.206,303	236,019
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,010	0,004	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,008	- 0,011	- 0,018	0,011
CUIB	COORDENADA IBGE	3.430.711,403	- 5.099.641,562	- 1.699.432,930	237,440
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,001	0,002	0,001	0,002
	COORDENADA AJUSTE	3.430.711,411	- 5.099.641,558	- 1.699.432,944	237,445

	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,010	0,012	0,006	0,013
	IBGE - AJUSTE	- 0,008	- 0,004	0,014	- 0,005
EESC	COORDENADA IBGE	3.967.006,974	- 4.390.247,372	- 2.375.229,939	824,590
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,003	0,002	0,005
	COORDENADA AJUSTE	3.967.006,938	- 4.390.247,320	- 2.375.229,923	824,526
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,006	0,004	0,008
	IBGE - AJUSTE	0,036	- 0,052	- 0,016	0,064
FORT	COORDENADA IBGE	4.985.386,605	- 3.954.998,594	- 428.426,440	19,450
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,004	0,001	0,004
	COORDENADA AJUSTE	4.985.386,614	- 3.954.998,606	- 428.426,450	19,468
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,013	0,012	0,005	0,014
	IBGE - AJUSTE	- 0,009	0,012	0,010	- 0,018
GOJA	COORDENADA IBGE	3.761.502,414	- 4.767.352,980	- 1.946.325,986	755,310
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,004	0,002	0,005
	COORDENADA AJUSTE	3.761.502,409	- 4.767.352,990	- 1.946.326,004	755,320
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,008	0,005	0,012
	IBGE - AJUSTE	0,005	0,010	0,018	- 0,010
GVAL	COORDENADA IBGE	4.490.200,801	- 4.036.984,935	- 2.048.288,408	178,660
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,008	0,008	0,004	0,012
	COORDENADA AJUSTE	4.490.200,793	- 4.036.984,904	- 2.048.288,397	178,633
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,010	0,008	0,008	0,012
	IBGE - AJUSTE	0,008	- 0,031	- 0,011	0,027
ILHA	COORDENADA IBGE	3.735.306,337	- 4.669.666,380	- 2.212.269,481	375,040
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,004	0,002	0,005
	COORDENADA AJUSTE	3.735.306,356	- 4.669.666,407	- 2.212.269,507	375,080
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,008	0,005	0,012
	IBGE - AJUSTE	- 0,019	0,027	0,026	- 0,040
IMBT	COORDENADA IBGE	3.714.771,559	- 4.221.851,099	- 2.999.473,942	31,410
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,003	0,002	0,004
	COORDENADA AJUSTE	3.714.771,545	- 4.221.851,082	- 2.999.473,944	31,391
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,007	0,005	0,009
	IBGE - AJUSTE	0,014	- 0,017	0,002	0,019
IMPZ	COORDENADA IBGE	4.289.656,443	- 4.680.884,945	- 606.347,330	105,010
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,001	0,002	0,001	0,002
	COORDENADA AJUSTE	4.289.656,438	- 4.680.884,965	- 606.347,340	105,021
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,014	0,012	0,005	0,014
	IBGE - AJUSTE	0,005	0,020	0,010	- 0,011
MABA	COORDENADA IBGE	4.156.055,658	- 4.801.656,512	- 592.100,660	79,820
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,005	0,001	0,006
	COORDENADA AJUSTE	4.156.055,653	- 4.801.656,518	- 592.100,658	79,822
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,011	0,011	0,005	0,016
	IBGE - AJUSTE	0,005	0,006	- 0,002	- 0,002
MABS	COORDENADA IBGE	4.389.634,264	- 4.551.909,687	- 830.725,271	226,900
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,006	0,006	0,001	0,008
	COORDENADA AJUSTE	4.389.634,288	- 4.551.909,674	- 830.725,270	226,907
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,012	0,012	0,004	0,014
	IBGE - AJUSTE	- 0,024	- 0,013	- 0,001	- 0,007
MANA	COORDENADA IBGE	3.179.009,360	- 5.518.662,100	- 344.401,825	40,160
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,001	0,002	0,001	0,002
	COORDENADA AJUSTE	3.179.009,462	- 5.518.662,298	- 344.401,830	40,382
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,014	0,018	0,005	0,019
	IBGE - AJUSTE	- 0,102	0,198	0,005	- 0,222
MAPA	COORDENADA IBGE	4.005.461,162	- 4.963.550,323	5.162,242	- 4,220
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,005	0,006	0,001	0,008
	COORDENADA AJUSTE	4.005.461,154	- 4.963.550,311	5.162,213	- 4,235
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,010	0,011	0,005	0,013
	IBGE - AJUSTE	0,008	- 0,012	0,029	0,015
MCLA	COORDENADA IBGE	4.404.519,580	- 4.235.798,388	- 1.823.409,174	656,540

	DESVIO PADRÃO IBGE	0,010	0,009	0,004	0,014
	COORDENADA AJUSTE	4.404.519,582	- 4.235.798,373	- 1.823.409,173	656,531
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,008	0,006	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,002	- 0,015	- 0,001	0,009
MGBH	COORDENADA IBGE	4.320.741,822	- 4.161.560,476	- 2.161.984,249	974,860
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,004	0,002	0,006
	COORDENADA AJUSTE	4.320.741,822	- 4.161.560,473	- 2.161.984,246	974,858
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,008	0,005	0,012
	IBGE - AJUSTE	- 0,000	- 0,003	- 0,003	0,002
MGIN	COORDENADA IBGE	4.076.879,955	- 4.270.390,930	- 2.407.418,136	883,720
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,003	0,002	0,004
	COORDENADA AJUSTE	4.076.879,956	- 4.270.390,909	- 2.407.418,134	883,706
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,007	0,005	0,010
	IBGE - AJUSTE	- 0,001	- 0,021	- 0,002	0,014
MGMC	COORDENADA IBGE	4.406.284,948	- 4.234.092,827	- 1.822.973,819	618,160
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,003	0,001	0,004
	COORDENADA AJUSTE	4.406.284,930	- 4.234.092,813	- 1.822.973,818	618,139
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,007	0,005	0,010
	IBGE - AJUSTE	0,018	- 0,014	- 0,001	0,021
MGRP	COORDENADA IBGE	4.176.141,959	- 4.344.591,172	- 2.085.669,778	1.123,400
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,004	0,002	0,006
	COORDENADA AJUSTE	4.176.141,969	- 4.344.591,189	- 2.085.669,796	1.123,504
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,007	0,005	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,010	0,017	0,018	- 0,104
MGUB	COORDENADA IBGE	4.019.130,616	- 4.504.012,550	- 2.055.168,805	869,240
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,003	0,001	0,004
	COORDENADA AJUSTE	4.019.130,607	- 4.504.012,521	- 2.055.168,792	869,210
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,008	0,006	0,012
	IBGE - AJUSTE	0,009	- 0,029	- 0,013	0,030
MGVA	COORDENADA IBGE	4.165.510,479	- 4.229.245,205	- 2.327.732,783	957,280
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,007	0,007	0,004	0,010
	COORDENADA AJUSTE	4.165.510,446	- 4.229.245,176	- 2.327.732,775	957,236
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,007	0,006	0,011
	IBGE - AJUSTE	0,033	- 0,029	- 0,008	0,044
MSCG	COORDENADA IBGE	3.468.912,084	- 4.870.550,431	- 2.213.735,536	676,510
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,001	0,001	0,005
	COORDENADA AJUSTE	3.468.912,085	- 4.870.550,439	- 2.213.735,543	676,519
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,008	0,005	0,010
	IBGE - AJUSTE	- 0,001	0,008	0,007	- 0,009
MSDO	COORDENADA IBGE	3.404.321,329	- 4.828.421,549	- 2.396.836,997	467,890
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,005	0,002	0,006
	COORDENADA AJUSTE	3.404.321,379	- 4.828.421,586	- 2.396.837,042	467,961
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,008	0,006	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,050	0,037	0,045	- 0,071
MTBA	COORDENADA IBGE	3.755.485,274	- 4.852.853,500	- 1.735.109,260	322,830
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,005	0,002	0,007
	COORDENADA AJUSTE	3.755.485,302	- 4.852.853,537	- 1.735.109,275	322,879
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,010	0,006	0,013
	IBGE - AJUSTE	- 0,028	0,037	0,015	- 0,049
MTCN	COORDENADA IBGE	3.795.147,581	- 4.905.277,088	- 1.485.353,057	423,210
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,007	0,008	0,003	0,011
	COORDENADA AJUSTE	3.795.147,558	- 4.905.277,059	- 1.485.353,051	423,173
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,009	0,005	0,011
	IBGE - AJUSTE	0,023	- 0,029	- 0,006	0,037
MTCO	COORDENADA IBGE	3.553.110,829	- 5.161.363,420	- 1.187.760,045	307,190
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,006	0,009	0,002	0,011
	COORDENADA AJUSTE	3.553.110,853	- 5.161.363,474	- 1.187.760,060	307,250
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,011	0,005	0,014

	IBGE - AJUSTE	- 0,024	0,054	0,015	- 0,060
MTSF	COORDENADA IBGE	3.960.733,843	- 4.832.787,718	- 1.276.215,178	181,850
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,003	0,001	0,004
	COORDENADA AJUSTE	3.960.733,847	- 4.832.787,722	- 1.276.215,187	181,857
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,011	0,011	0,005	0,016
	IBGE - AJUSTE	- 0,004	0,004	0,009	- 0,007
MTSR	COORDENADA IBGE	3.506.741,024	- 5.145.977,165	- 1.376.425,314	391,650
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,005	0,007	0,002	0,009
	COORDENADA AJUSTE	3.506.741,006	- 5.145.977,151	- 1.376.425,313	391,627
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,010	0,005	0,013
	IBGE - AJUSTE	0,018	- 0,014	- 0,001	0,023
MTVB	COORDENADA IBGE	3.085.619,678	- 5.334.029,538	- 1.640.843,894	219,620
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,006	0,010	0,003	0,012
	COORDENADA AJUSTE	3.085.619,659	- 5.334.029,539	- 1.640.843,894	219,611
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,009	0,004	0,010
	IBGE - AJUSTE	0,019	0,001	- 0,000	0,009
NAUS	COORDENADA IBGE	3.179.409,376	- 5.519.130,673	- 334.110,163	93,890
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,005	0,001	0,006
	COORDENADA AJUSTE	3.179.409,392	- 5.519.130,672	- 334.110,167	93,897
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,013	0,022	0,008	0,025
	IBGE - AJUSTE	- 0,016	- 0,001	0,004	- 0,007
NEIA	COORDENADA IBGE	3.875.254,971	- 4.292.588,703	- 2.681.108,773	6,060
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,003	0,002	0,004
	COORDENADA AJUSTE	3.875.255,014	- 4.292.588,679	- 2.681.108,783	6,074
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,009	0,005	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,043	- 0,024	0,010	- 0,014
ONRJ	COORDENADA IBGE	4.283.638,361	- 4.026.028,823	- 2.466.096,837	35,640
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,003	0,002	0,005
	COORDENADA AJUSTE	4.283.638,428	- 4.026.028,860	- 2.466.096,859	35,718
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,012	0,007	0,005	0,012
	IBGE - AJUSTE	- 0,067	0,037	0,022	- 0,078
OURI	COORDENADA IBGE	3.785.720,220	- 4.494.897,634	- 2.471.710,596	444,870
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,004	0,002	0,005
	COORDENADA AJUSTE	3.785.720,252	- 4.494.897,693	- 2.471.710,620	444,941
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,007	0,005	0,010
	IBGE - AJUSTE	- 0,032	0,059	0,024	- 0,071
PAAT	COORDENADA IBGE	3.904.887,719	- 5.030.761,041	- 353.775,063	162,540
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,006	0,007	0,001	0,009
	COORDENADA AJUSTE	3.904.887,769	- 5.030.761,079	- 353.775,092	162,602
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,011	0,013	0,003	0,016
	IBGE - AJUSTE	- 0,050	0,038	0,029	- 0,062
PAIT	COORDENADA IBGE	3.553.352,007	- 5.275.278,295	- 473.671,707	9,170
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,005	0,007	0,001	0,009
	COORDENADA AJUSTE	3.553.352,093	- 5.275.278,394	- 473.671,732	9,302
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,012	0,016	0,004	0,019
	IBGE - AJUSTE	- 0,086	0,099	0,025	- 0,132
PARA	COORDENADA IBGE	3.763.751,655	- 4.365.113,806	- 2.724.404,698	925,770
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,001	0,001	0,001	0,002
	COORDENADA AJUSTE	3.763.751,645	- 4.365.113,799	- 2.724.404,698	925,759
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,009	0,006	0,010
	IBGE - AJUSTE	0,010	- 0,007	- 0,000	0,011
PAST	COORDENADA IBGE	3.680.238,344	- 5.202.015,825	- 276.878,518	130,890
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,006	0,009	0,001	0,011
	COORDENADA AJUSTE	3.680.238,557	- 5.202.015,996	- 276.878,555	131,145
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,013	0,016	0,003	0,020
	IBGE - AJUSTE	- 0,213	0,171	0,037	- 0,255
PBCG	COORDENADA IBGE	5.125.899,424	- 3.711.505,630	- 795.650,619	534,100
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,002	0,001	0,004

	COORDENADA AJUSTE	5.125.899,420	- 3.711.505,617	- 795.650,622	534,089
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,006	0,004	0,009
	IBGE - AJUSTE	0,004	- 0,013	0,003	0,011
PEPE	COORDENADA IBGE	4.785.329,947	- 4.087.942,478	- 1.033.194,011	369,110
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,003	0,001	0,005
	COORDENADA AJUSTE	4.785.329,948	- 4.087.942,473	- 1.033.194,015	369,108
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,006	0,003	0,010
	IBGE - AJUSTE	- 0,001	- 0,005	0,004	0,002
PISR	COORDENADA IBGE	4.629.725,277	- 4.272.600,287	- 994.572,626	366,760
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,005	0,005	0,001	0,007
	COORDENADA AJUSTE	4.629.725,220	- 4.272.600,227	- 994.572,620	366,678
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,006	0,004	0,010
	IBGE - AJUSTE	0,057	- 0,060	- 0,006	0,082
PITN	COORDENADA IBGE	4.661.982,656	- 4.315.989,839	- 563.478,697	67,970
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,007	0,006	0,001	0,009
	COORDENADA AJUSTE	4.661.982,617	- 4.315.989,811	- 563.478,696	67,923
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,006	0,003	0,009
	IBGE - AJUSTE	0,039	- 0,028	- 0,001	0,047
POAL	COORDENADA IBGE	3.467.519,405	- 4.300.378,537	- 3.177.517,734	76,750
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,001	0,001	0,001	0,002
	COORDENADA AJUSTE	3.467.519,395	- 4.300.378,515	- 3.177.517,733	76,729
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,009	0,006	0,011
	IBGE - AJUSTE	0,010	- 0,022	- 0,001	0,021
POLI	COORDENADA IBGE	4.010.099,503	- 4.259.927,302	- 2.533.538,799	730,620
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,003	0,002	0,004
	COORDENADA AJUSTE	4.010.099,555	- 4.259.927,337	- 2.533.538,818	730,683
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,008	0,006	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,052	0,035	0,019	- 0,063
POVE	COORDENADA IBGE	2.774.265,619	- 5.662.060,130	- 959.415,985	119,590
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,006	0,001	0,007
	COORDENADA AJUSTE	2.774.265,619	- 5.662.060,127	- 959.415,990	119,586
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,015	0,005	0,016
	IBGE - AJUSTE	- 0,000	- 0,003	0,005	0,004
PPTE	COORDENADA IBGE	3.687.624,367	- 4.620.818,683	- 2.386.880,382	431,050
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,002	0,001	0,003
	COORDENADA AJUSTE	3.687.624,359	- 4.620.818,655	- 2.386.880,377	431,023
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,008	0,006	0,010
	IBGE - AJUSTE	0,008	- 0,028	- 0,005	0,027
PRGU	COORDENADA IBGE	3.590.927,128	- 4.512.405,645	- 2.718.013,371	1.043,100
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,005	0,003	0,007
	COORDENADA AJUSTE	3.590.927,140	- 4.512.405,659	- 2.718.013,391	1.043,185
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,007	0,005	0,009
	IBGE - AJUSTE	- 0,012	0,014	0,020	- 0,085
PRMA	COORDENADA IBGE	3.610.720,837	- 4.611.288,403	- 2.518.636,345	543,370
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,005	0,007	0,004	0,009
	COORDENADA AJUSTE	3.610.720,867	- 4.611.288,424	- 2.518.636,388	543,419
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,008	0,005	0,010
	IBGE - AJUSTE	- 0,030	0,021	0,043	- 0,049
RECF	COORDENADA IBGE	5.176.588,653	- 3.618.162,163	- 887.363,920	20,180
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,001	0,001	0,002
	COORDENADA AJUSTE	5.176.588,645	- 3.618.162,134	- 887.363,925	20,158
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,012	0,012	0,005	0,013
	IBGE - AJUSTE	0,008	- 0,029	0,005	0,022
RIOB	COORDENADA IBGE	2.373.576,795	- 5.817.088,359	- 1.096.515,770	172,620
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,004	0,001	0,004
	COORDENADA AJUSTE	2.373.576,809	- 5.817.088,356	- 1.096.515,756	172,620
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,013	0,004	0,013
	IBGE - AJUSTE	- 0,014	- 0,003	- 0,014	0,000

RIOD	COORDENADA IBGE	4.280.294,878	- 4.034.431,226	- 2.458.141,379	8,630
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,001	0,001	0,001	0,002
	COORDENADA AJUSTE	4.280.294,879	- 4.034.431,213	- 2.458.141,389	8,625
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,010	0,008	0,007	0,012
	IBGE - AJUSTE	- 0,001	- 0,013	0,010	0,005
RJCG	COORDENADA IBGE	4.450.354,263	- 3.913.332,792	- 2.350.256,390	9,960
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,003	0,002	0,005
	COORDENADA AJUSTE	4.450.354,258	- 3.913.332,776	- 2.350.256,391	9,947
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,006	0,005	0,009
	IBGE - AJUSTE	0,005	- 0,016	0,001	0,013
RNMO	COORDENADA IBGE	5.051.170,185	- 3.851.509,492	- 574.681,396	23,400
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,005	0,004	0,001	0,006
	COORDENADA AJUSTE	5.051.170,216	- 3.851.509,518	- 574.681,439	23,443
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,006	0,005	0,009
	IBGE - AJUSTE	- 0,031	0,026	0,043	- 0,043
RNNA	COORDENADA IBGE	5.184.572,529	- 3.658.358,251	- 644.238,647	45,970
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,005	0,003	0,001	0,006
	COORDENADA AJUSTE	5.184.572,537	- 3.658.358,252	- 644.238,657	45,979
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,006	0,004	0,009
	IBGE - AJUSTE	- 0,008	0,001	0,010	- 0,009
ROCD	COORDENADA IBGE	3.055.332,347	- 5.409.951,380	- 1.438.685,372	451,700
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,007	0,002	0,008
	COORDENADA AJUSTE	3.055.332,373	- 5.409.951,445	- 1.438.685,395	451,773
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,011	0,005	0,014
	IBGE - AJUSTE	- 0,026	0,065	0,023	- 0,073
ROGM	COORDENADA IBGE	2.615.472,443	- 5.694.455,890	- 1.185.599,932	157,780
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,004	0,001	0,005
	COORDENADA AJUSTE	2.615.472,457	- 5.694.455,938	- 1.185.599,933	157,828
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,013	0,005	0,015
	IBGE - AJUSTE	- 0,014	0,048	0,001	- 0,048
ROJI	COORDENADA IBGE	2.945.010,574	- 5.529.376,991	- 1.194.259,325	182,880
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,004	0,001	0,005
	COORDENADA AJUSTE	2.945.010,586	- 5.529.377,029	- 1.194.259,337	182,921
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,012	0,004	0,013
	IBGE - AJUSTE	- 0,012	0,038	0,012	- 0,041
ROSA	COORDENADA IBGE	3.551.520,484	- 4.704.836,109	- 2.428.155,731	299,690
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,004	0,002	0,006
	COORDENADA AJUSTE	3.551.520,509	- 4.704.836,172	- 2.428.155,729	299,749
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,008	0,006	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,025	0,063	- 0,002	- 0,059
SAGA	COORDENADA IBGE	2.486.243,773	- 5.873.685,318	- 15.906,826	94,890
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,006	0,001	0,006
	COORDENADA AJUSTE	2.486.243,807	- 5.873.685,357	- 15.906,826	94,939
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,013	0,004	0,014
	IBGE - AJUSTE	- 0,034	0,039	- 0,000	- 0,049
SALU	COORDENADA IBGE	4.566.947,903	- 4.443.098,495	- 286.674,811	18,980
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,003	0,001	0,004
	COORDENADA AJUSTE	4.566.947,929	- 4.443.098,507	- 286.674,819	19,007
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,011	0,008	0,005	0,012
	IBGE - AJUSTE	- 0,026	0,012	0,008	- 0,027
SALV	COORDENADA IBGE	4.863.495,734	- 3.870.312,352	- 1.426.347,813	35,760
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,001	0,001	0,002
	COORDENADA AJUSTE	4.863.495,744	- 3.870.312,340	- 1.426.347,824	35,762
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,013	0,013	0,007	0,013
	IBGE - AJUSTE	- 0,010	- 0,012	0,011	- 0,002
SAVO	COORDENADA IBGE	4.870.283,757	- 3.864.605,280	- 1.418.872,623	76,320
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,002	0,001	0,004
	COORDENADA AJUSTE	4.870.283,762	- 3.864.605,285	- 1.418.872,632	76,329

