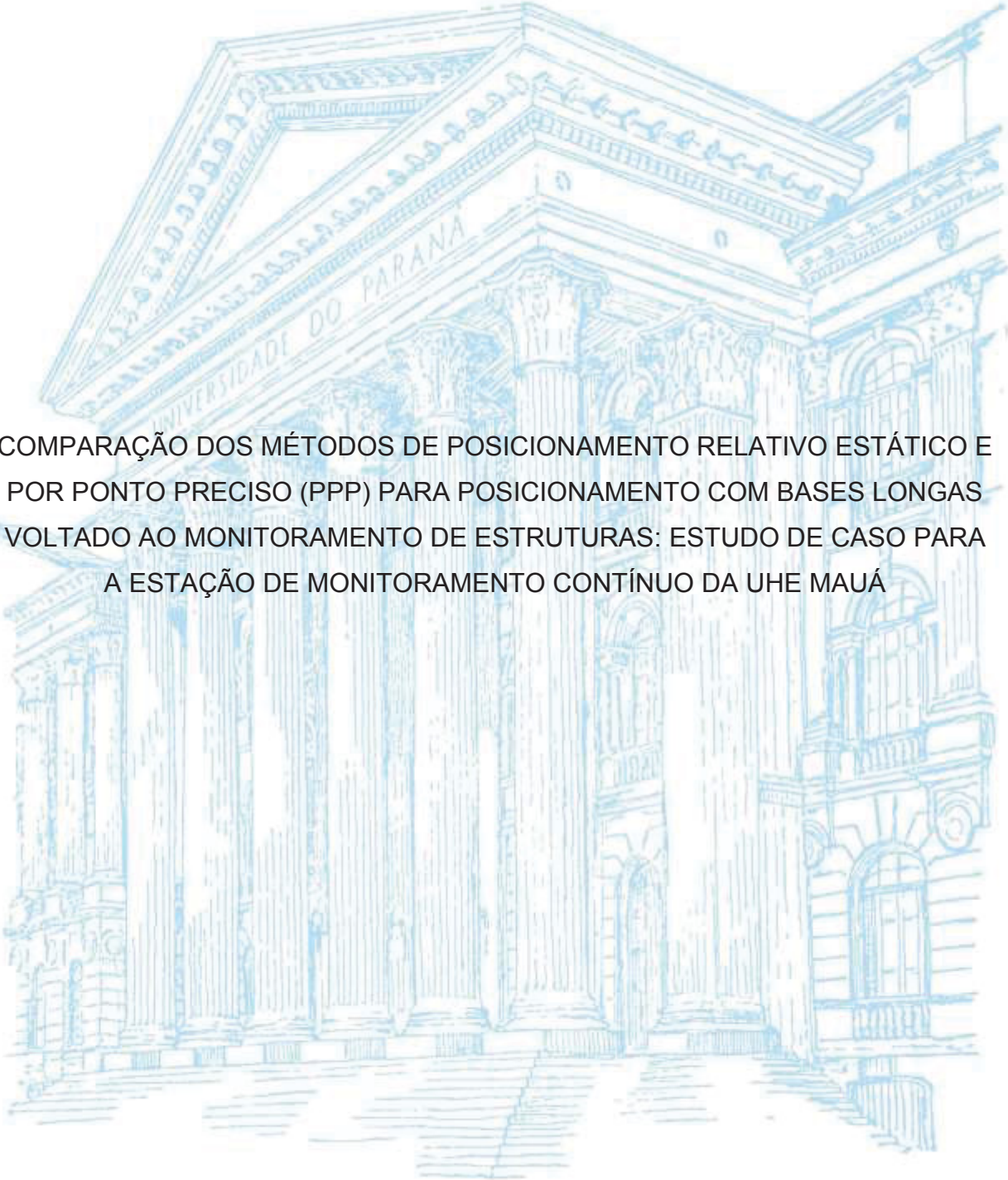


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL ZEHNPFENNIG ZANETTI



COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO E POR PONTO PRECISO (PPP) PARA POSICIONAMENTO COM BASES LONGAS VOLTADO AO MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS: ESTUDO DE CASO PARA A ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DA UHE MAUÁ

CURITIBA

2018

GABRIEL ZEHNPFENNIG ZANETTI

COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO E  
POR PONTO PRECISO (PPP) PARA POSICIONAMENTO COM BASES LONGAS  
VOLTADO AO MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS: ESTUDO DE CASO PARA  
A ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DA UHE MAUÁ

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em ciências geodésicas.

Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga

CURITIBA

2018

Z28c      Zanetti, Gabriel Zehnpfennig

Comparação dos métodos de posicionamento relativo estático e por ponto preciso (PPP) para posicionamento com bases longas voltado ao monitoramento de estruturas: estudo de caso para a estação de monitoramento contínuo da UHE Mauá [recurso eletrônico] / Gabriel Zehnpfennig Zanetti 2018.

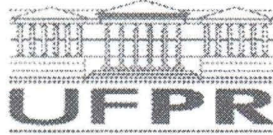
Dissertação (mestrado) – Pós-Graduação Ciências Geodésicas, Setor Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Costa dos Santos

1. Geodésia. 2. Usina hidrelétrica - Mauá. I. Universidade Federal do Paraná. II. Santos, Daniel Costa dos. III. Título.

CDD 526.1

---



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS  
GEODÉSICAS

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS GEODÉSICAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **GABRIEL ZEHNPENNIG ZANETTI** intitulada: **COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO E POR PONTO PRECISO (PPP) PARA POSICIONAMENTO COM BASES LONGAS VOLTADO AO MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS: ESTUDO DE CASO PARA A ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DA UHE MAUÁ**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

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

Curitiba, 30 de Agosto de 2018.

LUÍS AUGUSTO KOENIG VEIGA

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

NICOLA PACILÉO NETTO

Avaliador Externo (USP)

PAULO SERGIO DE OLIVEIRA JUNIOR

Avaliador Externo (UFPR)

PEDRO LUÍS FAGGION

Avaliador Interno (UFPR)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e a CAPES por me proporcionarem a oportunidade e ambiente necessário para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador e amigo Prof.º Dr.º Luis Augusto Koenig Veiga pela orientação, pela liberdade de trabalho a mim confiada e acima de tudo pelos conselhos e ensinamentos que levarei para sempre.

Aos Professores que me auxiliaram, tiraram duvidas sempre que possível e conviveram comigo ao longo desta trajetória Prof.ª Dr.ª Regiane Dalazoana, Prof.º Dr.º Paulo Sérgio de Oliveira Junior, Prof.º Dr.º Pedro Luis Faggion e Prof.º Alzir Felipe Buffara Antunes.

Um agradecimento especial a minha família. Meu Pai, Norberto Zanetti, meu irmão Lorenzo Zehnpfennig Zanetti, a minha avó Edir Helena Zehnpfennig e acima de tudo à minha mãe, a Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida Zehnpfennig Zanetti por todo o amor e carinho incondicional que recebi, pelo incentivo e pelos conselhos valiosíssimos.

Agradeço a minha namorada Poliana Elisa Bojanowshi, pelo amor, pelo apoio, pela força, pelo companheirismo inabalável e por me ajudar a levantar sempre que necessário.

Aos colegas e amigos do programa de pós-graduação em ciências geodésicas, Andrea Galudth Santacruz Jaramillo, Rhaissa Viana Sarot e ao grande apreciador de energéticos, Coca-cola e café, o Capitão Eurico Nicacio Lourenço Junior pela convivência, conselhos e pelos momentos de descontração compartilhados.

As funcionárias técnicas administrativas Dayane Wiggers, Monica Kleuser e Fabiane Miyuri Oshikawa, pela disponibilidade, paciência, pela ajuda sempre que necessário e pela amizade.

Aos meus sempre fiéis amigos que me ajudaram a passar por qualquer dificuldade e sempre estiveram à disposição para uma cerveja ou desabafo de última hora.

E a todos os que de alguma forma tenham tornado possível a realização deste trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo comparar e avaliar os resultados do processamento de dados GNSS da estação de monitoramento contínuo da Usina Hidrelétrica de Mauá, com uso dos métodos de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) e de posicionamento relativo estático com linhas de base maiores que 140 km, bem como seus deslocamentos relativos no ano de 2016, obtidos a partir de cada método. Para tais comparações, os dados foram divididos em séries diárias e horárias, e com o mesmo conjunto de arquivos de observação, foram realizados os processamentos pelo método PPP, por meio dos serviços *on-line* do IBGE e do NRCan, e pelo método relativo estático, através de software comercial disponibilizado pela UFPR. Após o processamento de todos os dados, foram calculadas transformações e reduções entre sistemas referenciais e elaboradas tabelas e gráficos para explicitar os resultados. Para as variáveis utilizadas neste trabalho, e com processamento pelos métodos relativo estático de bases longas (tido neste trabalho como método mais confiável e preciso) e PPP, concluiu-se, analisando os resultados obtidos nas séries diárias de 2016 e horárias de cinco dias específicos deste mesmo ano, que os métodos PPP ainda não possuem a acurácia necessária para rivalizar com o método relativo estático, no que tange a bases longas. No entanto, recomenda-se para trabalhos futuros, a inclusão de alguns fatores e variáveis, como o aumento do período temporal para verificar o impacto do movimento litosférico nas coordenadas; maior atenção as correções dos erros provenientes da atmosfera; e, a inclusão de um maior número de processamentos PPP, considerando também uma análise mais profunda de como cada um desses métodos PPP chega a seu resultado.

Palavras-chave: processamento de dados GNSS; método relativo estático; Posicionamento por Ponto Preciso (PPP); IBGE; NRCan; transformações e reduções entre referenciais; Usina hidrelétrica de Mauá.

## **ABSTRACT**

The present paper intends to compare and evaluate the data processing results of the GNSS data processing of the continuous monitoring station of the Mauá Hydroelectric Power Plant, using the Precise Point Positioning (PPP) method and the relative static positioning method for base lines larger than 140 km, as well as their relative displacements during the year of 2016, obtained from each method. For such comparisons the data were divided into daily and hourly series, and with the same set of observation files, the processing by the PPP method was carried out, through the online services of IBGE and the NRCAN, and by the relative static method, through a commercial software provided by UFPR. After processing all the data, transformations and reductions between referential systems were calculated besides with the elaboration of tables and graphs to better explain the results. For the variables used in this paper, and with the static relative method for long base lines (took in this paper as a more reliable and precise method) and PPP, it was concluded, analysing the results obtained with the daily series of 2016 and with the hourly series in five specific days of that same year, that the PPP methods still do not have the necessary accuracy to rival the relative static positioning method, as far as long bases are concerned. However, it is recommended for future work the inclusion of some factors and variables such as the increase of the time period to verify the impact of the lithospheric movement on the coordinates; greater attention should be given to corrections of errors coming from the atmosphere; and the inclusion of a greater number of PPP processes, also considering a deeper analysis of how each of these PPP methods reaches its result.

**Keywords:** GNSS data processing; static relative method; Precise Point Positioning (PPP); GNSS; IBGE; NRCAN; transformations and reductions among reference systems; Mauá hydroelectric power plant..

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA1 – ELIPSOIDE DE REVOLUÇÃO.....	27
FIGURA 2 – COORDENADAS GEODÉSICAS $\phi$ , $\lambda$ E H.....	30
FIGURA 3 - ESQUEMA DE MEDIDA DAS PSEUDODISTÂNCIAS .....	37
FIGURA 4 – DIAGRAMA DE PROCESSAMENTO PPP DOS ARQUIVOS SUBMETIDOS AO SERVIÇO DO IBGE .....	46
FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE ANTENA LEIAS10. ....	50
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ANTENA LEIAT504.....	50
FIGURA 7 - ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DA UHE MAUÁ.....	51
FIGURA 8 – FLUXOGRAMA DE ETAPAS EFETUADAS NESTA PESQUISA. ....	52
FIGURA 9 - CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO .....	56
FIGURA 10 - FLUXOGRAMA DE PROCESSAMENTO.....	65
FIGURA 11 - FLUXOGRAMA DE TRANSFORMAÇÃO PARA O REFERENCIAL LOCAL .....	67

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - REPRESENTAÇÃO APROXIMADA DA POSIÇÃO DA UHE MAUÁ E DA ANTENA GNSS.....	66
GRÁFICO 2 – DIFERENÇAS ENTRE COORDENADAS NAS ÉPOCAS 2016.N E 2016.0 .....	76
GRÁFICO 3 – COMPORTAMENTOS DAS COMPONENTES CARTESIANAS X ....	79
GRÁFICO 4 – COMPORTAMENTOS DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y ....	79
GRÁFICO 5 – COMPORTAMENTOS DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z ....	80
GRÁFICO 6 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 01 DE JANEIRO.....	82
GRÁFICO 7 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 01 DE ABRIL.....	82
GRÁFICO 8 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 01 DE JULHO.....	83
GRÁFICO 9 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 01 DE OUTUBRO .....	83
GRÁFICO 10 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 31 DE DEZEMBRO .....	84
GRÁFICO 11 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 01 DE JANEIRO.....	84
GRÁFICO 12 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 01 DE ABRIL .....	85
GRÁFICO 13 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 01 DE JULHO.....	85
GRÁFICO 14 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 01 DE OUTUBRO .....	86
GRÁFICO 15 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 31 DE DEZEMBRO .....	86
GRÁFICO 16 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 01 JANEIRO.....	87
GRÁFICO 17 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 01 DE ABRIL.....	87

GRÁFICO 18 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 01 DE JULHO.....	88
GRÁFICO 19 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 01 DE OUTUBRO .....	88
GRÁFICO 20 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 31 DE DEZEMBRO .....	89
GRÁFICO 21 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X.....	91
GRÁFICO 22 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y.....	92
GRÁFICO 23 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z.....	92
GRÁFICO 24 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X NO DIA 1 DE JANEIRO .....	94
GRÁFICO 25 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y NO DIA 1 DE JANEIRO .....	95
GRÁFICO 26 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z NO DIA 1 DE JANEIRO .....	95
GRÁFICO 27 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y NO DIA 1 DE ABRIL .....	96
GRÁFICO 28 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z NO DIA 1 DE ABRIL .....	96
GRÁFICO 29 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X NO DIA 1 DE JULHO.....	97
GRÁFICO 30 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y NO DIA 1 DE JULHO.....	97
GRÁFICO 31 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z NO DIA 1 DE JULHO .....	98
GRÁFICO 32 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X NO DIA 1 DE OUTUBRO.....	98
GRÁFICO 33 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y NO DIA 1 DE OUTUBRO.....	99

GRÁFICO 34 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z NO DIA 1 DE OUTUBRO.....	99
GRÁFICO 35 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X NO DIA 31 DE DEZEMBO.....	100
GRÁFICO 36 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y NO DIA 31 DE DEZEMBRO .....	100
GRÁFICO 37 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z NO DIA 31 DE DEZEMBRO .....	101
GRÁFICO 38 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X NO SISTEMA GEODÉSICO CARTESIANO LOCAL.....	102
GRÁFICO 39 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y NO SISTEMA GEODÉSICO CARTESIANO LOCAL.....	103
GRÁFICO 40 - VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z NO SISTEMA GEODÉSICO CARTESIANO LOCAL.....	103
GRÁFICO 41 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 DE JANEIRO NO SGCL.....	104
GRÁFICO 42 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 DE ABRIL NO SGCL.....	105
GRÁFICO 43 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 DE JULHO NO SGCL .....	105
GRÁFICO 44 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 DE OUTUBRO NO SGCL .....	106
GRÁFICO 45 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 31 DE DEZEMBRO NO SGCL .....	106
GRÁFICO 46 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 DE JANEIRO NO SGCL.....	107
GRÁFICO 47 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 DE ABRIL NO SGCL.....	107
GRÁFICO 48 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 DE JULHO NO SGCL .....	108
GRÁFICO 49 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 DE OUTUBRO NO SGCL .....	108

GRÁFICO 50 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 31 DE DEZEMBRO NO SGCL .....	109
GRÁFICO 51 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 DE JANEIRO NO SGCL.....	109
GRÁFICO 52 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 DE ABRIL NO SGCL.....	110
GRÁFICO 53 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 DE JULHO NO SGCL .....	110
GRÁFICO 54 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 DE OUTUBRO NO SGCL .....	111
GRÁFICO 55 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 31 DE DEZEMBRO NO SGCL .....	111
GRÁFICO 56 – DESLOCAMENTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS XL NO SGCL .....	112
GRÁFICO 57 - DESLOCAMENTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS YL NO SGCL .....	113
GRÁFICO 58 - DESLOCAMENTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS ZL NO SGCL .....	113
GRÁFICO 59 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 JANEIRO NO SGCL.....	115
GRÁFICO 60 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 ABRIL NO SGCL.....	116
GRÁFICO 61 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 JULHO NO SGCL .....	116
GRÁFICO 62 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 OUTUBRO NO SGCL .....	117
GRÁFICO 63 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 31 DEZEMBRO NO SGCL.....	117
GRÁFICO 64 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 JANEIRO NO SGCL.....	118
GRÁFICO 65 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 ABRIL NO SGCL.....	118

GRÁFICO 66 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 JULHO NO SGCL .....	119
GRÁFICO 67 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 OUTUBRO NO SGCL .....	119
GRÁFICO 68 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 31 DEZEMBRO NO SGCL .....	120
GRÁFICO 69 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 JANEIRO NO SGCL .....	120
GRÁFICO 70 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 DE ABRIL NO SGCL .....	121
GRÁFICO 71 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 DE JULHO NO SGCL .....	121
GRÁFICO 72 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 OUTUBRO NO SGCL .....	122
GRÁFICO 73 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 31 OUTUBRO NO SGCL .....	122
GRÁFICO 74–REPRESENTAÇÃO BIDIMENSIONAL DAS COORDENADAS OBTIDAS POR MEIO DO MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO NO ITRF2000 ÉPOCA 2016.N.....	123
GRÁFICO 75–REPRESENTAÇÃO BIDIMENSIONAL DAS COORDENADAS OBTIDAS POR MEIO DO MÉTODO PPP-IBGE NO ITRF2000 ÉPOCA 2016.N....	124
GRÁFICO 76–REPRESENTAÇÃO BIDIMENSIONAL DAS COORDENADAS OBTIDAS POR MEIO DO MÉTODO PPP-NRCAN NO ITRF2000 ÉPOCA 2016.N124	124
GRÁFICO 77 - DISTRIBUIÇÃO PLANIMÉTRICA DAS COORDENADAS OBTIDAS POR MEIO DO MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO NO SGCL.....	125
GRÁFICO 78 - DISTRIBUIÇÃO PLANIMÉTRICA DAS COORDENADAS OBTIDAS POR MEIO DO MÉTODO PPP-IBGE NO SGCL .....	126
GRÁFICO 79 - DISTRIBUIÇÃO PLANIMÉTRICA DAS COORDENADAS OBTIDAS POR MEIO DO MÉTODO PPP-NRCAN NO SGCL .....	126
GRÁFICO 80 – COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES X DAS COORDENADAS PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 1 E 15 DO ANO DE 2016. ....	128

GRÁFICO 81 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES Y DAS COORDENADAS PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 1 E 15 DO ANO DE 2016. ....	129
GRÁFICO 82 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES Z DAS COORDENADAS PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 1 E 15 DO ANO DE 2016. ....	130
GRÁFICO 83 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES X DAS COORDENADAS PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 176 E 190 DO ANO DE 2016. ....	132
GRÁFICO 84 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES Y DAS COORDENADAS PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 176 E 190 DO ANO DE 2016. ....	132
GRÁFICO 85 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES Z DAS COORDENADAS PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 176 E 190 DO ANO DE 2016. ....	133
GRÁFICO 86 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES X DAS COORDENADAS PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 352 E 366 DO ANO DE 2016. ....	135
GRÁFICO 87 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES Y DAS COORDENADAS PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 352 E 366 DO ANO DE 2016. ....	135
GRÁFICO 88 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES Z DAS COORDENADAS PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 352 E 366 DO ANO DE 2016. ....	136

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ERROS NAS OBSERVÁVEIS GNSS E SUAS FONTES .....	41
TABELA 2 – PRECISÃO ESTIMA PARA O SERVIÇO DE PROCESSAMENTO PPP DISPONIBILIZADO PELO IBGE. ....	47
TABELA 3 - DISTRIBUIÇÃO NORMAL.....	48
TABELA 4 – DIAS DE RASTREIO DIVIDOS EM 24 PARTES DE 1 HORA CADA...55	
TABELA 5 – CONFIGURAÇÕES DO PROJETO NO SOFTWARE LEICA INFINITY REFERENTES AOS MODELOS UTILIZADOS.....	57
TABELA 6– CONFIGURAÇÕES DE PROCESSAMENTO GNSS NO PROGRAMA LEICA INFINITY. ....	58
TABELA 7 – ESTAÇÕES USADAS NO PROCESSAMENTO E MODELO DE ANTENAS USADAS NO RASTREIO. ....	59
TABELA 8 – CONFIGURAÇÕES USADAS NO PROCESSO DE AJUSTAMENTO. 60	
TABELA 9 - CONFIGURAÇÕES USADAS NO PPP-IBGE.....	61
TABELA 10 - CONFIGURAÇÕES USADAS NO CSRS.....	62
TABELA 11 – PARAMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DO ITRF2008 ORIGINAIS PARA O ITRF2000 NA ÉPOCA 2010.0 .....	68
TABELA 12 – VARIAÇÕES TEMPORAIS NOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO .....	68
TABELA 13 - PARAMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DO ITRF08 ORIGINAL PARA O ITRF2000 NA ÉPOCA 2016.0 .....	69
TABELA 14 - COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS OBTIDAS PELO TLEVEL E POR CALCULOS INDEPENDENTES. ....	71
TABELA 15 - VELOCIDADES UTILIZADAS NAS REDUÇÕES DE COORDENADAS .....	71
TABELA 16 – PARTE DA PLANILHA UTILIZADA PARA OS CÁLCULOS. MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO.....	75
TABELA 17 – COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS NO INICIO E NO FINAL DO PERÍODO ANALISADO, PARA A ÉPOCA 2016.N, JUNTAMENTE COM AS DIFERENÇAS ENTRE ELAS.....	76

TABELA 18 – COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS NO INICIO E NO FINAL DO PERÍODO ANALISADO, PARA A ÉPOCA 2016.0, JUNTAMENTO COM AS DIFERENÇAS ENTRE ELAS.....	77
TABELA 19 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DIFERENÇAS DAS COORDENADAS DO DIA 01/01 COM O DIA 31/12 NAS ÉPOCAS 2016.N E 2016.0. ....	77
TABELA 20 – VALORES MÁXIMO E MÍNIMOS PARA AS DIFERENÇAS.....	77
TABELA 21 – TABELA MOSTRANDO AS MÉDIAS ANTES E DEPOIS DO DIA 20 DE ABRIL.....	80
TABELA 22 – DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS DO DIA 19/04 E 20/04	81
TABELA 23 – PORCENTAGEM DE REJEIÇÃO NO TESTE DE HIPÓTESES.....	81
TABELA 24 – PORCENTAGEM DE REJEIÇÃO NO TESTE DE HIPÓTESES ENTRE O RELATIVO ESTÁTICO E O PPP-IBGE.....	89
TABELA 25 – PORCENTAGEM DE REJEIÇÃO NO TESTE DE HIPÓTESES ENTRE O RELATIVO ESTÁTICO E O PPP-NRCAN.....	90
TABELA 26 – PORCENTAGEM DE REJEIÇÃO NO TESTE DE HIPÓTESES ENTRE O PPP-IBGE E O PPP-NRCAN .....	90
TABELA 27 – VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS DOS DESLOCAMENTOS ENCONTRADOS PARA O MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO NO ITRF2000.....	93
TABELA 28 – VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS DOS DESLOCAMENTOS ENCONTRADOS PARA O MÉTODO PPP-IBGE NO ITRF2000 .....	93
TABELA 29 – VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS DOS DESLOCAMENTOS ENCONTRADOS PARA O MÉTODO PPP-NRCAN NO ITRF2000 .....	93
TABELA 30 – DESVIOS-PADRÃO DA MÉDIA DE TODOS OS MÉTODOS DE PROCESSAMENTO PARA AS COORDENADAS NO SGCL.....	102
TABELA 31 - VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS DOS DESLOCAMENTOS ENCONTRADOS PARA O MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO NO SGCL.....	114
TABELA 32 - VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS DOS DESLOCAMENTOS ENCONTRADOS PARA O MÉTODO PPP-IBGE NO SGCL .....	114
TABELA 33 - VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS DOS DESLOCAMENTOS ENCONTRADOS PARA O MÉTODO PPP-NRCAN NO SGCL .....	114