	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,006	0,004	0,010
	IBGE - AJUSTE	- 0,005	0,005	0,009	- 0,009
SCCH	COORDENADA IBGE	3.450.305,441	- 4.512.731,664	- 2.892.128,265	744,240
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,004	0,003	0,006
	COORDENADA AJUSTE	3.450.305,430	- 4.512.731,694	- 2.892.128,274	744,259
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,006	0,005	0,008
	IBGE - AJUSTE	0,011	0,030	0,009	- 0,019
SCLA	COORDENADA IBGE	3.606.986,062	- 4.345.293,244	- 2.956.654,209	940,720
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,003	0,002	0,005
	COORDENADA AJUSTE	3.606.986,066	- 4.345.293,251	- 2.956.654,222	940,733
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,006	0,005	0,008
	IBGE - AJUSTE	- 0,004	0,007	0,013	- 0,013
SJRP	COORDENADA IBGE	3.885.706,906	- 4.527.123,954	- 2.249.400,144	535,910
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,004	0,002	0,005
	COORDENADA AJUSTE	3.885.706,913	- 4.527.123,940	- 2.249.400,154	535,908
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,008	0,005	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,007	- 0,014	0,010	0,002
SMAR	COORDENADA IBGE	3.280.748,410	- 4.468.909,741	- 3.143.408,684	113,110
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,001	0,001	0,001	0,001
	COORDENADA AJUSTE	3.280.748,403	- 4.468.909,725	- 3.143.408,693	113,099
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,009	0,006	0,011
	IBGE - AJUSTE	0,007	- 0,016	0,009	0,011
SPAR	COORDENADA IBGE	3.789.545,410	- 4.587.255,757	- 2.290.619,365	410,350
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,004	0,002	0,006
	COORDENADA AJUSTE	3.789.545,416	- 4.587.255,772	- 2.290.619,374	410,368
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,007	0,005	0,010
	IBGE - AJUSTE	- 0,006	0,015	0,009	- 0,018
SPBO	COORDENADA IBGE	3.902.211,608	- 4.400.160,550	- 2.461.983,631	803,120
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,006	0,006	0,004	0,009
	COORDENADA AJUSTE	3.902.211,621	- 4.400.160,554	- 2.461.983,663	803,143
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,008	0,005	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,013	0,004	0,032	- 0,023
SPCA	COORDENADA IBGE	4.007.215,101	- 4.306.650,198	- 2.458.220,562	622,980
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,004	0,005	0,003	0,007
	COORDENADA AJUSTE	4.007.215,101	- 4.306.650,188	- 2.458.220,580	622,980
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,006	0,005	0,009
	IBGE - AJUSTE	0,000	- 0,010	0,018	0,000
SPJA	COORDENADA IBGE	3.957.806,697	- 4.440.069,785	- 2.296.499,876	570,200
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,006	0,006	0,003	0,009
	COORDENADA AJUSTE	3.957.806,699	- 4.440.069,768	- 2.296.499,893	570,194
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,006	0,004	0,008
	IBGE - AJUSTE	- 0,002	- 0,017	0,017	0,006
SSA1	COORDENADA IBGE	4.863.840,324	- 3.871.158,605	- 1.422.726,791	- 2,090
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,002	0,001	0,004
	COORDENADA AJUSTE	4.863.840,329	- 3.871.158,594	- 1.422.726,786	- 2,094
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,010	0,008	0,004	0,010
	IBGE - AJUSTE	- 0,005	- 0,011	- 0,005	0,004
TOGU	COORDENADA IBGE	4.093.503,252	- 4.717.194,822	- 1.290.037,853	272,590
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,003	0,001	0,004
	COORDENADA AJUSTE	4.093.503,274	- 4.717.194,839	- 1.290.037,863	272,618
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,011	0,010	0,005	0,014
	IBGE - AJUSTE	- 0,022	0,017	0,010	- 0,028
TOPL	COORDENADA IBGE	4.174.345,624	- 4.690.236,702	- 1.118.921,429	256,550
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,004	0,001	0,005
	COORDENADA AJUSTE	4.174.345,654	- 4.690.236,723	- 1.118.921,438	256,587
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,010	0,010	0,004	0,014
	IBGE - AJUSTE	- 0,030	0,021	0,009	- 0,037
UBAT	COORDENADA IBGE	4.129.567,682	- 4.146.742,946	- 2.527.616,499	6,070

	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,003	0,002	0,004
	COORDENADA AJUSTE	4.129.567,652	- 4.146.743,036	- 2.527.616,566	6,137
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,014	0,017	0,007	0,016
	IBGE - AJUSTE	0,030	0,090	0,067	- 0,067
UBER	COORDENADA IBGE	4.014.997,241	- 4.509.022,449	- 2.052.040,720	791,830
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,006	0,007	0,003	0,010
	COORDENADA AJUSTE	4.014.997,214	- 4.509.022,409	- 2.052.040,705	791,780
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,009	0,007	0,013
	IBGE - AJUSTE	0,027	- 0,040	- 0,015	0,050
UEPP	COORDENADA IBGE	3.687.624,314	- 4.620.818,607	- 2.386.880,344	430,950
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,001	0,001	0,001	0,002
	COORDENADA AJUSTE	3.687.624,314	- 4.620.818,606	- 2.386.880,348	430,951
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,010	0,007	0,011
	IBGE - AJUSTE	0,000	- 0,001	0,004	- 0,001
UFPR	COORDENADA IBGE	3.763.751,681	- 4.365.113,832	- 2.724.404,715	925,810
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,002	0,003	0,002	0,004
	COORDENADA AJUSTE	3.763.751,694	- 4.365.113,837	- 2.724.404,728	925,827
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,006	0,005	320,519
	IBGE - AJUSTE	- 0,013	0,005	0,013	- 0,017
VARG	COORDENADA IBGE	4.165.518,288	- 4.229.235,773	- 2.327.739,656	958,650
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,003	0,003	0,002	0,005
	COORDENADA AJUSTE	4.165.518,295	- 4.229.235,773	- 2.327.739,686	958,666
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,010	0,009	0,007	0,011
	IBGE - AJUSTE	- 0,007	- 0,000	0,030	- 0,016
VICO	COORDENADA IBGE	4.373.283,315	- 4.059.639,052	- 2.246.959,730	665,960
	DESVIO PADRÃO IBGE	0,001	0,001	0,001	0,002
	COORDENADA AJUSTE	4.373.283,312	- 4.059.639,030	- 2.246.959,733	665,945
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,009	0,010	0,007	0,012
	IBGE - AJUSTE	0,003	- 0,022	0,003	0,015
MÉDIA		**- 0,010**	**0,011**	**0,009**	**- 0,019**
DESVIO PADRÃO		**0,003**	**0,003**	**0,002**	**0,004**

Visando realizar uma análise mais detalhada da Tabela 3.4, as estações foram divididas em dois grupos, sendo que no primeiro (76 estações) as diferenças espaciais entre cada uma das coordenadas oficiais do IBGE e as calculadas pelo PPP apresentam valores máximos de 3,0 cm, o que significa que a distância entre o ponto calculado pelo PPP e preconizado pelo IBGE é de no máximo de 5,2 cm (valor obtido pela raiz quadrada de três vezes 3 cm ao quadrado, o que equivale a uma esfera com 5,2 centímetros de raio).

Interessante registrar que na grande maioria das dezenove estações do grupo 2, exceção às estações de Boa Vista, Rio de Janeiro ON e São Paulo, o percentual de arquivos considerados é inferior à 50% em relação à estação que teve o maior número de dias com arquivos processados (Cuiabá, com 4.043 arquivos possui percentual de 100%).

Tabela 3.5 – Estações com diferença espacial menor do que 0,052 m em relação ao IBGE

ESTAÇÃO	CÓDIGO	DIAS	%	X	Y	Z	Espacial
Arapiraca	ALAR	1.682	42	0,000	0,004	0,007	0,008
Humaitá	AMHU	315	8	- 0,018	0,006	- 0,003	0,019
Santana	APSA	790	20	- 0,012	- 0,035	0,003	0,037

Barreiras	BABR	1.059	26	0,026	- 0,037	- 0,004	0,046
Irecê	BAIR	1.570	39	- 0,006	0,005	0,003	0,008
Vitória da Conquista	BAVC	1.526	38	- 0,010	0,016	0,011	0,022
Belém	BELE	3.208	79	- 0,015	0,003	0,003	0,016
Bom Jesus da Lapa	BOMJ	3.601	89	0,003	- 0,015	- 0,002	0,016
Brasília	BRAZ	3.800	94	- 0,000	- 0,019	0,007	0,021
Fortaleza	BRFT	2.479	61	- 0,033	0,011	0,009	0,036
Fortaleza	CEEU	1.568	39	- 0,006	0,007	0,018	0,020
Vitória	CEFE	2.190	54	0,002	- 0,012	- 0,002	0,012
Fortaleza	CEFT	1.126	28	- 0,001	0,009	0,026	0,028
Cachoeira Paulista	CHPI	2.146	53	- 0,023	0,032	- 0,001	0,039
Crato	CRAT	2.964	73	0,017	- 0,026	0,000	0,031
Cruzeiro do Sul	CRUZ	813	20	- 0,008	- 0,011	- 0,018	0,023
Cuiabá	CUIB	4.041	100	- 0,008	- 0,004	0,014	0,017
Fortaleza	FORT	247	6	- 0,009	0,012	0,010	0,018
Jataí	GOJA	1.704	42	0,005	0,010	0,018	0,021
Governador Valadares	GVAL	2.995	74	0,008	- 0,031	- 0,011	0,033
Ilha Solteira	ILHA	1.353	33	- 0,019	0,027	0,026	0,042
Imbituba	IMBT	2.009	50	0,014	- 0,017	0,002	0,022
Imperatriz	IMPZ	3.473	86	0,005	0,020	0,010	0,023
Marabá	MABA	1.674	41	0,005	0,006	- 0,002	0,008
Balsas	MABS	643	16	- 0,024	- 0,013	- 0,001	0,027
Macapá	MAPA	2.572	64	0,008	- 0,012	0,029	0,032
Monte Claros/CEMIG	MCLA	2.740	68	- 0,002	- 0,015	- 0,001	0,015
Belo Horizonte	MGBH	1.672	41	- 0,000	- 0,003	- 0,003	0,004
Inconfidentes	MGIN	1.869	46	- 0,001	- 0,021	- 0,002	0,021
Monte Claros/CODEVASF	MGMC	1.745	43	0,018	- 0,014	- 0,001	0,023
Rio Paranaíba	MGRP	1.262	31	- 0,010	0,017	0,018	0,027
Uberlândia - UFU	MGUB	2.019	50	0,009	- 0,029	- 0,013	0,033
Varginha - CEMIG	MGVA	1.206	30	0,033	- 0,029	- 0,008	0,045
Campo Grande	MSCG	1.720	43	- 0,001	0,008	0,007	0,011
Barra do Garças	MTBA	1.771	44	- 0,028	0,037	0,015	0,048
Canarana	MTCN	687	17	0,023	- 0,029	- 0,006	0,038
São Félix do Araguaia	MTSF	1.817	45	- 0,004	0,004	0,009	0,010
Sorriso	MTSR	822	20	0,018	- 0,014	- 0,001	0,023
Vila Bela da S. Trindade	MTVB	556	14	0,019	0,001	- 0,000	0,019
Manaus	NAUS	2.311	57	- 0,016	- 0,001	0,004	0,017
Cananéia	NEIA	1.803	45	- 0,043	- 0,024	0,010	0,050
Curitiba	PARA	1.476	37	0,010	- 0,007	- 0,000	0,012
Campina Grande	PBCG	1.894	47	0,004	- 0,013	0,003	0,014
Petrolina	PEPE	2.012	50	- 0,001	- 0,005	0,004	0,006
Teresina	PITN	967	24	0,039	- 0,028	- 0,001	0,048
Porto Alegre	POAL	3.844	95	0,010	- 0,022	- 0,001	0,024
Porto Velho	POVE	2.576	64	- 0,000	- 0,003	0,005	0,006
Pres. Prudente	PPTE	2.662	66	0,008	- 0,028	- 0,005	0,030
Guarapuava	PRGU	1.514	37	- 0,012	0,014	0,020	0,027
Recife	RECF	3.385	84	0,008	- 0,029	0,005	0,030
Rio Branco	RIOB	2.049	51	- 0,014	- 0,003	- 0,014	0,020
Rio de Janeiro - IBGE	RIOD	3.450	85	- 0,001	- 0,013	0,010	0,016
Campos dos Goytacazes	RJCG	1.816	45	0,005	- 0,016	0,001	0,016
Natal	RNNA	1.527	38	- 0,008	0,001	0,010	0,013
Guajará-Mirim	ROGM	1.819	45	- 0,014	0,048	0,001	0,050
Ji-Paraná	ROJI	1.955	48	- 0,012	0,038	0,012	0,042
São Gabriel da Cachoeira	SAGA	1.797	44	- 0,034	0,039	- 0,000	0,051
São Luís	SALU	1.994	49	- 0,026	0,012	0,008	0,030
Salvador	SALV	1.832	45	- 0,010	- 0,012	0,011	0,019
Salvador - INCRA	SAVO	2.014	50	- 0,005	0,005	0,009	0,012
Chapecó	SCCH	1.857	46	0,011	0,030	0,009	0,033

Lages	SCLA	1.929	48	- 0,004	0,007	0,013	0,015
São José do Rio Preto	SJRP	1.490	37	- 0,007	- 0,014	0,010	0,018
Santa Maria	SMAR	3.966	98	0,007	- 0,016	0,009	0,020
Araçatuba	SPAR	1.245	31	- 0,006	0,015	0,009	0,019
Botucatu	SPBO	322	8	- 0,013	0,004	0,032	0,034
Campinas	SPCA	1.064	26	0,000	- 0,010	0,018	0,021
Jaboticabal	SPJA	505	13	- 0,002	- 0,017	0,017	0,024
Salvador - Porto	SSA1	2.100	52	- 0,005	- 0,011	- 0,005	0,013
Gurupi	TOGU	1.758	44	- 0,022	0,017	0,010	0,029
Palmas	TOPL	2.016	50	- 0,030	0,021	0,009	0,037
Uberlândia - CEMIG	UBER	3.093	77	0,027	- 0,040	- 0,015	0,050
Presidente Prudente	UEPP	1.165	29	0,000	- 0,001	0,004	0,004
Curitiba	UFPR	1.818	45	- 0,013	0,005	0,013	0,019
Varginha	VARG	1.461	36	- 0,007	- 0,000	0,030	0,031
Viçosa	VICO	3.960	98	0,003	- 0,022	0,003	0,022
MÉDIA							**0,025**
DESVIO PADRÃO							**0,012**

Tabela 3.6 – Estações com diferença espacial maior do que 0,052 m em relação ao IBGE

ESTAÇÃO	**CÓDIGO**	**DIAS**	**%**	**X**	**Y**	**Z**	**Espacial**
Coari	AMCO	351	9	- 0,092	0,416	0,050	0,429
Teixeira de Freitas	BATF	1.592	39	0,030	- 0,051	0,012	0,060
Boa Vista	BOAV	2.059	51	- 0,034	0,042	- 0,004	0,054
São Carlos	EESC	496	12	0,036	- 0,052	- 0,016	0,065
Manaus	MANA	196	5	- 0,102	0,198	0,005	0,223
Dourados	MSDO	486	12	- 0,050	0,037	0,045	0,076
Colider	MTCO	1.459	36	- 0,024	0,054	0,015	0,061
Rio de Janeiro - ON	ONRJ	2.391	59	- 0,067	0,037	0,022	0,080
Ourinhos	OURI	1.353	33	- 0,032	0,059	0,024	0,072
Altamira	PAAT	1.188	29	- 0,050	0,038	0,029	0,069
Itaituba	PAIT	1.088	27	- 0,086	0,099	0,025	0,133
Santarém	PAST	433	11	- 0,213	0,171	0,037	0,276
São Raimundo Nonato	PISR	1.526	38	0,057	- 0,060	- 0,006	0,083
São Paulo	POLI	2.251	56	- 0,052	0,035	0,019	0,065
Maringá	PRMA	1.571	39	- 0,030	0,021	0,043	0,056
Mossoró	RNMO	1.618	40	- 0,031	0,026	0,043	0,059
Colorado d'Oeste	ROCD	1.246	31	- 0,026	0,065	0,023	0,074
Rosana	ROSA	1.446	36	- 0,025	0,063	- 0,002	0,068
Ubatuba	UBAT	1.116	28	0,030	0,090	0,067	0,116
MÉDIA							**0,112**
DESVIO PADRÃO							**0,097**

No que se refere às coordenadas UTM, foram calculadas as coordenadas Norte (n) e Leste (e) para a época 2000.4 para cada uma das noventa e cinco estações da RBMC que estiveram ativas no período de 2002 a 2013.

A determinação das coordenadas para a época 2000.4 foi realizada tomando por base os valores diários obtidos através do processamento do NRCAN, os quais foram posteriormente corrigidos para a época 2000.4, admitindo, para tanto, que possuíam um comportamento de variação linear ao longo de todo o período de coleta dos dados; obtidos os respectivos valores

para 2000.4, foram determinadas suas médias aritméticas e calculados os correspondentes desvio-padrão, conforme se observa na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Coordenadas UTM calculadas para cada estação e comparação com IBGE.