TABELA 34 – COORDENADAS CARTESIANAS TRIDIMENSIONAIS DA ESTAÇÃO MAUÁ NOS PRIMEIROS 15 DIAS DO ANO DE 2016 PROCESSADAS COM USO DA ANTENA LEIAT504.....	128
TABELA 35 - COORDENADAS CARTESIANAS TRIDIMENSIONAIS DA ESTAÇÃO MAUÁ 15 DIAS NO MEIO DO ANO DE 2016 PROCESSADAS COM USO DA ANTENA LEIAT504.....	131
TABELA 36 - COORDENADAS CARTESIANAS TRIDIMENSIONAIS DA ESTAÇÃO MAUÁ NOS ULTIMOS 15 DIAS DO ANO DE 2016 PROCESSADAS COM USO DA ANTENA LEIAT504.....	134
TABELA 37 – DESVIOS PADRÃO DOS DADOS DE RASTREIO DA ESTAÇÃO MAUÁ NOS PRIMEIROS 15 DIAS DO ANO DE 2016 PROCESSADAS COM USO DA ANTENA LEIAT504.....	137
TABELA 38 - DESVIOS PADRÃO DOS DADOS DE RASTREIO DA ESTAÇÃO MAUÁ 15 DIAS NO MEIO DO ANO DE 2016 PROCESSADAS COM USO DA ANTENA LEIAT504.....	138
TABELA 39 - DESVIOS PADRÃO DOS DADOS DE RASTREIO DA ESTAÇÃO MAUÁ NOS ULTIMOS 15 DIAS DO ANO DE 2016 PROCESSADAS COM USO DA ANTENA LEIAT504.....	139

## LISTA DE SIGLAS

APPS	– Automatic Precise Positioning Service
AUSPOS	– Australian Online GPS Processing Service
BIH	– Bureau International de l'Heure
CRS	– Celestial Reference System
CSRS	– Canadian Spatial Reference System
DGPS	– Differential Global Positioning System
DoD	– Department of Defense
FK6	– Katalog von Fundamentalsternen
GAPS	– GPS Analysis and Positioning Software
GLONASS	– Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	– Global Navigation Satellites Systems
GPS	– Global Positioning System
GRS80	– Geodetic Reference System 1980
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IERS	– International Earth Rotation Service
ITRF	– International Terrestrial Reference Frame
ITRS	– International Terrestrial Reference System
IUGG	– International Union of Geodesy and Geophysics
JPL	– Jet Propulsion Laboratory
INFINITY	– software Leica Geo Office
NRCAN	– Natural Resources Canada
PPP Positioning)	– Posicionamento por Ponto Preciso (ou Precise Point Positioning)
RMBC	– Rede Brasileira de Monitoramento Continuo

- SCA – Sistemas de Controle Ativos
- SI – Sistema Internacional de Medidas
- SIRGAS 2000 – Sistema de Referencia Geocêntrico para as Américas 2000

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>22</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	24
1.3	HIPÓTESE .....	25
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>26</b>
2.1	DEFINIÇÃO DE GEODÉSIA .....	26
2.2	MODELOS EMPREGADOS NA GEODÉSIA .....	26
2.2.1	Elipsoide de revolução .....	26
2.2.2	Geoide .....	27
2.3	SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERÊNCIA .....	28
2.3.1	Sistemas de referência cartesianos tridimensionais .....	29
2.3.2	Coordenadas geodésicas ou elipsoidicas .....	29
2.3.3	Transformação de coordenadas geodésicas em cartesianas e vice-versa	31
2.4	SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERÊNCIA ATUAIS .....	32
2.4.1	ITRS e ITRF .....	32
2.4.2	SIRGAS 2000 .....	34
2.4.3	Transformação de coordenadas entre diferentes sistemas de referência.	34
2.5	GLOBAL POSITIONING SYSTEM - GPS .....	36
2.5.1	Observáveis GPS .....	38
	TEMPO DE RASTREIO E LINHAS DE BASE .....	39
2.5.2	Erros envolvidos nas observáveis GPS .....	40
2.6	<i>GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM</i> .....	41
2.7	MÉTODOS DE POSICIONAMENTO GNSS .....	42
2.7.1	Método de posicionamento relativo .....	42
2.7.2	Método de posicionamento por ponto .....	44
2.7.3	Método de posicionamento por ponto preciso (PPP) .....	44
2.7.4	Serviços de PPP <i>on-line</i> .....	45

2.8	ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO CONTÍNUO .....	47
2.9	TESTE PARA COMPARAÇÃO ENTRE DUAS MÉDIAS .....	47
2.10	USINA HIDRELÉTRICA DE MAUÁ .....	48
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>52</b>
3.1	OBSERVAÇÕES UTILIZADAS.....	53
3.1	PROCESSAMENTO RELATIVO ESTÁTICO.....	55
3.1.1	Processamento relativo estático da série diária .....	55
3.1.2	Processamento relativo estático das séries horárias .....	60
3.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS GNSS ATRAVÉS DA TÉCNICA PPP .....	61
3.4	TRANSFORMAÇÃO E REDUÇÃO DE COORDENADAS.....	63
3.4.1	Transformação para ITRF2000 .....	67
3.4.2	Redução das coordenadas para a época 2016.n e 2016.0.....	70
3.4.3	Transformação das coordenadas para o referencial local.....	72
3.5	COMPARAÇÕES ENTRE AS COORDENADAS.....	72
3.6	PROCESSAMENTO COM A ANTENA LEIAT504 .....	73
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>74</b>
4.1	COMPARAÇÃO ENTRE AS ÉPOCAS 2016.n E 2016.0.....	75
4.2	COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS ABSOLUTAS NO ITRF2000 .....	78
4.2.1	Séries diárias .....	78
4.3	COMPARAÇÃO ENTRE DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS NO ITRF2000 ..	91
4.3.1	Séries diárias .....	91
4.3.2	Séries horárias .....	93
4.4	COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS ABSOLUTAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL DA UHE MAUÁ .....	101
4.4.1	Séries diárias .....	101
4.4.2	Séries horárias .....	104
4.5	COMPARAÇÃO ENTRE DESLOCAMENTOS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL DA UHE MAUÁ .....	112

4.5.1 Séries diárias .....	112
4.5.2 Séries horarias .....	115
4.6 REPRESENTAÇÃO BIDIMENSIONAL DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO CONTÍNUO AO LONGO DO PERÍODO OBSERVADO .....	123
4.7 RESULTADOS DO PROCESSAMENTO COM A ANTENA LEIAT504 .....	127
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>140</b>
<b>6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>143</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Frequentemente na Geodésia há a necessidade de se determinar a posição de um ou mais pontos sobre a superfície terrestre, sendo que tal determinação pode ser feita com uso de diferentes técnicas para diferentes finalidades. De uma maneira geral monitorar na geodésica significa determinar coordenadas de pontos em diferentes épocas e realizar as comparações para verificar possíveis variações em sua posição. Estas variações podem ser caracterizadas apenas como deslocamentos, caso a forma do objeto monitorado permaneça a mesma após esta variação de posição, ou deformações, quando a forma do objeto é alterada. Diferentes métodos de posicionamento têm sido tradicionalmente empregados para a realização do monitoramento, como a triangulação e a trilateração, chamados de métodos clássicos. E a partir da década de 80 popularizou-se o emprego do posicionamento geodésico por técnicas espaciais, mais notoriamente o uso do GPS (*Global Positioning System*) e hoje do GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

Os métodos de posicionamento GNSS podem ser divididos em Posicionamento Absoluto e Posicionamento por Ponto; Posicionamento Relativo; e Posicionamento Diferencial (DGPS). No posicionamento pelo método absoluto utiliza-se um receptor GNSS isoladamente para obtenção das coordenadas requeridas. No posicionamento relativo são utilizados no mínimo dois receptores GNSS, onde suas observáveis são combinadas para aumentar a confiabilidade dos dados (MONICO, 2012).

O método denominado Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), permite aos usuários de receptores GNSS obterem bons resultados mesmo sem o uso de dois ou mais receptores (IBGE,2016). Para que tal processamento seja feito, segundo MONICO (2008), são utilizados serviços *on-line* de processamento, como por exemplo, o serviço de PPP disponibilizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), ou ainda alguns programas científicos e comerciais, como RTKlib e o Leica GeoOffice.

Este trabalho apresenta um estudo de caso na determinação da acurácia posicional através da comparação dos métodos de posicionamento relativo estático e posicionamento por ponto preciso (PPP) para a estação de monitoramento contínuo na Usina Hidrelétrica de Mauá (que para fins práticos será referida ao longo deste trabalho como “Estação Mauá”), localizada sobre o rio Tibagi na divisa dos municípios de Telêmaco Borba e Ortigueira.

O processamento dos dados desta estação é tradicionalmente realizado através do método relativo estático com uso dos pontos da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos sistemas GNSS (RBMC), no entanto devido à distância que a Estação Mauá está da rede da RBMC, é necessário fazer uso de processamento com uso de linhas de base longas, sendo que a mais próxima localizada à aproximadamente 145 km. São utilizadas as estações da RBMC localizadas em Ourinhos, Guarapuava, Maringá e Curitiba, sendo que a base mais longa mede aproximadamente 210 km.

Em decorrência deste fato, houve a necessidade de se pesquisar outras formas de processamento e neste trabalho optou-se por realizar a comparação entre o processamento dos dados empregando o método de posicionamento absoluto por PPP, cujo processamento independe das bases da RBMC existentes ao redor da estação da qual deseja se conhecer as coordenadas. Além do processamento PPP o método relativo estático, mais tradicional neste tipo de processamento, também foi usado.

Geralmente, quando comparados os dois tipos de posicionamento GNSS em questão percebe-se que o PPP tem a seu favor o fato de não necessitar de um segundo receptor para obtenção de seus resultados apesar de precisar de diversas correções e levar um tempo maior para fixação das ambiguidades. No entanto alguns pesquisadores já trabalharam com métodos para diminuir esse tempo.

Recentemente Yigit (2016) mostrou em seu trabalho de monitoramento de saúde de estruturas de engenharia que o método PPP é capaz de detectar oscilações nestas estruturas quando submetidas a severas cargas externas (como terremotos e tempestades) de até 13 mm de variação na componente vertical de um ponto, sendo que esta componente teria acurácia menor do que as componentes horizontais.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Alguns trabalhos como o de Almeida; Dal Poz (2016) fazem a verificação de efetividade dos dois métodos de processamento, o relativo e o absoluto pós-processado com PPP e chegam à conclusão de que o mais preciso ainda é o método relativo, na pesquisa realizada são utilizados apenas os serviços de PPP australiano (AUSPOS), o serviço PPP do IBGE e o programa INFINITY (Leica Geo Office). Especificamente para o estudo de caso interessa avaliar, além da coordenada absoluta do ponto, entendida aqui como a coordenada obtida como resultado do processamento, qual será o comportamento do deslocamento relativo do ponto ao longo do tempo.

Outro ponto de interesse neste trabalho é realizar as comparações no âmbito de linhas de base maiores que 145 km, caso da estação de monitoramento em estudo.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Comparar e avaliar os resultados do processamento de dados da estação de monitoramento contínuo da Usina Hidrelétrica de Mauá com uso do método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) em relação ao método de posicionamento relativo estático para processamentos de bases maiores do que 140 km .

### 1.2.2 Objetivos específicos

Comparar e avaliar os resultados dos serviços *on-line* de processamento de dados através da técnica PPP do IBGE e do NRCan para o processamento de dados GNSS com o mesmo conjunto de arquivos de observação.

Comparar os deslocamentos relativos obtidos a partir de cada método de processamento.

### 1.3 HIPÓTESE

O método absoluto com uso do PPP vem evoluindo e tem melhorado muito seus resultados, e segundo Yigit (2016) pode chegar a precisões centimétricas. Para o caso da UHE Mauá, com linhas de base que vão de 145 km a 210 km (aproximadamente) o processamento PPP poderia resultar em precisões equivalentes ao processamento relativo ou próximas destas para o caso da determinação de coordenadas, e este comportamento seria o mesmo quando comparados as variações relativas entre épocas?

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 DEFINIÇÃO DE GEODÉSIA

A definição clássica de Geodésia dada por Helmert (1880) é: “Geodésia é a ciência da mensuração e mapeamento da superfície terrestre”. Porém segundo Torge; Müller (2012, p. 1) é necessário incluir nesse conceito a determinação da superfície do leito marítimo e do campo da gravidade externo da Terra, bem como as suas variações no decorrer do tempo. Torge; Müller (2012, p. 2) ainda dizem que a Geodésia tem como objetivo determinar a forma e o campo de gravidade externo da Terra, assim como sua orientação no espaço, e sua variação temporal, através de medidas na sua superfície ou acima dela. Alves; Monico (2011, p. 1).

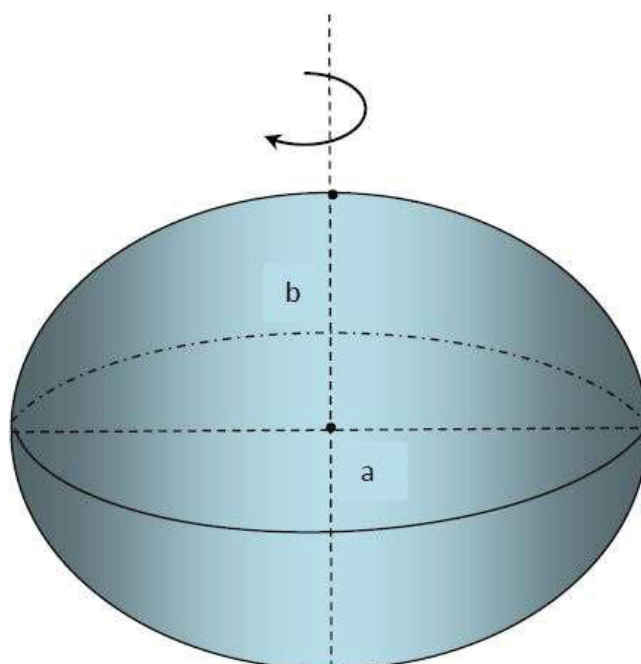
### 2.2 MODELOS EMPREGADOS NA GEODÉSIA

A superfície física da Terra é de difícil trato matemático por ser irregular e sofrer com diversas variações no tempo. Por isso faz-se uso de diferentes modelos na Geodésia para a definição de conceitos, para utilização como sistemas de referência e para a realização de cálculos. Entre eles destacam-se o elipsoide de revolução e o geoide.

#### 2.2.1 Elipsoide de revolução

Segundo Seeber (2003, p. 25) a superfície física da Terra pode ser aproximada pela superfície matemática do elipsoide de revolução. Ainda segundo Seeber (2003, p. 25) esta superfície é regular e conveniente às operações matemáticas e é por isso que o elipsoide é largamente usado como *superfície de referência para coordenadas horizontais* nas redes geodésicas. Pode-se dizer que é o modelo geométrico adotado para a Terra.

FIGURA1 – ELIPSOIDE DE REVOLUÇÃO



FONTE: O Autor.

Na FIGURA1 é possível visualizar uma representação de um elipsoide de revolução, onde são destacados o semi-eixo maior,  $a$ ; e o semi-eixo menor,  $b$ .

O elipsoide de revolução utilizado pelos principais sistemas geodésicos de referência atualmente, incluindo o utilizado no Brasil, é o *Geodetic Reference System* 1980 (GRS80). O GRS80 é definido pelo IERS (2010a) com os parâmetros:

- Semi-eixo maior,  $a = 6.378.137$  m
- Achatamento,  $f = 1/298,257222101$

### 2.2.2 Geoide

A definição de Geoide foi introduzida inicialmente por Helmert (1880, p. 5) como a superfície dos oceanos negligenciados os efeitos das correntes oceânicas, movimento de maré e ventos, ou seja, imóvel, e que formam uma superfície matemática da Terra, chamada por Listing (1872, p. 9) de Geoide. Essa definição foi

mais tarde usada por Torge; Müller (2012, p. 2), que para esses autores pode ser definido como a superfície equipotencial do campo gravitacional da Terra nos oceanos imóveis (negligenciados os efeitos das correntes oceânicas e outras “perturbações”) prolongado através dos continentes.

De acordo com Seeber (2003, p. 25) o elipsoide é pouco adequado para ser usado como referência para coordenadas verticais (altitudes) ao invés disso usa-se o geoide para cumprir este papel. Seeber (2003, p. 25) ainda diz que a separação vertical entre o geoide e um elipsoide de referência é chamada de *Ondulação Geoidal*  $N$ , que pode ser definida por:

$$h \approx N + H \quad (1)$$

Onde  $h$  representa a altitude elipsoidal (distância que separa o elipsoide da superfície terrestre sobre a normal);  $N$  a ondulação geoidal; e  $H$  representa a altitude ortométrica (distância sobre a vertical que separa o geoide da superfície física da Terra).

No entanto, deve-se observar que atualmente segundo IAG (2015), apud Nicacio (2017), com relação as informações altimétricas deve-se buscar a definição de um Sistema Vertical de Referência Global (do inglês, International Height Reference System – IHRS), tomando como referência uma superfície equipotencial do campo da gravidade.

### 2.3 SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERÊNCIA

Sistema geodésico de referência pode, segundo DALAZOANA (2001, p. 15), ser definido a partir de um conjunto de parâmetros e convenções, junto a um elipsoide orientado e ajustado as dimensões terrestres. E ainda segundo DALAZOANA (2001, p. 15) a materialização de um sistema geodésico de referência (também chamadas de redes de referência) é feita através de um conjunto de pontos implantados sobre a superfície terrestre cujas coordenadas sejam conhecidas. Inicialmente são apresentados os conceitos de sistemas de referência cartesianos tridimensionais e de

coordenadas geodésicas, seguidos dos principais sistemas geodésicos de referência atualmente em uso.

### 2.3.1 Sistemas de referência cartesianos tridimensionais

Ao falar de sistemas de referência geodésicos elipsoidais, também podemos imaginar um sistema cartesiano concêntrico a este sistema de referência com coordenadas (X; Y; Z) definido segundo Seeber (2003, p. 23) da seguinte forma:

- A origem desse sistema coincide com o centro do elipsoide.
- O eixo Z passa pelo polo norte do elipsoide (coincide com o semi-eixo menor).
- O eixo X é direcionado ao meridiano elipsoidal zero.
- O eixo Y completa o sistema dextrogiro.

### 2.3.2 Coordenadas geodésicas ou elipsoidicas

Segundo Seeber (2003, p. 23), os sistemas de coordenadas elipsoidais (conforme ilustra a FIGURA 2) são mais frequentemente utilizados para aplicações práticas, pois eles aproximam melhor a superfície terrestre e facilitam a separação da posição horizontal da posição vertical. A razão para essa separação em coordenadas horizontais e verticais é basicamente histórica, visto que, segundo Vaníček; Krakiwsky (1986, p. 98), no passado era mais fácil determinar estas posições separadamente, pois além de requererem diferentes tipos de observação em campo e elas também afetam pouco uma a outra.

Segundo Seeber (2003, p. 23) os parâmetros de um elipsoide de revolução são seu semi-eixo maior (a) e seu achatamento (f), achatamento definido de acordo com (a) e (b), onde (b) é seu semi-eixo menor.

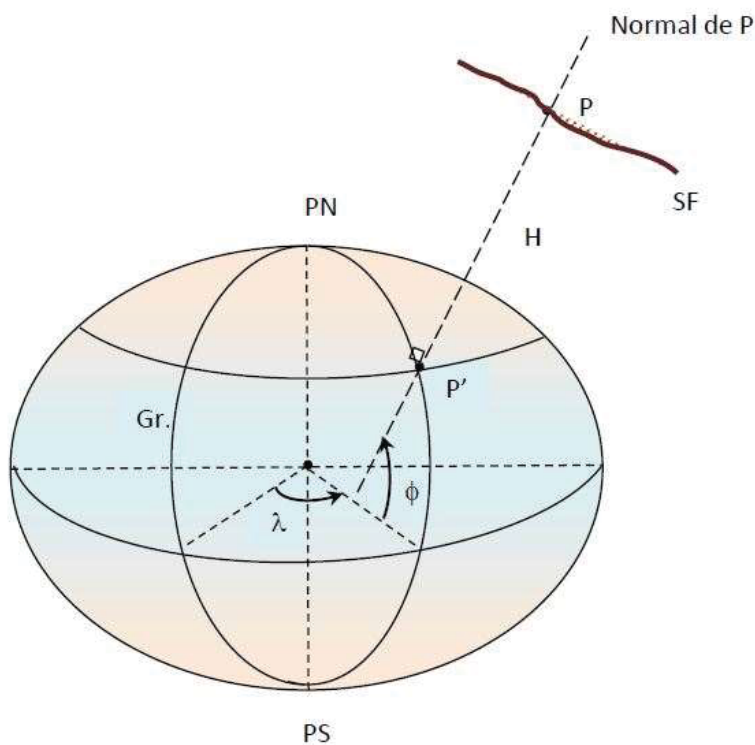
$$f = \frac{a - b}{a} \quad (2)$$

Adicionalmente ainda pode-se obter a primeira excentricidade ( $e$ ) como segue:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (3)$$

Ainda segundo Seeber (2003, p. 23), a melhor aproximação possível para o formato da Terra como um todo é um sistema elipsóidico global onde suas coordenadas são: a latitude elipsoidal ( $\phi$ ); a longitude elipsoidal ( $\lambda$ ) e a altitude elipsoidal ( $H$ ), como mostrado na FIGURA 2.

FIGURA 2 – COORDENADAS GEODÉSICAS  $\phi$ ,  $\lambda$  E  $H$



FONTE: O Autor.

### 2.3.3 Transformação de coordenadas geodésicas em cartesianas e vice-versa

Segundo Seeber (2003, p. 24) transformação do sistema elipsoidal para o sistema cartesiano pode ser feita através das equações(4).

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \\ (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \\ ((1 - e^2)N + h) \sin \varphi \end{pmatrix} \quad (4)$$

Onde N, é o raio de curvatura na primeira vertical,

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} = \frac{a}{\sqrt{1 - f(2 - f) \sin^2 \varphi}} \quad (5)$$

Já o processo inverso é descrito por Heiskanen; Moritz (1967, p. 183) e posteriormente por Heiskanen; Moritz; et al. (2006, p. 196) como sendo um processo iterativo, descrito pelas equações (6), (7) e (8).

$$h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos \varphi} - N \quad (6)$$

$$\varphi = \arctan \frac{Z + e'^2 b \sin^3 \theta}{\sqrt{X^2 + Y^2} - e^2 a \cos^3 \theta} \quad (7)$$

$$\lambda = \arctan \frac{Y}{X} \quad (8)$$

Onde,

$$\theta = \arctan \frac{Z a}{\sqrt{X^2 + Y^2} b} \quad (9)$$

$$e^2 = \frac{(a^2 - b^2)}{a^2} \quad (10)$$

$$e'^2 = \frac{(a^2 - b^2)}{b^2} \quad (11)$$

## 2.4 SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERÊNCIA ATUAIS

Segundo o IBGE (2017):

“Atualmente, um sistema geodésico de referencia (SGR) é definido pelo conjunto de constantes, convenções, modelos e parâmetros necessários a representação matemática de grandezas geométricas e físicas associadas ao posicionamento espacial de feições e eventos (IHDE et al., 2017). Um sistema desse tipo deve ser materializado por meio de uma estrutura de referência que estabeleça tanto a materialização física do sistema quanto a sua representação matemática; em outras palavras, a materialização de um SGR envolve a implantação de pontos de referência e a determinação das respectivas coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude).”

### 2.4.1 ITRS e ITRF

O sistema de referência terrestre internacional, o ITRS (sigla em inglês para *International Terrestrial Reference System*); mantido pelo serviço internacional de rotação da Terra, o IERS (sigla em inglês para *International Earth Rotation Service*) é materializado segundo IERS (2010), pela Rede internacional de referência ITRF (sigla em inglês para *International Terrestrial Reference Frame*). E segundo IERS (2010), o ITRS é um sistema de referência ideal como definido pela resolução N° 2 da União Internacional de Geodésia e Geofísica (IUGG – International Union of Geodesy and Geophysics) adotada em 1991, e o ITRF é baseado em coordenadas e velocidades estimadas de um conjunto de estações observadas por diversas técnicas.

O ITRS é definido pelo IERS (2010, p. 40) como segue:

- Sua origem está localizada no geocentro (centro de massa) terrestre, considerando oceanos e a atmosfera.
- A unidade de medida é o metro (SI).
- A orientação é dada pelo BIH (*Bureau International de l'Heure*) na época 1984.0.

A evolução temporal de sua orientação é definida ao se aplicar uma condição de não rotação de rede com respeito a movimentos horizontais tectônicos por toda a superfície terrestre.

De acordo com Monico (2008, p. 120) as principais diferenças do ITRF2000 com as realizações anteriores do ITRS são as que seguem:

- Na medida do possível, não foram utilizadas injunções externas e por isso esta realização reflete a precisão das tecnologias espaciais disponíveis na época para a Geodésia ao se determinar a posição e a velocidade das estações.
- A origem do sistema foi determinada a partir da média ponderada de cinco soluções SLR (Satellite Laser Ranging) e sendo assim as translações e suas variações vinculadas a essas soluções foram fixadas como zero em relação ao ITRF2000.
- A escala foi obtida a partir de cinco soluções SLR e três soluções VLBI (Very Long Baseline Interferometry), então, as diferenças em escala (e suas variações) entre o ITRF2000 e cada uma destas soluções foram consideradas nulas.
- A orientação foi introduzida por uma injunção interna.
- Em relação as realizações anteriores, existe uma melhor distribuição das estações, mesmo que exista uma maior concentração na América do Norte e Europa.

## 2.4.2 SIRGAS 2000

O SIRGAS 2000, é o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas e é o sistema de referência padrão do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) que é mantido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Sua definição, segundo SIRGAS (2018) é idêntica à do ITRS, e sua realização é uma densificação regional do ITRF e sua variação temporal é definida com base nas velocidades individuais de cada estação SIRGAS e/ou com base em um modelo contínuo de velocidades.

A Resolução 1/2005 do IBGE (2005) caracteriza SIRGAS 2000 como:

- Tem como origem o geocentro terrestre.
- O elipsoide de referência é o GRS80 – *Geodetic Reference System 1980*.
- A orientação dos polos e meridianos é consistente em +/- 0,005" com as definições do BIH na época 1984,0.
- A época de referência para as coordenadas é 2000,4.

## 2.4.3 Transformação de coordenadas entre diferentes sistemas de referência.

Transformação de coordenadas entre diferentes sistemas de referência os modos mais comuns de se realizar transformações de coordenadas entre diferentes sistemas de referência é fazendo uso de equações como a transformação de Helmert ou da fórmula descrita pelo IERS (2018). De Souza et al. (2008) faz uma comparação entre a transformação de Helmert com 14 parâmetros (12), a transformação de Helmert de 7 parâmetros (14) e as fórmulas utilizadas pelo IERS (15) e (16), e concluiu que as discrepâncias obtidas para as coordenadas obtidas através das equações do IERS e as obtidas através transformação de Helmert com 14 parâmetros são iguais, mas que no entanto as discrepâncias obtidas da equação de Helmert com 7 parâmetros foram ligeiramente piores.

$$\begin{aligned} \vec{X}_{ITRFZZ}(t_o) = \vec{T} + (1 + s)(\varepsilon + I) \cdot \left( \vec{X}_{ITRFyy}(t_o) + \vec{V}_{ITRFyy}(t_o)(t - t_o) \right) + (\vec{T} \\ + (1 + s)(\dot{\varepsilon}) + \dot{s}(\varepsilon + I)) \vec{X}_{ITRFyy}(t_o) \cdot (t - t_o) \end{aligned} \quad (12)$$

Onde:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} 0 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 0 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Sendo,  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  e  $\varepsilon_z$  as rotações diferenciais em radianos em torno dos eixos X, Y e Z;  $\vec{X}_{ITRFyy}$  e  $\vec{X}_{ITRFZZ}$  as coordenadas X, Y e Z de um ponto P qualquer nos referenciais de origem e destino respectivamente;  $\vec{V}_{ITRFyy}$  o vetor das velocidades do ponto  $\vec{X}_{ITRFyy}$  na época  $t_o$  proveniente do movimento da placa litosferica;  $\vec{T}$  o vetor de translação para  $T_x$ ,  $T_y$  e  $T_z$ ;  $s$  é o fator de escala;  $(t - t_o)$  o intervalo de tempo expresso em anos;  $\vec{T}$ ,  $\dot{\varepsilon}$ ,  $\dot{s}$  são as variações em translação, rotação e escala do sistema de referência original ao longo do tempo.

$$\vec{X}_{ITRFZZ} = \vec{T} + (1 + s)(\varepsilon + I) \cdot \left( \vec{X}_{ITRFyy}(t_o) + \vec{V}_{ITRFyy}(t_o)(t - t_o) \right) \quad (14)$$

$$\vec{X}_{ITRFZZ} = \vec{X}_{ITRFyy} + \vec{T} + \begin{bmatrix} s & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & s & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & s \end{bmatrix} \vec{X}_{ITRFyy} \quad (15)$$

$$P(t) = P_{t_o} + \dot{P}(t - t_o) \quad (16)$$

Onde  $P(t)$  é o parâmetro a ser atualizado para a época  $t$ ;  $P_{t_o}$  é o parâmetro na época inicial  $t_o$ .

De Souza et al. (2008) ainda apresenta resultados dos usos das três equações distintas para transformação de coordenadas entre o ITRF2000 e o ITRF1997 na estação BRAZ e concluem que a transformação de Helmert de 14

parâmetros e a fórmula do IERS obtiveram resultados semelhantes se comparados as coordenadas já conhecidas desta estação e que a transformada de Helmert de 7 parâmetros obteve resultados ligeiramente piores devido a simplificação da equação.

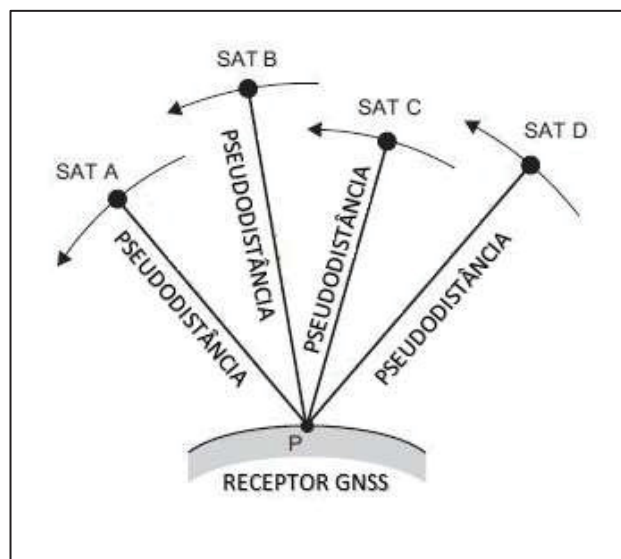
## 2.5 GLOBAL POSITIONING SYSTEM - GPS

Segundo Seeber (2003, p. 211) o NAVSTAR GPS (*NAVigation System with Time and Ranging Global Positioning System*), ou simplesmente GPS, é um sistema de rádio navegação baseado em satélites que proporciona posicionamento tridimensional, navegação e informações temporais de precisão a seus usuários. Foi desenvolvido nos E.U.A. desde a década de 1970 como um sistema militar e tinha seu uso, a princípio, restrito para usuários civis. Gemael e Andrade (2015, p. 227) relatam que o NAVSTAR GPS é composto por diferentes blocos de satélites. Os satélites do Bloco I foram projetados para ter disponibilidade durante o dia no inverno e durante a noite no verão em todo o território dos Estados Unidos. Já os satélites do Bloco II começaram a ser lançados em fevereiro de 1989; os do Bloco IIA (que inicialmente se chamaria Bloco III) teve seu primeiro satélite posto em órbita em 1990; seguindo este último vieram os satélites do Bloco IIR, capazes de determinar automaticamente a própria órbita medindo a distâncias entre satélites do mesmo tipo; e então vieram os satélites do Bloco IIF que ainda segundo Gemael e Andrade (2015, p. 229) introduziram uma nova onda portadora, a L5. Atualmente, segundo NAVCEN (2016, p. 50), os satélites operacionais são satélites pertencentes ao Bloco II, IIA, IIR, IIR-M, IIF e GPS III.

De acordo com Torge; Müller (2012, p. 136) a posição tridimensional da antena receptora pode ser obtida com uso das observações de apenas três satélites, porém como o relógio dos satélites e do receptor não são perfeitamente sincronizados, a medida de uma quarta distância se faz necessária para determinar o erro de sincronia entre os relógios. Segundo Monico (2000) esses quatro satélites são necessários para o funcionamento do princípio básico da navegação por GPS o qual consiste na medida de distâncias entre o receptor do usuário e os satélites (como ilustrado na FIGURA 3), onde conhecendo a posição de tais satélites (em um sistema

de referência apropriado) é possível calcular as coordenadas da antena receptora do usuário (no mesmo sistema de referência).

FIGURA 3 - ESQUEMA DE MEDIDA DAS PSEUDODISTÂNCIAS



FONTE: Adaptado de SEEBER (2003)

Segundo Monico (2000), cada satélite GPS transmite dois sinais para que seja feito o posicionamento dos receptores: o sinal L1 e o sinal L2. Nestes sinais encontram-se modulados os códigos C/A e Y (Y refere-se ao código P criptografado) e as mensagens de navegação. As mensagens de navegação (ou também chamadas de efemérides transmitidas) contêm informações que serão utilizadas no cálculo das coordenadas do satélite e os códigos C/A e P são os códigos utilizados na obtenção das distâncias (também chamadas pseudodistâncias devido a erros de sincronia entre os relógios dos satélites e dos receptores) entre os satélites e o receptor.

Madry (2015, p. 43) diz que recentemente o sistema GPS tem recebido vários melhoramentos, apesar de ser essencialmente o mesmo dos anos 1970, dentre os quais podemos citar a melhora nos relógios atômicos, aumento da vida útil dos satélites, processadores *on board* reprogramáveis e melhoramento e adição de novos códigos.

O código civil L2C (localizado na frequência de 1227 MHz) começou a ser desenvolvido em 2014, segundo Madry (2015, p. 43), para ir de encontro aos usuários

de GPS comerciais e suas necessidades. Esse sinal permite a automatização das correções ionosféricas entre ele e o sinal L1, aumentando significativamente a acurácia do posicionamento.

Um código desenvolvido para suprir as necessidades relacionadas ao transporte seguro de passageiros, o código L5, é segundo Madry (2015, p. 43), reservado para serviços de segurança em aviação e possui uma largura de banda maior e estrutura de sinal mais avançada e forte. Esse sinal pode ser usado para melhorar a segurança de todos os meios de transporte.

### 2.5.1 Observáveis GPS

O GNSS tem como observáveis básicas que permitem obter a posição de um receptor, segundo Seeber (2003), as pseudodistancias e a fase da onda portadora, também chamada de diferença de fase da onda portadora. Segundo MONICO (2000), as distâncias entre os satélites e a antena receptora são baseadas nos códigos gerados pelos mesmos. O receptor gera uma réplica do código produzido no satélite. O espaço de tempo entre a chegada do código do satélite e a geração dessa réplica é o tempo de propagação do sinal, e esse tempo de propagação é usado para que sejam obtidas as pseudodistâncias.

Segundo Monico (2008, p. 186), a Pseudodistância (PD) é dada por:

$$PD_R^S = c\tau_r^S + c[dt_r - dt^S] + I_r^S + T_r^S + dm_r^S + \varepsilon_{PD_r}^S \quad (175)$$

Onde  $PD_R^S$  é a pseudodistancia entre o satélite e o receptor;  $c$  é a velocidade da luz no vácuo;  $\tau_r^S$  é o intervalo de tempo de propagação do sinal, da geração no satélite até a correlação no receptor;  $dt_r$  é o erro do relógio do receptor em relação ao tempo GPS no instante  $t_r$ ;  $dt^S$  é o erro do relógio do satélite em relação ao tempo GPS no instante  $t^S$ ;  $I_r^S$  e  $T_r^S$  representam as refrações Ionosféricas e Troposféricas, respectivamente;  $dm_r^S$  representa os erros de multicaminhamento; e  $\varepsilon_{PD_r}^S$  é o erro na medida da pseudodistância.

Ainda de acordo com Monico (2008, p. 186) a fase da onda portadora é uma observável mais precisa do que pseudodistância e é obtida a partir da diferença

entre a fase do sinal do satélite, recebido no receptor  $\phi^s$ , e a fase do sinal gerado pelo receptor  $\phi_r$ , ambas no instante de recepção do sinal na estação  $t_r$ . A fase da onda portadora observada em ciclos  $\phi_r^s$  segundo King et al., 1988 apud Monico (2008, p. 186) é dada por:

$$\phi_r^s = \phi^s(t) - \phi_r(t) + N_r^s + \varepsilon\phi_r^s \quad (186)$$

Onde  $N_r^s$  é a ambiguidade da fase; e  $\varepsilon\phi_r^s$  é o erro da fase da onda portadora.

## EFEMÉRIDES

Para que seja possível a determinação de coordenadas de uma antena de um receptor GNSS o usuário deve ter acesso às posições dos satélites bem como às informações de seus relógios. E segundo MONICO (2000), tais informações podem ser obtidas nos sinais dos próprios satélites, chamadas de efemérides transmitidas, ou acessadas via internet após algum tempo, chamadas de efemérides pós-processadas ou efemérides precisas. O uso das efemérides pós-processadas resulta em uma maior precisão das coordenadas obtidas, apesar de que a utilização das mesmas depende mais das necessidades de cada usuário do que unicamente de sua precisão.

## TEMPO DE RASTREIO E LINHAS DE BASE

O tempo de rastreo também influencia diretamente na precisão das coordenadas, pois este também está ligado à resolução das ambiguidades, e são um fator importante para a qualidade do rastreo. Em teoria, quanto maior o tempo de rastreo, melhores seriam as coordenadas obtidas. E quando se fala do método de posicionamento relativo o tamanho das linhas de base (distancia linear entre dois receptores, um receptor de base, com coordenadas conhecidas e um receptor itinerante também chamado Rover) também influencia no tempo que os receptores

precisam para resolver as ambiguidades. Em teoria, quanto maior a linha de base, maior é o tempo de rastreamento necessário.

### 2.5.2 Erros envolvidos nas observáveis GPS

Como todo processo de medição, as observáveis GNSS também estão sujeitas a erros grosseiros, sistemáticos e aleatórios. Portanto, para aperfeiçoar o processo de medição é necessário que as fontes de erro sejam conhecidas. Erros sistemáticos por sua vez, podem ser matematicamente modelados para que possam ser minimizados ou eliminados tendo assim uma melhor qualidade nas observações. Já erros aleatórios ou grosseiros não apresentam segundo MONICO (2000) nenhuma relação com as medidas e são normalmente as discrepâncias remanescentes nas observações.

A seguir é apresentada a TABELA 1, retirada de MONICO (2000) dos erros nas observáveis GNSS e suas fontes.

TABELA 1 - ERROS NAS OBSERVÁVEIS GNSS E SUAS FONTES

<b>Fontes</b>	<b>Erros</b>
Satélite	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erro da órbita</li> <li>- Erro do relógio</li> <li>- Relatividade</li> <li>- Atraso entre as duas portadoras no hardware do satélite</li> </ul>
Propagação do sinal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Refração troposférica</li> <li>- Refração ionosférica</li> <li>- Perda de ciclos</li> <li>- Multicaminhamento ou sinais refletidos</li> <li>- Rotação da Terra</li> </ul>
Receptor/Antena	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erro do relógio</li> <li>- Erro entre os canais</li> <li>- Centro de fase da antena</li> </ul>
Estação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erro nas coordenadas</li> <li>- Multicaminhamento</li> <li>- Marés terrestres</li> <li>- Movimento do Pólo</li> <li>- Carga dos oceanos</li> <li>- Pressão atmosférica</li> </ul>

FONTE: Adaptado de MONICO (2000).

## 2.6 GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM

Hein (2000) apud Seeber (2003, p. 383) esclarece que o termo GNSS foi elaborado na 10ª conferência de Navegação Aérea em 1991, quando a ICAO (*International Civil Aviation Organization*) reconheceu que “no século XXI o sistema *stand-alone* de navegação será provido pelo GNSS. SEEBER (2003, p. 383) ainda esclarece que os princípios aplicáveis para os GPS também são válidos para os sistemas GNSS.

O GPS não é a única das constelações de satélites artificiais existentes atualmente. Existem também outras similares como o russo, já operacional,

GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) e o europeu GALILEO. Segundo Madry (2015, p. 48) ainda pode-se citar o sistema chinês BeiDou, parcialmente operacional desde 2000 e o regional INRSS, *Indian Regional Navigation Satellite System* em desenvolvimento desde 2006. Esse conjunto de constelações diferentes voltadas para o posicionamento global formam o GNSS – *Global Navigation Satellite System*.

## 2.7 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO GNSS

Segundo Monico (2008), os métodos de posicionamento GNSS podem ser classificados em: Absoluto, também chamado de posicionamento por ponto; o relativo; e o diferencial, também conhecido pela sigla DGPS (que não será explorado neste trabalho).

### 2.7.1 Método de posicionamento relativo

O objetivo do posicionamento GNSS relativo de acordo com Hofmann-Wellenhof et al. (2008, p. 173) é determinar as coordenadas de um ponto desconhecido com relação a um outro ponto conhecido. Ou seja, o posicionamento relativo visa a determinação do vetor entre esses dois pontos, a chamada linha de base. Para que isso seja feito é necessário o uso de dois receptores GNSS simultaneamente para que combinações lineares possam ser formadas e levem à simples diferença de fase, dupla diferença de fase e tripla diferença de fase.

### DIFERENÇAS DE FASE

Na simples diferença de fase, equação (21), são envolvidos apenas um satélite e dois receptores e segundo Hofmann-Wellenhof et al. (2008, p. 174) se denominarmos um satélite  $j$  com dois receptores A e B respectivamente temos as equações (19), (20) e (21).

$$\phi_A^j(t) + f^j \delta^j(t) = \frac{1}{\lambda^j} \varrho_A^j(t) + N_A^j + f^j \delta_A(t) \quad (19)$$

$$\phi_B^j(t) + f^j \delta^j(t) = \frac{1}{\lambda^j} \varrho_B^j(t) + N_B^j + f^j \delta_B(t) \quad (20)$$

$$\phi_B^j(t) - \phi_A^j(t) = \frac{1}{\lambda^j} [\varrho_B^j(t) - \varrho_A^j(t)] + N_B^j - N_A^j + f^j [\delta_B(t) - \delta_A(t)] \quad (21)$$

Simplificando as notações especificadas nas equações (22), (23), (24) e (25), temos (41) que é a forma final da equação de simples diferença de fase.

$$N_{AB}^j = N_B^j - N_A^j \quad (22)$$

$$\delta_{AB}(t) = \delta_B(t) - \delta_A(t) \quad (23)$$

$$\phi_{AB}^j(t) = \phi_B^j(t) - \phi_A^j(t) \quad (24)$$

$$\varrho_{AB}^j(t) = \varrho_B^j(t) - \varrho_A^j(t) \quad (25)$$

$$\phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda^j} [\varrho_{AB}^j(t)] + N_{AB}^j + f^j [\delta_{AB}(t)] \quad (26)$$

Na dupla diferença de fase, ainda de acordo com Hofmann-Wellenhof et al. (2008, p. 175), estão envolvidos dois receptores A e B e dois satélites j e k e assim tem-se:

$$\phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda^j} [\varrho_{AB}^j(t)] + N_{AB}^j + f^j [\delta_{AB}(t)] \quad (27)$$

$$\phi_{AB}^k(t) = \frac{1}{\lambda^k} [\varrho_{AB}^k(t)] + N_{AB}^k + f^k [\delta_{AB}(t)] \quad (28(27))$$

Para obter-se a dupla diferença de fase é necessário subtrair (42) de (43) XY e sendo assim dois casos devem ser considerados. No primeiro caso assume-se que as frequências  $f^j$  e  $f^k$  são iguais, se for esse o caso tem-se (44).

$$\phi_{AB}^k(t) - \phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} [\varrho_{AB}^k(t) - \varrho_{AB}^j(t)] + N_{AB}^k - N_{AB}^j \quad (29(27))$$

E ao realizar simplificações nas notações para os satélites j e k como feito anteriormente, tem-se a equação XX.

$$\phi_{AB}^{jk}(t) = \frac{1}{\lambda} \varrho_{AB}^{jk}(t) + N_{AB}^{jk} \quad (30(27))$$

### 2.7.2 Método de posicionamento por ponto

O posicionamento por ponto ou posicionamento absoluto é feito segundo MONICO (2000) com uso de apenas um receptor GNSS e é mais simples e menos preciso que o posicionamento relativo. Também segundo MONICO (2000) ele é feito de forma instantânea usando a pseudodistância derivada do código C/A presente na onda portadora L1. Porém, segundo FAUSTINO (2006) mesmo o posicionamento absoluto sendo menos preciso que o posicionamento relativo existe a possibilidade de torná-lo tão preciso quanto, se usado um método de pós-processamento dos dados chamado de Posicionamento por Ponto Preciso, o PPP.

### 2.7.3 Método de posicionamento por ponto preciso (PPP)

Segundo MONICO (2000, p. 184), no posicionamento por ponto preciso a equação de observação utilizada é a mesma do posicionamento absoluto convencional, sendo assim as coordenadas da estação ainda estarão influenciadas pelos erros das coordenadas e pelas correções dos relógios de cada satélite observado, além dos erros atmosféricos. Porém, com o uso do PPP pode-se, segundo MONICO (2000), reduzir muito os efeitos da ionosfera a partir da utilização de combinação linear livre

dos efeitos da ionosfera. Assim também foi dito por Hofmann-Wellenhof et al. (2008, p. 166), o fator mais limitante para o PPP com respeito a sua acurácia são os erros de órbita, os erros do relógio e as influências atmosféricas. Porém, ainda segundo Boonsap. Witchayangkoon (2000, p. 2) apud Hofmann-Wellenhof et al. (2008, p. 173) WITCHAYANGKOON 2000, p. 2) o PPP por definição usa dados acurados para órbitas dos satélites e para os relógios dos satélites (fornecidos pelo IGS) além da dupla frequência. Groves (2008, p. 282) realça que o PPP pode obter acurácia decimétrica ao serem calibradas cada umas das principais fontes de erros separadamente. Groves (2008, p. 282) ainda diz que erros no rastreo dos códigos podem ser reduzidos através da combinação de técnicas de suavização da onda portadora com técnicas de cálculo da média de tempo, apesar de mesmo assim ainda ser necessário um período de inicialização de 20 minutos para alcançar acurácia centimétrica com o código C/A. E atrasos ionosféricos são calibrados com o uso de dupla-frequência e resíduos troposféricos são reduzidos ao serem selecionados satélites com maior elevação.

#### 2.7.4 Serviços de PPP *on-line*

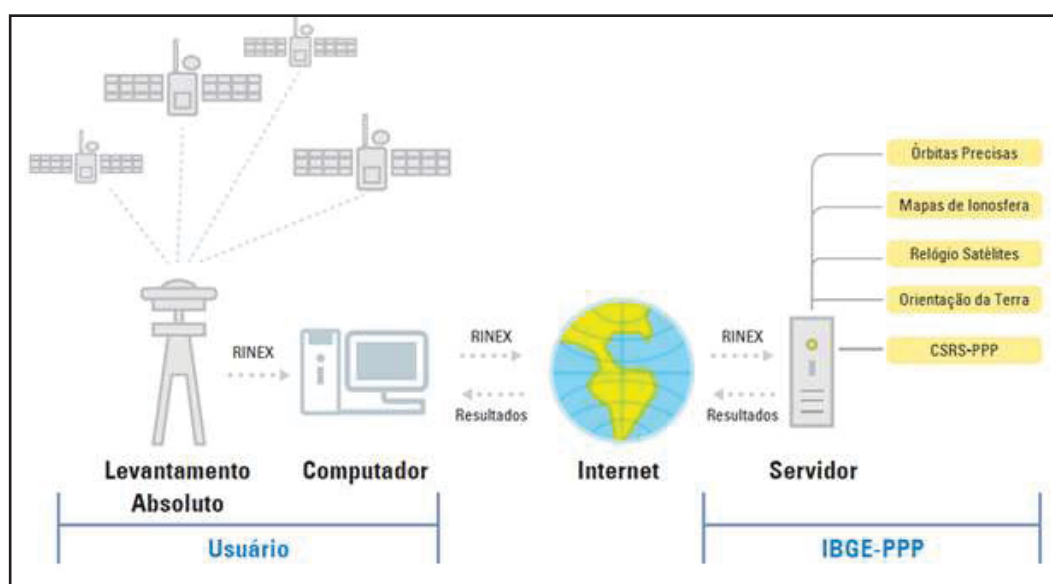
O processamento PPP pode ser feito com uso de serviços *online* disponibilizados por diversas instituições no mundo como o serviço disponibilizado pelo próprio IBGE. Ainda existe uma central de programas computacionais disponibilizados pela University of New Brunswick (UNB) nos quais encontram-se o CSRS-PPP do Natural Resources Canada (NRCAN), o GPS Analysis and Positioning Software (Gaps) da University of New Brunswick, o Automatic Precise Positioning Service (APPS) do Jet Propulsion Laboratory (JPL) e o magic GNSS da GM.