ESTAÇÃO		NORTE (n)	LESTE (n)
ALAR	COORDENADA IBGE	8.921.420,847	757.437,686
	COORDENADA AJUSTE	8.921.420,841	757.437,682
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,006	0,004
AMCO	COORDENADA IBGE	9.461.037,824	241.147,654
	COORDENADA AJUSTE	9.461.037,809	241.147,564
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,015	0,090
AMHU	COORDENADA IBGE	9.170.618,254	496.853,855
	COORDENADA AJUSTE	9.170.618,259	496.853,868
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	- 0,005	- 0,013
APSA	COORDENADA IBGE	9.993.339,707	481.364,759
	COORDENADA AJUSTE	9.993.339,704	481.364,791
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,008
	IBGE - AJUSTE	0,003	- 0,032
BABR	COORDENADA IBGE	8.656.854,815	500.555,407
	COORDENADA AJUSTE	8.656.854,810	500.555,416
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,005	- 0,009
BAIR	COORDENADA IBGE	8.748.697,572	187.930,160
	COORDENADA AJUSTE	8.748.697,570	187.930,161
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,002	- 0,001
BATF	COORDENADA IBGE	8.058.906,266	421.110,700
	COORDENADA AJUSTE	8.058.906,238	421.110,720
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,028	- 0,020
BAVC	COORDENADA IBGE	8.353.243,043	306.067,834
	COORDENADA AJUSTE	8.353.243,037	306.067,829
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,006	0,005
BELE	COORDENADA IBGE	9.844.131,659	782.362,747
	COORDENADA AJUSTE	9.844.131,655	782.362,757
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,008
	IBGE - AJUSTE	0,004	- 0,010
BOAV	COORDENADA IBGE	314.735,324	755.563,828
	COORDENADA AJUSTE	314.735,326	755.563,836
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	- 0,002	- 0,008
BOMJ	COORDENADA IBGE	8.534.062,652	670.991,851
	COORDENADA AJUSTE	8.534.062,651	670.991,860
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,008
	IBGE - AJUSTE	0,001	- 0,009
BRAZ	COORDENADA IBGE	8.234.747,341	191.901,220
	COORDENADA AJUSTE	8.234.747,330	191.901,233
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,007
	IBGE - AJUSTE	0,011	- 0,013
BRFT	COORDENADA IBGE	9.571.397,376	563.779,050
	COORDENADA AJUSTE	9.571.397,369	563.779,063
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,007	- 0,013
CEEU	COORDENADA IBGE	9.571.386,165	563.778,664
	COORDENADA AJUSTE	9.571.386,148	563.778,662
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,017	0,002

CEFE	COORDENADA IBGE	7.753.574,912	362.241,724
	COORDENADA AJUSTE	7.753.574,911	362.241,732
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,001	- 0,008
CEFT	COORDENADA IBGE	9.589.820,631	558.529,724
	COORDENADA AJUSTE	9.589.820,605	558.529,718
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,008
	IBGE - AJUSTE	0,026	0,006
CHPI	COORDENADA IBGE	7.491.112,296	501.524,482
	COORDENADA AJUSTE	7.491.112,312	501.524,476
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,006
	IBGE - AJUSTE	- 0,016	0,006
CRAT	COORDENADA IBGE	9.199.917,893	454.119,207
	COORDENADA AJUSTE	9.199.917,889	454.119,217
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,010
	IBGE - AJUSTE	0,004	- 0,010
CRUZ	COORDENADA IBGE	9.157.996,970	756.837,414
	COORDENADA AJUSTE	9.157.996,986	756.837,426
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	- 0,016	- 0,012
CUIB	COORDENADA IBGE	8.280.040,831	599.737,357
	COORDENADA AJUSTE	8.280.040,818	599.737,366
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,008
	IBGE - AJUSTE	0,013	- 0,009
EESC	COORDENADA IBGE	7.563.785,991	200.662,024
	COORDENADA AJUSTE	7.563.785,982	200.662,031
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,003
	IBGE - AJUSTE	0,009	- 0,007
FORT	COORDENADA IBGE	9.571.397,566	563.770,683
	COORDENADA AJUSTE	9.571.397,556	563.770,681
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,011
	IBGE - AJUSTE	0,010	0,002
GOJA	COORDENADA IBGE	8.022.578,268	423.080,115
	COORDENADA AJUSTE	8.022.578,252	423.080,105
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,016	0,010
GVAL	COORDENADA IBGE	7.912.547,810	188.333,128
	COORDENADA AJUSTE	7.912.547,812	188.333,145
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,006
	IBGE - AJUSTE	- 0,002	- 0,017
ILHA	COORDENADA IBGE	7.741.141,412	464.178,025
	COORDENADA AJUSTE	7.741.141,398	464.178,023
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,014	0,002
IMBT	COORDENADA IBGE	6.874.555,729	730.029,462
	COORDENADA AJUSTE	6.874.555,717	730.029,462
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,012	- 0,000
IMPZ	COORDENADA IBGE	9.392.398,833	223.300,719
	COORDENADA AJUSTE	9.392.398,824	223.300,702
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,011
	IBGE - AJUSTE	0,009	0,017
MABA	COORDENADA IBGE	9.406.959,977	708.069,761
	COORDENADA AJUSTE	9.406.959,979	708.069,753
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,006
	IBGE - AJUSTE	- 0,002	0,008
MABS	COORDENADA IBGE	9.167.102,568	385.291,512
	COORDENADA AJUSTE	9.167.102,570	385.291,537
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,009
	IBGE - AJUSTE	- 0,002	- 0,025
MANA	COORDENADA IBGE	9.655.111,002	827.253,075
	COORDENADA AJUSTE	9.655.111,009	827.253,065
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,012
	IBGE - AJUSTE	- 0,007	0,010

MAPA	COORDENADA IBGE	5.160,189	489.168,852
	COORDENADA AJUSTE	5.160,160	489.168,853
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,007
	IBGE - AJUSTE	0,029	- 0,001
MCLA	COORDENADA IBGE	8.151.040,841	619.257,849
	COORDENADA AJUSTE	8.151.040,839	619.257,861
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,006
	IBGE - AJUSTE	0,002	- 0,012
MGBH	COORDENADA IBGE	7.794.587,879	612.507,701
	COORDENADA AJUSTE	7.794.587,880	612.507,703
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	- 0,001	- 0,002
MGIN	COORDENADA IBGE	7.531.309,952	363.219,729
	COORDENADA AJUSTE	7.531.309,949	363.219,744
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,003	- 0,015
MGMC	COORDENADA IBGE	8.151.469,816	621.712,543
	COORDENADA AJUSTE	8.151.469,811	621.712,541
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,005	0,002
MGRP	COORDENADA IBGE	7.875.564,472	380.943,156
	COORDENADA AJUSTE	7.875.564,461	380.943,152
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,003
	IBGE - AJUSTE	0,011	0,004
MGUB	COORDENADA IBGE	7.905.871,703	789.027,534
	COORDENADA AJUSTE	7.905.871,707	789.027,547
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	- 0,004	- 0,013
MGVA	COORDENADA IBGE	7.617.734,103	454.956,776
	COORDENADA AJUSTE	7.617.734,095	454.956,773
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,008	0,003
MSCG	COORDENADA IBGE	7.737.803,364	756.591,501
	COORDENADA AJUSTE	7.737.803,359	756.591,496
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,005	0,005
MSDO	COORDENADA IBGE	7.541.543,836	725.344,562
	COORDENADA AJUSTE	7.541.543,816	725.344,581
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,020	- 0,019
MTBA	COORDENADA IBGE	8.242.826,137	364.601,173
	COORDENADA AJUSTE	8.242.826,135	364.601,172
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,002	0,001
MTCN	COORDENADA IBGE	8.501.038,352	362.435,484
	COORDENADA AJUSTE	8.501.038,349	362.435,484
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,003
	IBGE - AJUSTE	0,003	0,000
MTCO	COORDENADA IBGE	8.805.280,874	668.773,366
	COORDENADA AJUSTE	8.805.280,870	668.773,354
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,004	0,012
MTSF	COORDENADA IBGE	8.715.523,339	536.681,136
	COORDENADA AJUSTE	8.715.523,332	536.681,136
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,007	- 0,000
MTSR	COORDENADA IBGE	8.612.820,615	638.258,373
	COORDENADA AJUSTE	8.612.820,610	638.258,366
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,005	0,007
MTVB	COORDENADA IBGE	8.338.844,801	182.572,819
	COORDENADA AJUSTE	8.338.844,799	182.572,802
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,002	0,017

NAUS	COORDENADA IBGE	9.665.429,426	827.394,323
	COORDENADA AJUSTE	9.665.429,422	827.394,338
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,008	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,004	- 0,015
NEIA	COORDENADA IBGE	7.229.622,558	204.807,722
	COORDENADA AJUSTE	7.229.622,555	204.807,770
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,006
	IBGE - AJUSTE	0,003	- 0,048
ONRJ	COORDENADA IBGE	7.466.927,822	682.133,192
	COORDENADA AJUSTE	7.466.927,830	682.133,211
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,007
	IBGE - AJUSTE	- 0,008	- 0,019
OURI	COORDENADA IBGE	7.461.680,694	613.285,159
	COORDENADA AJUSTE	7.461.680,698	613.285,145
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,004
	IBGE - AJUSTE	- 0,004	0,014
PAAT	COORDENADA IBGE	9.646.115,932	368.744,475
	COORDENADA AJUSTE	9.646.115,906	368.744,490
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,026	- 0,015
PAIT	COORDENADA IBGE	9.526.008,990	606.936,385
	COORDENADA AJUSTE	9.526.008,976	606.936,400
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,006
	IBGE - AJUSTE	0,014	- 0,015
PARA	COORDENADA IBGE	7.184.223,310	677.878,513
	COORDENADA AJUSTE	7.184.223,306	677.878,509
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,008
	IBGE - AJUSTE	0,004	0,004
PAST	COORDENADA IBGE	9.722.929,618	753.313,851
	COORDENADA AJUSTE	9.722.929,592	753.313,925
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,026	- 0,074
PBCG	COORDENADA IBGE	9.201.606,165	178.917,587
	COORDENADA AJUSTE	9.201.606,161	178.917,596
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,004	- 0,009
PEPE	COORDENADA IBGE	8.962.292,666	334.616,263
	COORDENADA AJUSTE	8.962.292,663	334.616,267
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,003	- 0,004
PISR	COORDENADA IBGE	9.000.959,449	752.542,389
	COORDENADA AJUSTE	9.000.959,441	752.542,395
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,008	- 0,006
PITN	COORDENADA IBGE	9.435.588,275	744.673,840
	COORDENADA AJUSTE	9.435.588,272	744.673,834
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,003	0,006
POAL	COORDENADA IBGE	6.673.004,053	488.457,545
	COORDENADA AJUSTE	6.673.004,042	488.457,550
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,007
	IBGE - AJUSTE	0,011	- 0,005
POLI	COORDENADA IBGE	7.393.902,042	323.390,708
	COORDENADA AJUSTE	7.393.902,050	323.390,722
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,006
	IBGE - AJUSTE	- 0,008	- 0,014
POVE	COORDENADA IBGE	9.037.165,721	401.400,675
	COORDENADA AJUSTE	9.037.165,716	401.400,677
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,007
	IBGE - AJUSTE	0,005	- 0,002
PPTE	COORDENADA IBGE	7.553.844,608	457.866,057
	COORDENADA AJUSTE	7.553.844,602	457.866,068
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,006	- 0,011

PRGU	COORDENADA IBGE	7.192.442,097	450.952,308
	COORDENADA AJUSTE	7.192.442,086	450.952,308
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,011	- 0,000
PRMA	COORDENADA IBGE	7.410.814,703	404.118,587
	COORDENADA AJUSTE	7.410.814,678	404.118,598
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,025	- 0,011
RECF	COORDENADA IBGE	9.109.554,895	284.931,043
	COORDENADA AJUSTE	9.109.554,886	284.931,062
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,010
	IBGE - AJUSTE	0,009	- 0,019
RIOB	COORDENADA IBGE	8.898.169,188	631.229,338
	COORDENADA AJUSTE	8.898.169,202	631.229,352
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	- 0,014	- 0,014
RIOD	COORDENADA IBGE	7.475.648,024	673.825,217
	COORDENADA AJUSTE	7.475.648,012	673.825,227
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,006
	IBGE - AJUSTE	0,012	- 0,010
RJCG	COORDENADA IBGE	7.591.387,416	259.450,193
	COORDENADA AJUSTE	7.591.387,409	259.450,201
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,007	- 0,008
RNMO	COORDENADA IBGE	9.424.513,865	685.597,001
	COORDENADA AJUSTE	9.424.513,825	685.596,999
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,040	0,002
RNNA	COORDENADA IBGE	9.354.429,674	255.542,605
	COORDENADA AJUSTE	9.354.429,664	255.542,609
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,010	- 0,004
ROCD	COORDENADA IBGE	8.548.045,776	766.284,348
	COORDENADA AJUSTE	8.548.045,769	766.284,339
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,007	0,009
ROGM	COORDENADA IBGE	8.806.906,476	245.146,303
	COORDENADA AJUSTE	8.806.906,484	245.146,296
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	- 0,008	0,007
ROJI	COORDENADA IBGE	8.798.874,478	613.702,346
	COORDENADA AJUSTE	8.798.874,474	613.702,338
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,004	0,008
ROSA	COORDENADA IBGE	7.507.938,289	299.223,778
	COORDENADA AJUSTE	7.507.938,316	299.223,760
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	- 0,027	0,018
SAGA	COORDENADA IBGE	9.984.090,557	716.161,345
	COORDENADA AJUSTE	9.984.090,557	716.161,360
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,006
	IBGE - AJUSTE	- 0,000	- 0,015
SALU	COORDENADA IBGE	9.713.315,615	587.544,986
	COORDENADA AJUSTE	9.713.315,608	587.544,995
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,006
	IBGE - AJUSTE	0,007	- 0,009
SALV	COORDENADA IBGE	8.561.854,853	552.879,184
	COORDENADA AJUSTE	8.561.854,843	552.879,199
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,013
	IBGE - AJUSTE	0,010	- 0,015
SAVO	COORDENADA IBGE	8.569.514,404	561.583,034
	COORDENADA AJUSTE	8.569.514,397	561.583,033
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,007	0,001

SCCH	COORDENADA IBGE	6.997.318,540	341.486,093
	COORDENADA AJUSTE	6.997.318,539	341.486,066
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,001	0,027
SCLA	COORDENADA IBGE	6.925.551,902	568.538,121
	COORDENADA AJUSTE	6.925.551,895	568.538,119
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,007	0,002
SJRP	COORDENADA IBGE	7.700.722,082	670.708,247
	COORDENADA AJUSTE	7.700.722,071	670.708,261
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,011	- 0,014
SMAR	COORDENADA IBGE	6.709.269,527	237.205,247
	COORDENADA AJUSTE	6.709.269,511	237.205,251
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,007
	IBGE - AJUSTE	0,016	- 0,004
SPAR	COORDENADA IBGE	7.657.311,899	558.150,930
	COORDENADA AJUSTE	7.657.311,896	558.150,925
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,003
	IBGE - AJUSTE	0,003	0,005
SPBO	COORDENADA IBGE	7.470.517,941	763.488,887
	COORDENADA AJUSTE	7.470.517,917	763.488,893
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,003
	IBGE - AJUSTE	0,024	- 0,006
SPCA	COORDENADA IBGE	7.475.338,887	288.294,847
	COORDENADA AJUSTE	7.475.338,868	288.294,853
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,003
	IBGE - AJUSTE	0,019	- 0,006
SPJA	COORDENADA IBGE	7.648.754,711	781.612,638
	COORDENADA AJUSTE	7.648.754,691	781.612,651
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,003
	IBGE - AJUSTE	0,020	- 0,013
SSA1	COORDENADA IBGE	8.565.561,750	552.438,838
	COORDENADA AJUSTE	8.565.561,754	552.438,850
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,008
	IBGE - AJUSTE	- 0,004	- 0,012
TOGU	COORDENADA IBGE	8.700.717,730	712.607,505
	COORDENADA AJUSTE	8.700.717,726	712.607,511
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,004	- 0,006
TOPL	COORDENADA IBGE	8.874.471,328	792.491,179
	COORDENADA AJUSTE	8.874.471,325	792.491,188
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,003	0,005
	IBGE - AJUSTE	0,003	- 0,009
UBAT	COORDENADA IBGE	7.401.103,997	487.860,109
	COORDENADA AJUSTE	7.401.103,953	487.860,024
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,016
	IBGE - AJUSTE	0,044	0,085
UBER	COORDENADA IBGE	7.909.251,415	782.656,488
	COORDENADA AJUSTE	7.909.251,413	782.656,494
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,006
	IBGE - AJUSTE	0,002	- 0,006
UEPP	COORDENADA IBGE	7.553.844,608	457.866,062
	COORDENADA AJUSTE	7.553.844,604	457.866,062
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,005	0,008
	IBGE - AJUSTE	0,004	- 0,000
UFPR	COORDENADA IBGE	7.184.223,310	677.878,515
	COORDENADA AJUSTE	7.184.223,304	677.878,522
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,004	0,004
	IBGE - AJUSTE	0,006	- 0,007
VARG	COORDENADA IBGE	7.617.727,294	454.968,971
	COORDENADA AJUSTE	7.617.727,267	454.968,976
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,007	0,008
	IBGE - AJUSTE	0,027	- 0,005

VICO	COORDENADA IBGE	7.702.785,751	721.757,711
	COORDENADA AJUSTE	7.702.785,742	721.757,724
	DESVIO PADRÃO AJUSTE	0,006	0,007
	IBGE - AJUSTE	0,009	- 0,013
MÉDIA		**0,007**	**- 0,003**
DESVIO PADRÃO		**0,011**	**0,019**

Visando realizar uma análise mais detalhada da Tabela 3.7, as estações foram divididas em dois grupos, sendo que no primeiro (noventa estações) as diferenças planimétricas entre as coordenadas oficiais do IBGE e as calculadas pelo PPP apresentam valores máximos de 3cm, enquanto que no segundo grupo as mesmas superam 3cm.

Interessante registrar que em todas as cinco estações do grupo 2 o percentual de arquivos considerados é inferior à 45% da estação que teve o maior número de dias com arquivos processados (Cuiabá, com 4.043 arquivos).

Tabela 3.8 – Estações com diferença planimétrica menor do que 0,042 m em relação ao IBGE.

ESTAÇÃO	CÓDIGO	DIAS	%	Norte (n)	Leste (e)	Plano
Arapiraca	ALAR	1.682	42	0,006	0,004	0,007
Humaitá	AMHU	315	8	- 0,005	- 0,013	0,014
Santana	APSA	790	20	0,003	- 0,032	0,032
Irecê	BAIR	1.570	39	0,002	- 0,001	0,002
Teixeira de Freitas	BATF	1.592	39	0,028	- 0,020	0,035
Belém	BELE	3.208	79	0,004	- 0,010	0,011
Boa Vista	BOAV	2.059	51	- 0,002	- 0,008	0,009
Bom Jesus da Lapa	BOMJ	3.601	89	0,001	- 0,009	0,009
Brasília	BRAZ	3.800	94	0,011	- 0,013	0,017
Fortaleza	BRFT	2.479	61	0,007	- 0,013	0,015
Fortaleza	CEEU	1.568	39	0,017	0,002	0,017
Vitória	CEFE	2.190	54	0,001	- 0,008	0,008
Fortaleza	CEFT	1.126	28	0,026	0,006	0,027
Cachoeira Paulista	CHPI	2.146	53	- 0,016	0,006	0,017
Crato	CRAT	2.964	73	0,004	- 0,010	0,010
Cruzeiro do Sul	CRUZ	813	20	- 0,016	- 0,012	0,020
Cuiabá	CUIB	4.041	100	0,013	- 0,009	0,016
São Carlos	EESC	496	12	0,009	- 0,007	0,012
Fortaleza	FORT	247	6	0,010	0,002	0,010
Jataí	GOJA	1.704	42	0,016	0,010	0,019
Governador Valadares	GVAL	2.995	74	- 0,002	- 0,017	0,017
Ilha Solteira	ILHA	1.353	33	0,014	0,002	0,014
Imbituba	IMBT	2.009	50	0,012	- 0,000	0,012
Imperatriz	IMPZ	3.473	86	0,009	0,017	0,020
Marabá	MABA	1.674	41	- 0,002	0,008	0,008
Balsas	MABS	643	16	- 0,002	- 0,025	0,025
Manaus	MANA	196	5	- 0,007	0,010	0,013
Macapá	MAPA	2.572	64	0,029	- 0,001	0,029
Monte Claros/CEMIG	MCLA	2.740	68	0,002	- 0,012	0,012
Belo Horizonte	MGBH	1.672	41	- 0,001	- 0,002	0,002
Inconfidentes	MGIN	1.869	46	0,003	- 0,015	0,015
Monte Claros/CODEVASF	MGMC	1.745	43	0,005	0,002	0,006

Rio Paranaíba	MGRP	1.262	31	0,011	0,004	0,012
Uberlândia - UFU	MGUB	2.019	50	- 0,004	- 0,013	0,013
Varginha - CEMIG	MGVA	1.206	30	0,008	0,003	0,008
Campo Grande	MSCG	1.720	43	0,005	0,005	0,007
Dourados	MSDO	486	12	0,020	- 0,019	0,028
Barra do Garças	MTBA	1.771	44	0,002	0,001	0,002
Canarana	MTCN	687	17	0,003	0,000	0,003
Colider	MTCO	1.459	36	0,004	0,012	0,012
São Félix do Araguaia	MTSF	1.817	45	0,007	- 0,000	0,007
Sorriso	MTSR	822	20	0,005	0,007	0,009
Vila Bela da S. Trindade	MTVB	556	14	0,002	0,017	0,017
Manaus	NAUS	2.311	57	0,004	- 0,015	0,015
Rio de Janeiro - ON	ONRJ	2.391	59	- 0,008	- 0,019	0,021
Ourinhos	OURI	1.353	33	- 0,004	0,014	0,014
Altamira	PAAT	1.188	29	0,026	- 0,015	0,030
Itaituba	PAIT	1.088	27	0,014	- 0,015	0,021
Curitiba	PARA	1.476	37	0,004	0,004	0,006
Campina Grande	PBCG	1.894	47	0,004	- 0,009	0,009
Petrolina	PEPE	2.012	50	0,003	- 0,004	0,005
São Raimundo Nonato	PISR	1.526	38	0,008	- 0,006	0,010
Teresina	PITN	967	24	0,003	0,006	0,007
Porto Alegre	POAL	3.844	95	0,011	- 0,005	0,012
São Paulo	POLI	2.251	56	- 0,008	- 0,014	0,016
Porto Velho	POVE	2.576	64	0,005	- 0,002	0,005
Pres. Prudente	PPTE	2.662	66	0,006	- 0,011	0,012
Guarapuava	PRGU	1.514	37	0,011	- 0,000	0,011
Maringá	PRMA	1.571	39	0,025	- 0,011	0,027
Recife	RECF	3.385	84	0,009	- 0,019	0,021
Rio Branco	RIOB	2.049	51	- 0,014	- 0,014	0,020
Rio de Janeiro - IBGE	RIOD	3.450	85	0,012	- 0,010	0,016
Campos dos Goytacazes	RJCG	1.816	45	0,007	- 0,008	0,010
Natal	RNNA	1.527	38	0,010	- 0,004	0,010
Colorado d'Oeste	ROCD	1.246	31	0,007	0,009	0,012
Guajará-Mirim	ROGM	1.819	45	- 0,008	0,007	0,011
Ji-Paraná	ROJI	1.955	48	0,004	0,008	0,009
Rosana	ROSA	1.446	36	- 0,027	0,018	0,032
São Gabriel da Cachoeira	SAGA	1.797	44	- 0,000	- 0,015	0,015
São Luís	SALU	1.994	49	0,007	- 0,009	0,011
Salvador	SALV	1.832	45	0,010	- 0,015	0,018
Salvador - INCRA	SAVO	2.014	50	0,007	0,001	0,007
Chapecó	SCCH	1.857	46	0,001	0,027	0,027
Lages	SCLA	1.929	48	0,007	0,002	0,008
São José do Rio Preto	SJRP	1.490	37	0,011	- 0,014	0,018
Santa Maria	SMAR	3.966	98	0,016	- 0,004	0,017
Araçatuba	SPAR	1.245	31	0,003	0,005	0,006
Botucatu	SPBO	322	8	0,024	- 0,006	0,025
Campinas	SPCA	1.064	26	0,019	- 0,006	0,020
Jaboticabal	SPJA	505	13	0,020	- 0,013	0,024
Salvador - Porto	SSA1	2.100	52	- 0,004	- 0,012	0,013
Gurupi	TOGU	1.758	44	0,004	- 0,006	0,007
Palmas	TOPL	2.016	50	0,003	- 0,009	0,010
Uberlândia - CEMIG	UBER	3.093	77	0,002	- 0,006	0,006
Presidente Prudente	UEPP	1.165	29	0,004	- 0,000	0,004

Curitiba	UFPR	1.818	45	0,006	- 0,007	0,009
Varginha	VARG	1.461	36	0,027	- 0,005	0,027
Viçosa	VICO	3.960	98	0,009	- 0,013	0,016
MÉDIA						**0,013**
DESVIO PADRÃO						**0,007**

Tabela 3.9 – Estações com diferença planimétrica maior do que 0,042 m

ESTAÇÃO	CÓDIGO	DIAS	%	Norte	Leste	Plano
Coari	AMCO	351	9	0,015	0,090	0,091
Cananéia	NEIA	1.803	45	0,003	- 0,048	0,049
Santarém	PAST	433	11	0,026	- 0,074	0,079
Mossoró	RNMO	1.618	40	0,040	0,002	0,040
Ubatuba	UBAT	1.116	28	0,044	0,085	0,095
MÉDIA						**0,057**
DESVIO PADRÃO						**0,027**

Comparando-se o comportamento dos resultados do processamento utilizando-se o PPP e partindo do pressuposto de que as coordenadas oficiais do IBGE estão corretas, verifica-se que a qualidade os resultados é melhor quando nos valemos apenas das componentes planimétricas (coordenadas Norte e Leste), pois somente em 5 das 95 estações consideradas (correspondente a 5%) a diferença entre as coordenadas UTM calculadas pelo PPP e as preconizadas pelo IBGE foi superior a 3,0 cm.

Assim sendo, a localização do ponto através do PPP estaria dentro de um círculo com raio de 4,2 cm (raiz quadrada de duas vezes 3 cm elevado ao quadrado) traçado a partir da localização do ponto dada pelas coordenadas do IBGE; quando da consideração das coordenadas cartesianas X, Y e Z, o número de estações em que a diferença espacial de 5,2 cm é superado aumenta para 19, correspondendo a 20% de todas as estações analisadas.

Importante registrar que este comportamento já era esperado, pois a precisão do GPS é maior nas componentes planimétricas quando comparada com a componente vertical, tendo em vista que somente existem satélites acima das antenas, enquanto que em relação às coordenadas planimétricas (Norte e Leste) os sinais de satélite são provenientes de várias direções.

Utilizando-se dos dados diários coletados nas estações e processados pelo NRCan, foram calculadas as velocidades de deslocamento – em metros/ano – em relação às coordenada X, Y e Z bem como em relação às coordenadas UTM Norte (n) e Leste (e) e da Altura Elipsoidal (u), conforme representando na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Velocidades de translação das estações da RBME em X, Y, Z, n, e e u em m/ano

Estação	Dias	X	Y	Z	n	e	u
ALAR	1.682	- 0,0027	- 0,0026	0,0127	0,0124	- 0,0036	- 0,0027
AMCO	351	- 0,0083	0,0283	0,0156	0,0131	0,0042	- 0,0304

AMHU	315	- 0,0043	- 0,0015	0,0119	0,0136	- 0,0044	- 0,0029
APSA	790	- 0,0021	- 0,0064	0,0132	0,0132	- 0,0057	0,0036
BABR	1.059	0,0022	- 0,0084	0,0116	0,0129	- 0,0044	0,0048
BAIR	1.570	- 0,0001	- 0,0062	0,0112	0,0117	- 0,0048	0,0018
BATF	1.592	- 0,0022	- 0,0058	0,0144	0,0143	- 0,0059	- 0,0024
BAVC	1.526	- 0,0001	- 0,0045	0,0113	0,0117	- 0,0036	- 0,0001
BELE	3.208	- 0,0047	- 0,0024	0,0137	0,0137	- 0,0051	- 0,0017
BOAV	2.059	- 0,0052	- 0,0013	0,0115	0,0115	- 0,0052	- 0,0008
BOMJ	3.601	- 0,0011	- 0,0062	0,0126	0,0131	- 0,0051	0,0005
BRAZ	3.800	- 0,0012	- 0,0064	0,0125	0,0137	- 0,0053	0,0003
BRTF	2.479	- 0,0031	- 0,0030	0,0126	0,0126	- 0,0042	- 0,0014
CEEU	1.568	- 0,0019	- 0,0039	0,0136	0,0136	- 0,0042	0,0001
CEFE	2.190	- 0,0000	- 0,0058	0,0113	0,0119	- 0,0046	- 0,0004
CEFT	1.126	0,0001	- 0,0026	0,0135	0,0136	- 0,0019	0,0008
CHPI	2.146	- 0,0002	- 0,0033	0,0112	0,0112	- 0,0024	- 0,0023
CRAT	2.964	0,0007	- 0,0037	0,0123	0,0126	- 0,0032	0,0024
CRUZ	813	- 0,0018	- 0,0021	0,0112	0,0113	- 0,0023	0,0000
CUIB	4.041	- 0,0017	- 0,0054	0,0125	0,0130	- 0,0044	0,0000
EESC	496	0,0026	- 0,0084	0,0116	0,0137	- 0,0040	0,0030
FORT	247	- 0,0034	- 0,0019	0,0129	0,0128	- 0,0036	- 0,0024
GOJA	1.704	- 0,0005	- 0,0042	0,0126	0,0129	- 0,0031	- 0,0010
GVAL	2.995	0,0008	- 0,0079	0,0114	0,0126	- 0,0055	0,0019
ILHA	1.353	- 0,0017	- 0,0044	0,0130	0,0129	- 0,0041	- 0,0023
IMBT	2.009	0,0010	- 0,0069	0,0107	0,0123	- 0,0036	0,0001
IMPZ	3.473	- 0,0019	- 0,0001	0,0133	0,0131	- 0,0015	- 0,0025
MABA	1.674	- 0,0001	- 0,0037	0,0119	0,0121	- 0,0024	0,0016
MABS	643	- 0,0042	- 0,0053	0,0127	0,0127	- 0,0067	- 0,0007
MANA	196	- 0,0390	0,0631	0,0096	0,0056	- 0,0023	- 0,0746
MAPA	2.572	- 0,0020	- 0,0026	0,0146	0,0146	- 0,0032	0,0007
MCLA	2.740	0,0007	- 0,0073	0,0113	0,0124	- 0,0047	0,0021
MGBH	1.672	0,0001	- 0,0059	0,0109	0,0116	- 0,0041	0,0002
MGIN	1.869	- 0,0003	- 0,0071	0,0108	0,0119	- 0,0052	0,0005
MGMC	1.745	0,0015	- 0,0073	0,0109	0,0122	- 0,0041	0,0028
MGRP	1.262	0,0009	- 0,0067	0,0110	0,0121	- 0,0040	0,0016
MGUB	2.019	- 0,0001	- 0,0067	0,0108	0,0119	- 0,0043	0,0012
MGVA	1.206	0,0017	- 0,0078	0,0097	0,0115	- 0,0043	0,0027
MSCG	1.720	- 0,0008	- 0,0039	0,0123	0,0125	- 0,0028	- 0,0017
MSDO	486	- 0,0062	0,0002	0,0174	0,0147	- 0,0048	- 0,0101
MTBA	1.771	- 0,0033	- 0,0049	0,0110	0,0111	- 0,0057	- 0,0013
MTCN	687	0,0015	- 0,0078	0,0123	0,0136	- 0,0037	0,0040
MTCO	1.459	- 0,0010	- 0,0030	0,0116	0,0117	- 0,0025	- 0,0003
MTSF	1.817	- 0,0019	- 0,0042	0,0120	0,0122	- 0,0042	- 0,0004
MTSR	822	0,0018	- 0,0067	0,0116	0,0128	- 0,0022	0,0039
MTVB	556	0,0021	- 0,0065	0,0114	0,0127	- 0,0016	0,0035
NAUS	2.311	- 0,0034	- 0,0017	0,0119	0,0119	- 0,0037	- 0,0009
NEIA	1.803	- 0,0015	- 0,0092	0,0113	0,0125	- 0,0075	0,0005
ONRJ	2.391	- 0,0050	- 0,0044	0,0111	0,0100	- 0,0065	- 0,0049
OURI	1.353	- 0,0012	- 0,0014	0,0133	0,0124	- 0,0017	- 0,0049
PAAT	1.188	- 0,0046	- 0,0020	0,0135	0,0134	- 0,0048	- 0,0020
PAIT	1.088	- 0,0066	0,0015	0,0130	0,0126	- 0,0047	- 0,0059
PARA	1.476	0,0016	- 0,0041	0,0102	0,0110	- 0,0013	- 0,0006
PAST	433	- 0,0161	0,0069	0,0160	0,0154	- 0,0091	- 0,0156
PBCG	1.894	- 0,0018	- 0,0043	0,0133	0,0133	- 0,0046	- 0,0006

PEPE	2.012	- 0,0006	- 0,0054	0,0121	0,0124	- 0,0045	0,0010
PISR	1.526	0,0066	- 0,0131	0,0100	0,0121	- 0,0051	0,0120
PITN	967	0,0028	- 0,0070	0,0128	0,0133	- 0,0032	0,0056
POAL	3.844	0,0028	- 0,0078	0,0100	0,0126	- 0,0027	0,0018
POLI	2.251	- 0,0022	- 0,0030	0,0133	0,0125	- 0,0039	- 0,0047
POVE	2.576	- 0,0008	- 0,0034	0,0117	0,0119	- 0,0022	0,0009
PPTE	2.662	0,0014	- 0,0075	0,0111	0,0129	- 0,0036	0,0021
PRGU	1.514	- 0,0004	- 0,0061	0,0111	0,0119	- 0,0041	- 0,0007
PRMA	1.571	- 0,0022	- 0,0044	0,0138	0,0134	- 0,0046	- 0,0035
RECF	3.385	- 0,0032	- 0,0041	0,0129	0,0127	- 0,0052	- 0,0021
RIOB	2.049	- 0,0030	- 0,0034	0,0104	0,0106	- 0,0041	0,0002
RIOD	3.450	0,0007	- 0,0069	0,0119	0,0131	- 0,0044	0,0003
RJCG	1.816	- 0,0002	- 0,0065	0,0112	0,0118	- 0,0052	- 0,0003
RNMO	1.618	- 0,0040	- 0,0022	0,0154	0,0152	- 0,0041	- 0,0033
RNNA	1.527	- 0,0011	- 0,0050	0,0121	0,0122	- 0,0048	0,0008
ROCD	1.246	- 0,0014	- 0,0016	0,0120	0,0119	- 0,0019	- 0,0020
ROGM	1.819	- 0,0021	0,0006	0,0109	0,0105	- 0,0017	- 0,0035
ROJI	1.955	- 0,0017	- 0,0032	0,0120	0,0121	- 0,0030	- 0,0002
ROSA	1.446	- 0,0011	- 0,0009	0,0091	0,0084	- 0,0015	- 0,0035
SAGA	1.797	- 0,0053	- 0,0002	0,0110	0,0134	- 0,0041	- 0,0046
SALU	1.994	- 0,0036	- 0,0035	0,0126	0,0126	- 0,0050	- 0,0008
SALV	1.832	- 0,0038	- 0,0048	0,0127	0,0123	- 0,0061	- 0,0029
SAVO	2.014	- 0,0006	- 0,0052	0,0120	0,0123	- 0,0044	0,0000
SCCH	1.857	0,0008	- 0,0030	0,0110	0,0111	- 0,0013	- 0,0025
SCLA	1.929	- 0,0003	- 0,0052	0,0107	0,0113	- 0,0035	- 0,0016
SJRP	1.490	0,0015	- 0,0091	0,0099	0,0121	- 0,0046	0,0039
SMAR	3.966	0,0017	- 0,0073	0,0103	0,0123	- 0,0032	0,0009
SPAR	1.245	0,0002	- 0,0055	0,0104	0,0113	- 0,0033	0,0003
SPBO	322	0,0096	- 0,0164	0,0092	0,0143	- 0,0034	0,0136
SPCA	1.064	0,0005	- 0,0064	0,0131	0,0140	- 0,0041	- 0,0004
SPJA	505	- 0,0001	- 0,0064	0,0133	0,0142	- 0,0041	- 0,0004
SSA1	2.100	- 0,0005	- 0,0067	0,0109	0,0115	- 0,0055	0,0012
TOGU	1.758	- 0,0023	- 0,0045	0,0120	0,0121	- 0,0046	- 0,0005
TOPL	2.016	- 0,0030	- 0,0045	0,0123	0,0124	- 0,0052	- 0,0008
UBAT	1.117	0,0171	- 0,0026	0,0130	0,0175	0,0102	0,0076
UBER	3.093	0,0006	- 0,0068	0,0110	0,0122	- 0,0039	0,0016
UEPP	1.165	0,0016	- 0,0039	0,0104	0,0112	- 0,0013	- 0,0002
UFPR	1.818	- 0,0014	- 0,0051	0,0118	0,0129	- 0,0038	- 0,0024
VARG	1.461	- 0,0018	- 0,0047	0,0155	0,0151	- 0,0046	- 0,0037
VICO	3.960	0,0003	- 0,0068	0,0120	0,0130	- 0,0046	0,0003

Como era de se esperar, as velocidades das estações em relação aos eixos cartesianos X, Y e Z não mantém uma relação simples entre si, haja visto que são função de uma conjugação entre Latitude e Longitude e Altura Elipsoidal de cada ponto.

Além disso, como se pode observar pelo comportamento dos gráficos em X, Y e Z, há uma oscilação sazonal com período próximo de um ano, o que implica na impossibilidade de se considerarem variações lineares para o cálculo das respectivas translações ao longo do

tempo, pois se estariam considerando deslocamentos com características constantes quando, na realidade, eles apresentam uma variação cíclica.

3.3 Análise do comportamento dos deslocamentos planimétricos

Realizado o processamento dos cerca de 170.000 arquivos correspondentes às noventa e cinco estações da RBMC, constatou-se que em todas elas há um deslocamento para Norte e Oeste, conforme se verifica na Tabela 3.10, onde constam as respectivas velocidades em metros por ano.

Deste conjunto de estações, verificou-se que em Coari (AMCO), Manaus (MANA), Santarém (PAST) e Ubatuba (UBAT) o comportamento apresentou-se destoante das demais.

À exceção de Ubatuba (UBAT), que apresentou problemas cuja(s) causa(s) não foram identificadas mesmo após contato com o IBGE, as outras três possuem como característica comum o fato de possuir um baixo número de dias processados (abaixo de 450), o que poderá se constituir na causa de obtenção de resultados não condizentes com os demais.

Retirando-se essas quatro estações da Tabela 3.10, calcularam-se as médias e desvio-padrão das velocidades registradas para o conjunto das noventa e uma estações resultantes, obtendo-se os seguintes valores para as velocidades planimétricas (em m/ano) e seus respectivos desvios padrão:

Tabela 3.11 – Velocidades planimétricas médias e seus respectivos desvios padrão

	NORTE (n)	**LESTE (e)**
MÉDIA	0,0125	- 0,0040
DESVIO PADRÃO	0,0011	0,0013

Considerando os valores obtidos, pode-se concluir que a Placa Tectônica da América do Sul, no que diz à sua porção na qual nosso país está inserido, se desloca de uma forma praticamente uniforme à razão de 12,5 mm/ano para o norte e 4 mm/ano para oeste, apresentando desvios padrão tanto para norte quanto para oeste da ordem de 1,2 mm.

Nos gráficos a seguir, representados pelas Figuras 3.12 a 3.14, estão representadas as velocidades em norte e leste calculadas para cada uma das noventa e uma estações, notando-se

que em 88% e 77%, respectivamente, registram valores que destoam entre si em menos de três milímetros por ano, o que é bastante significativo.