Segundo a página do IBGE o serviço de pós processamento de dados GNSS PPP disponibilizado por eles é on-line e gratuito, que faz uso do programa CSRS-PPP (*GPS Precise Point Positioning*) desenvolvido pelo NRCAN (*Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada*). Tal serviço proporciona aos usuários, providos de receptores GPS e/ou GLONASS, a obtenção de coordenadas em SIRGAS2000 e em ITRF, através do processamento de dados GNSS coletados por receptores de uma ou duas frequências através de métodos de rastreo estáticos ou cinemáticos.

Ainda segundo essa mesma página do IBGE, é necessário apenas que o usuário entre no sistema um arquivo de observação em formato RINEX ou HATANAKA e informe se o levantamento foi realizado por método estático ou cinemático, o modelo e altura da antena além de um *e-mail* válido.

Como pode ser visto na FIGURA 4 o processamento é feito quando o usuário envia ao sistema, via internet, todas as informações e arquivos necessários, que são então enviados ao servidor e nele são processados pelo CSRS-PPP com uso de das órbitas precisas dos satélites, mapas ionosféricos, informações dos relógios dos satélites e informações de orientação terrestre para então serem reenviados ao usuário.

FIGURA 4 – DIAGRAMA DE PROCESSAMENTO PPP DOS ARQUIVOS SUBMETIDOS AO SERVIÇO DO IBGE



FONTE: Página do IBGE ()

De acordo com IBGE (2017, p. 21) a estimativa de precisão para o serviço de processamento PPP disponibilizado, pode ser encontrado na TABELA 2.

TABELA 2 – PRECISÃO ESTIMA PARA O SERVIÇO DE PROCESSAMENTO PPP  
DISPONIBILIZADO PELO IBGE.

Estimativa de precisão para Posicionamento por ponto preciso (PPP)						
Tempo de rastreio	Precisão L1			Precisão L1 + L2		
	Latitude	Longitude	Altitude	Latitude	Longitude	Altitude
1 h	10 cm	20 cm	20 cm	2 cm	4 cm	4 cm
2 h	5 cm	12 cm	12 cm	1 cm	2 cm	2 cm
4 h	3 cm	7 cm	8 cm	5 mm	1 cm	2 cm
6 h	3 cm	6 cm	7 cm	5 mm	1 cm	1 cm

FONTE:IBGE (2017, p. 21)

## 2.8 ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO CONTÍNUO

Segundo IBGE, as estações de monitoramento são receptores GPS ou GNSS que coletam e armazenam continuamente as observações do código e da fase das ondas portadoras transmitidos pelos satélites. Essas estações materializam a RBMC além de fazer parte da Rede de Referencia SIRGAS e contribuir para a densificação da rede regional do IGS.

Também segundo o IBGE, essas estações estão ligadas ao uso do método relativo estático por serem estações com coordenadas conhecidas o que dispensa o usuário da necessidade do uso de dois receptores.

## 2.9 TESTE PARA COMPARAÇÃO ENTRE DUAS MÉDIAS

Segundo Ogundare (2015, p. 53) é sabido que medidas físicas são corretas são corretas apenas dentro de certos limites devido a erros sistemáticos e aleatórios, sendo a precisão e acurácia de uma medida diretamente relacionadas com esses tipos de erro.

Ogundare (2015, p. 64) ainda descreve um teste estatístico das diferenças das medias das observações para determinar se duas médias de uma

população ( $\mu_1$  e  $\mu_2$ ) podem ser consideradas iguais. Esse teste pode ser unicaudal, equação (31), ou bicaudal, equação (32).

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ contra } H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (31)$$

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0 \text{ contra } H_A: \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \quad (32)$$

Onde  $H_0$  representa a hipótese nula; e  $H_A$  é a hipótese alternativa.

Aqui, ainda segundo Ogundare (2015, p. 64), utiliza-se o teste T caso o tamanho das amostras seja  $n_1$  ou  $\leq n_2 \leq 30$  quando o tamanho da amostra é  $n_1, n_2 > 30$ , utiliza-se o teste Z normal, de acordo com a TABELA 3.

TABELA 3 - DISTRIBUIÇÃO NORMAL

$\alpha$	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$Z_\alpha$	3,09	2,88	2,75	2,65	2,58	2,33	1,96	1,64	1,28

FONTE: Ogundare (2015, p. 640)

Já a tomada de decisões é realizada de acordo com as equações (33) e (34). No caso aceita-se  $H_0$  se as seguintes condições forem satisfeitas:

$$\begin{array}{ll} \text{Teste} & \text{Para } n_1, n_2 > 30 : z < z_\alpha \text{ ou } (z > z_\alpha) \\ \text{unicaudal} & \text{Ou } \bar{x}_1 - \bar{x}_2 < (SE)z_\alpha \end{array} \quad (33)$$

$$\begin{array}{ll} \text{Teste} & \text{Para } n_1, n_2 > 30 : (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)z_{\alpha/2}SE < 0 < (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + z_{\alpha/2}SE \\ \text{bicaudal} & \text{Ou } |\bar{x}_1 - \bar{x}_2| < (SE)z_{\alpha/2} \end{array} \quad (34)$$

## 2.10 USINA HIDRELÉTRICA DE MAUÁ

Desde 2011 uma equipe de professores do Departamento de Geomática desenvolvem projeto de pesquisa voltado ao Monitoramento Geodésico da UHE Mauá, buscando desenvolver novas metodologias aplicadas à área de estudo. De acordo com Soares et al. (2013) uma inovação no projeto de monitoramento foi a

instalação de uma estação GNSS de monitoramento contínuo na barragem. Esta estação consiste em um receptor GNSS de dupla frequência, o qual foi instalado na margem esquerda da barragem. Esta opção deve-se a configuração geológica do local, sendo de interesse do projeto de pesquisa o acompanhamento com mais detalhes desta face lateral.

Muguió (2012) apresenta em seu trabalho o projeto e instalação da estação de monitoramento contínuo. Segundo o autor, o equipamento instalado consiste em um receptor GNSS modelo LEICA GS20 e uma antena Leica modelo AS10. O receptor GNSS adquirido apresenta as seguintes características (MUGUIÓ, 2012):

- Rastreia fases completas dos sinais L1/L2;
- Rastreia sinais enviados pelos sistemas GPS, GLONASS, GALILEO;
- É robusto sob ação de intempéries e possui recursos que minimizam multicaminho e radiointerferência;
- Possui uma porta serial RS 232 e uma porta USB para comunicação;
- Intervalo de gravação de dados até 15 segundos;

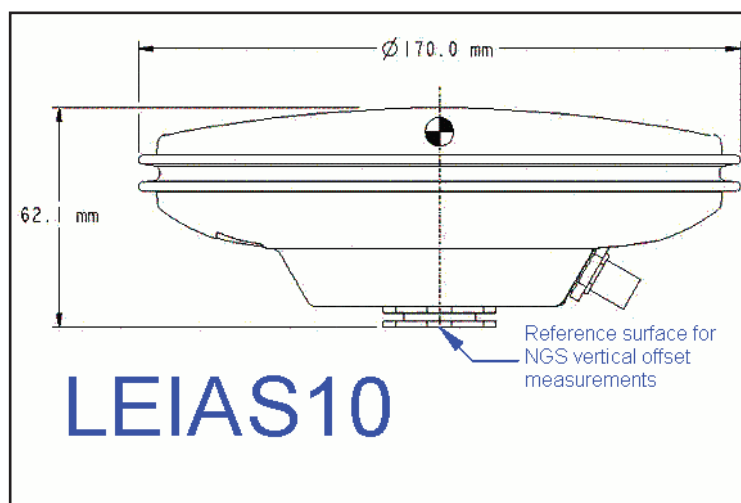
Na Estação Mauá é utilizada a antena AS10 da Leica (LEIAS10) cuja representação gráfica pode ser vista na

FIGURA 5 e o receptor está configurado da seguinte maneira (MUGUIÓ, 2012):

- Sistemas de satélites: GPS e GLONASS
- Sinais L1 e L2, onde para o GPS o sinal L2 configurado foi L2C e L2P(Y).
  - Taxa de coleta: 15 segundos
- Ângulo de corte: 10°
- Código suavizado

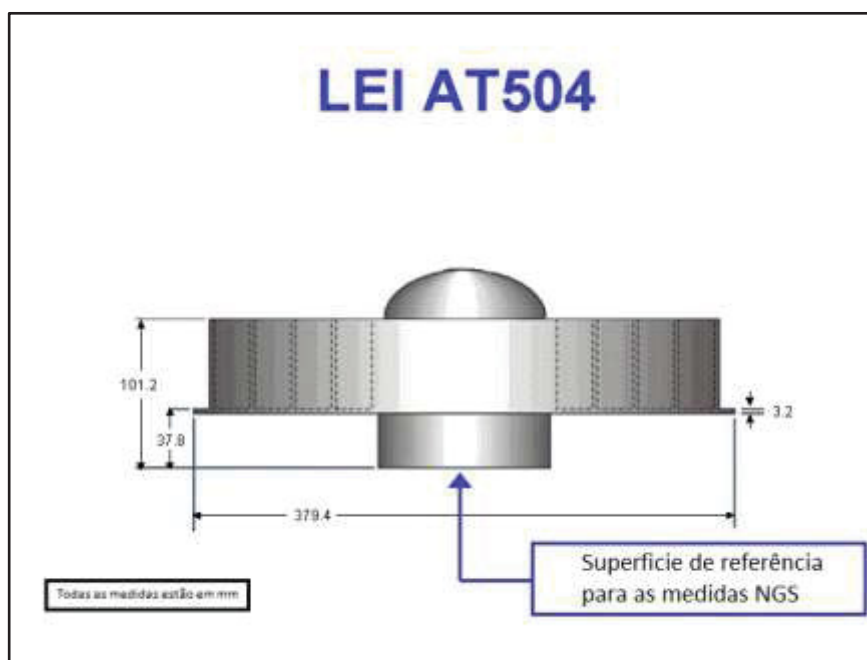
Inicialmente o processamento foi feito com a antena LEIAS10, FIGURA 5, que é a antena registrada nos arquivos brutos da estação Mauá, porém seguindo recomendação da banca avaliadora isso foi revisto e uma parte dos dados foram reprocessados com a antena LEIAT504, representada pela FIGURA 6.

FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE ANTENA LEIAS10.



FONTE:NOAA .

FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ANTENA LEIAT504.



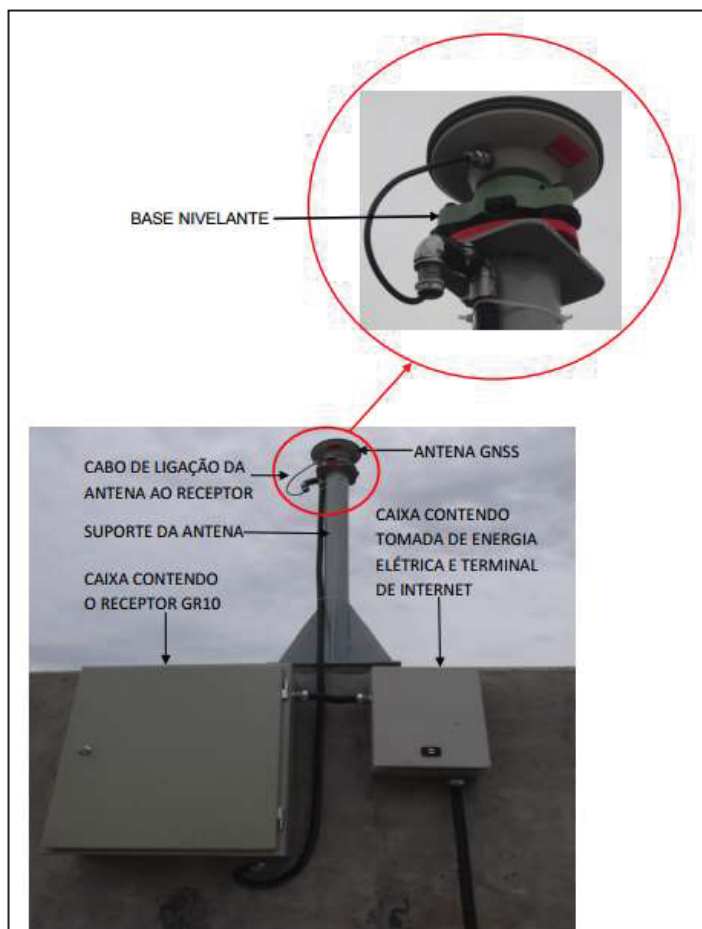
FONTE:NOAA .

Além da gravação dos dados da sessão de coleta no cartão SD, os mesmos são disponibilizados na rede da internet da COPEL (Companhia Paranaense de Energia), através da configuração de um local de FTP. O receptor está configurado para gravar dados brutos, de forma contínua com a taxa de 15 segundos, sendo que

os arquivos foram configurados para armazenar as observações de um período igual a 24h.

A FIGURA 7 apresenta a estação de monitoramento contínuo.

FIGURA 7 - ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DA UHE MAUÁ.

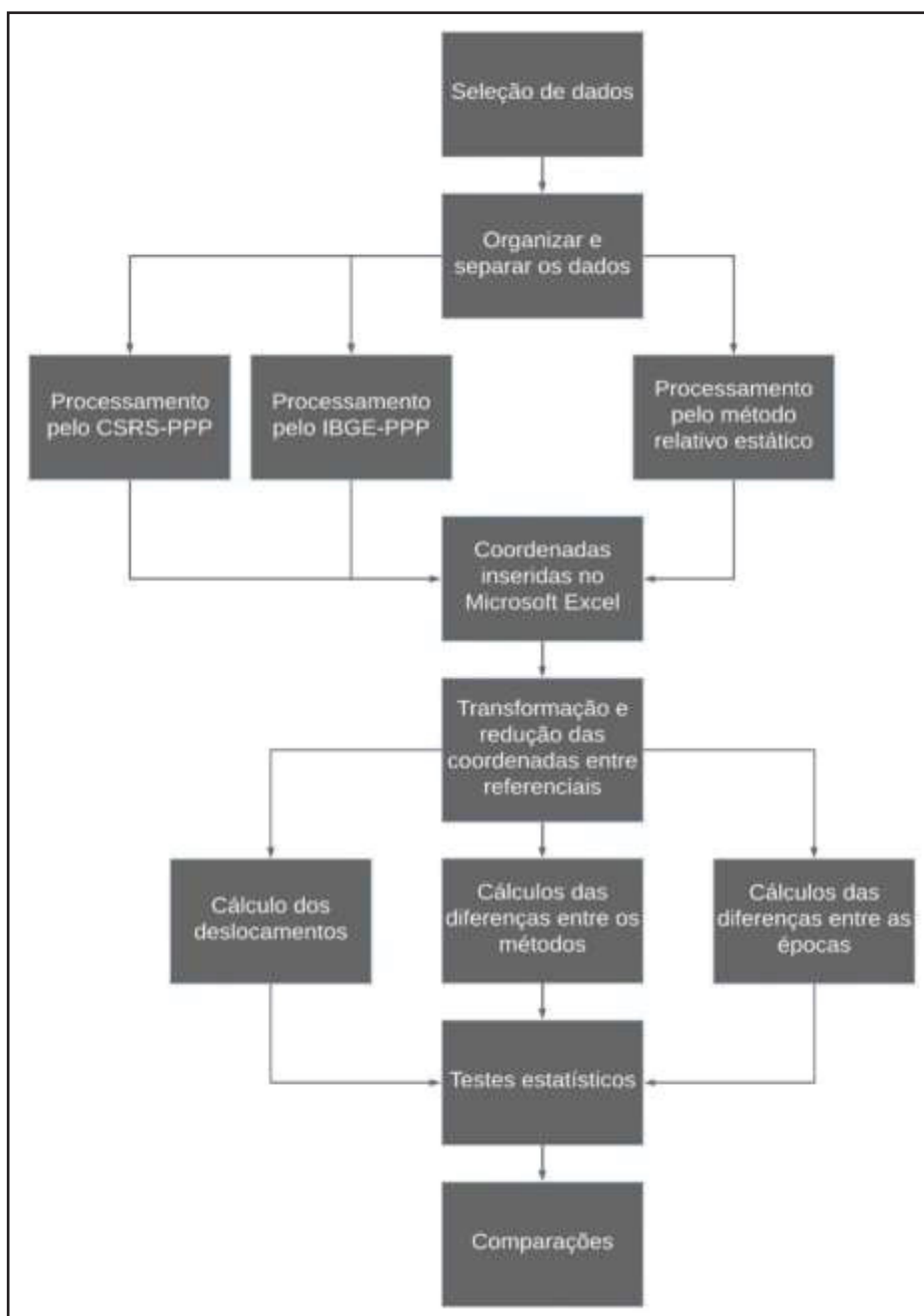


FONTE: MUGUIO (2012).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização das comparações entre os dois métodos de posicionamento GNSS aplicados nesta pesquisa, foi definido um fluxo de ações conforme ilustra a FIGURA 8.

FIGURA 8 – FLUXOGRAMA DE ETAPAS EFETUADAS NESTA PESQUISA.



FONTE: O Autor.

De maneira geral inicialmente foi necessário definir o conjunto de observações (dados de rastreamento da estação de monitoramento contínuo) que seriam utilizados, selecionando o intervalo temporal de dados e quais estações de base seriam utilizadas. Posteriormente foram definidas as estratégias de processamento juntamente com os programas a serem utilizados. Então foram realizados os processamentos e as comparações entre os resultados comparando as coordenadas obtidas e o deslocamento relativo calculado a partir destas.

### 3.1 OBSERVAÇÕES UTILIZADAS

Para a realização dos testes optou-se por utilizar um período de dados que compreendessem um ano completo de observações. Assim definiu-se o ano de 2016 para estudo. Embora a estação de monitoramento contínuo tenha sido instalada em 2012, em alguns períodos devido a manutenção e questões relacionadas à problemas de transmissão dos dados, as séries anuais anteriores não estavam completas. Além disto, esta restrição foi necessária devido ao volume de dados para processamento.

Os arquivos da estação Mauá estavam inicialmente em formato bruto e foi necessária sua conversão para o formato RINEX, devido esta ser uma condição para o processamento dos dados através do PPP nos aplicativos utilizados. Esta conversão se deu paralelamente ao processamento pelo método Relativo Estático com uso da função “exportar” do programa Leica Infinity. Cada arquivo bruto tinha um tamanho aproximado de 2,5Mb e cada arquivo RINEX tinha um tamanho aproximado de 3Mb.

Além dos dados de rastreamento da Estação Mauá, também foram utilizadas as efemérides precisas para todo o ano de 2016 e os dados das estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) localizadas em Curitiba (Estação UFPR), Ourinhos (OURI), Guarapuava (PRGU) e Maringá (PRMA) para o mesmo período. Porém, nem todas as estações RBMC possuem dados em todos os dias do ano de 2016, a estação de Ourinhos não possui dados de rastreamento para os dias de 03/02/2016 a 18/02/2016, dia 12/06/2016, dia 22/09/2016 e dia 10/10/2016.

Primeiramente os arquivos brutos foram organizados de forma a facilitar o processamento pelo método relativo estático. Para tal, foram criadas 12 pastas, uma para cada mês de observação. Em cada pasta foram gravados os denominados

“conjunto de arquivos de observação”, que compreendem o arquivo da estação de monitoramento mais os respectivos arquivos dos pontos das estações base da RBMC.

Esses conjuntos de dados foram colocados em pastas separadas por mês e dentro de cada uma existiam outras 6 contendo 5 conjuntos de dados. Quando o mês possuía 31 dias a última pasta continha 6 conjuntos de dados e no caso de fevereiro que possuía 29 dias a última pasta continha 4 conjuntos de dados. Cada conjunto de arquivos de observação foi composto por um arquivo da estação Mauá e um arquivo de cada estação da RBMC.

Já para os processamentos PPP, os arquivos foram separados mensalmente de forma a facilitar o *upload* dos dados nos aplicativos de processamento *on-line*. Não houve separação dos arquivos .sp3 referentes as efemérides precisas, sendo todos colocados em uma única pasta.

Os *downloads* dos dados referentes às efemérides precisas e as bases da RBMC foram realizados com uso de uma aplicação para obtenção de dados espaciais o *RBMC/IGS Data Downloader* elaborado e descrito por Nicacio; Dalazoana (2017). As efemérides precisas podem ser encontradas no site do IGS e as bases da RBMC podem ser encontradas na página do IBGE.

Para as comparações optou-se por trabalhar com dois conjuntos de dados: um diário (24h) e um horário (1h). Os dados da estação de monitoramento compreendem arquivo com 24h de processamento e cada arquivo deste foi individualmente processando, gerando assim ao final da etapa de processamento 365 conjuntos de coordenadas para a estação. Trabalhar com o arquivo com esta duração evitou a necessidade de particionar ou dividir o mesmo em períodos menores. Além disto foi utilizado como referência o tempo de rastreo estabelecido pelo IBGE (2017) para a implantação de estações de referência, no caso 24h (para posicionamento relativo estático). Esta configuração permitiu avaliar o comportamento da estação ao longo do ano.

Para as séries horárias, foram selecionados 5 dias do ano de 2016 para que fossem divididos em 24 arquivos englobando 1 hora de rastreo cada, esses dias podem ser visualizados na TABELA 4 e foram escolhidos levando em consideração a posição deles entre os dias do ano num todo. Por exemplo, o dia 01/01/2016 e o dia 31/12/2016 foram escolhidos por serem o primeiro e o último dia do ano,

respectivamente; o dia 01/07/2016 foi escolhido por estar aproximadamente no meio do ano; e os dias 01/04/2016 e 01/10/2016 foram escolhidos por estarem aproximadamente no meio entre o primeiro dia do ano e 01/07/2016 e o último dia do ano e 01/07/2016.

TABELA 4 – DIAS DE RASTREIO DIVIDIDOS EM 24 PARTES DE 1 HORA CADA

1 de janeiro de 2016
1 de abril de 2016
1 de julho de 2016
1 de outubro de 2016
31 de dezembro de 2016

FONTE: O autor (2018).

A divisão dos arquivos referentes a UHE Mauá foi feita com uso do programa TEQC, programa gratuito disponibilizado pela UNAVCO. Já a divisão dos arquivos referentes as estações de base da RBMC foram feitas dentro do próprio programa Leica Infinity automaticamente, já que o programa processa os dados a partir dos dados da base móvel e a partir dela faz o recorte temporal adequado das bases fixas.

### 3.1 PROCESSAMENTO RELATIVO ESTÁTICO

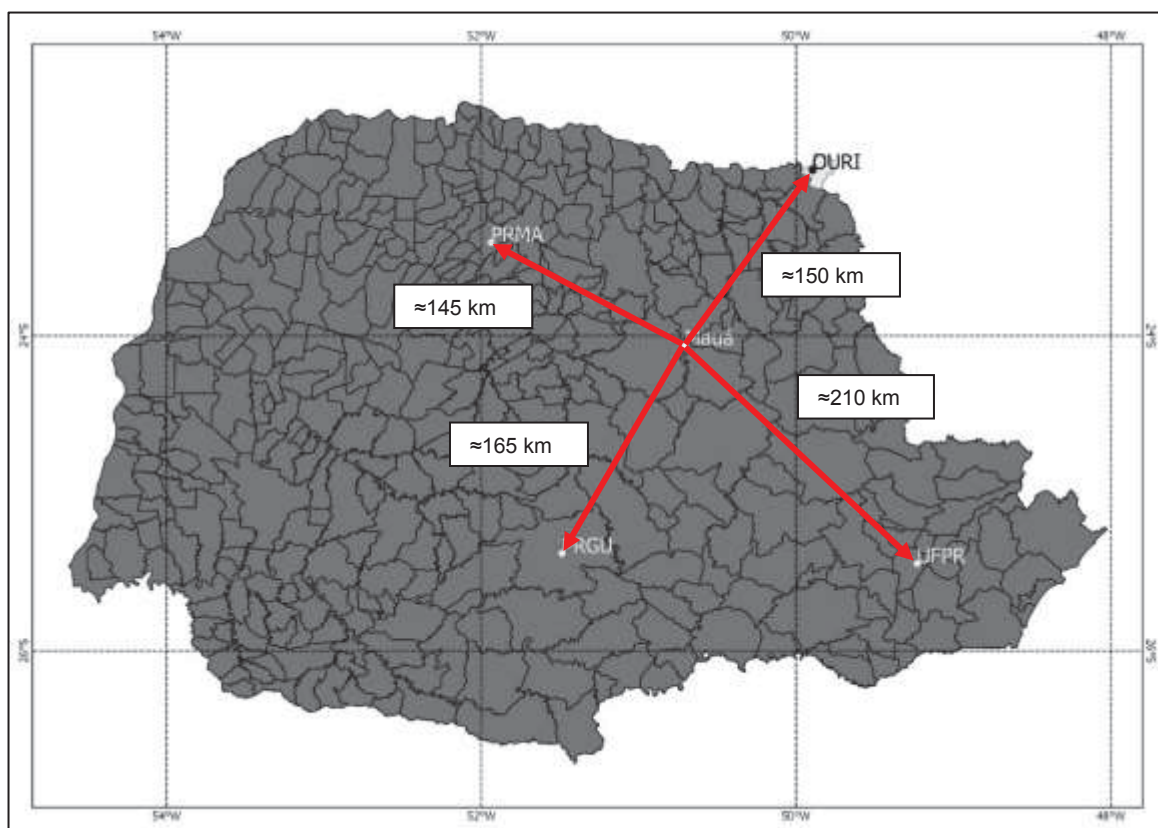
#### 3.1.1 Processamento relativo estático da série diária

Inicialmente foi selecionado um período de um ano para que fosse realizado o processamento dos dados, no caso o ano de 2016. Assim, foram separados os dados das quatro estações da RBMC que seriam utilizadas e os dados da estação Mauá referentes a este ano, além de todas as efemérides precisas relativas a esse período. As coordenadas das estações da RBMC estão originalmente em SIRGAS 2000, época 2000.4, e as coordenadas da estação Mauá em WGS84, na época do rastreo.