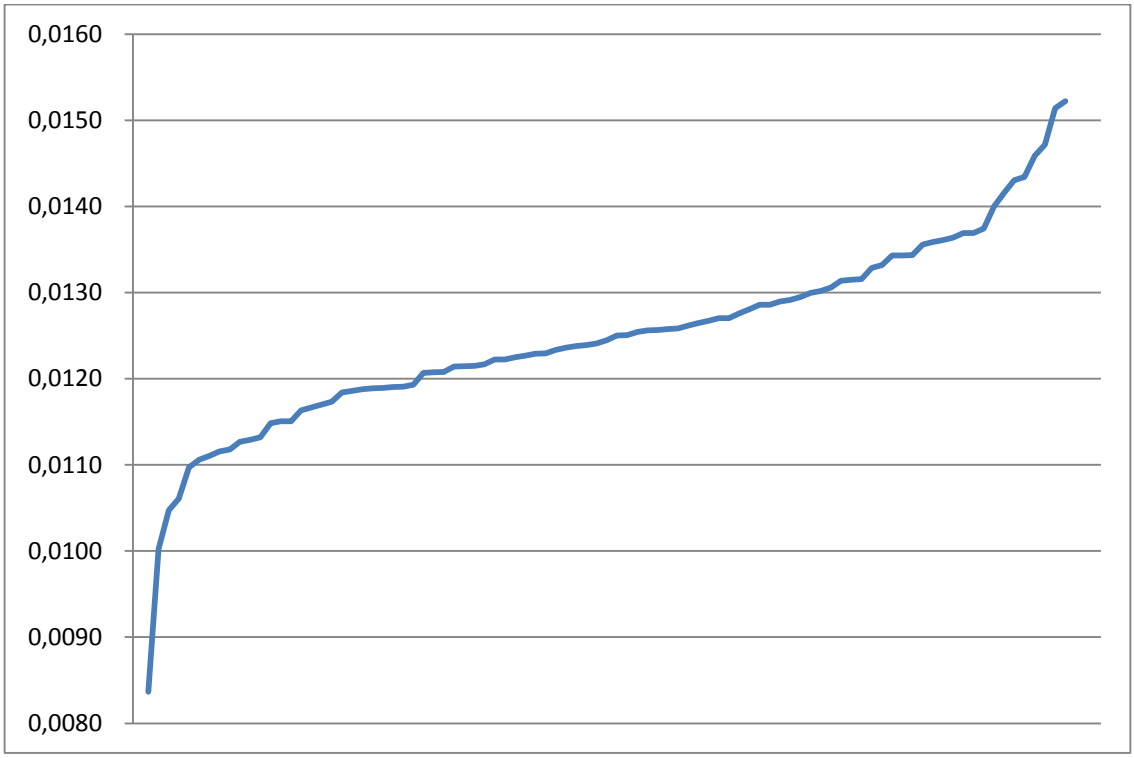


Figura 3.12 – Velocidade das estações na direção norte (em m/ano).

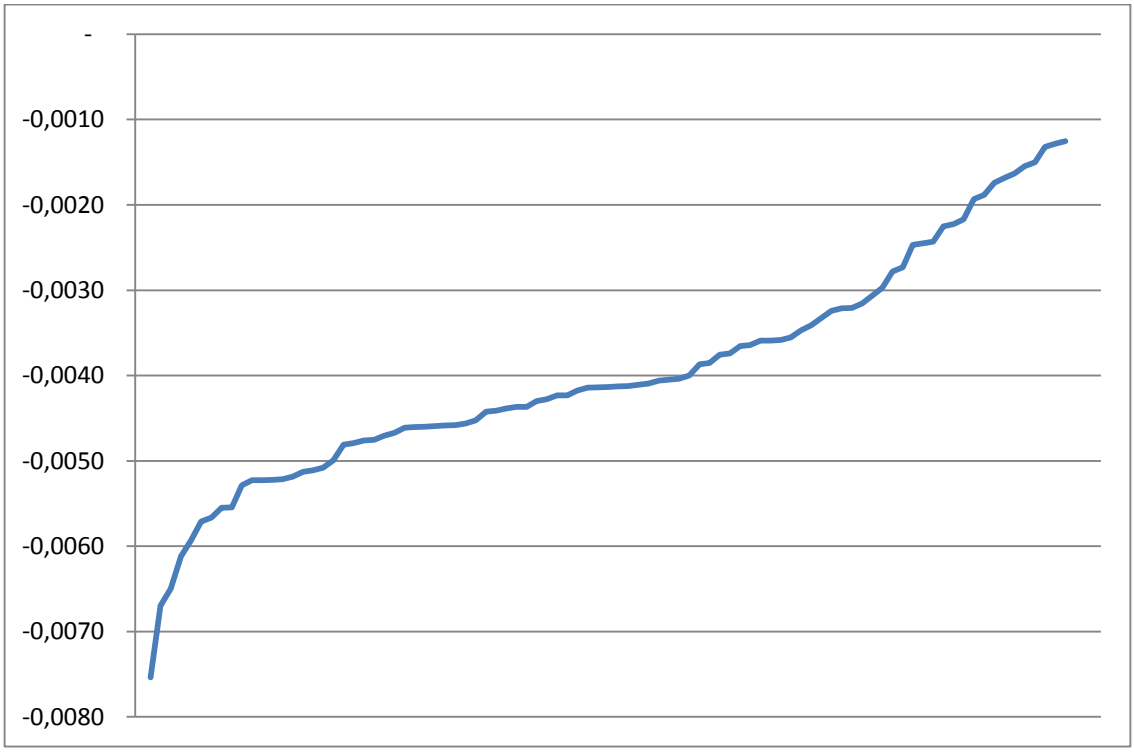


Figura 3.13 – Velocidade das estações na direção leste (em m/ano).

Já no que se refere às velocidade de deslocamento das estações com relação à vertical, ou seja, no sentido da variação da Altura Elipsoidal, verificou-se que em 95 % das estações o módulo da velocidade da Altura Elipsoidal é inferior a 5 mm por ano, sendo da mesma ordem de grandeza o número de estações que se deslocam para cima ou para baixo, conforme se pode verificar no gráfico representado na Figura 3.14.

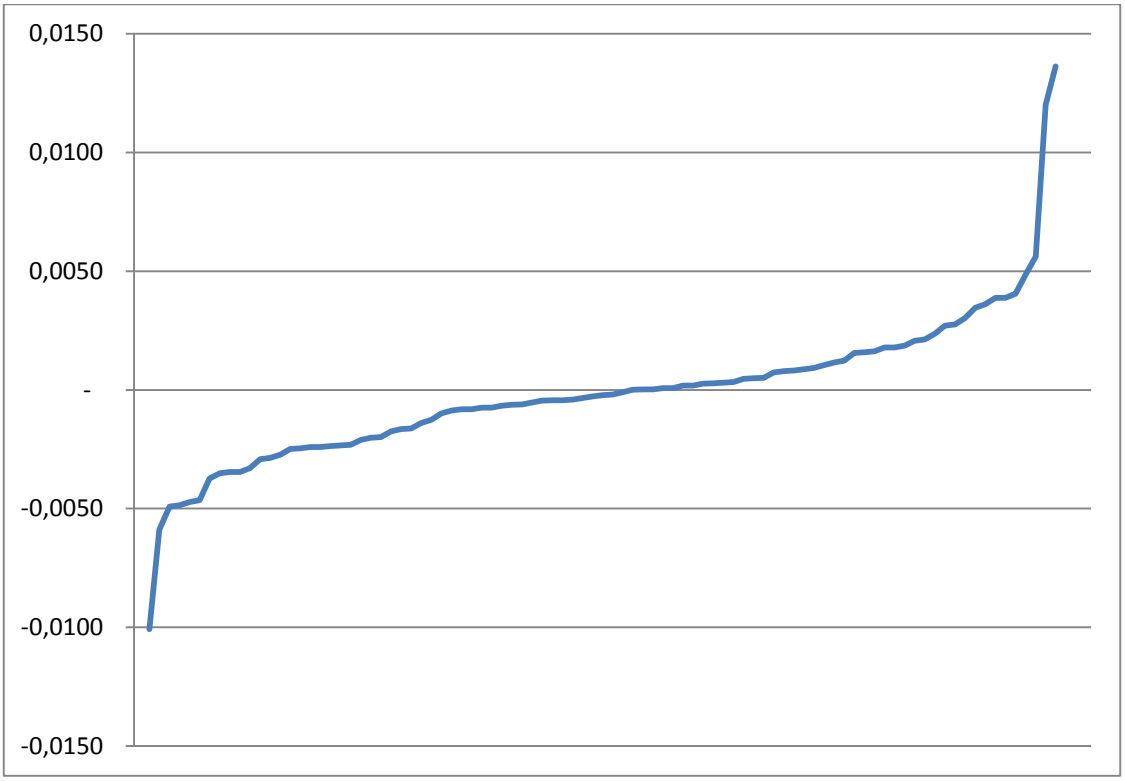


Figura 3.14 – Velocidade das estações em relação à altura elipsoidal (em m/ano).

3.4 Constatação de deslocamentos altimétricos

Realizados os processamentos dos arquivos correspondentes às noventa e cinco estações componentes da RBMC, conforme já registrado anteriormente, foram elaborados gráficos correspondentes às variações das coordenadas cartesianas X, Y e Z bem como das coordenadas Norte e Leste e da Altura Elipsoidal.

Observando-se cada um desses gráficos constata-se, em praticamente todas as estações, um comportamento cíclico tanto nas coordenadas cartesianas quanto na Altura Elipsoidal, com período próximo de um ano.

É importante registrar, como já era esperado, que em relação às coordenadas UTM Norte e Leste não se verifica este comportamento cíclico.

Os efeitos observados nas séries temporais em relação às coordenadas cartesianas X, Y e Z e, por consequência na Altura Elipsoidal, podem ser modelados mediante o ajustamento de uma função adequada aos respectivos dados (ROSA, 2008).

A escolha do modelo matemático é realizada considerando o conhecimento da variação dos dados. No caso presente, onde foi constatada uma tendência linear associada a uma variação de característica cíclica, com período de um ano, optou-se por utilizar um modelo matemático adaptado de (NIKOLAIDIS, 2002) para representar a variação da Altura Elipsoidal, que leve em consideração esses efeitos, conforme apresentado a seguir na equação (1) abaixo:

$$h(\mathrm{t}_i) = a + b\mathrm{t}_i + c\sin(2\pi\mathrm{t}_i) + \mathrm{d}\cos(2\pi\mathrm{t}_i) + e\sin(4\pi\mathrm{t}_i) + \mathrm{f}\cos(4\pi\mathrm{t}_i) + \sum_{j=1}^{\mathrm{n}_g}\left(g_j\mathrm{H}(\mathrm{t}_i - \mathrm{T}_{gj}) + \mathrm{v}_i\right) \quad (1)$$

onde *h* representa a Altura Elipsoidal em cada época ti, *a* e *b* representam os coeficientes linear e angular da reta, enquanto que os coeficientes *c* e *d* representam a amplitude dos efeitos anuais; os coeficientes *e* e *f* que representariam a amplitude semi-anual foram desconsiderados, haja vista que este efeito não foi percebido na variação dos dados.

A variável H, que é a função salto de Heaviside (WEISSTEIN, 2008; BRACEWELL,2000), também foi desconsiderada, restando *vi* que representa os efeitos não modelados, considerados como sendo efeitos residuais (ROSA, 2008), resultando na equação (2) abaixo:

$$h(\mathrm{t}_i) = a + b\mathrm{t}_i + c\sin(2\pi\mathrm{t}_i) + \mathrm{d}\cos(2\pi\mathrm{t}_i) + vi \quad (2)$$

Com o objetivo de realizar comparativos entre variações altimétricas e considerando que estações próximas por vezes apresentam comportamento distinto uma das outras, realizou-se através da função solver, disponível no Excel, com a utilização da equação (2), que simula um período cíclico de um ano, o processamento dos dados de todas as noventa e cinco estações

do IBGE, resultando na geração de gráficos representativos das variações nas alturas elipsoidais em cada uma delas.

De posse dessas amplitudes, elaboraram-se as Tabelas 3.12 a 3.17 onde estão representadas todas as estações analisadas, classificadas em função da amplitude anual registrada nas suas alturas elipsoidais, nas seguintes categorias:

- Planas (até 10 mm);
- Baixa (de 11 a 16 mm);
- Média (de 17 a 23 mm);
- Média Alta (de 24 a 28 mm);
- Alta (de 29 a 37 mm);
- Muito Alta (acima de 38 mm).

Tabela 3.12 – Estações Planas.

ESTAÇÃO	LONGITUDE	LATITUDE	u	AMPLITUDE	σ AMPLITUDE
POAL	- 51,12	- 30,07	76,744	0,003	0,007
SMAR	- 53,72	- 29,72	113,107	0,004	0,007
RNNA	- 35,20	- 5,83	45,953	0,004	0,005
ALAR	- 36,65	- 9,73	266,208	0,004	0,005
PBCG	- 35,90	- 7,20	534,084	0,006	0,005
FORT	- 38,42	- 3,87	19,455	0,006	0,003
RNMO	- 37,33	- 5,20	23,385	0,007	0,004
SALV	- 38,50	- 13,00	35,748	0,007	0,007
PARA	- 49,22	- 25,43	925,757	0,007	0,005
SSA1	- 38,52	- 12,98	-2,093	0,008	0,006
CEEU	- 38,42	- 3,87	21,743	0,008	0,004
RECF	- 34,97	- 8,05	20,145	0,008	0,008
SAVO	- 38,43	- 12,93	76,316	0,009	0,005
CEFT	- 38,47	- 3,70	4,907	0,010	0,004
IMBT	- 48,65	- 28,23	31,379	0,010	0,005
SCLA	- 50,30	- 27,80	940,694	0,010	0,004

Tabela 3.13 – Oscilação Baixa.

ESTAÇÃO	LONGITUDE	LATITUDE	u	AMPLITUDE	σ AMPLITUDE
NEIA	- 47,92	- 25,02	6,081	0,011	0,006
SCCH	- 52,58	- 27,13	744,216	0,011	0,004
BRFT	- 38,42	- 3,87	21,685	0,011	0,006
CEFE	- 40,32	- 20,32	14,298	0,012	0,005

UEPP	- 51,40	- 22,12	430,950	0,013	0,005
BAVC	- 40,80	- 14,88	875,188	0,013	0,004
CRAT	- 39,40	- 7,23	436,041	0,013	0,010
UFPR	- 49,22	- 25,43	925,794	0,013	0,004
PRGU	- 51,48	- 25,38	1.043,140	0,014	0,004
RJCG	- 41,32	- 21,75	9,932	0,014	0,004
BAIR	- 41,87	- 11,30	723,916	0,015	0,004
BATF	- 39,75	- 17,55	108,864	0,015	0,005
POLI	- 46,73	- 23,55	730,634	0,015	0,006
GVAL	- 41,95	- 18,85	178,646	0,015	0,007
PISR	- 42,70	- 9,03	366,786	0,015	0,004
PEPE	- 40,50	- 9,38	369,096	0,016	0,005
PITN	- 42,80	- 5,10	67,980	0,016	0,003
EESC	- 47,90	- 22,00	824,564	0,016	0,002

Tabela 3.14 – Oscilação Média.

ESTAÇÃO	**LONGITUDE**	**LATITUDE**	**u**	**AMPLITUDE**	**σ AMPLITUDE**
PRMA	- 51,93	- 23,42	543,342	0,017	0,005
PPTE	- 51,42	- 22,12	431,041	0,017	0,005
VARG	- 45,43	- 21,53	958,639	0,017	0,005
SALU	- 44,22	- 2,60	18,989	0,017	0,006
RIOD	- 43,30	- 22,82	8,628	0,017	0,007
VICO	- 42,87	- 20,77	665,949	0,017	0,007
ONRJ	- 43,22	- 22,90	35,626	0,018	0,006
OURI	- 49,90	- 22,95	444,858	0,018	0,004
MGMC	- 43,85	- 16,72	618,155	0,018	0,004
MSCG	- 54,53	- 20,43	676,486	0,018	0,004
MCLA	- 43,88	- 16,72	656,550	0,018	0,006
BABR	- 44,98	- 12,15	443,056	0,019	0,004
SPBO	- 48,43	- 22,85	803,112	0,019	0,003
CHPI	- 44,98	- 22,68	617,421	0,019	0,005
MGIN	- 46,33	- 22,32	883,697	0,019	0,004
SPJA	- 48,28	- 21,23	570,188	0,019	0,002
SPCA	- 47,05	- 22,80	622,972	0,019	0,003
CUIB	- 56,07	- 15,55	237,448	0,019	0,007
ROSA	- 52,95	- 22,52	299,686	0,020	0,004
BOMJ	- 43,42	- 13,25	419,393	0,020	0,007
CRUZ	- 72,67	- 7,60	236,025	0,021	0,003
BOAV	- 60,70	1,17	69,510	0,021	0,006
MABS	- 46,03	- 7,53	226,894	0,021	0,004
BELE	- 48,45	- 1,40	9,077	0,022	0,007
MGBH	- 43,92	- 19,93	974,840	0,022	0,005
MGVA	- 45,43	- 21,55	957,233	0,022	0,004

MSDO	- 54,80	- 22,22	467,867	0,022	0,003
SJSP	- 45,87	- 23,20	535,907	0,022	0,004
SPAR	- 50,43	- 21,18	410,338	0,023	0,003
MAPA	- 51,10	0,08	- 4,229	0,023	0,006
SAGA	- 67,05	- 0,15	94,901	0,023	0,006
UBER	- 48,32	- 18,88	791,793	0,023	0,006

Tabela 3.15 – Oscilação Média Alta.

ESTAÇÃO	LONGITUDE	LATITUDE	u	AMPLITUDE	σ AMPLITUDE
GOJA	- 51,73	- 17,88	755,297	0,024	0,004
MGRP	- 46,13	- 19,22	1.123,473	0,024	0,003
ILHA	- 51,35	- 20,43	375,040	0,024	0,004
APSA	- 51,17	- 0,05	- 11,055	0,024	0,003
MGUB	- 48,25	- 18,92	869,222	0,025	0,005
BRAZ	- 47,87	- 15,93	1.106,014	0,026	0,007
MTVB	- 59,95	- 15,00	219,636	0,026	0,002
MTCN	- 52,27	- 13,55	423,220	0,027	0,003
IMPZ	- 47,48	- 5,48	105,002	0,027	0,007
RIOB	- 67,80	- 9,97	172,626	0,028	0,005
MTBA	- 52,25	- 15,88	322,834	0,028	0,005

Tabela 3.16 – Oscilação Alta.

ESTAÇÃO	LONGITUDE	LATITUDE	u	AMPLITUDE	σ AMPLITUDE
TOPL	- 48,33	- 10,17	256,551	0,029	0,005
ROJI	- 61,97	- 10,87	182,903	0,030	0,005
MTSR	- 55,73	- 12,55	391,663	0,032	0,003
AMCO	- 65,33	- 4,87	75,903	0,032	0,002
TOGU	- 49,03	- 11,73	272,595	0,033	0,005
MTCO	- 55,45	- 10,80	307,220	0,035	0,004
MABA	- 49,12	- 5,35	79,817	0,035	0,005
POVE	- 63,90	- 8,72	119,593	0,035	0,006
ROGM	- 65,33	- 10,78	157,779	0,035	0,005
ROCD	- 60,55	- 13,12	451,716	0,035	0,003
MTSF	- 50,67	- 11,62	181,841	0,037	0,005

Tabela 3.17 – Oscilação Muito Alta.

ESTAÇÃO	LONGITUDE	LATITUDE	u	AMPLITUDE	σ AMPLITUDE
PAAT	- 52,17	- 3,20	162,543	0,038	0,004
PAIT	- 56,03	- 4,28	9,206	0,039	0,006
AMHU	- 63,03	- 7,50	68,958	0,045	0,002
PAST	- 54,72	- 2,50	130,938	0,058	0,002
NAUS	- 60,05	- 3,02	93,893	0,063	0,007
MANA	- 60,05	- 3,10	40,173	0,071	0,003

No intuito de melhor representar as estações associadas às suas respectivas amplitudes, elaborou-se o gráfico representado na Figura 3.15, onde as mesmas foram classificadas em função da amplitude da variação de suas alturas elipsoidais, sendo plotadas em relação às suas latitudes e longitudes.

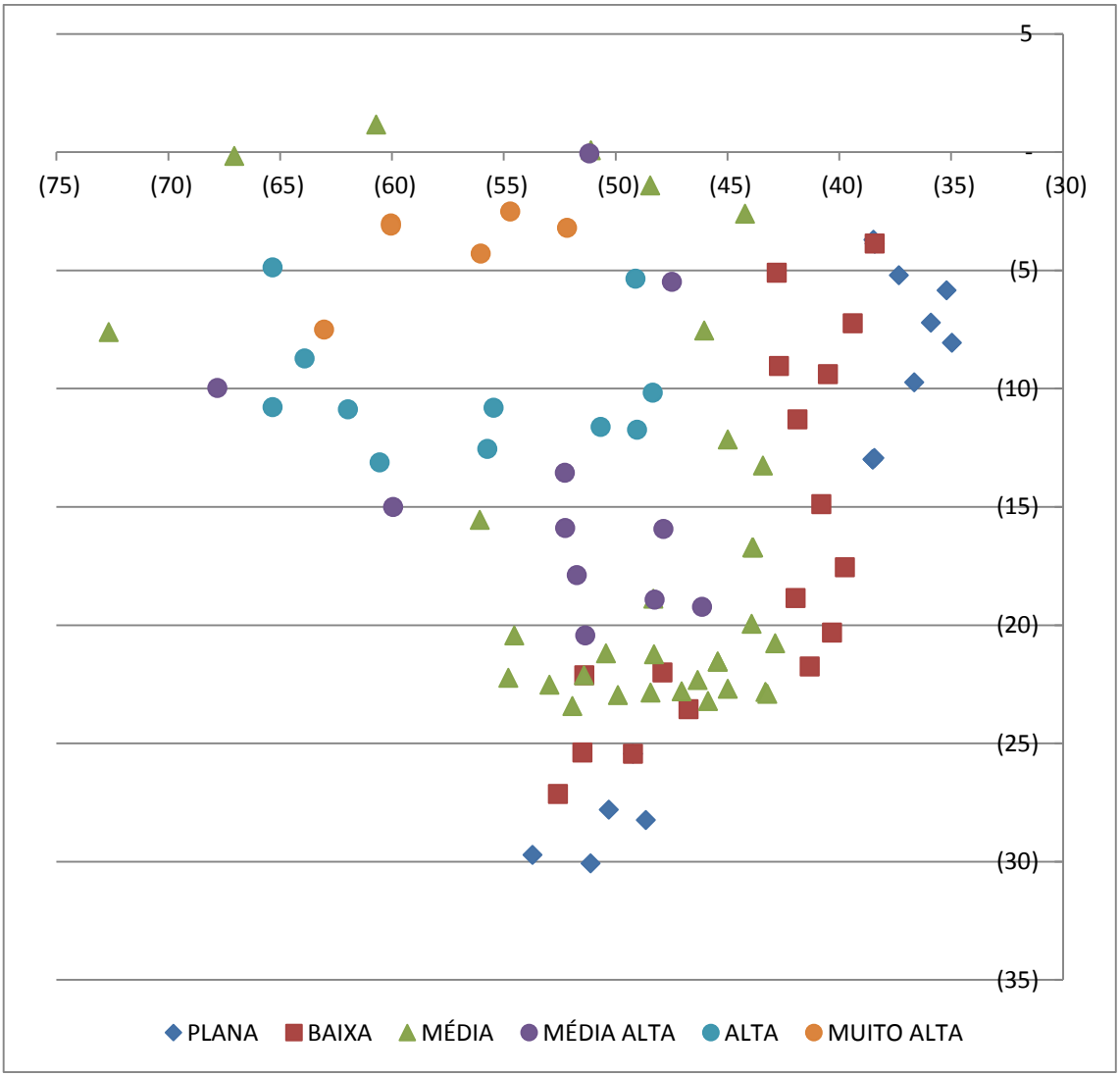


Figura 3.15 – Representação das estações classificadas pela amplitude da oscilação vertical

Analisando-se a Figura 3.15, podemos concluir que no extremo sul do país e no litoral nordestino as amplitudes anuais registradas são muito pequenas (menores que 10 mm), amplitude esta que cresce em direção ao interior do nordeste, parte do litoral leste (Bahia e Espírito Santo) e algumas regiões de São Paulo e Paraná, registrando amplitude de até 16 mm.

As amplitudes apresentam crescimento em direção ao interior do país, principalmente em São Paulo, Mato Grosso do Sul e Bahia bem como na fronteira noroeste do país, apresentando valores entre 17 e 23 mm.

Na região centro-oeste e alguns pontos esparsos, a amplitude pode ser considerada média alta atingindo 28 mm.

Na região amazônica ocorrem os valores mais elevados de amplitude anual, atingindo até 71 mm, o que pode ser explicado, em parte, pelo regime hidrológico típico da região, onde registram-se grandes inundações e estiagens; nessa região verificou-se que as oscilações dos níveis constatadas no processamento estão coerentes com as épocas de inundações e estiagens registradas nos dados da Agência Nacional de Águas (ANA).

Conhecendo-se os modelos de variação da Altura Elipsoidal de todas as estações da RBMC ao longo do ano, elaborou-se um gráfico, através do Excel, em que está representado o território brasileiro, onde constam, numa malha de meio grau de Latitude por meio grau de Longitude, as elevações e rebaixamento do solo em todo o país, sempre levando em consideração a estação mais próxima da RBMC.

O programa permite que se represente a situação para cada dia do ano, sendo que o gráfico representado na Figura 3.16 é referente ao dia primeiro de abril, quando na maioria das estações, o solo está em níveis mais baixos do que no dia vinte e cinco de maio (data base do SIRGAS2000).

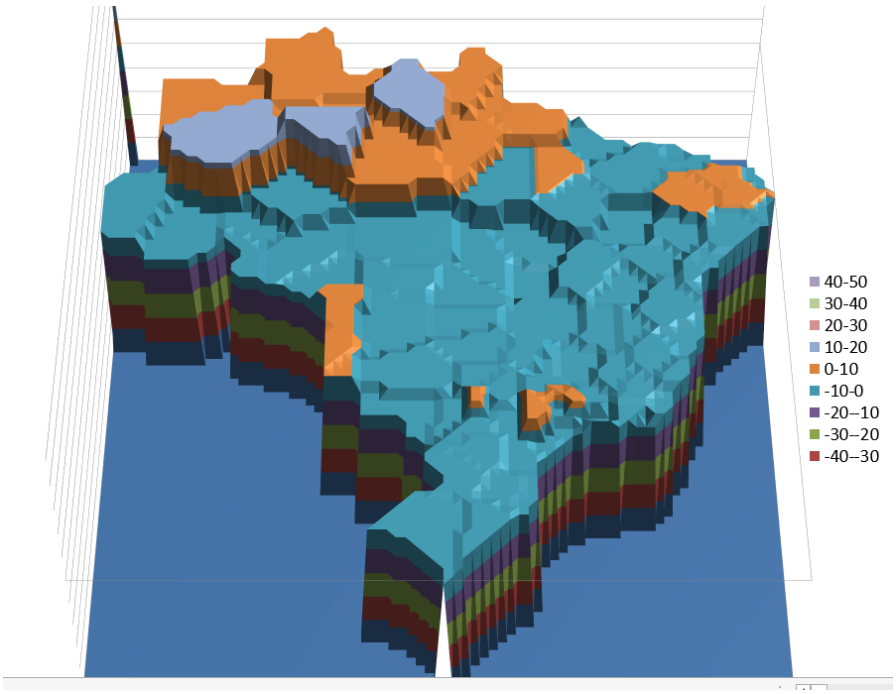


Figura 3.16 – Diferenças em mm de alturas elipsoidais entre 01.04 e 25.05.

Já com referência ao dia primeiro de outubro, quando os níveis do solo estão mais elevados que no dia 25 de maio, o gráfico está representado na Figura 3.17.

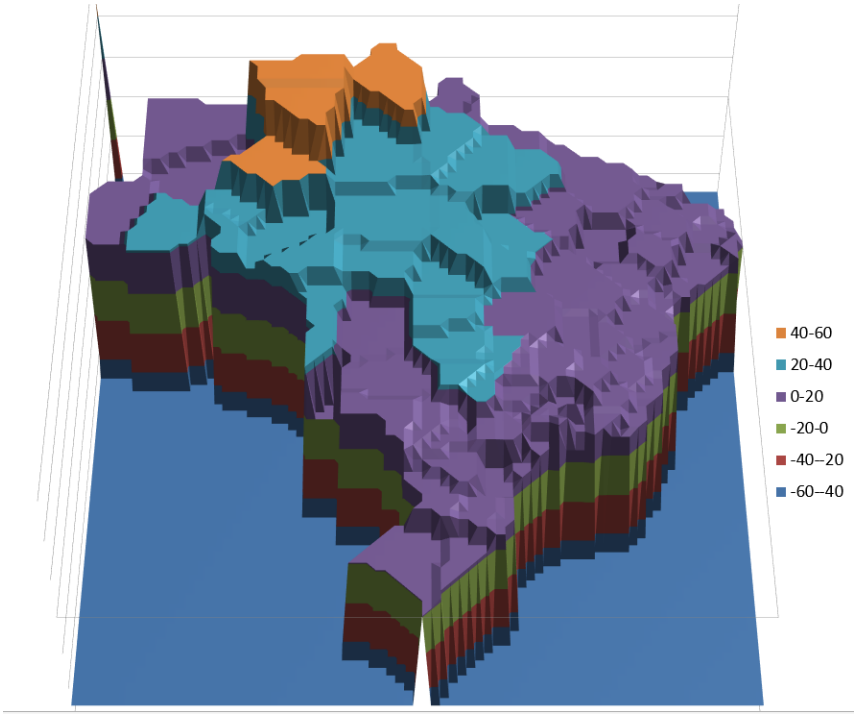


Figura 3.17 – Diferenças em mm de alturas elipsoidais entre 01.10 e 25.05.

Visando estabelecer uma comparação entre amplitudes anuais registradas nas estações da RBMC, desenvolveu-se, numa planilha Excel, uma macro que possibilita a representação simultânea das amplitudes anuais registradas em um grupo de até seis estações, incluindo a estação escolhida bem como outras cinco que lhes são mais próximas.

Assim sendo, no gráfico da Figura 3.18, estão representadas as amplitudes anuais da estação de Brasília (BRAZ) bem como das outras cinco que lhes são mais próximas, a saber: Uberlândia (UBER e MGUB), Rio Parnaíba (MGRP) e Montes Claros (MCLA e MGMC); em todas elas a amplitude anual situa-se entre 18 e 24 mm.

Através da representação, nota-se que as maiores elevações e depressões situam-se em períodos próximos aos equinócios enquanto que nos solstícios, tanto de verão quanto de inverno, os valores da amplitude situam-se próximos da média anual.

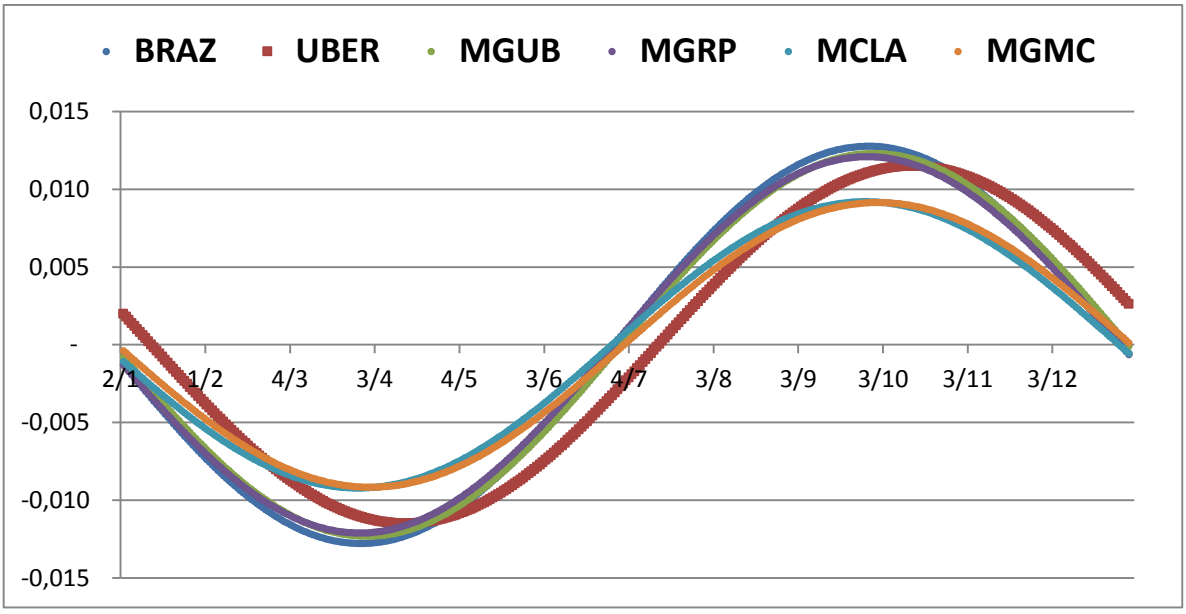


Figura 3.18 – Oscilação vertical de estações mais próximas a Brasília

3.5 Considerações sobre maré terrestre e oceânica

As marés funcionam como ondas de baixa profundidade, já que apresentam comprimentos de onda de milhares de quilômetros e alturas que chegam a atingir a ordem de quinze metros.

As marés terrestres são produzidas pela atração gravitacional do Sol e da Lua. Como é sabido, segundo a lei de Newton, essa atração é diretamente proporcional às massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância. Porém, no processo gerador de marés, a proporcionalidade refere-se ao cubo da distância (THURMAN, 1997).

Devido a esse fato e uma vez que a Lua está muito mais próxima da Terra que o Sol, a força geradora das marés por parte do Sol é igual a 46% da força da Lua.

A Terra e a Lua formam um conjunto que gira em torno do Sol. Nesse movimento de translação o conjunto Terra-Lua é representado pelo centro comum de gravidade, ou baricentro, que situa-se dentro do manto terrestre, a 4.700 km de distância do centro da terra (THURMAN, 1997).

É este baricentro que descreve uma órbita elíptica em relação ao Sol, enquanto que a Terra e a Lua descrevem órbitas mais complexas e relativamente sinuosas.

Todos as partículas pertencentes à Terra descrevem círculos de raios iguais, à volta do baricentro. A força centrípeta requerida por todas as partículas da Terra para as manter em rotação é igual em todos os pontos da Terra. Porém, a força da gravidade exercida pela Lua

varia consoante a posição de cada ponto terrestre em relação à Lua. Da subtração dos vetores da força centrípeta e da força gravitacional resulta num outro vetor, que corresponde à força das marés (NOTAS DE AULA, de Maria da Assunção Ferreira Pedrosa de Araújo).

Através da análise dos resultados do processamento dos dados realizados nesta Tese, verifica-se que o fenômeno da maré terrestre não é detectado.

Em contato com o Serviço Canadense verificou-se que não seria possível configurar o processamento em função da consideração ou não de modelos de maré terrestre, de forma que não foi possível estabelecer formas para corrigir os resultados em função deste fenômeno.

Já em relação à maré oceânica, que em nosso país é mais significativa no litoral das regiões norte e nordeste, realizou-se uma análise na estação da RBMC de São Luís – SALU.

Inicialmente, através da tabela de marés, determinaram-se, em cada mês do ano de 2012, o dia em que se verificaram as maiores amplitudes de maré oceânica na região de São Luís, capital do Estado do Maranhão.

Em cada mês do ano, a partir de janeiro, os dias considerados foram 24, 22, 10, 7, 7, 4, 4, 3, 1, 16,15 e 15 de dezembro, quando se verifica a chamada “maré viva”.

Nestes dias processaram-se os dados da estação obtendo-se, através do arquivo gerado do tipo .pos, a cada quinze segundos e ao longo do período de vinte e quatro horas, as alturas elipsoidais da estação (em metros), conforme mostrado na Figura 3.19 que representa as respectivas alturas a partir da estabilização, que ocorreu por volta de quatro horas após o início da coleta dos dados.

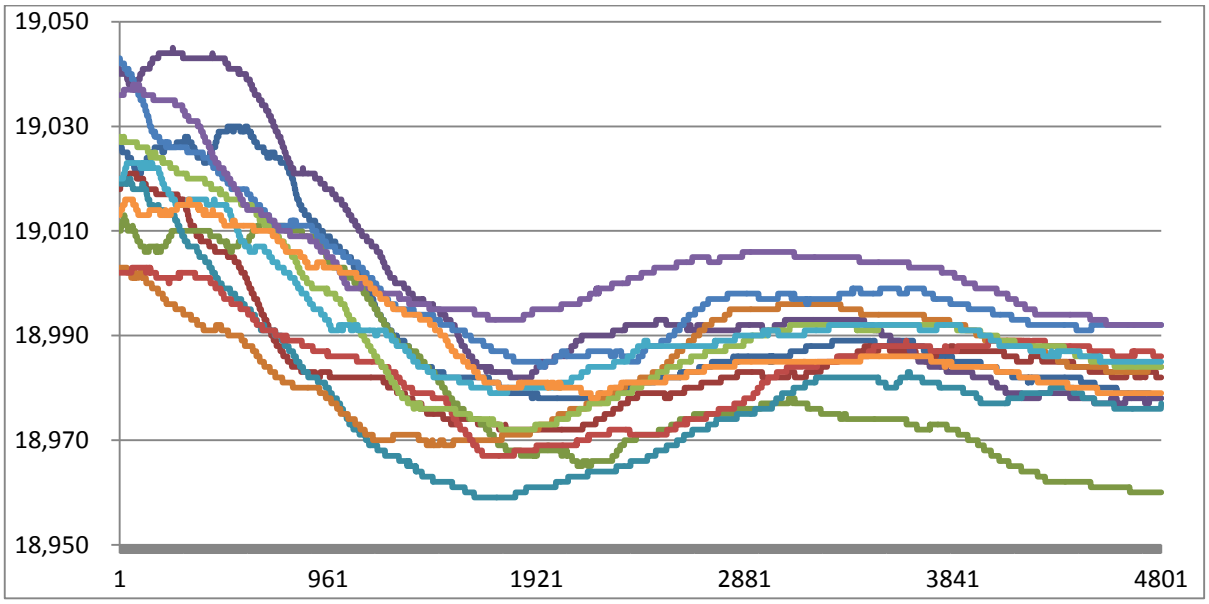


Figura 3.19 – Oscilação da altura elipsoidal (em metros) da estação de São Luís para análise da ocorrência da maré oceânica.

Da análise do gráfico representativo das alturas elipsoidais relativas a doze dias do ano de 2012 (em cada mês o dia em que ocorreu a maior amplitude de maré) onde no eixo vertical está representada a altura elipsoidal da estação e no eixo horizontal os intervalos de tempo a cada quinze segundos, pode-se constatar que a maré oceânica influencia na variação da Altura Elipsoidal da estação, apresentando uma amplitude da ordem de 0,100m.

Procedimento semelhante foi adotado na estação da RBMC de Brasília – BRAZ, distante cerca de 950 km do litoral brasileiro. Neste caso, a variação da Altura Elipsoidal foi insignificante, como se pode verificar no gráfico da Figura 3.20, que representa as alturas elipsoidais a partir da estabilização que ocorreu por volta de oito horas após o início da coleta dos dados, não mantendo nenhuma relação com a variação do nível do oceano. A partir disso se pode inferir que a maré oceânica não influi na Altura Elipsoidal da estação BRAZ – no eixo horizontal estão representados os intervalos de observação a cada 15 segundos.

Interessante ressaltar que as amplitudes das alturas elipsoidais ao longo do período de um ano nas duas estações consideradas, estão compatíveis com os valores calculados constantes da Tabela 3.8.