Foram selecionadas as estações da RBMC citadas anteriormente pois além de serem as estações mais próximas, para o processamento dos dados, elas

compõem uma geometria quadrilátera onde a estação Mauá localiza-se aproximadamente em seu centro, como pode ser visto na FIGURA 9.

FIGURA 9 - CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO



FONTE: O autor (2018).

Para o processamento relativo estático selecionou-se o programa Leica Infinity. Neste programa é necessário criar um “projeto”, onde são feitas as configurações básicas do mesmo as quais estão resumidas na TABELA 5, dentre elas é necessário definir principalmente o sistema de referência, a projeção, o elipsoide, a transformação a ser aplicada nas coordenadas e o sistema de unidades que o programa irá utilizar.

Além da transformação, percebe-se a inclusão de um modelo geoidal, no caso, o modelo geoidal do MAPGEO2015, que é o único disponibilizado pelo programa para preencher este campo.

TABELA 5 – CONFIGURAÇÕES DO PROJETO NO SOFTWARE LEICA INFINITY REFERENTES AOS MODELOS UTILIZADOS.

Sistema de coordenadas	
Nome	SIRGAS_UTM22S
Transformação	WGS84-SIRGAS
Elipsoide	GRS 1980
Projeção	UTM22S
Modelo Geoidal	MAPGEO2015_SIRGAS2000S (10)

FONTE: O autor (2018).

Após feitas as configurações do projeto foi necessário carregar no programa o conjunto de arquivos de observação a serem utilizados e configurar o processamento GNSS propriamente dito, tais configurações podem ser vistas na TABELA 6.

TABELA 6– CONFIGURAÇÕES DE PROCESSAMENTO GNSS NO PROGRAMA LEICA INFINITY.

Tipo de solução	Fase fixa
Modelo troposférico	Saastamoinen
Modelo Ionosférico	Klobuchar
Frequência	L1/E1/B1
	L2/B2
	L5/E5a
	B3/E6
	E5b
	E5ab
Fixar Ambiguidades até	500 km
Mínima duração para solução flutuante (Estático)	5'
Ângulo de corte	15°
Tipo de efemérides	Precisas
Calibração da antena	Geo++ GmbH Absoluto
Sistemas de Satélites	GPS

FONTE: O autor.

As efemérides precisas foram carregadas todas de uma só vez, de 01 de janeiro de 2016 até 31 de dezembro de 2016, com uso da função “importar” do programa, e somente após isso que foram carregados os conjuntos de dados referentes as estações Mauá e RBMC. Foram carregados 5 conjuntos de dados por vez, no entanto o processamento foi feito individualmente, cada conjunto foi processado separadamente um do outro.

Uma vez que os dados já estejam carregados no programa é necessário especificar quais estações serão usadas como base fixa (no caso as estações da RBMC) e qual será usada como base móvel (Mauá), após isso as bases fixas têm suas coordenadas, em SIRGAS2000 na época 2000.4, e suas variâncias a priori em metro, alteradas de acordo com os relatórios de cada base da RBMC disponibilizado

pelo IBGE. Também é necessário especificar qual modelo de antena foi usada para cada estação e quais os seus parâmetros, as antenas de cada estação constam na TABELA 7 e seus parâmetros foram carregados automaticamente pelo programa de acordo com cada arquivo de rastreio.

TABELA 7 – ESTAÇÕES USADAS NO PROCESSAMENTO E MODELO DE ANTENAS USADAS NO RASTREIO.

Estação de Curitiba (UFPR)	TRM55971.00
Estação de Guarapuava (PRGU)	LEIAR10
Estação de Maringá (PRMA)	TRM59800.00
Estação de Ourinhos (OURI)	TRM55971.00
Estação de Mauá (MAUA)	LEIAS10

FONTE: O autor

Foram processadas linhas de base independentes com uso dos arquivos completos do rastreio, ou seja, sem que fossem retirados quaisquer períodos de rastreio e/ou satélites de qualquer uma das estações envolvidas. O programa gera um relatório após o processamento contendo informações detalhadas sobre as linhas de base, seus desvios-padrão e sobre a fixação das ambiguidades, para cada conjunto de arquivos de observação. Como o processamento é feito com o uso de mais de uma estação base ao mesmo tempo (4 estações base para 1 estação móvel) este relatório contém além dos detalhes dos parâmetros de processamento e dos detalhes do projeto, os resultados obtidos para cada linha de base.

Após o processamento das linhas de base, pode ser realizado o ajustamento, cujas configurações podem ser visualizadas na TABELA 8.

TABELA 8 – CONFIGURAÇÕES USADAS NO PROCESSO DE AJUSTAMENTO.

Controles	Restrito
Máximo de iterações	3
Critério de iteração	0,0001
Elipses de erro absolutas	100
Elipses de erro relativo	100
Confiabilidade	100
Limite	0,0001
Alpha	Nível de significância de 5%
1-Beta	Potência do teste de 80%
Sigma a posteriori	Usar
Uso das observações reduzidas	Não
Sistema de coordenadas	WGS84

FONTE: O autor (2018).

Após o ajustamento é gerado um relatório que é salvo em formato PDF e contém todas as informações sobre o ajustamento, configurações, observações e coordenadas ajustadas. No entanto o ajustamento correto da rede só pode ser feito após fixar-se as coordenadas das bases da RBMC no programa.

Todos os resultados obtidos no processamento GNSS e no Ajustamentos das observações estão no mesmo formato das coordenadas de entrada das estações base, ou seja, em SIRGAS 2000, época 2000,4.

### 3.1.2 Processamento relativo estático das séries horárias

Após os dias representados na TABELA 4 terem sido selecionados, os dados da Estação Mauá referentes a eles foram separados em 24 partes cada, sendo que cada parte possuía o equivalente a 1 hora de rastreo.

Então são carregados no programa Leica Infinity as 24 partes referentes a um dia, juntamente com os arquivos integrais das bases da RBMC e os arquivos .sp3 das efemérides precisas. Com todos os arquivos carregados, são processadas e

ajustadas separadamente cada uma das 24 partes dos arquivos e esse procedimento é repetido para todos os 5 dias escolhidos.

### 3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS GNSS ATRAVÉS DA TÉCNICA PPP

O processamento das observações GNSS da estação Mauá empregando a técnica de PPP foi realizado com auxílio dos aplicativos *on-line* disponibilizados pelo IBGE e pelo CSRS. Para este método de processamento foram processadas as mesmas séries de dados descritas anteriormente (serie diária e horária) utilizando os gerar os arquivos no formato RINEX, visto que a entrada das observações nos programas empregados é neste formato. Esta transformação foi realizada com o programa Leica Infinity logo que os arquivos eram carregados para o processamento descrito no item 3.1.

#### 3.2.1 Processamento pelo aplicativo *on-line* do IBGE

O processamento empregando o aplicativo *on-line* do IBGE é simples e não requer muitas configurações. O processamento PPP pelo aplicativo disponibilizado pelo IBGE foi configurado de acordo com a TABELA 9.

TABELA 9 - CONFIGURAÇÕES USADAS NO PPP-IBGE.

Modo de processamento	Estático
Tipo de antena	Não alterar RINEX
Altura da antena (m)	0,000

FONTE: O autor (2018).

O aplicativo permitia que fosse enviado apenas um arquivo com os dados das observações por vez e decorridos alguns segundos do envio, o processamento era concluído e era gerado um link para download de um arquivo compactado contendo os seguintes arquivos:

- Arquivo em formato GoogleEarth (.kml)
- Relatório contendo o resumo do processamento e as coordenadas geodésicas finais (e em coordenadas UTM no fuso 22S) do processamento em latitude, longitude e altitude geométrica em Sirgas 2000 na época 2000.4 e na época do rastreio.
- Arquivo de pós processamento contendo informações de todos os pontos coletados pelo receptor
- Arquivo de posição ao longo do tempo (.pos);
- Arquivo texto (.txt) explicando a função de cada um dos outros arquivos.

### 3.3 PROCESSAMENTO PPP – CSRS

No aplicativo *on-line* de processamento PPP gerenciado pelo NRCan (Natural Resources Canadá), denominado de CSRS-PPP, é necessário a realização de um cadastro para que possam ser efetuados os processamentos.

Neste processamento, deve-se indicar o sistema de referência a ser usado, no caso ITRF, que irá fazer com que os dados processados retornem com coordenadas da época em que eles foram coletados; e especificar o datum vertical, antes de submeter o arquivo ao processamento. As configurações resumidas podem ser visualizadas na TABELA 10.

TABELA 10 - CONFIGURAÇÕES USADAS NO CSRS.

<i>Processing mode</i>	<i>Static</i>
	ITRF
<i>Vertical Datum</i>	CGVD2013
<i>Officialmarkerstationname</i>	Opção não disponível quando o processamento foi realizado
<i>OTL File</i>	Não utilizado

FONTE: O autor (2018).

Após o arquivo ser processado um e-mail é recebido no endereço cadastrado juntamente a um arquivo compactado contendo:

- Arquivo de pós processamento contendo informações de todos os pontos coletados pelo receptor
- Arquivo de posição ao longo do tempo
- Tabela contendo as coordenadas de todos os rastreios feitos pelo receptor (um rastreo a cada 15 segundos durante toda a extensão de tempo do arquivo)
- Relatório em PDF, contendo as coordenadas geodésicas finais do processamento em ITRF08, na época do rastreo.

### 3.4 TRANSFORMAÇÃO E REDUÇÃO DE COORDENADAS

A comparação entre as coordenadas e a determinação dos deslocamentos relativos implica em que todos os pontos calculados estejam no mesmo sistema de referência e época.

No processamento relativo estático, as coordenadas obtidas estão em ITRF2000 época 2000,4 (para facilitar a leitura será utilizada a representação por  $ITRF2000_{2000,4}$ ). Para o processamento PPP-IBGE as coordenadas são apresentadas em  $ITRF2000_{2000,4}$  e  $ITRF2000_{2016,n}$ , onde n é data do rastreo. Já no caso do PPP-CSRS as coordenadas são apresentadas em  $ITRF2008_{2016,n}$  apenas, onde n é data do rastreo.

Para a realização das análises e comparações as coordenadas dos pontos (que estavam em formato de coordenadas geodésicas elipsoidais) foram transformadas, através de cálculos computadorizados, para coordenadas geodésicas cartesianas, através das fórmulas apresentadas nas equações (4) e (5) descritas no item 2.3.3 e com o uso dos parâmetros do elipsoide GRS80, descritos no item 2.2.1.

Em seguida as coordenadas resultantes do processamento PPP-CSRS foram transformadas do ITRF2008 para o ITRF2000 com uso das equações (15) e (16), descritas no item 2.4.3 e posteriormente reduzidas a época 2016,0. As coordenadas

obtidas através do processamento relativo estático que estavam inicialmente no  $ITRF2000_{2000.4}$  foram reduzidas para a época do rastreo ( $ITRF2000_{2016.n}$ ) e para a época  $ITRF2000_{2016.0}$ . A FIGURA 10 mostra o fluxograma de cálculos desenvolvidos para todas as coordenadas processadas, por todos os métodos desde o processamento dos dados até a obtenção das coordenadas finais em  $ITRF2000_{2016.n}$ , em  $ITRF2000_{2016.0}$ .

FIGURA 10 - FLUXOGRAMA DE PROCESSAMENTO



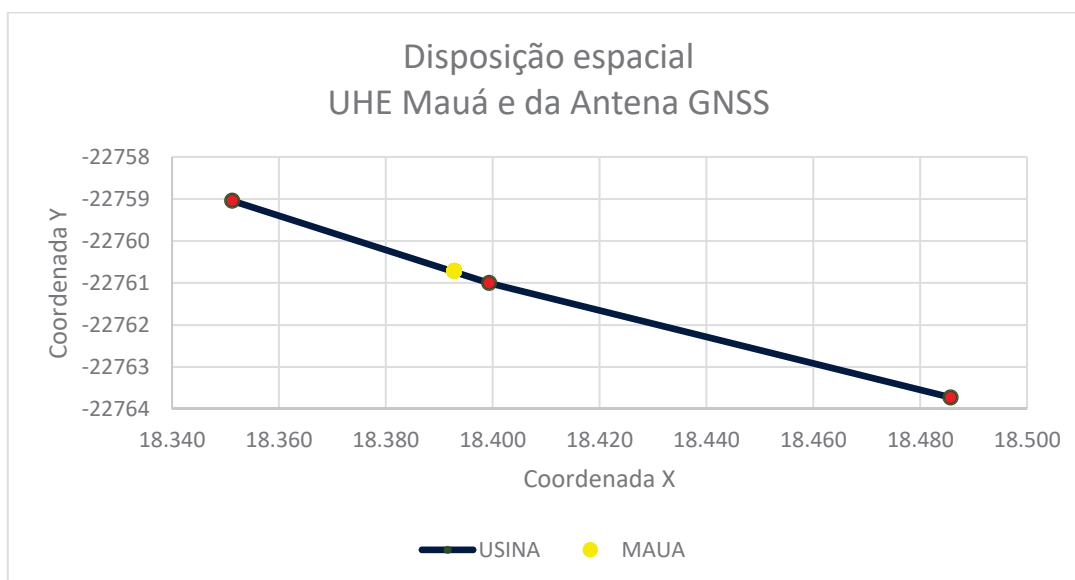
FONTE: O Autor.

Na FIGURA 11 é possível visualizar o fluxograma de procedimentos envolvidos para transformar e comparar as coordenadas no sistema local da Usina de Mauá.

Para que pudessem ser comparadas a posição da usina com o ponto rastreado e suas variações no decorrer do tempo, foram usados 3 pontos com coordenadas aproximadas localizados na extensão da UHE Mauá. Com esses três pontos, um em cada extremidade da barragem e um no decorrer dela, traçou-se um croqui da usina e do ponto rastreado.

O GRÁFICO 1 representa aproximadamente a posição da antena de rastreo GNSS na UHE Mauá com coordenadas no SGCL.

GRÁFICO 1 - REPRESENTAÇÃO APROXIMADA DA POSIÇÃO DA UHE MAUÁ E DA ANTENA GNSS



FONTE: O Autor.

FIGURA 11 - FLUXOGRAMA DE TRANSFORMAÇÃO PARA O REFERENCIAL LOCAL



FONTE: O Autor.

### 3.4.1 Transformação para ITRF2000

Foi necessária a aplicação da transformação para o ITRF2000 apenas para os resultados obtidos a partir do processamento pelo método PPP-CSRS, cujas coordenadas são obtidas originalmente em  $ITRF2008_{2016.n}$ . Como dito anteriormente,

para tal transformação foram utilizadas as equações descritas (15) e (16) pelo IERS com uso dos parâmetros de transformação entre ITRF2008 e ITRF2000, descritos pelo IERS (2018) e presentes na TABELA 11.

TABELA 11 – PARAMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DO ITRF2008 ORIGINAIS PARA O ITRF2000 NA ÉPOCA 2010.0

Sistema original	T <sub>x</sub> (mm)	T <sub>y</sub> (mm)	T <sub>z</sub> (mm)	D(ppb)	R <sub>x</sub> (mm)	R <sub>y</sub> (mm)	R <sub>z</sub> (mm)
ITRF2008	-1,9	-1,7	-10,5	1,34	0,00	0,00	0,00

FONTE: IGN (2018).

Esses parâmetros poderiam ser aplicados nas transformações de Helmert dos 7(14) e dos 14 parâmetros (12) e/ou as fórmulas do IERS (15) e (16), descritas no 2.4.3, sem prejuízo na qualidade das coordenadas. Por conta disto e da facilidade de implementação a fórmula do IERS foi a escolhida para realizar as transformações neste trabalho.

Para tal, é necessário que se atualizem os parâmetros de transformação apresentados na TABELA 11 (que estão na época 2010.0), de acordo com suas variações temporais, também disponíveis no site do IERS (2018) e explicitados na TABELA 12.

TABELA 12 – VARIAÇÕES TEMPORAIS NOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO

Sistema original	$\dot{T}_X$ (mm)	$\dot{T}_Y$ (mm)	$\dot{T}_Z$ (mm)	$\dot{D}$ (ppb)	$\dot{R}_X$ (mm)	$\dot{R}_Y$ (mm)	$\dot{R}_Z$ (mm)
ITRF08	0,1	0,1	-1,8	0,08	0,00	0,00	0,00

FONTE: IGN (2018).

Essas variações temporais são aplicadas na equação (16), descritas no item 2.4.3 para todos os parâmetros e variações temporais não-nulos, conforme as equações (35), (36), (37) e (38), para que se obtenham os valores vistos na TABELA 13.

$$T_{X_{2016}} = T_{X_{2010}} + \dot{T}_X(2016 - 2010) \quad (35)$$

$$T_{Y_{2016}} = T_{Y_{2010}} + \dot{T}_Y(2016 - 2010) \quad (36)$$

$$T_{Z_{2016}} = T_{Z_{2010}} + \dot{T}_Z(2016 - 2010) \quad (37)$$

$$D_{2016} = D_{2010} + \dot{D}(2016 - 2010) \quad (38)$$

TABELA 13 - PARAMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DO ITRF08 ORIGINAL PARA O ITRF2000 NA ÉPOCA 2016.0

Sistema original	Tx(mm)	Ty(mm)	Tz(mm)	D(ppb)	Rx(mm)	Ry(mm)	Rz(mm)
ITRF08	-0,3	-0,1	-39,3	0,2	0,00	0,00	0,00

FONTE: O Autor.

Os valores da TABELA 13 são usados na equação (39), que é idêntica a equação (15), descrita no item 2.4.3, a não ser pelo fato do parâmetro “ $\varepsilon$ ” agora ser representado por “R”.

$$\vec{X}_{ITRFzz} = \vec{X}_{ITRFyy} + \vec{T} + \begin{bmatrix} s & R_z & -R_y \\ -R_z & s & R_x \\ R_y & -R_x & s \end{bmatrix} \vec{X}_{ITRFyy} \quad (39)$$

A partir da equação (39) pode-se obter as formas linearizadas para obtenção de X, Y e Z nas equações (40), (41) e (42).

$$X_{ITRF2000} = X_{ITRF2008} + T_x + [DX_{ITRF2008} + (-R_z Y_{ITRF2008}) + R_y Z_{ITRF2008}] \quad (40)$$

$$Y_{ITRF2000} = Y_{ITRF2008} + T_y + [R_z X_{ITRF2008} + DY_{ITRF2008} + (-R_x Z_{ITRF2008})] \quad (41)$$

$$Z_{ITRF2000} = Z_{ITRF2008} + T_z + [(-R_y X_{ITRF2008}) + R_x Y_{ITRF2008} + DZ_{ITRF2008}] \quad (42)$$

E se são substituídos nessas equações os valores nulos para Rx, Ry e Rz, obtém as equações (46), (47) e (48), a partir de (43), (44) e (45).

$$X_{ITRF2000} = X_{ITRF2008} + T_x + [DX_{ITRF2008} + (0 \times Y_{ITRF2008}) + 0 \times Z_{ITRF2008}] \quad (43)$$

$$Y_{ITRF2000} = Y_{ITRF2008} + T_y + [0 \times X_{ITRF2008} + DY_{ITRF2008} + (0 \times Z_{ITRF2008})] \quad (44)$$

$$Z_{ITRF2000} = Z_{ITRF2008} + T_z + [(0 \times X_{ITRF2008}) + 0 \times Y_{ITRF2008} + DZ_{ITRF2008}] \quad (45)$$

$$X_{ITRF2000} = X_{ITRF2008} + T_x + [DX_{ITRF2008}] \quad (46)$$

$$Y_{ITRF2000} = Y_{ITRF2008} + T_y + [DY_{ITRF2008}] \quad (47)$$

$$Z_{ITRF2000} = Z_{ITRF2008} + T_z + [DZ_{ITRF2008}] \quad (48)$$

### 3.4.2 Redução das coordenadas para a época 2016.n e 2016.0

A obtenção das velocidades utilizadas para a redução de coordenadas foi feita com uso de um aplicativo *on-line* desenvolvido por Prol et al. (2014) e disponibilizado pela UNESP, o TREVel (Transformação entre Referenciais e cálculo de Velocidades), que além do cálculo das velocidades de um ponto também realiza transformações entre os ITRF2000, ITRF2005 e ITRF2008. Para que o aplicativo em questão realize o cálculo das velocidades é necessário que se forneçam coordenadas em ITRF2005 e então se selecione a época inicial das coordenadas e a época para a qual as coordenadas seriam reduzidas. Sendo assim as coordenadas obtidas para o dia 1 de janeiro de 2016, com uso do método relativo estático, foram transformadas do sistema ITRF2000 para o ITRF2005. Tal transformação foi feita com uso do próprio aplicativo e com cálculos realizados de forma independente para conferência dos resultados, e comparação pode ser vista na TABELA 14, onde é possível visualizar as coordenadas em  $ITRF2005_{2016.0}$  feitas pelo TREVel e pelos cálculos independentes, juntamente com as diferenças entre elas. As coordenadas em ITRF2005 foram então inseridas no TREVel tendo como época inicial o dia 1 de janeiro de 2016 e a época final como 31 de dezembro do mesmo ano. As velocidades obtidas pelo TREVel podem ser vistas

na 15, sendo que optou-se pela apresentação dos resultados com todas as casas decimais obtidas no cálculo, apenas para fins de comparação.

TABELA 14 - COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS OBTIDAS PELO TREVEL E POR CALCULOS INDEPENDENTES.

	TREVel (m)	Excel (m)	Diferenças (m)
X	3804615,0153	3804615,0153	-0,000001
Y	-4421945,1739	-4421945,1739	-0,00000005
Z	-2572066,1616	-2572066,1616	0,000002

FONTE: TREVel (2018) e Autor (2018).

TABELA 15 - VELOCIDADES UTILIZADAS NAS REDUÇÕES DE COORDENADAS

Vx (m/ano)	0,0094
Vy (m/ano)	-0,00556
Vz (m/ano)	0,01100

FONTE: TREVel (Janeiro de 2018).

O TREVel tem como base o modelo de velocidades do SIRGAS, em sua realização de 2009, o VEMOS2009. Apesar de existir um modelo mais recente, o VEMOS2015, optou-se neste trabalho pelo modelo de 2009 pois o modelo mais recente foi feito após os terremotos ocorridos no Chile e no México em 2010 e segundo o site SIRGAS do ele é válido apenas para períodos entre 2010 e 2015, além de que a região na qual se localiza o ponto estudado fica suficientemente distante das regiões afetadas pelos terremotos, não gerando assim interferência significativa nos valores das velocidades utilizadas.

Após obtidas as velocidades do ponto para as coordenadas X, Y, Z, esses valores foram divididos pelo número de dias do ano de 2016 e esse valor foi aplicados a todas as coordenadas obtidas por todos os métodos. As coordenadas obtidas pelos métodos PPP (em  $ITRF2000_{2016.n}$ ) foram reduzidas com uso de uma forma adaptada da equação (16), a equação (49) pois, a variação de tempo referente a redução das coordenadas da época do levantamento (2016.n) para a época 2016.0 é de no máximo 1 ano (366 dias em 2016).

$$\vec{X}_t = \vec{X}_{t_0} + \left( \frac{\vec{V}(t - t_0)}{366} \right) Dia_{ano} \quad (49)$$

Onde  $\vec{X}_t$  é o vetor de coordenadas reduzidas;  $\vec{X}_{t_0}$  é o vetor de coordenadas na época original (época do levantamento);  $\vec{V}$  é o vetor das velocidades, com  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  explicitados na TABELA 11;  $(t - t_0)$  é a variação temporal em anos; e  $Dia_{ano}$  é dia do ano contado em números corridos de 1 a 366.