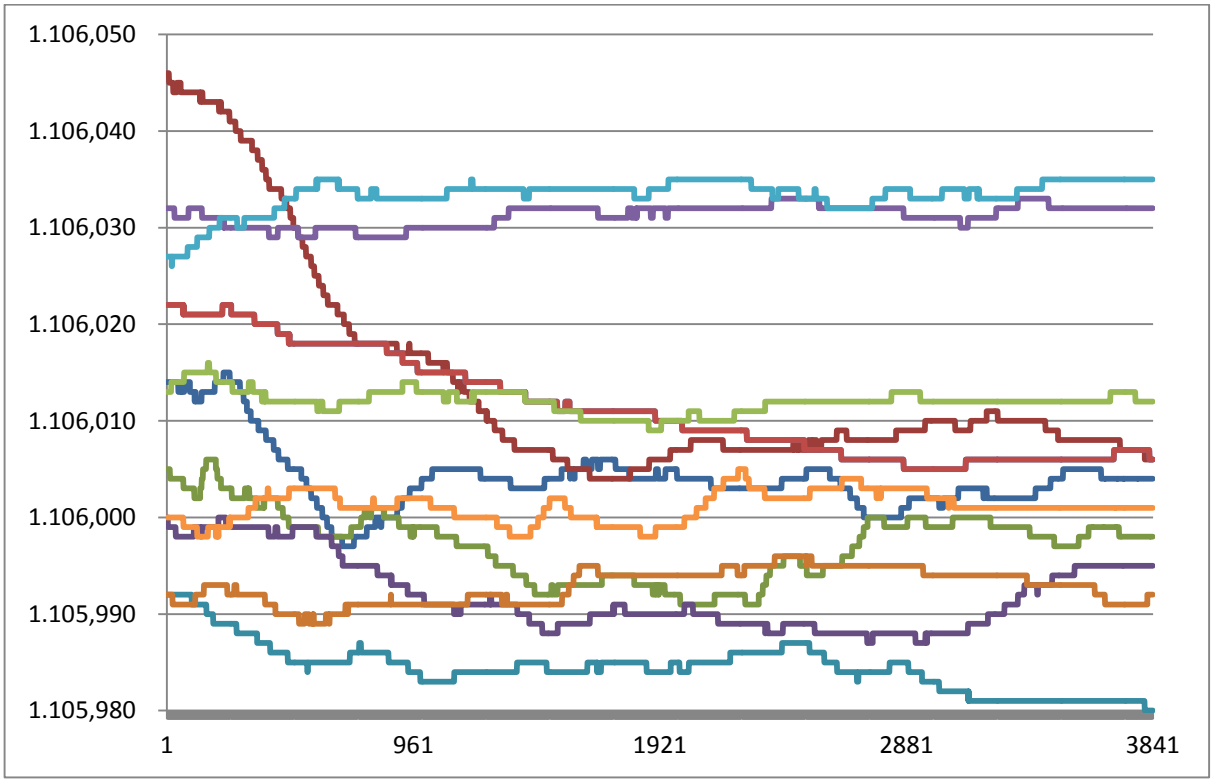


Figura 3.20 – Oscilação altura elipsoidal (em metros) da estação de Brasília para análise da ocorrência da maré oceânica

Uma análise mais apurada da influência das marés terrestre e oceânica sobre a Altura Elipsoidal de pontos situados sobre a placa tectônica poderia ser objeto de estudos futuros, onde se procuraria estabelecer uma relação entre a variação da Altura Elipsoidal com a composição das rochas formadoras das referidas placas.

4 ELABORAÇÃO DE SOFTWARES

Com base nos resultados obtidos no processamento de dados das estações da RBMC foi estabelecido um Modelo de Deslocamento da Placa Tectônica da América do Sul, que proporcionou condições de desenvolver planilha para a determinação das velocidades de deslocamentos lineares da Placa, em qualquer ponto localizado em território brasileiro.

Calculadas as velocidades de deslocamento lineares referentes às direções Norte, Leste e da Altura Elipsoidal, e associando ao comportamento cíclico de período anual das alturas elipsoidais, foi elaborada uma segunda planilha através da qual é possível o cálculo das coordenadas UTM e da Altura Elipsoidal, como descrito a seguir.

4.1 Estabelecimento de Modelo de Deslocamento da Placa Tectônica

No capítulo anterior foi realizada uma minuciosa análise dos deslocamentos planimétricos e altimétricos das estações da RBMC, concluindo-se que há uma certa uniformidade nos deslocamentos nos sentidos Norte e oeste, da ordem de 12,5 e 4,0 mm/ano, respectivamente, com desvio-padrão de 1,1 mm e 1,3 mm. No sentido vertical predominam os deslocamentos cíclicos, que apresentam periodicidade de um ano com amplitudes de até 71 mm, sendo que os deslocamentos lineares das alturas elipsoidais no longo prazo variam de -4,9 mm/ano a 5,6 mm/ano, situando-se a média das noventa e cinco estações em 0,1 mm/ano com desvio padrão de 3,2 mm.

No que se refere às coordenadas cartesianas X, Y e Z, constatou-se em todas as estações analisadas, um comportamento cíclico com período anual, causada pela oscilação da Altura Elipsoidal em torno de um valor que é submetido a variação de característica linear ao longo do tempo.

Feitas essas considerações, conclui-se que não é correto calcularem-se velocidades de deslocamentos lineares em X, Y e Z, pois suas variações são cíclicas, e a adoção de modelos lineares para suas velocidades certamente implicariam em erros consideráveis.

Tendo presente as velocidades de deslocamento nas direções Norte e Leste bem como na Altura Elipsoidal de todas as estações da RBMC, onde se constatou que havia inconsistências em quatro estações (Coari, Manaus, Santarém e Ubatuba), elaborou-se uma planilha Excel

destinada a calcular as velocidades de deslocamento de um ponto considerado nas direções Norte e Leste e Altura Elipsoidal, associadas aos seus respectivos desvio-padrão.

Para a determinação das velocidades parte-se de um arquivo rinex, obtido através de um receptor de dupla frequência, que é processado utilizando-se o PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), obtendo-se as coordenadas cartesianas X, Y, e Z, com seus respectivos desvio-padrão, referidas à época do levantamento.

As coordenadas assim obtidas, servem como dado de entrada para o cálculo, e devem ser inseridas na planilha.

Na etapa seguinte, através de uma série de cálculos utilizando fórmulas desenvolvidas pelo autor, as coordenadas cartesianas X, Y e Z são transformadas para Latitude, Longitude a Altura Elipsoidal e, a seguir, transformadas para coordenadas UTM (Norte e Leste).

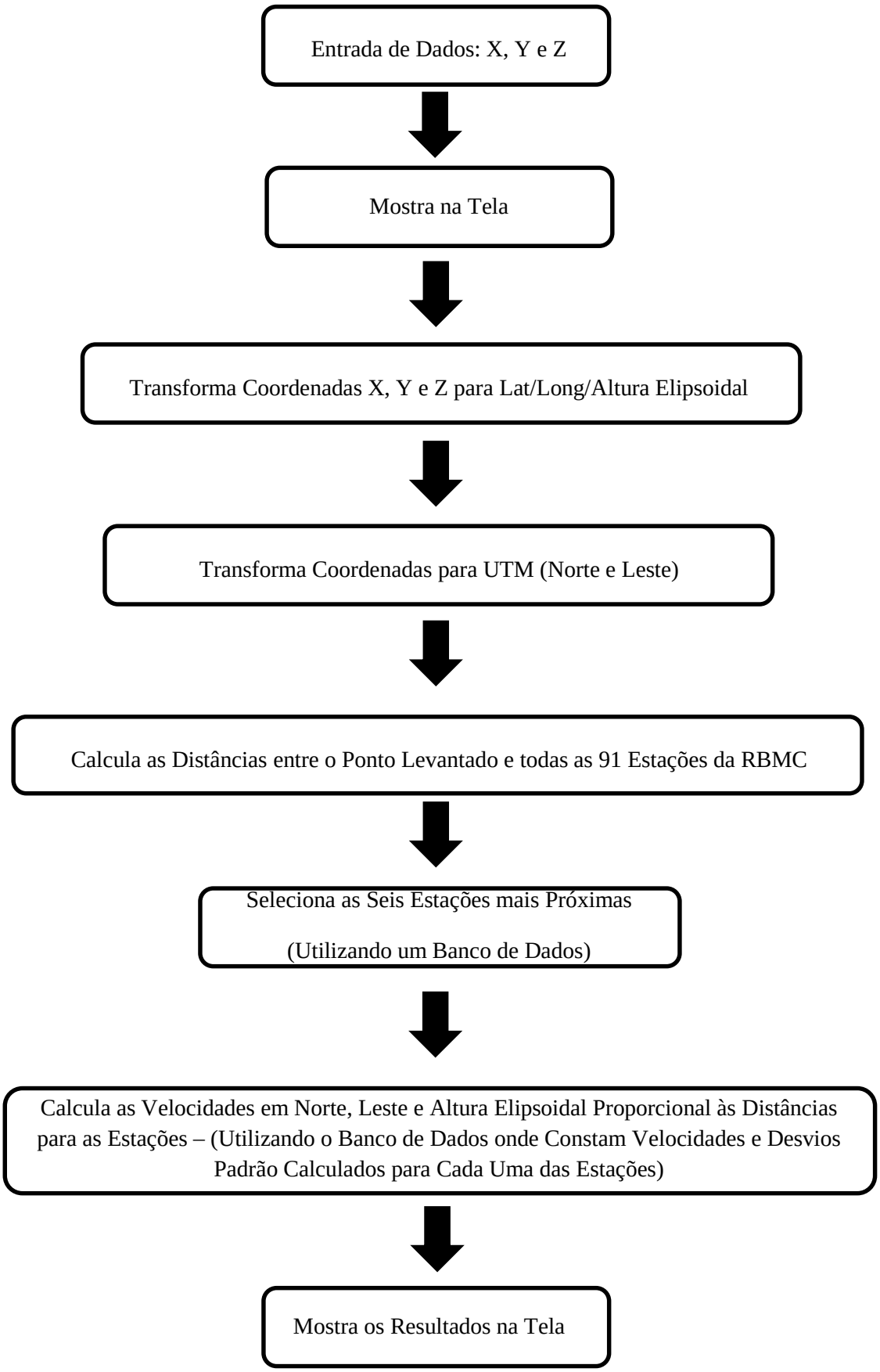
Conhecendo-se as coordenadas UTM do ponto considerado, é possível calcular as distâncias do mesmo às noventa e uma estações da RBMC, cujas coordenadas UTM foram obtidas no sítio do IBGE. Cabe registrar que embora as coordenadas UTM do ponto considerado sejam referidas à época do levantamento enquanto as coordenadas das estações da RBMC são as da época 2000.4, este fato não interfere no objetivo de encontrar as estações da RBMC mais próximas ao ponto considerado.

A seguir as estações são ordenadas em função de suas distâncias ao ponto considerado, selecionando-se, em ordem crescente de distância, as seis estações mais próximas ao ponto.

Considerando que o banco de dados dispõe de informações referentes às velocidades em Norte, Leste e Altura Elipsoidal (e seus desvios-padrão) calculados para cada uma das noventa e uma estações da RBMC, através de interpolações são realizados os cálculos das velocidades em Norte, Leste e Altura Elipsoidal no ponto considerado. É importante ter o cuidado de levar em conta a proporcionalidade das distâncias em relação a cada uma das seis estações, sendo mais relevantes as que se encontram mais próximas ao ponto considerado.

Ao final do processo, são informados, na tela, os resultados das velocidades em Norte, Leste e Altura Elipsoidal, com os respectivos desvios-padrão, calculados para o ponto considerado.

A sequência dos procedimentos ora descritos podem ser representados pelo fluxograma mostrado a seguir:


Entrada de Dados: X, Y e Z
Mostra na Tela
Transforma Coordenadas X, Y e Z para Lat/Long/Altura Elipsoidal
Transforma Coordenadas para UTM (Norte e Leste)
Calcula as Distâncias entre o Ponto Levantado e todas as 91 Estações da RBMC
Seleciona as Seis Estações mais Próximas
(Utilizando um Banco de Dados)
Calcula as Velocidades em Norte, Leste e Altura Elipsoidal Proporcional às Distâncias para as Estações – (Utilizando o Banco de Dados onde Constam Velocidades e Desvios Padrão Calculados para Cada Uma das Estações)
Mostra os Resultados na Tela

A seguir, na Figura 4.1 é representada a tela da planilha em Excel onde se informam as coordenadas cartesianas X, Y e Z processadas pelo PPP, tendo com resultado as velocidades calculadas em Norte (n), Leste (e) e Altura Elipsoidal (u).

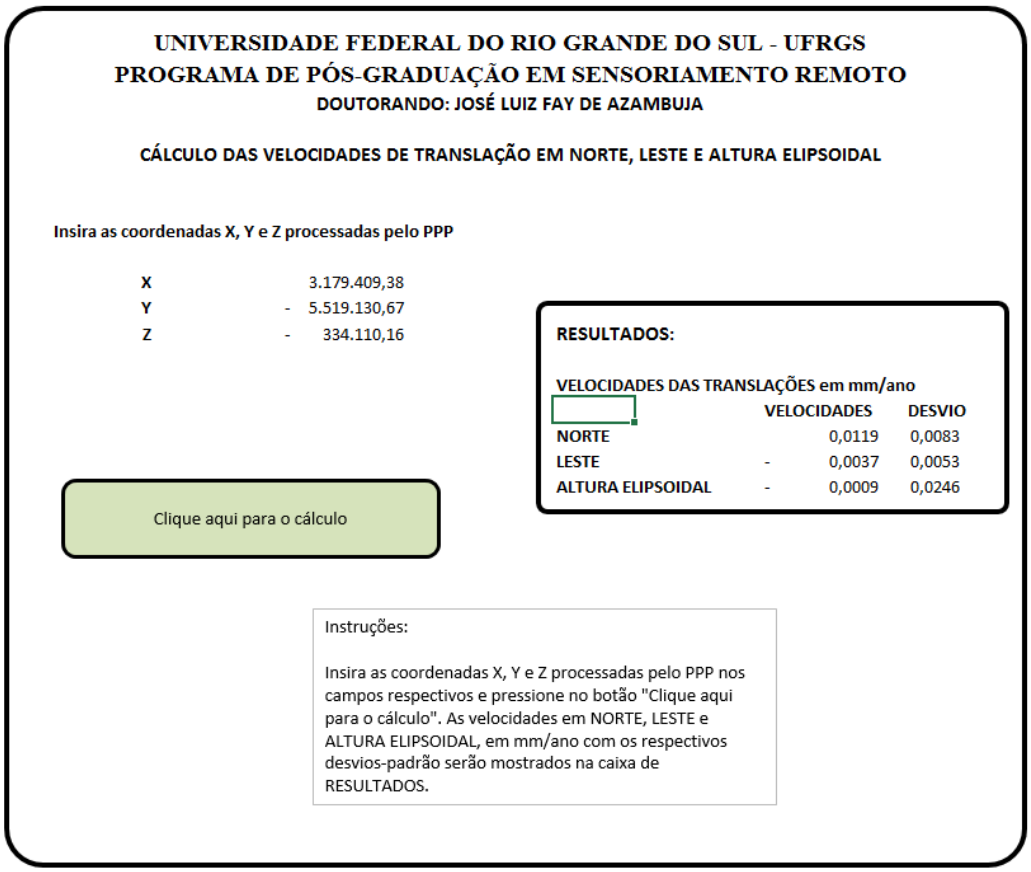


Figura 4.1 – Tela da planilha Excel que calcula Velocidades de Translação em Norte, Leste e Altura Elipsoidal.

No que diz respeito à Altura Elipsoidal, como já referido anteriormente, verificou-se haver uma variação cíclica sazonal, com período de um ano, e amplitudes que atingem até 71mm na região amazônica.

Este fenômeno cíclico será melhor analisado no item seguinte onde são determinadas as coordenadas dos pontos cujos arquivos foram processados pelo PPP, transformadas para a época 2000.4.

4.2 Determinação de coordenadas transformadas norte (n), leste (e) e altura elipsoidal (u) para a época de referência do SIRGAS2000

Considerando que o processamento realizado pelo PPP fornece o resultado referido à época da coleta dos dados e que, via de regra, é necessário conhecerem-se as coordenadas numa outra época, no caso brasileiro a época 2000.4, referência do SIRGAS2000, é importante que se possua uma forma prática e confiável para realizar estas transformações.

Assim sendo, foi desenvolvida uma planilha em Excel, que permite esta correção. Para sua aplicação, os procedimentos iniciais são idênticos aos da planilha anterior já descrita no item 4.1.

A partir da determinação das velocidades de translação lineares em Norte, Leste e Altura Elipsoidal, são calculadas as coordenadas UTM Norte e Leste e a Altura Elipsoidal do ponto considerado, referidas à época 2000.4.

Para tanto, quando da inserção dos dados referentes às coordenadas cartesianas X, Y e Z calculadas pelo PPP para a época do levantamento, também é necessário ser informada a data em que foi realizada a coleta dos dados.

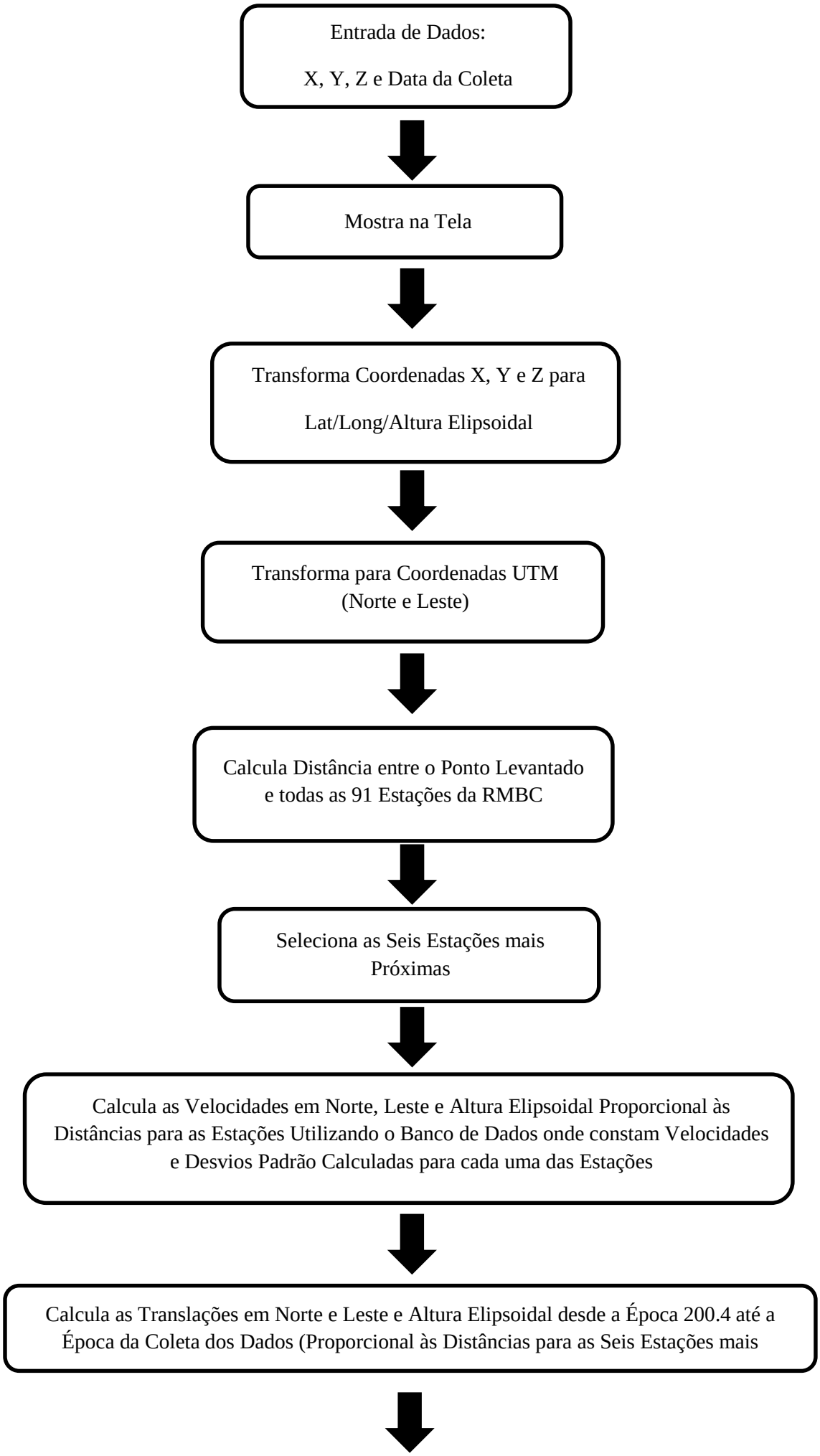
Considerando que ao longo da Tese chegou-se à conclusão de que a Altura Elipsoidal sofre uma variação cíclica com período próximo a um ano, foi desenvolvida uma fórmula para sua correção em função do dia do ano em que foi realizado o levantamento.

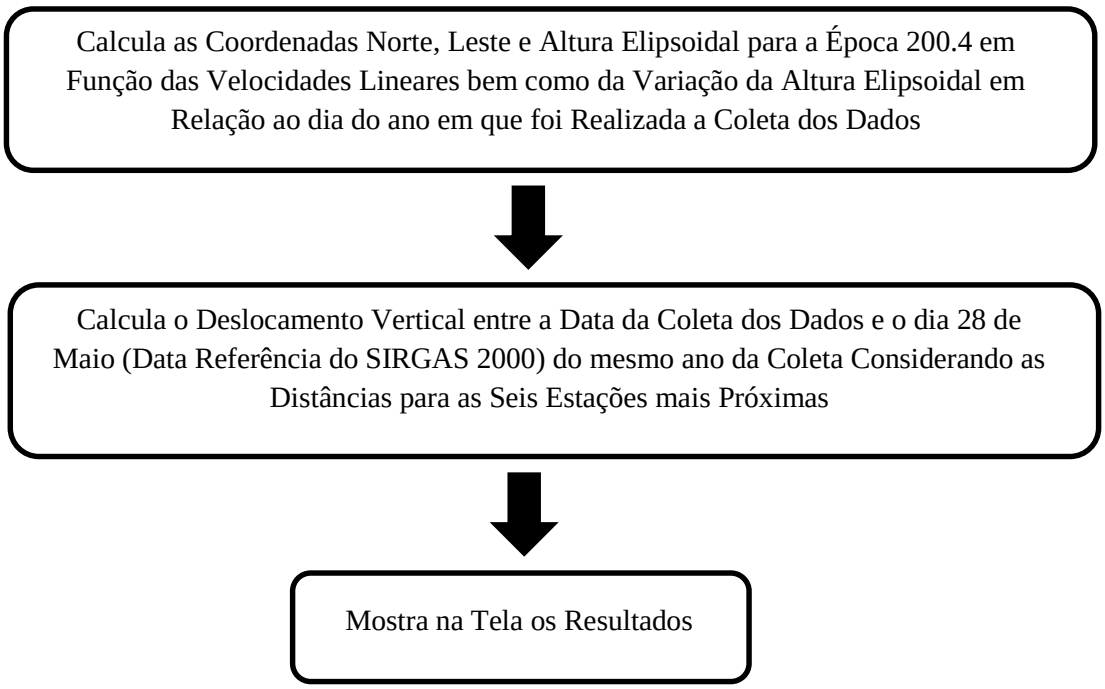
Assim sendo, foi elaborada uma planilha em onde estão representados, para cada uma das noventa e uma estações da RBMC, as variações da Altura Elipsoidal ao longo do ano, possibilitando a determinação da diferença entre as Alturas Elipsoidais correspondentes ao dia do ano em que foi realizada a coleta dos dados e ao dia do ano para o qual foram estabelecidas suas coordenadas, no sistema de referência SIRGAS2000.

Semelhante ao cálculo das velocidades, foi realizado o cálculo da Altura Elipsoidal levando em consideração a proporcionalidade das distâncias às seis estações da RBMC mais próximas, obtendo-se a correção a ser aplicada em função do dia em que foi realizada a coleta dos dados.

Ao final do processo, o programa apresenta, na tela, o resultado do cálculo, qual seja as coordenadas UTM em Norte e Leste, bem como a Altura Elipsoidal, todos referentes à época 2000.4.

A sequência dos procedimentos ora descritos podem ser representados pelo fluxograma mostrado a seguir:


Entrada de Dados:
X, Y, Z e Data da Coleta
Mostra na Tela
Transforma Coordenadas X, Y e Z para
Lat/Long/Altura Elipsoidal
Transforma para Coordenadas UTM
(Norte e Leste)
Calcula Distância entre o Ponto Levantado
e todas as 91 Estações da RMBC
Seleciona as Seis Estações mais
Próximas
Calcula as Velocidades em Norte, Leste e Altura Elipsoidal Proporcional às
Distâncias para as Estações Utilizando o Banco de Dados onde constam Velocidades
e Desvios Padrão Calculadas para cada uma das Estações
Calcula as Translações em Norte e Leste e Altura Elipsoidal desde a Época 200.4 até a
Época da Coleta dos Dados (Proporcional às Distâncias para as Seis Estações mais



A tela da planilha está representada na Figura 4.2, onde se informam as coordenadas cartesianas X, Y e Z processadas pelo PPP, bem como a data da coleta dos dados, tendo como resultado as coordenadas calculadas em Norte (n), Leste (e) bem como Altura Elipsoidal (u), associadas aos seus respectivos desvios-padrão referidas à época 2000.4.

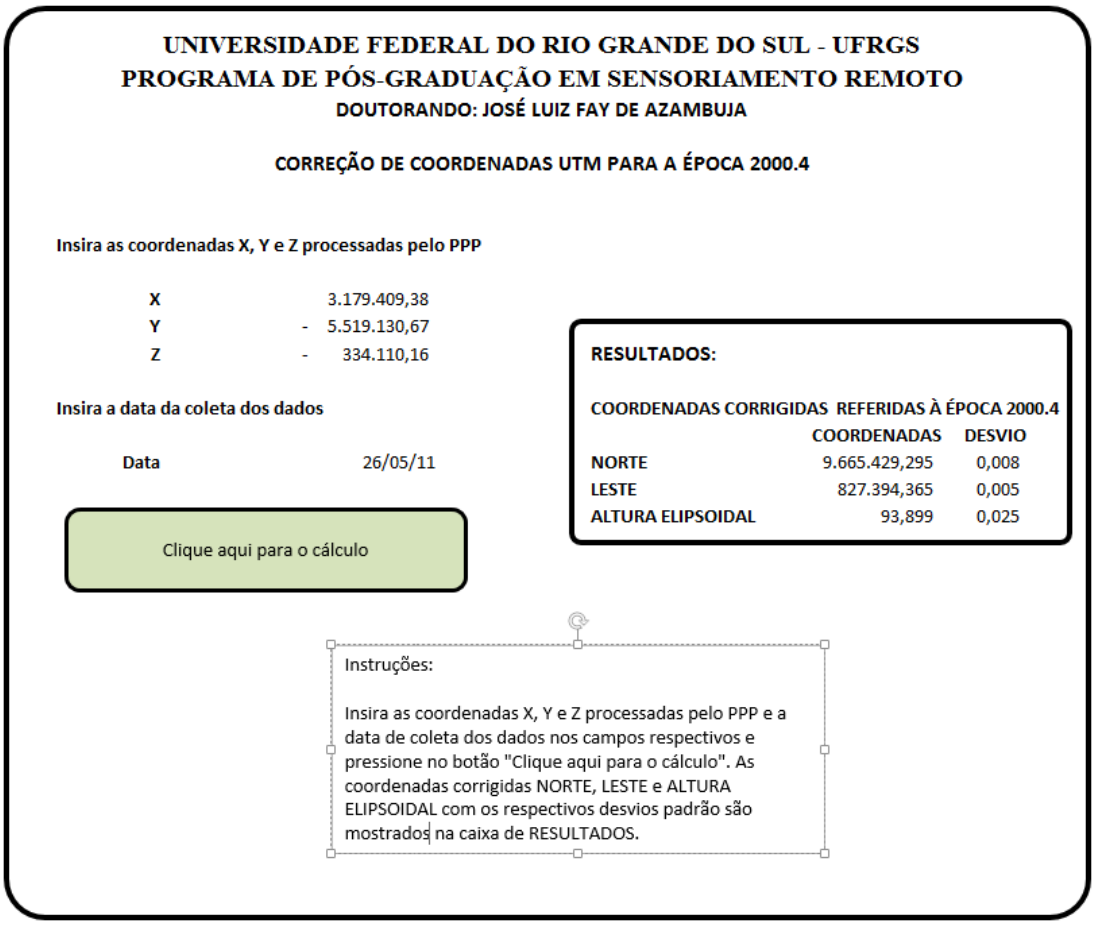


Figura 4.2 – Tela da planilha Excel que calcula Coordenadas UTM e Altura Elipsoidal.

Para que este cálculo seja confiável é fundamental que se possuam pontos de referência distribuídos da melhor forma possível ao longo da área em que se deseja realizar as correções, sendo que nesta Tese foram utilizadas noventa e uma estações da RBMC.

Nestes pontos de referência, foram determinadas previamente, através do processamento pelo PPP de cerca de 170.000 arquivos referentes ao período de 2002 a 2013, as velocidades de translação nas direções Norte, Leste e Altura Elipsoidal, bem como os seus respectivos desvios padrão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No encerramento desta Tese, após serem processados mais de 170.000 arquivos de dados coletados em noventa e cinco estações da RBMC, no período compreendido entre 01.01.2002 e 11.09.2013, com o objetivo de analisar o deslocamento da Placa Tectônica da América do Sul, neste capítulo são apresentadas as considerações finais, bem como as conclusões e as recomendações sugeridas após a realização do trabalho.

5.1 Considerações Finais

O objetivo deste trabalho se constituiu no estudo do deslocamento da Placa Tectônica da América do Sul, particularmente de sua porção localizada em território brasileiro, visando determinar suas velocidades de deslocamento no sistema cartesiano X, Y e Z, bem como no plano horizontal (planimétrico) analisando o comportamento de seus deslocamentos verticais, mediante a utilização do processamento de dados GPS realizados através do Método de Processamento por Ponto Preciso – PPP.

Neste sentido, pode-se afirmar que o objetivo foi alcançado, na medida em que foi estabelecido um modelo de deslocamento da Placa Tectônica e desenvolvido um software para a transformação de coordenadas tanto planimétricas (UTM) quanto altimétricas entre duas épocas distintas, sendo uma delas a de obtenção de dados e a outra referente à da época base do SIRGAS2000.

5.2 Conclusões

Após processados mais de 170.000 arquivos de dados obtidos num período superior a onze anos entre 2002 e 2013, abrangendo todas as estações ativas da RBMC, pode-se concluir o seguinte:

- O comportamento das coordenadas cartesianas X, Y e Z em praticamente todas as estações é de natureza linear e cíclica, com período da ordem de um ano;

- Face à natureza deste comportamento cíclico, torna-se desaconselhável utilizarem-se velocidades lineares e constantes para o cálculo das correções das coordenadas X, Y e Z, pois isto causaria a obtenção de resultados pouco precisos na transformação de coordenadas entre duas épocas distintas;

- Após transformarem-se as coordenadas cartesianas X, Y e Z em coordenadas planas UTM (Norte e Leste) e Altura Elipsoidal, constatou-se que a variação das coordenadas ao longo do tempo, tanto em Norte quanto em Leste, têm um comportamento linear, sendo possível e adequada a adoção de um valor fixo para ambas as velocidades de translação;

- Em relação à Altura Elipsoidal, seu comportamento de variação é cíclico, apresentando um período anual, com amplitudes variando entre 3 mm, registrada em Porto Alegre e 71 mm medida em Manaus. Este comportamento é o responsável pela variação cíclica verificada nas coordenadas cartesianas X, Y e Z;

- Foi possível realizar a correção da Altura Elipsoidal de cada estação da RBMC em função do dia do ano em que foi realizada a coleta dos dados tendo em vista o conhecimento de seu comportamento cíclico, possibilitando a transformação de sua coordenada entre duas épocas distintas.

5.3 Recomendações

Considerando a experiência adquirida ao longo do desenvolvimento desta Tese, como sugestões para trabalhos futuros, pode-se relacionar as seguintes ações:

- Realizar o processamento de dados das estações da RBMC a partir de setembro de 2013 (mês até onde se processaram informações para elaboração desta Tese);

- Aplicar, sobre o resultado obtido no processamento desses dados, o software desenvolvido nesta Tese, no intuito de verificar se os resultados obtidos correspondem às coordenadas conhecidas para a época 2000.4;

- Realizar estudos para encontrar, além da concentração de massas de água na região amazônica, eventuais causas que expliquem as variações cíclicas registradas nas alturas elipsoidais nas estações da RBMC e, por consequência, em todo o território brasileiro; em princípio, os fenômenos deveriam estar associados a variações que apresentem comportamento cíclico com períodos de recorrência anuais;

- Conectar, através do programa TEQC, em grupos de cinco arquivos sequenciais no formato RINEX, gerados pelo IBGE para cada uma das estações da RBMC (por exemplo: o primeiro arquivo contemplaria os dias 1, 2, 3, 4 e 5 de um determinado ano; o segundo os dias 2, 3, 4, 5 e 6 do mesmo ano e assim sucessivamente), para serem processados pelo NRCan, obtendo novas coordenadas referidas a 2000.4, bem como novos valores de velocidades em X, Y, Z, n, e e u, e modelos de variação cíclica da Altura Elipsoidal em cada estação, que seriam comparadas com os resultados obtidos nesta Tese.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. A.; FONSECA JUNIOR, E. S. 2005. **Comparação de ferramentas *on-line* para processamento de dados GPS**. *In:* COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 4, Curitiba, *Anais* (CD-ROM-CBCG), p. 1-6.

BIBBY, H. M. **Crustal strain from triangulation in Malborough faults**, New Zeland. N. Z. J. Geol. Geophys., 19: 407-425, 1975.

BOCK, Y. Reference System, In KLEUSBER, A.; TEUNISSEN, O. J. G., **GPS For Geodesy** 2nd Edition. Berlin: Springer,19963-36.

BORRE, K. et al. **A software defined GPS and Galileo Receiver - A single frequency approach. Birkhäser**. Boston, Base, Berlin 176p. 2007.

BOS A. G., SPAKMAN W., NYST M.C.J., **Surface deformation and tectonic setting of Taiwan inferred from a GPS velocity field. Journal of Geophysical Research**, 108, B10, 2458, 2003.

BRUNNER F. K., **On the analysis of geodetic networks for the determination of the incremental strain tensor**. Survey Review, XXV, 192, 1979.

BRUNNER F. K., COLEMAN R., HIRSCH B., 1981. **A comparison of computation methods for crustal strains geodetic measurements**. Tectonophysics, 218, 281– 298, 1979, 1981.

COSTA S. M. A., SILVA A. L., VAZ J. A., 2009. **Avaliação do processamento da rede SIRGAS-CON pelo centro de análises IBGE**. Presented at the XXIV Reunión Científica de la Asociaciasión Argentina de Geofsicos y Geodestas, Mendoza, Argentina, April 13-17, 2009.

CRESPI ET AL., **Strain tensor estimation by GPS observations: software and applications**. Bollettino di geodesia e scienze affini vol. 59, no3, pp. 261-280 (1 p.1/4) Instituto geografico militare, Firenze, ITALIE 2000.

DENIZ I. & OZENER H., **Estimation of strain accumulation of densification network in northern Marmara region**, Turkey, Natural Hazards and Earth System Sciences, 10, 2135–2143 2010.

DERMANIS & LIVIERATOS, **Applications of deformation analysis in geodesy and geodynamics**, Faculty of Engineering, University of Thessaloniki, Greece 1983.

DING, X. L. et al. **Seasonal and secular positional variations at eight co-located GPS and VLBI statioms**, v.79, *Journal of Geodesy*, p71-81, 2005.

DONG D., HERRING T. A., KING R. W. **Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data**. Journal of Geodesy, 72, 200–214, 1998

DREWES et al., **Geodynamic research by absolut and relative gravimetry in Venezuela, recent Geodetic and Gravimetry Research in Latin America**. IAG Symp. , 111, Vienna, Austria, 1993.

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

FORTES L. P., **Operacionalização da rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC)**. Dissertação de Mestrado. IME. 152p, 1997.

FRANK F. C., **Deductions of earth strains from survey data, Bull**. Seismol. Soc. Am, 56, 1, 35–42. 1966

FREIBERGER Jr. J. et al. **Calibração de Antenas GPS em diferentes Estações**. Bol. Cienc. Geod. Curitiba, v.11 n.2 p.157-77, jul-dez., 2005.

HEKIMOGLU S. et al., **How can reliability of the test for outliers be measured ?** AVN p247-252. 2002.

HÉROUX, P., KOUBA, J. **GPS Precise Point Positioning with a difference**. http:// www.geod.emr.ca/docs/PDF 12p, 1995.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. 2008. **GNSS – Global Navigation Satellite System: GPS, GLONASS, GALILEO, and more**. Áustria, SpringerWienNewYork, 516 p.

IBGE **Resolução PR. n° 22, de 21 de julho de1983**. Dispõe sobre as Especificações e Normas para Levantamento Geodésicos em Território Brasileiro. Boletim de Serviço 1602 (Suplemento). Rio de Janeiro. 11 p. 1º Agos. 1983.

IBGE **Resolução do Presidente:** R.PR 01/2005: Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pmrg/legislacao/RPR_01_25fev2005.pdf, acesso em: 30/05/2013.

IBGE **Manual de normas, especificações e procedimentos técnicos para a carta internacional do Mundo ao Milionésimo - CIM 1:1 000 000**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Cartografia, 1993.

IBGE **Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS**. 2008. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/recom_gps_internet.pdf>. Acesso em: 30/05/2013. 35p.

IBGE **RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS**. 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm?c=7>. Acesso em: 12/10/2014.

IGS (INTERNATIONAL GNSS SERVICE). 2008. **IGS Products**. Disponível em: http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html, acesso em: 28/12/2014.

KAPOVIC Z., MARENDIC A., PAAR R., 2006. **Deformation analysis of the Holcim Ltda. Cement Factory Objects**. Presented at the XXIII FIG International Congress, Munich, Germany, October 8-13, 2006.

LAHAYE, F.; MIREAULT, Y.; HÉROUX, P.; TÉTREAULT, P.; KOUBA, J. **Online Precise Point Positioning: a new, timely service from Natural Resources Canada**. *GPSWORLD*, 2008. *(Innovation),* **1**:1-5. Disponível em: http://sidt.gpsworld.com/gpssidt/article/articleDetail.jsp?id=549570&sk=&date=&pageID=9,acesso em: 20/02/2012.

LEICK, A. 2004. *GPS Satellite Surveying*. 3ª ed., New Jersey, John Wiley & Sons, 435 p.

LIVIERATOS E., **Crustal deformations from geodetic measurements**. Boll. Geofis. Teor. Appl., XXII, 88, 255–260, 1980.

MADER, G. **A comparison of absolute and relative GPS Antenna Calibrations, 2001**. *GPS solutions.* V. 4, n 4, p37-40, 2001.

MONICO, J. F. G.; MATSUOKA, M. T.; SAPUCCI, L. F. **Confiabilidade interna e externa em Aplicações Geodésicas: Exemplo de uma Rede de Nivelamento**. Geodésia Online, v. 2, p. 1, 2006.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Ed. UNESP, 2008. 473p.

MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. **Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 15, n. 3, p. 469–483, 2009.

NIKOLAIDIS, R. **Observation of geodetic an seismic deformation with the Global Positioning System**. Tese de Doutorado. University of California, 2002.

NOTAS DE AULA, de Maria da Assunção Ferreira Pedrosa de Araújo, Disponível em web.letras.up.pt/asaraujo, acesso em 15/03/2015.

NRCAN (NATURAL RESOURCE CANADA). 2004. *CSRS-PPP* - ***User Guide*****. Geodetic Survey of Canada**. Canadian Spatial Reference System, Geodetic Survey Canada. Disponível em: http://198.103.48.76/userguide/pdf/howtouse.pdf, acesso em: 20/02/2012.

NRCAN (NATURAL RESOURCE CANADA). 2009. **CSRS-PPP an online Global GPS Processing Service**. Canadian Spatial Reference System, Geodetic Survey Canada. Disponível em http://www.geod.nrcan.gc.ca/products-produits/index_e.php, acesso em: 20/02/2012.

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

ROSA, G.P.S. 2008. **Análise de Séries Temporais de Coordenadas Estimadas com GPS: Uma proposta metodológica para eliminação de efeitos sazonais**. Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, Dissertação de Mestrado, 106 p.

RUEGG et al., **Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between constitución and concepción in Chile, Physics of the Earth and Planetary Interiors**, 175 (12), 78–85. 2009.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, methods, and applications**. 2.ed. New York: Walter de Gruyter, 2003.

THURMAN, H. V. **Introductory Oceanography**, Prentice Hall, New Jersey, 544 p., 1997

TORGE W. **Geodesy**. Berlin. Walter de Gruyter, 1991.

TORGE W. **Geodesy**. 3rd. edn.. Walter de Gruyter, Berlin 2001

WITCHAYANGKOON, B. 2000. **Elements of GPS Precise Point Positioning**. Orono, ME, University of Maine, Tese de PhD, 265 p.

WUEBBENA G. et al., **A New Approach for Field Calibration of Absolute Antenna Phase Center Variation**. NAVIGATION, Journal of the Institute of Navigation Summer, 1997 v. 44, n.2.

ZUMBERGE J. B., BERTIGER W. I., **Ephemeris and Clock Navigation Message Accuracy**, In PARKINSON, B. W.; SPILKER, J. J., Global Positioning System: Theory and Applications, v.1, Cambidge, American Institute of Aeronautics and astronautics , p.585-600, 1996.

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