Já as coordenadas obtidas pelo método relativo estático (em  $ITRF2000_{2000.4}$ ) foram reduzidas até a época 2016.0, com uso da equação (16) e posteriormente passadas para 2016.n com uso da equação (49).

### 3.4.3 Transformação das coordenadas para o referencial local

As coordenadas obtidas também foram transformadas para o referencial local da usina com uso de uma versão adaptada do programa descrito por CRUZ (2015), “Sistema para Monitoramento de Barragem – UHE Mauá”. Tal transformação é realizada pois segundo CRUZ (2015, p. 90) a transformação de coordenadas para um sistema referencial local, com um dos eixos coincidindo com o alinhamento da barragem torna mais clara a verificação de deslocamentos.

O programa em questão foi alterado para que pudesse processar mais do que apenas 5 conjuntos de coordenadas em WGS84 por vez e para que ao final do processamento fosse gerado um arquivo .txt com os resultados.

## 3.5 COMPARAÇÕES ENTRE AS COORDENADAS

As comparações trabalhadas nesta dissertação foram:

1. Comparação entre as coordenadas  $ITRF2000_{2016.0}$  e  $ITRF2000_{2016.n}$  do método relativo estático, para a série:
  - Diária

2. Comparação entre as coordenadas absolutas em *ITRF2000*<sub>2016.n</sub> do método relativo estático e dos posicionamentos PPP, para séries:
  - Diárias
  - Horárias
  
3. Comparação entre os deslocamentos absolutos em *ITRF2000*<sub>2016.n</sub> do posicionamento Relativo Estático e os métodos PPP, para séries:
  - Diárias
  - Horárias
  
4. Comparação entre as coordenadas absolutas no sistema geodésico local da usina para o método relativo estático e do posicionamento PPP, para séries:
  - Diárias
  - Horárias
  
5. Comparação entre os deslocamentos absolutos no sistema geodésico local da usina para o método relativo estático e do posicionamento PPP, para séries:
  - Diárias
  - Horárias

### 3.6 PROCESSAMENTO COM A ANTENA LEIAT504

Acatando sugestão dos membros da banca na defesa da presente dissertação, realizou-se processamento e ajustamento dos dados nos primeiros quinze dias do ano (dias 1 a 15), no meio do ano (24 de junho a 8 de julho - dias 176 a 190) e no final do ano (17 a 31 de dezembro - dias 352 a 366) com a antena LEIAT504, que é o modelo de antena realmente instalada na estação Mauá, visando comparação com os dados processados com a antena LEIAS10, modelo informado nos arquivos brutos dos rastreios.

Realizou-se para estes dados os mesmos procedimentos já descritos anteriormente para os dados oriundos do processamento com a antena LEIAS10 e os resultados são apresentados no item 4.7.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após os processamentos foram geradas tabelas no programa contendo as seguintes informações:

Coordenadas Geodésicas  $\varphi$ ,  $\lambda$ , H no sistema WGS84 (época 2016.n) oriundas do processamento relativo estático; coordenadas geodésicas  $\varphi$ ,  $\lambda$ , H no sistema SIRGAS2000 (época 2016.n) oriundas do processamento PPP do IBGE; coordenadas geodésicas  $\varphi$ ,  $\lambda$ , H no sistema ITRF08 (época 2016.n) oriundas do processamento PPP disponibilizado pelo NRCan; coordenadas cartesianas geodésicas X,Y,Z no sistema ITRF2000 época 2016.n e época 2016.0 (equivalente ao WGS84) transformadas a partir das coordenadas obtidas com o método relativo estático; coordenadas cartesianas geodésicas X,Y,Z no sistema ITRF2000 época 2016.n (equivalente ao SIRGAS2000) transformadas a partir das coordenadas obtidas com o método PPP do IBGE; coordenadas cartesianas geodésicas X,Y,Z no sistema ITRF2000 época 2016.n transformadas a partir das coordenadas obtidas com o método CSRS-PPP disponibilizado pelo NRCan; coordenadas cartesianas geodésicas X,Y,Z no sistema local da usina época 2016.n transformadas a partir das coordenadas oriundas dos três métodos de processamento; deslocamentos calculados a partir das coordenadas geodésicas cartesianas X,Y,Z no sistema  $ITRF2000_{2016.n}$  e das coordenadas no sistema local da usina oriundas do processamento relativo estático, do processamento PPP-IBGE e do processamento PPP-CSRS; diferenças entre os valores absolutos das coordenadas obtidas a partir dos três métodos de processamento no sistema  $ITRF2000_{2016.n}$  e das coordenadas no sistema local da usina; e diferenças entre os deslocamentos obtidos a partir dos três métodos de processamento no sistema  $ITRF2000_{2016.n}$  e das coordenadas no sistema local da usina.

A TABELA 16 mostra uma pequena parte da planilha mencionada acima, no caso apenas as primeiras linhas das colunas referentes as coordenadas transformadas em  $ITRF2000_{2016.n}$  e  $ITRF2000_{2016.0}$  oriundas do processamento relativo estático.

TABELA 16 – PARTE DA PLANILHA UTILIZADA PARA OS CÁLCULOS. MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO

ITRF2000 (2016.n)			ITRF2000 (2016.0)		
X	Y	Z	X	Y	Z
3690449,629	-4510214,238	-2585018,009	3690449,629	-4510214,238	-2585018,0092
3690449,628	-4510214,237	-2585018,254	3690449,628	-4510214,237	-2585018,2547
3690449,666	-4510214,288	-2585018,296	3690449,666	-4510214,288	-2585018,2963
3690449,620	-4510214,223	-2585018,271	3690449,620	-4510214,223	-2585018,2711
3690449,656	-4510214,257	-2585018,282	3690449,656	-4510214,257	-2585018,2827
3690449,676	-4510214,308	-2585018,309	3690449,676	-4510214,308	-2585018,3092
3690449,670	-4510214,261	-2585018,274	3690449,670	-4510214,261	-2585018,2743
3690449,648	-4510214,257	-2585018,280	3690449,648	-4510214,257	-2585018,2801
3690449,646	-4510214,258	-2585018,277	3690449,646	-4510214,259	-2585018,2767
3690449,637	-4510214,244	-2585018,272	3690449,637	-4510214,244	-2585018,2725
3690449,631	-4510214,236	-2585018,268	3690449,631	-4510214,237	-2585018,2683

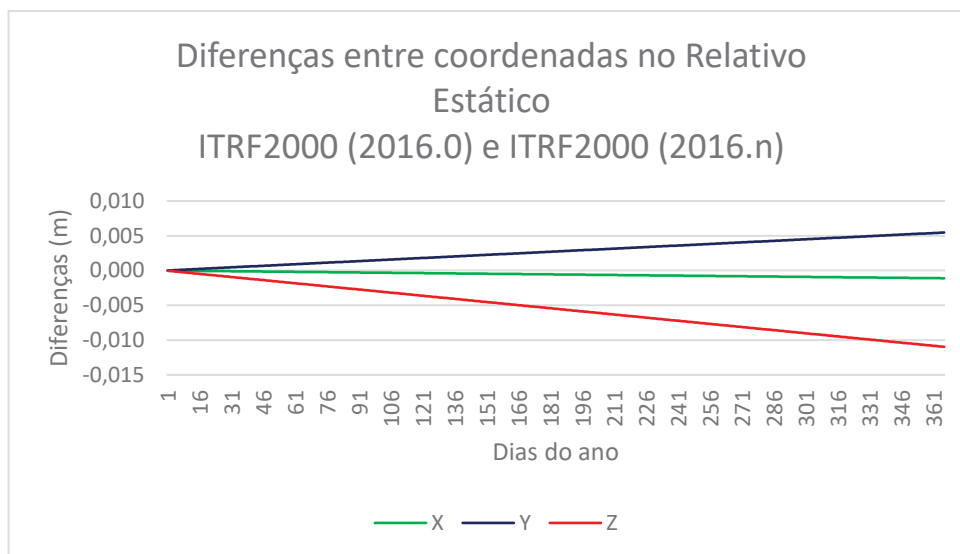
FONTE: O autor.

#### 4.1 COMPARAÇÃO ENTRE AS ÉPOCAS 2016.n E 2016.0

Esta comparação tem por objetivo explicitar as diferenças crescentes entre as coordenadas reduzidas a uma mesma época de referência, no caso 2016.0, e as coordenadas na época do rastreo, 2016.n, empregando-se os resultados do processamento relativo estático.

No GRÁFICO 2 é possível visualizar a evolução das diferenças entre as coordenadas na época 2016.0 e 2016.n a partir do primeiro dia de rastreo e evoluindo até o final do mesmo ano. Tais diferenças são próximas a zero no início do período analisado e crescem no decorrer do ano devido a compensação feita nos cálculos de redução de coordenadas, chegando a 1mm na componente X, 5mm na componente Y e 10mm na componente Z.

GRÁFICO 2 – DIFERENÇAS ENTRE COORDENADAS NAS ÉPOCAS 2016.N E 2016.0



FONTE: O Autor.

TABELA 17 – COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS NO INÍCIO E NO FINAL DO PERÍODO ANALISADO, PARA A ÉPOCA 2016.N, JUNTAMENTE COM AS DIFERENÇAS ENTRE ELAS.

ITRF2000 Época 2016.n			
	X (m)	Y (m)	Z (m)
01/01/2016	3804615,01862	-4421945,18054	-2572066,20059
31/12/2016	3804615,01472	-4421945,18018	-2572066,17614
Diferença entre 01/01 e 31/12	0,00390	-0,00036	-0,02444

FONTE: O Autor.

TABELA 18 – COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS NO INÍCIO E NO FINAL DO PERÍODO ANALISADO, PARA A ÉPOCA 2016.0, JUNTAMENTO COM AS DIFERENÇAS ENTRE ELAS.

ITRF2000 Época 2016.0			
	X (m)	Y (m)	Z (m)
01/01/2016	3804615,01862	-4421945,18056	-2572066,20056
31/12/2016	3804615,01583	-4421945,18565	-2572066,16517
Diferença entre 01/01 e 31/12	0,00279	0,00508	-0,03538

FONTE: O Autor.

TABELA 19 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DIFERENÇAS DAS COORDENADAS DO DIA 01/01 COM O DIA 31/12 NAS ÉPOCAS 2016.N E 2016.0.

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Diferenças na época 2016.n	3,90197663	-0,36663003	-24,44833564
Diferenças na época 2016.0	2,79500941	5,08842524	-35,38836306

FONTE: O Autor.

Analisando o GRÁFICO 2, a TABELA 17, a TABELA 18 e TABELA 19 nota-se que as diferenças entre as coordenadas do primeiro e do último dia do período analisado tem diferenças significativas apenas na coordenada Z, com amplitude aproximada de 10,9mm.

TABELA 20 – VALORES MÁXIMO E MÍNIMOS PARA AS DIFERENÇAS

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Maior Diferença	1,11000	5,47000	10,97000
Menor Diferença	0,00303	0,01494	0,02997

FONTE: O Autor.

Ao analisarmos as maiores e menores diferenças absolutas entre as coordenadas nas épocas 2016.n e 2016.0, presentes na TABELA 20, percebemos

que as maiores diferenças são exatamente os valores das velocidades em mm/ano aplicadas na transformação.

Porém, ao realizar um teste estatístico de hipóteses, descrito no item 2.9, percebemos a condição necessária para que as coordenadas possam ser consideradas iguais, foi satisfeita em 100% das vezes.

Com esses resultados demonstrando que as coordenadas reduzidas e não reduzidas para a época 2016.n podem ser consideradas equivalentes, optou-se neste trabalho pelo uso das coordenadas não reduzidas para todos os demais testes e comparações a serem feitos a seguir.

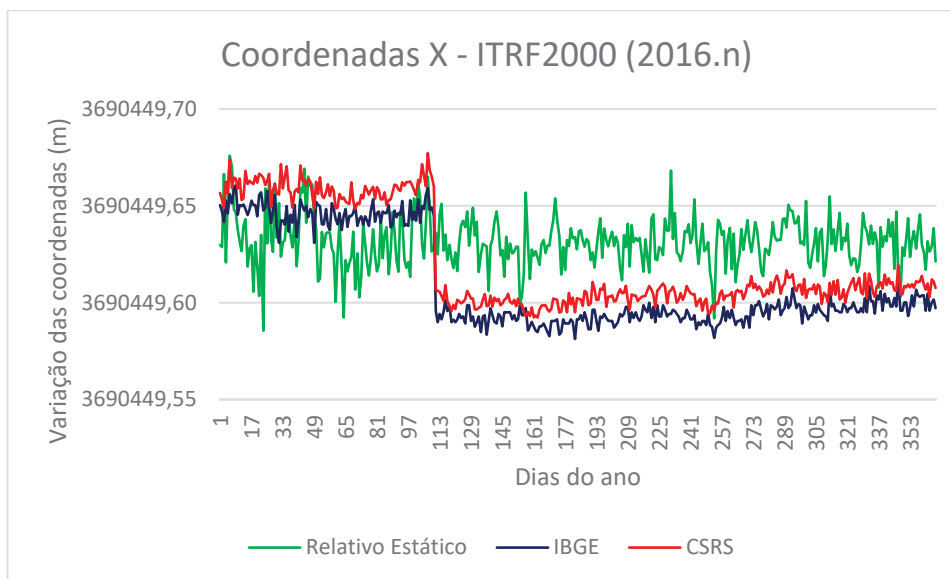
## 4.2 COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS ABSOLUTAS NO ITRF2000

### 4.2.1 Séries diárias

O GRÁFICO 3, o GRÁFICO 4 e o GRÁFICO 5 abaixo explicitam o comportamento das coordenadas absolutas X, Y e Z respectivamente para todo o período de rastreamento para os três métodos de processamento. Neles é possível perceber que as linhas representando os dados obtidos a partir de processamentos PPP variam menos de 5cm entre si e seus comportamentos diferem dos comportamentos apresentados pelas linhas que representam os dados obtidos via processamento relativo estático. O comportamento dos resultados do método relativo estático mostra-se regular em toda a sua extensão, sem mudanças fora de seu padrão. Porém, o mesmo não pode ser dito das linhas representando os dois processamentos pelo método PPP que apresentam, em todos os três gráficos, um “salto” nas coordenadas, tal salto ocorre a partir das coordenadas do dia 20 de abril. Até o término deste trabalho não foi possível identificar o que ocasionou este salto, mas para avaliar a sua influência nos resultados foram calculadas as diferenças entre as médias das coordenadas de 1 de janeiro a 19 de abril e as médias das coordenadas de 20 de abril a 31 de dezembro e as diferenças entre as coordenadas entre os dias onde o salto nos valores do processamento foram encontrados: dia 19 e 20 de abril,

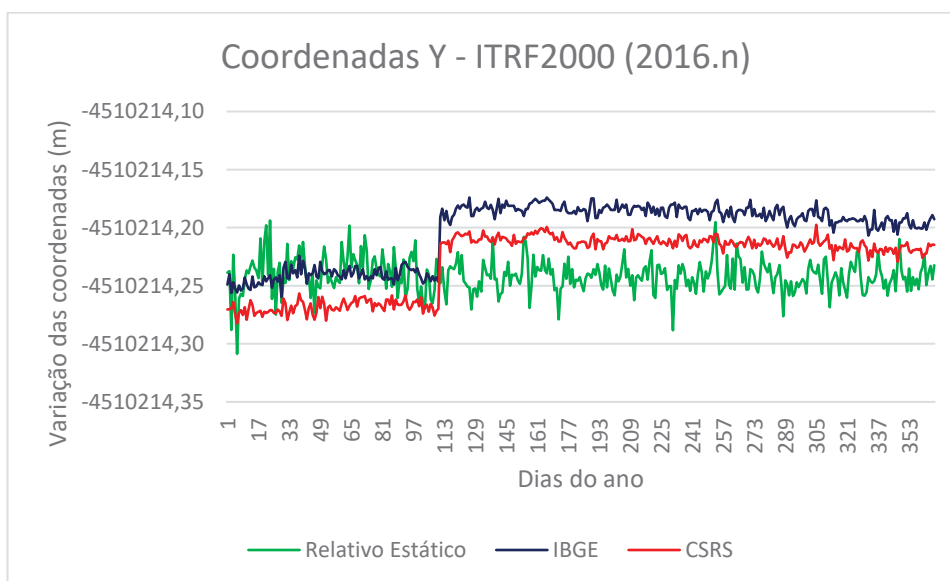
Tais diferenças são explicitadas nas TABELA 21 e na TABELA 22.

GRÁFICO 3 – COMPORTAMENTOS DAS COMPONENTES CARTESIANAS X



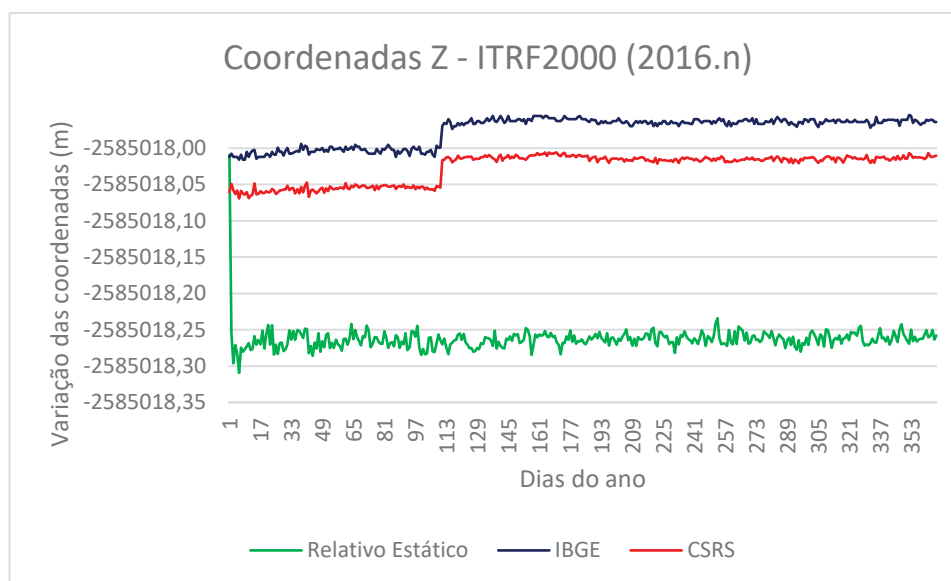
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 4 – COMPORTAMENTOS DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 5 – COMPORTAMENTOS DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z



FONTE: O Autor.

TABELA 21 – TABELA MOSTRANDO AS MÉDIAS ANTES E DEPOIS DO DIA 20 DE ABRIL

		X (m)	Y (m)	Z (m)
IBGE	Antes de 20/04/2016	3804614,9773	-4421945,0217	-2572066,5558
	Depois 20/04/2016	3804614,9294	-4421944,9569	-2572066,5281
	Diferença	0,0478	-0,0648	-0,0277
NRCan	Antes de 20/04/2016	3804615,0007	-4421945,0390	-2572066,6081
	Depois 20/04/2016	3804614,9523	-4421944,9715	-2572066,5789
	Diferença	0,0484	-0,0675	-0,0292

FONTE: O Autor.

TABELA 22 – DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS DO DIA 19/04 E 20/04

		X (m)	Y (m)	Z (m)
IBGE	Dia 19/04/2016	3804614,9796	-4421945,0180	-2572066,5617
	Dia 20/04/2016	3804614,9349	-4421944,9616	-2572066,5264
	Diferença	0,0447	-0,0563	-0,0352
NRCan	Dia 19/04/2016	3804615,0012	-4421945,0392	-2572066,6110
	Dia 20/04/2016	3804614,9534	-4421944,9750	-2572066,5789
	Diferença	0,0477	-0,0642	-0,0320

FONTE: O Autor.

Para complementar a análise dos resultados obtidos foram realizados os mesmos testes estatísticos apresentados no item 4.1. Este teste de hipóteses serviu para saber se os dados obtidos podem ser considerados iguais com um nível de significância de 95%. Os testes foram feitos entre o método relativo estático e o método PPP-IBGE e PPP-NRCan além de também ser feito entre os dois métodos PPP, IBGE e NRCan.

Os resultados dos testes podem ser vistos na TABELA 23.

TABELA 23 – PORCENTAGEM DE REJEIÇÃO NO TESTE DE HIPÓTESES

	R.Estático x IBGE	R.Estático x NRCan	IBGE x NRCan
X	79,5%	78,96%	94,26%
Y	76,77%	74,04%	99,45%
Z	99,72%	99,72%	99,72%

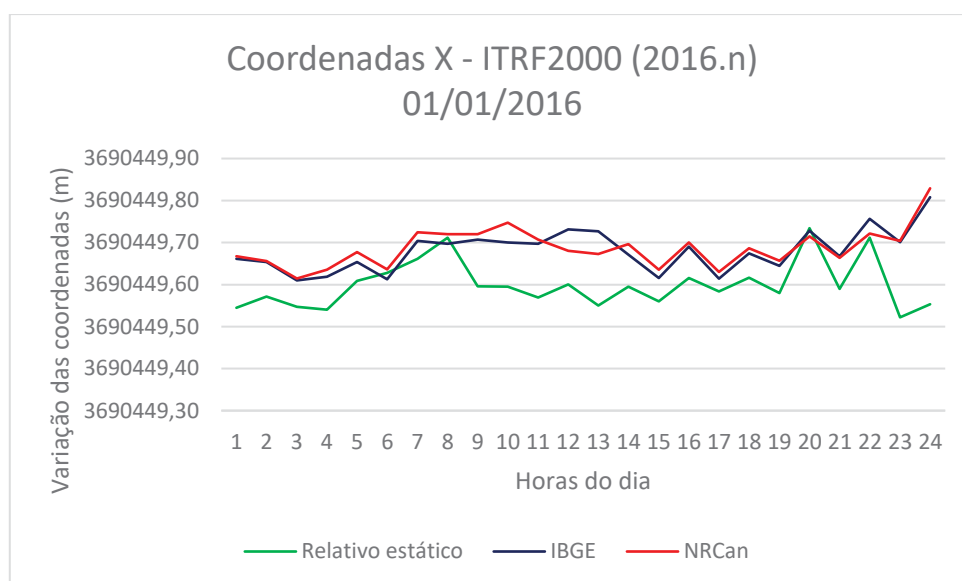
FONTE: O Autor.

A tabela acima explicita que a maioria dos testes de hipótese realizados com nível de significância de 95% foram rejeitados, ou seja, que os resultados obtidos, em sua maioria, não podem ser considerados iguais.

#### 4.2.2 Séries horárias

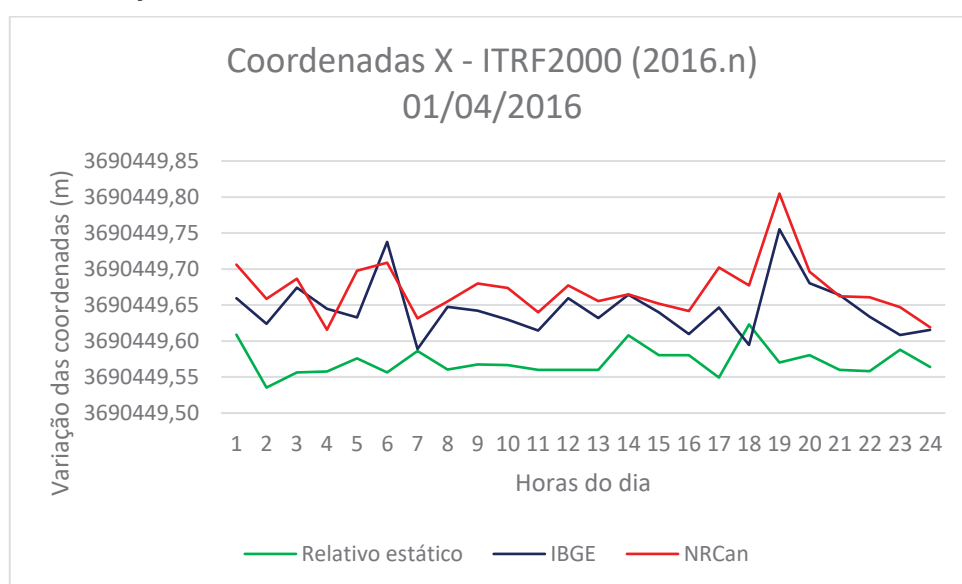
O GRÁFICO 6, o GRÁFICO 7, o GRÁFICO 8, o GRÁFICO 9, e o GRÁFICO 10 mostram a variação das coordenadas X para as datas nas quais foram realizados os processamentos horários, dias 01/01, 01/04, 01/07, 01/10 e 31/12 respectivamente.

GRÁFICO 6 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 01 DE JANEIRO



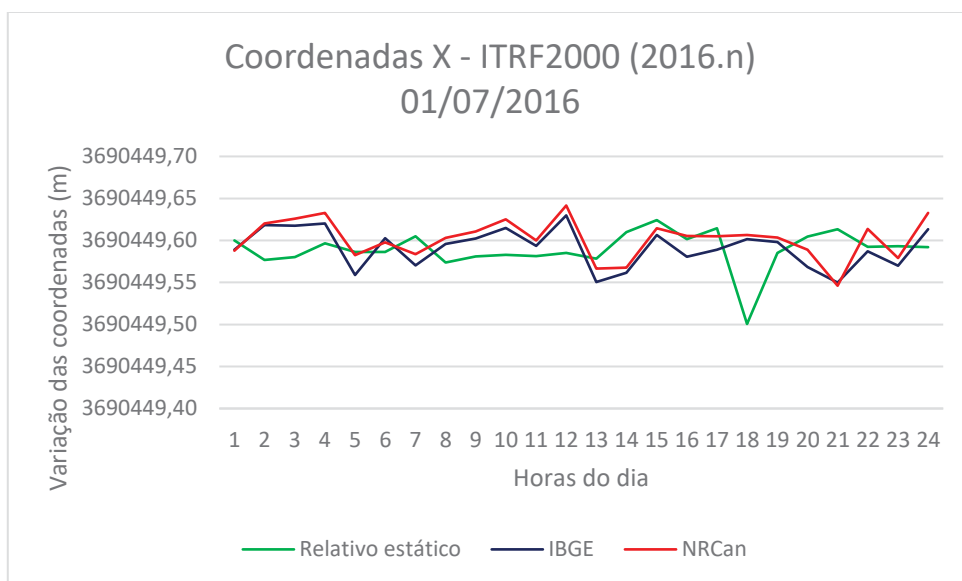
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 01 DE ABRIL



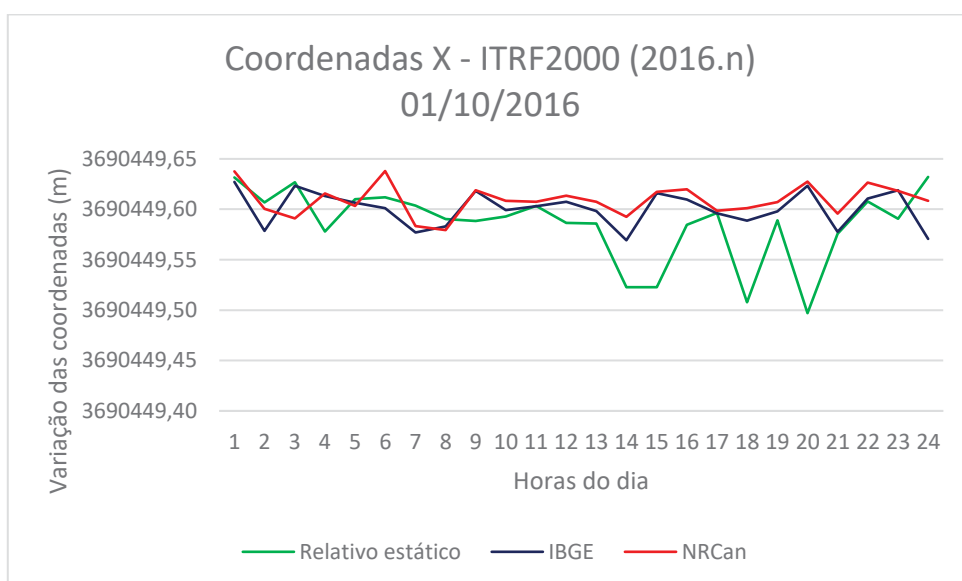
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 01 DE JULHO



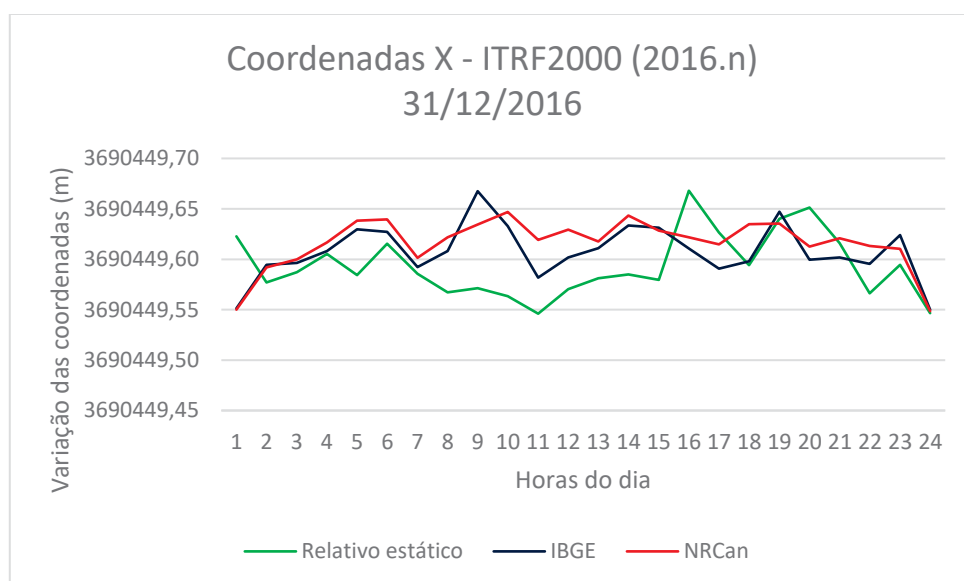
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 9 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 01 DE OUTUBRO



FONTE: O Autor.

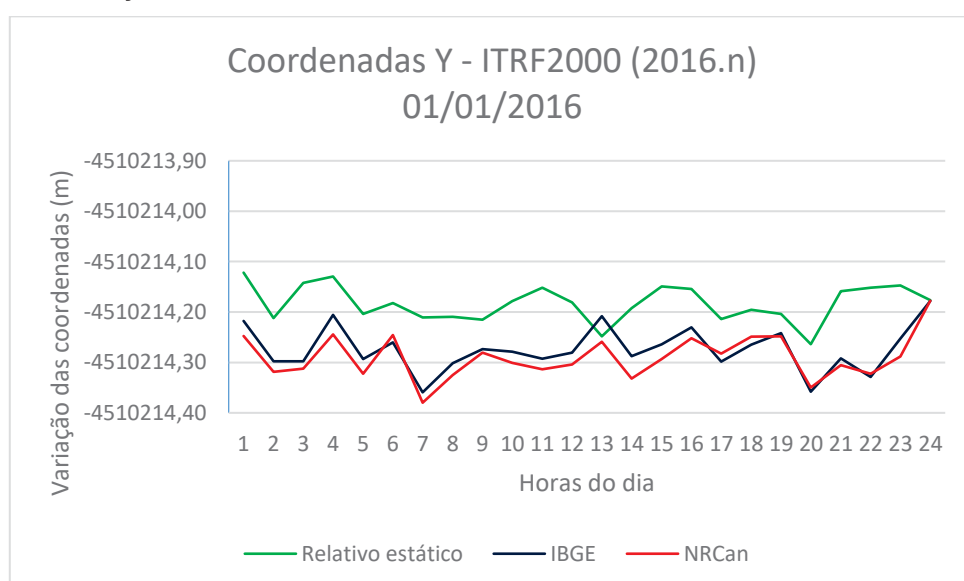
GRÁFICO 10 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 31 DE DEZEMBRO



FONTE: O Autor.

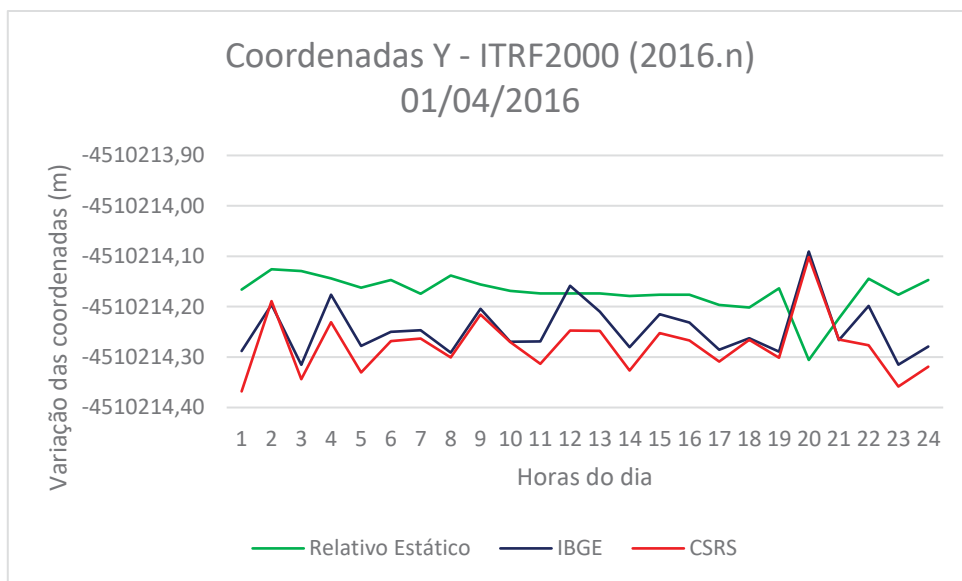
O GRÁFICO 11, o GRÁFICO 12, o GRÁFICO 13, o GRÁFICO 14, e o GRÁFICO 15 mostram a variação das coordenadas Y para as datas nas quais foram realizados os processamentos horários, dias 01/01, 01/04, 01/07, 01/10 e 31/12 respectivamente.

GRÁFICO 11 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 01 DE JANEIRO



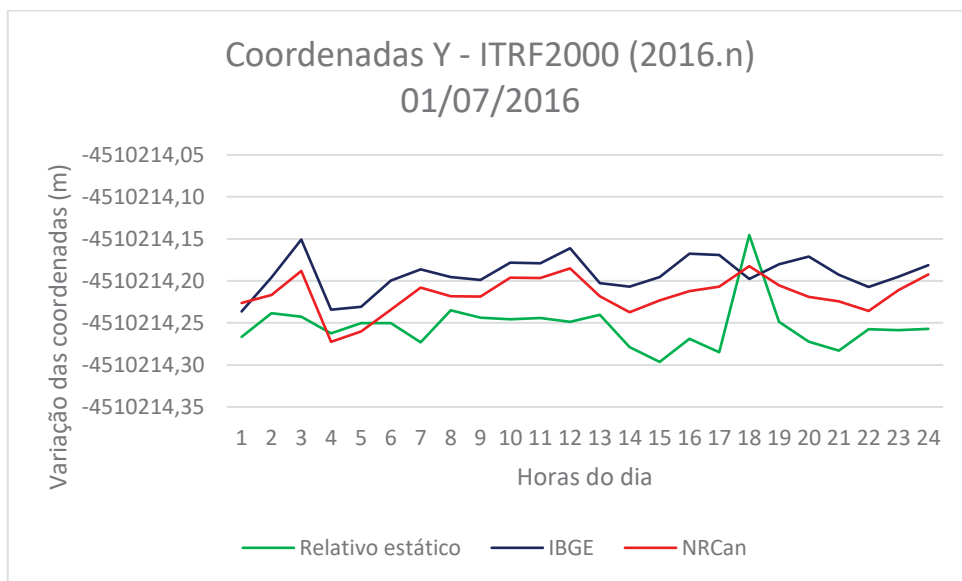
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 12 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 01 DE ABRIL



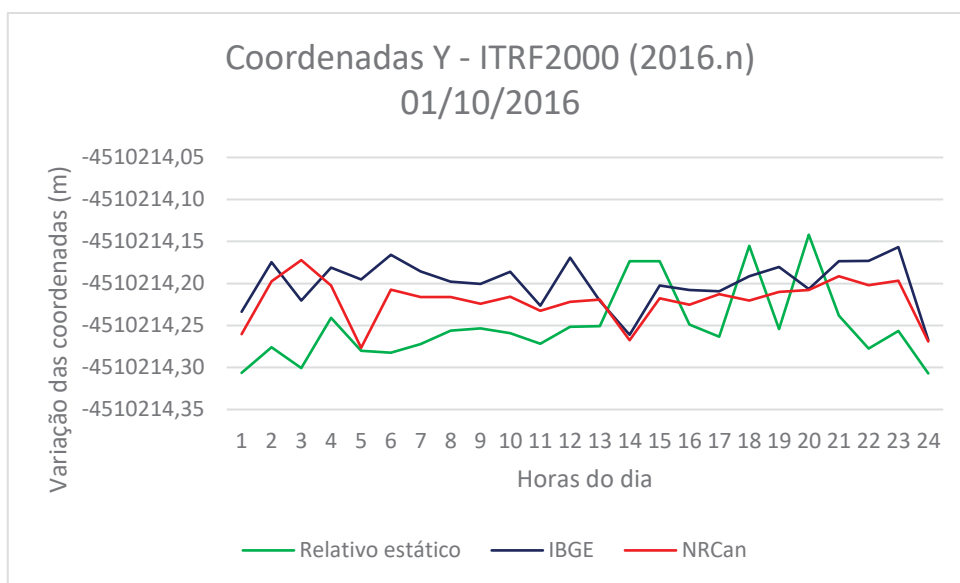
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 13 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 01 DE JULHO



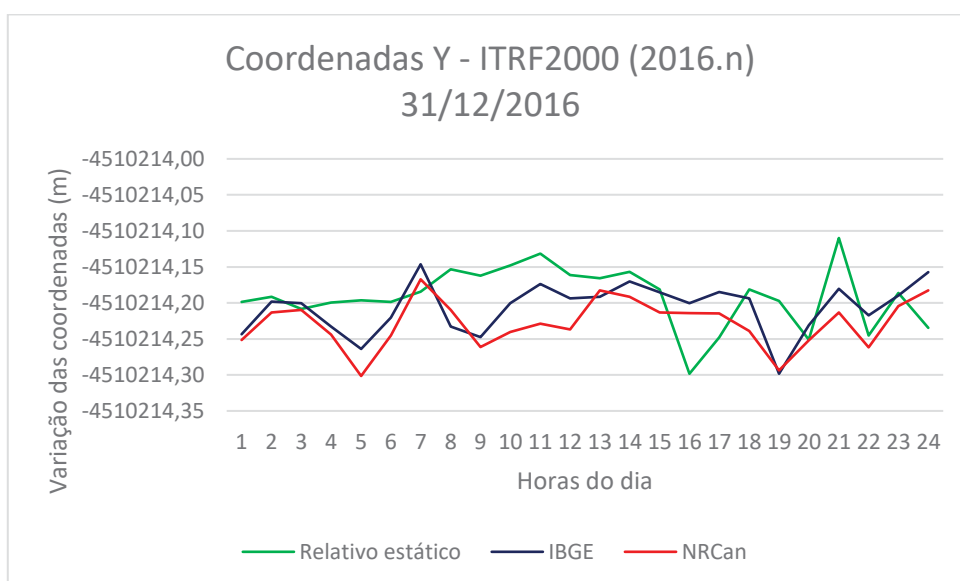
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 14 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 01 DE OUTUBRO



FONTE: O Autor.

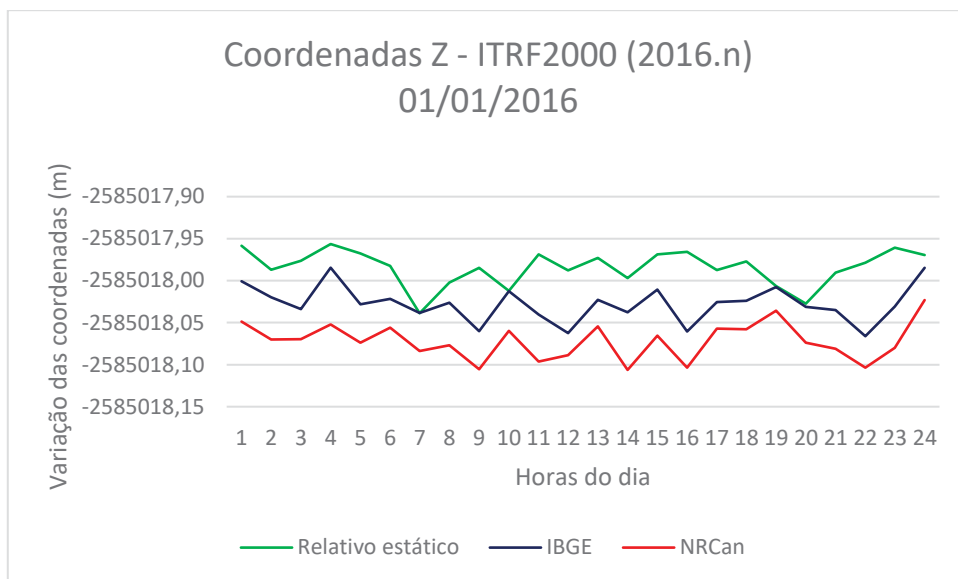
GRÁFICO 15 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 31 DE DEZEMBRO



FONTE: O Autor.

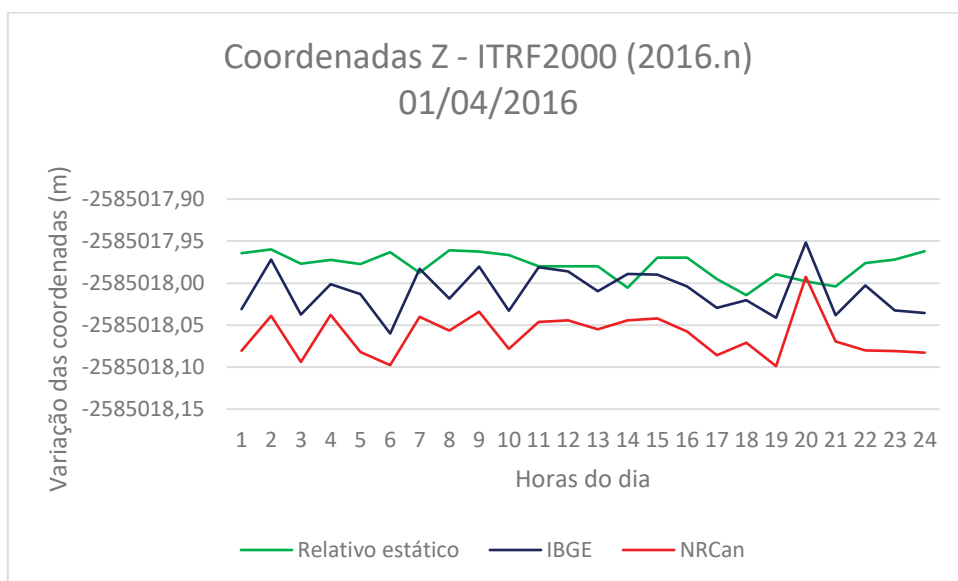
O GRÁFICO 16, o GRÁFICO 17, o GRÁFICO 18, o GRÁFICO 19 e o GRÁFICO 20 mostram a variação das coordenadas Z para as datas nas quais foram realizados os processamentos horários, dias 01/01, 01/04, 01/07, 01/10 e 31/12 respectivamente.

GRÁFICO 16 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 01 JANEIRO



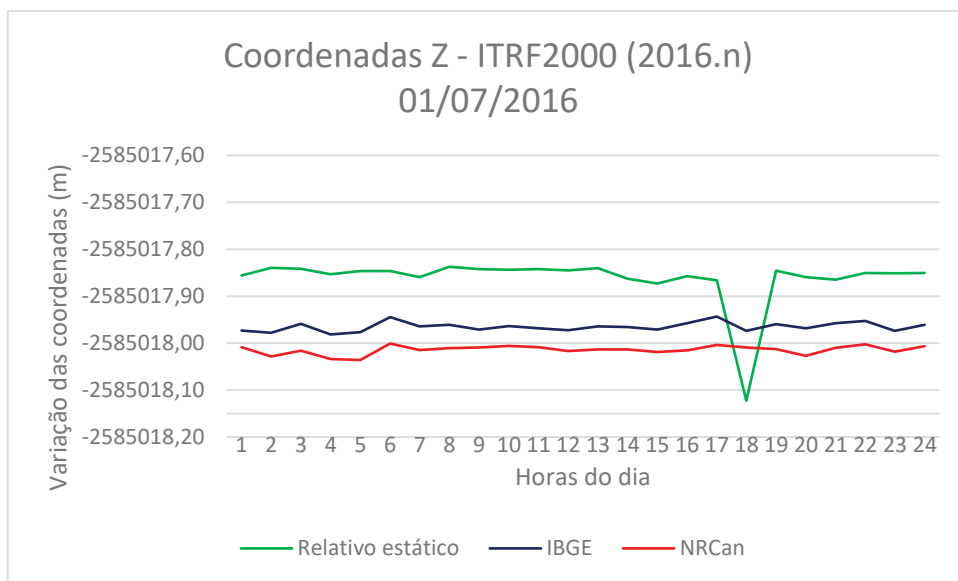
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 17 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 01 DE ABRIL



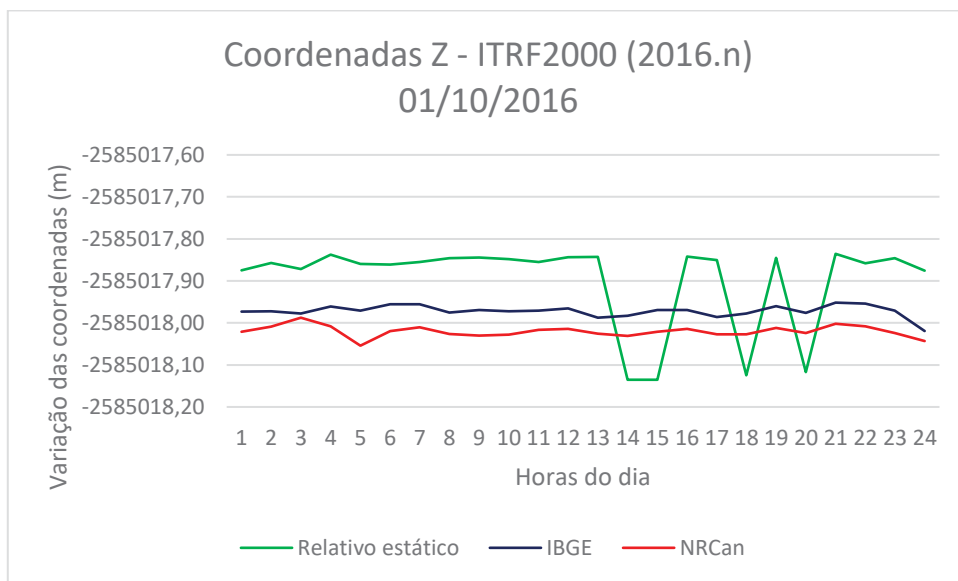
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 18 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 01 DE JULHO



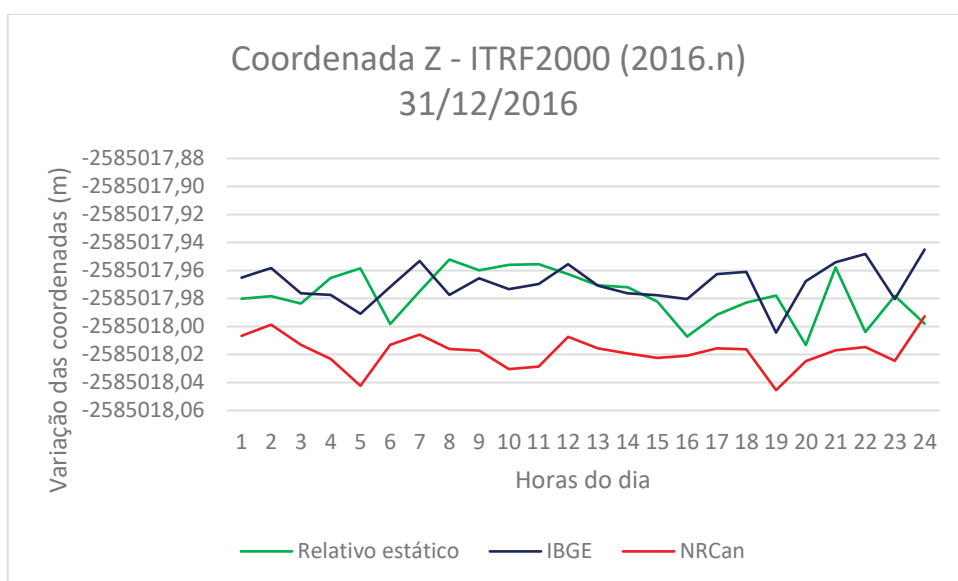
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 19 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 01 DE OUTUBRO



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 20 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 31 DE DEZEMBRO



FONTE: O Autor.

Aqui foram novamente aplicados os testes de hipóteses já realizados nos itens 4.1 e 4.2.1, cujos resultados podem ser vistos na TABELA 24, na TABELA 25 e na TABELA 26.

TABELA 24 – PORCENTAGEM DE REJEIÇÃO NO TESTE DE HIPÓTESES ENTRE O RELATIVO ESTÁTICO E O PPP-IBGE

	X	Y	Z
1 de janeiro	66,66%	25,00%	0,00%
1 de abril	70,83%	29,16%	0,00%
1 de julho	45,83%	58,33%	87,50%
1 de outubro	37,50%	45,83%	95,83%
31 de dezembro	54,16%	16,66%	0,00%

FONTE: O Autor.

TABELA 25 – PORCENTAGEM DE REJEIÇÃO NO TESTE DE HIPOTHESES ENTRE O RELATIVO ESTÁTICO E O PPP-NRCAN

	X	Y	Z
1 de janeiro	16,66%	0,00%	0,00%
1 de abril	33,33%	4,16%	0,00%
1 de julho	4,16%	0,00%	4,16%
1 de outubro	12,50%	0,00%	0,00%
31 de dezembro	4,16%	0,00%	0,00%

FONTE: O Autor.

TABELA 26 – PORCENTAGEM DE REJEIÇÃO NO TESTE DE HIPOTHESES ENTRE O PPP-IBGE E O PPP-NRCAN

	X	Y	Z
1 de janeiro	0,00%	0,00%	0,00%
1 de abril	0,00%	0,00%	0,00%
1 de julho	0,00%	0,00%	0,00%
1 de outubro	0,00%	0,00%	0,00%
31 de dezembro	0,00%	0,00%	0,00%

FONTE: O Autor.

Analisando estes resultados percebe-se que existem nítidas diferenças entre os resultados dos testes de hipótese feitos para o processamento diário e para o processamento horário o que pode ser explicado pelo longo tempo de rastreamento nas séries diárias pois, rastreios mais longos tem a possibilidade de conter um maior número de saltos de ciclo e demais efeitos que podem prejudicar a acurácia do posicionamento.

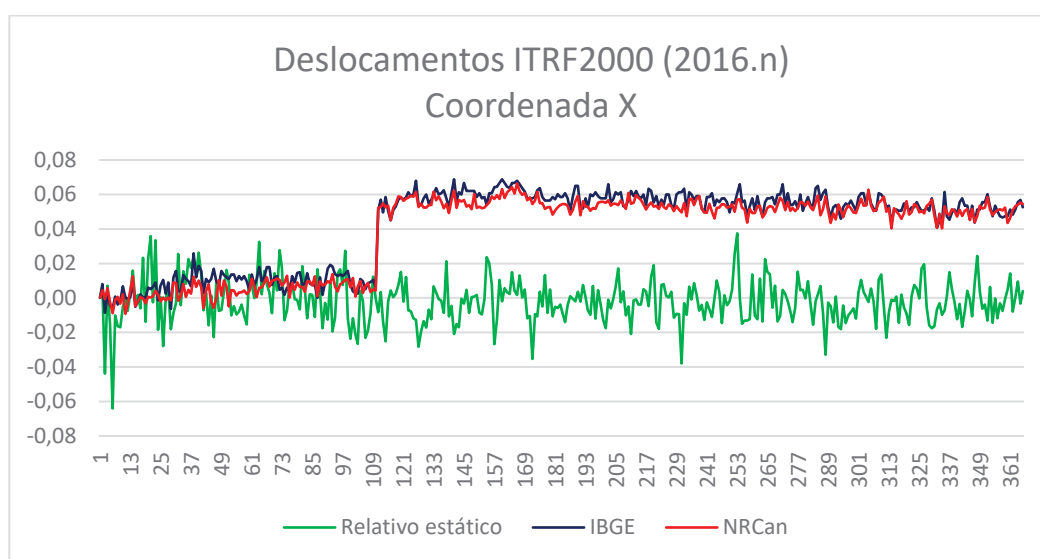
### 4.3 COMPARAÇÃO ENTRE DESLOCAMENTOS ABSOLUTOS NO ITRF2000

#### 4.3.1 Séries diárias

O GRÁFICO 21, o GRÁFICO 22 e o GRÁFICO 23 mostram os deslocamentos das coordenadas X,Y,Z respectivamente em relação a coordenadas referentes ao primeiro dia de observação (1 de janeiro de 2016).

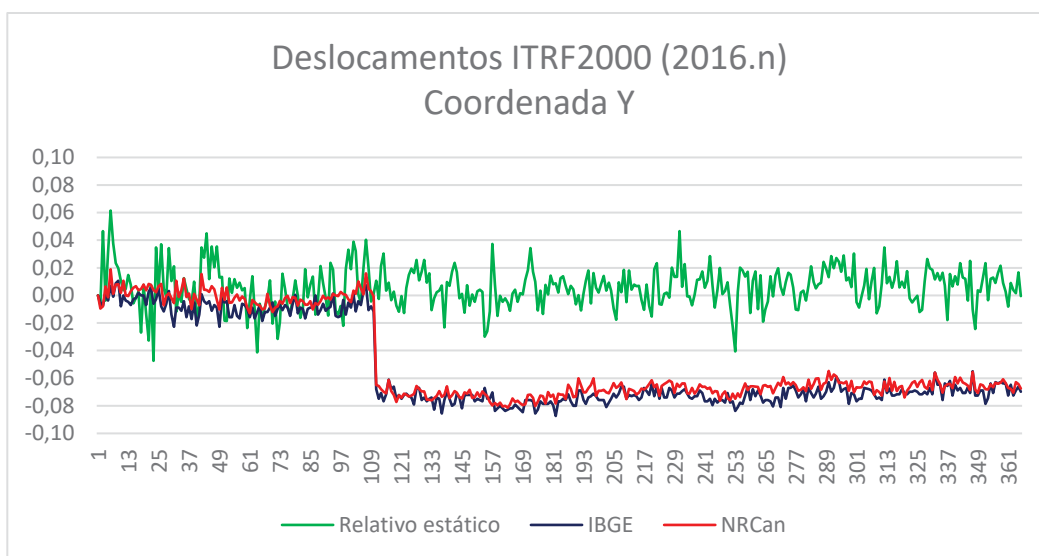
É possível visualizar o mesmo comportamento presente nos gráficos do item 4.2 em relação as coordenadas obtidas pelos métodos PPP, onde as linhas representando estes métodos possuem uma mudança no seu comportamento médio que iniciou de forma repentina no dia 20 de abril.

GRÁFICO 21 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X



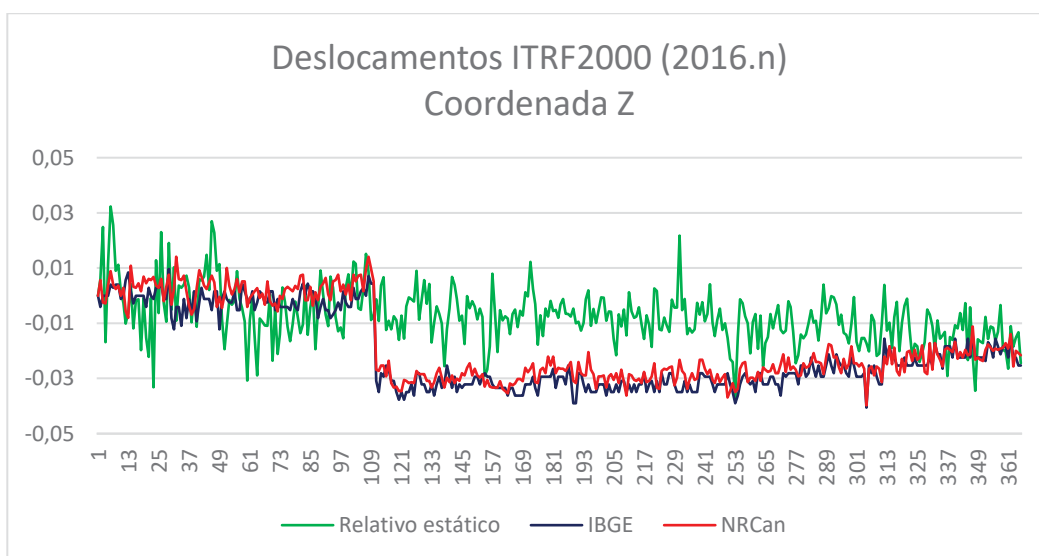
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 22 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 23 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z



FONTE: O Autor.

Na TABELA 27, na TABELA 28 e na TABELA 29 estão explicitados os valores máximo, médio e mínimo dos deslocamentos obtidos para os métodos relativo estático, PPP-IBGE e PPP-NRCan respectivamente.

TABELA 27 – VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS DOS DESLOCAMENTOS ENCONTRADOS PARA O MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO NO ITRF2000

Método Relativo Estático			
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Máximo	36,70	61,56	32,17
Média	-2,37	8,56	-12,84
Mínimo	-64,06	-47,07	-44,84

FONTE: O Autor.

TABELA 28 – VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS DOS DESLOCAMENTOS ENCONTRADOS PARA O MÉTODO PPP-IBGE NO ITRF2000

PPP-IBGE			
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Máximo	68,82	10,61	9,68
Média	41,96	-53,05	-20,74
Mínimo	-8,57	-87,37	-40,57

FONTE: O Autor.

TABELA 29 – VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS DOS DESLOCAMENTOS ENCONTRADOS PARA O MÉTODO PPP-NRCAN NO ITRF2000

PPP-NRCan			
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Máximo	66,44	18,93	14,11
Média	38,62	-47,90	-18,00
Mínimo	-9,15	-81,35	-39,76

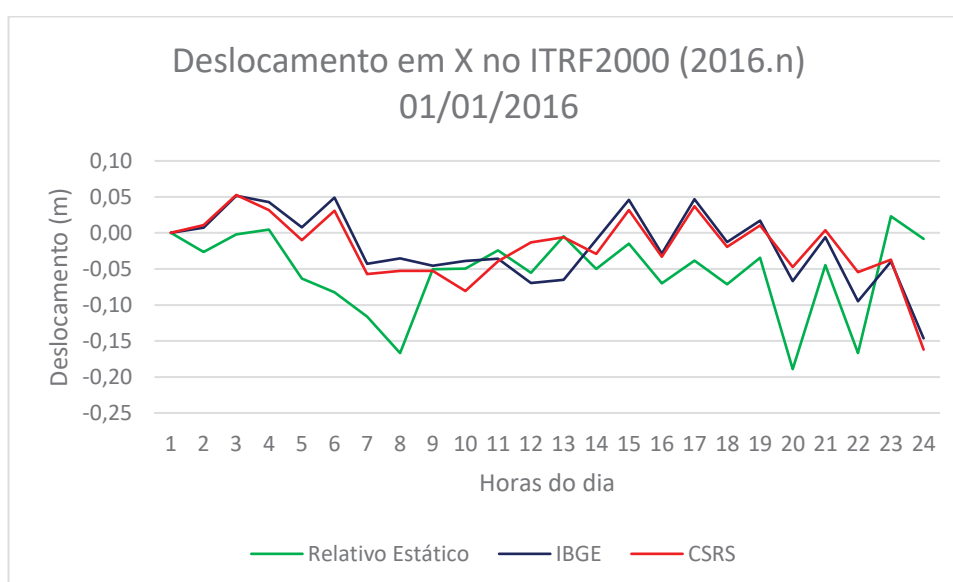
FONTE: O Autor.

#### 4.3.2 Séries horárias

Do GRÁFICO 24 até o GRÁFICO 37 abaixo representam os deslocamentos em X, Y e Z, comparados com a primeira hora do dia 01/01/2016, para todos os dias em que o processamento horário foi realizado e para os três métodos de processamento estudados neste trabalho.

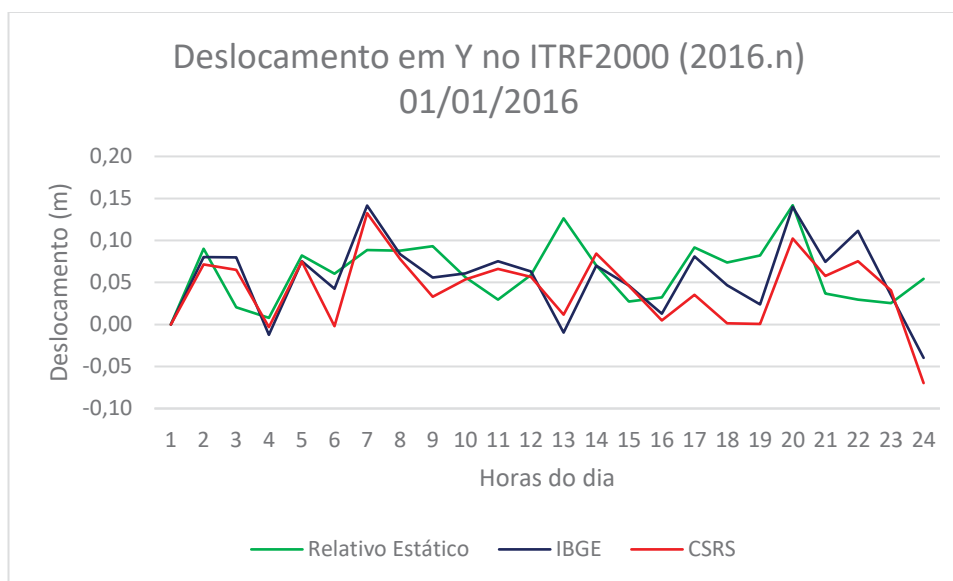
É possível perceber que nos dois primeiros dias, 01 de janeiro e 01 de abril respectivamente os três métodos de processamento utilizados mostraram resultados cujas variações encontram-se dentro de uma mesma amplitude, com leve diminuição para as coordenadas oriundas do método relativo estático no dia 01 de abril. Porém, a partir do dia 01 de julho, terceiro dia dos cinco, nota-se um distanciamento das linhas representado o método relativo estático das outras duas o que pode ter sido causado pela mesma razão da diferença de coordenadas observada no dia 20 de abril.

GRÁFICO 24 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X NO DIA 1 DE JANEIRO



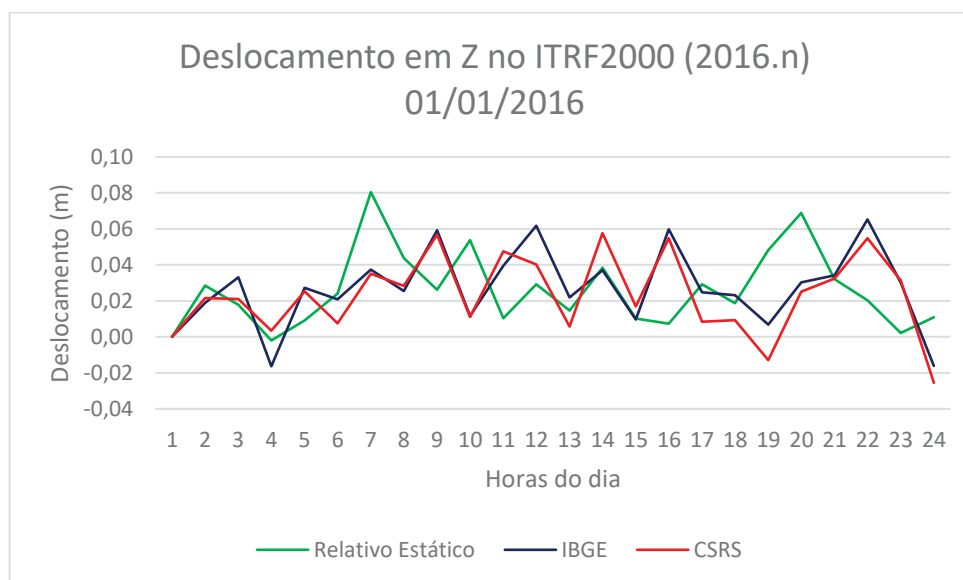
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 25 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y NO DIA 1 DE JANEIRO



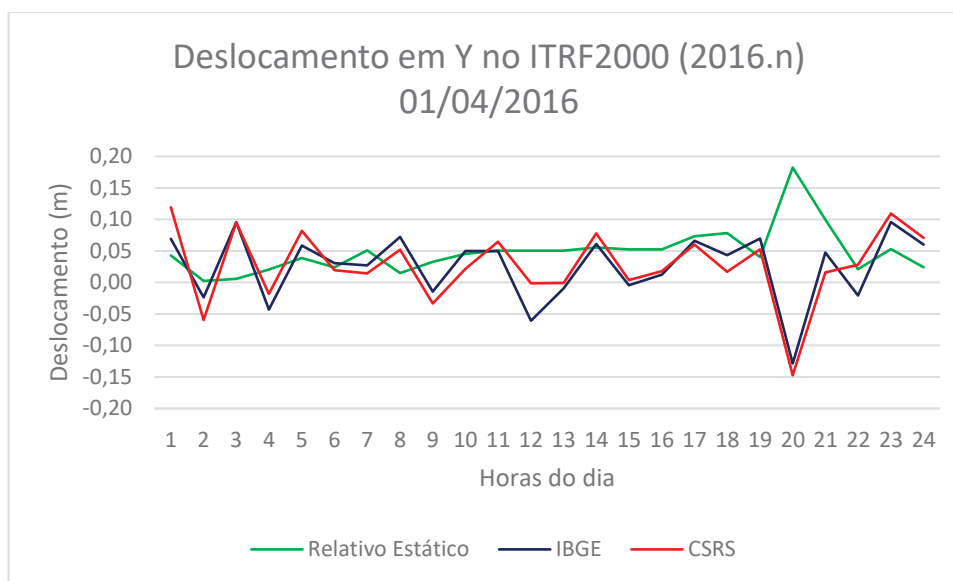
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 26 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z NO DIA 1 DE JANEIRO



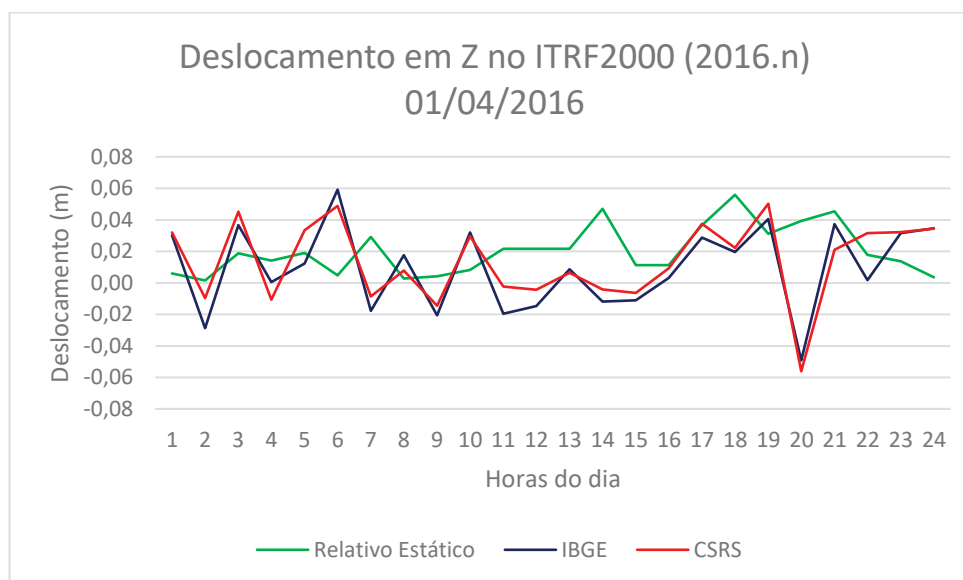
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 27 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y NO DIA 1 DE ABRIL



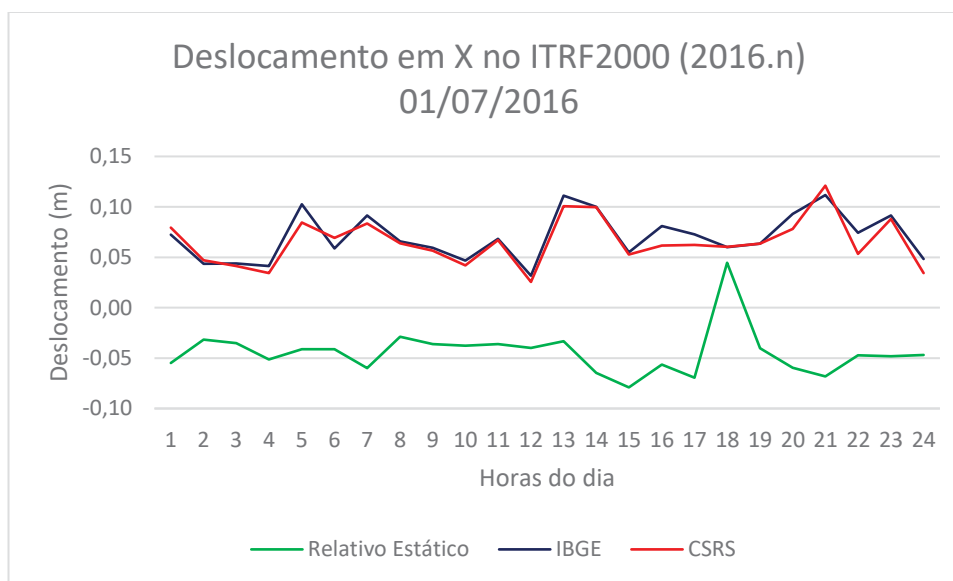
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 28 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z NO DIA 1 DE ABRIL



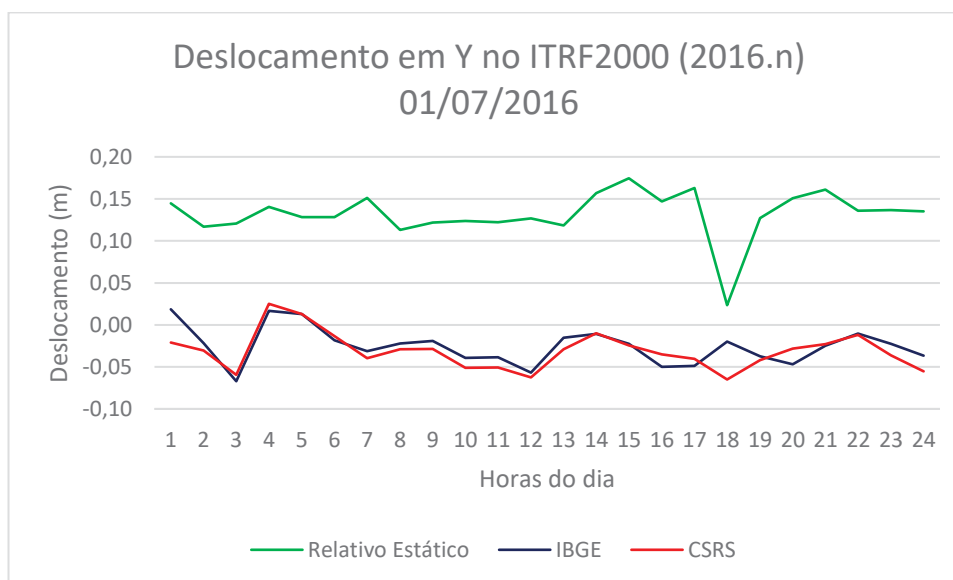
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 29 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X NO DIA 1 DE JULHO



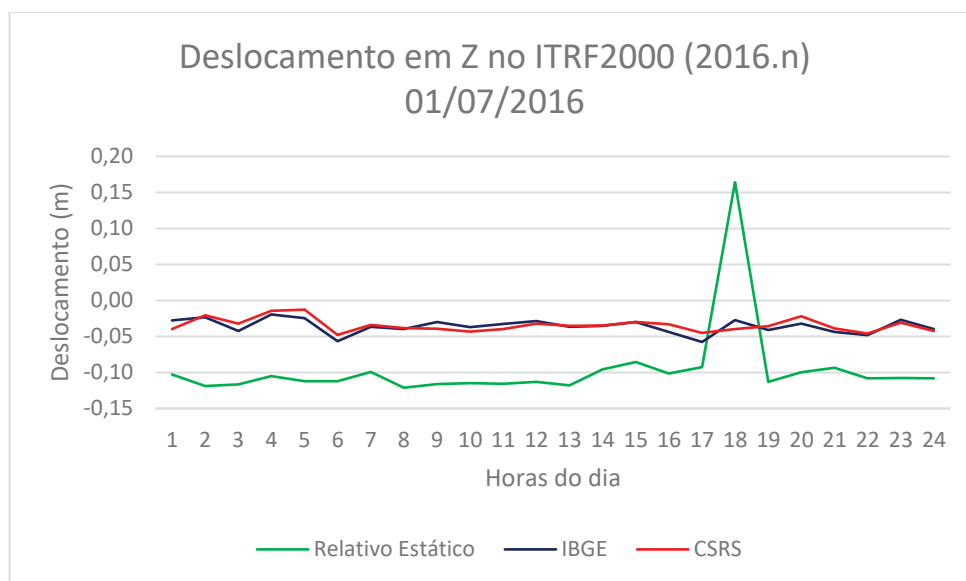
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 30 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y NO DIA 1 DE JULHO



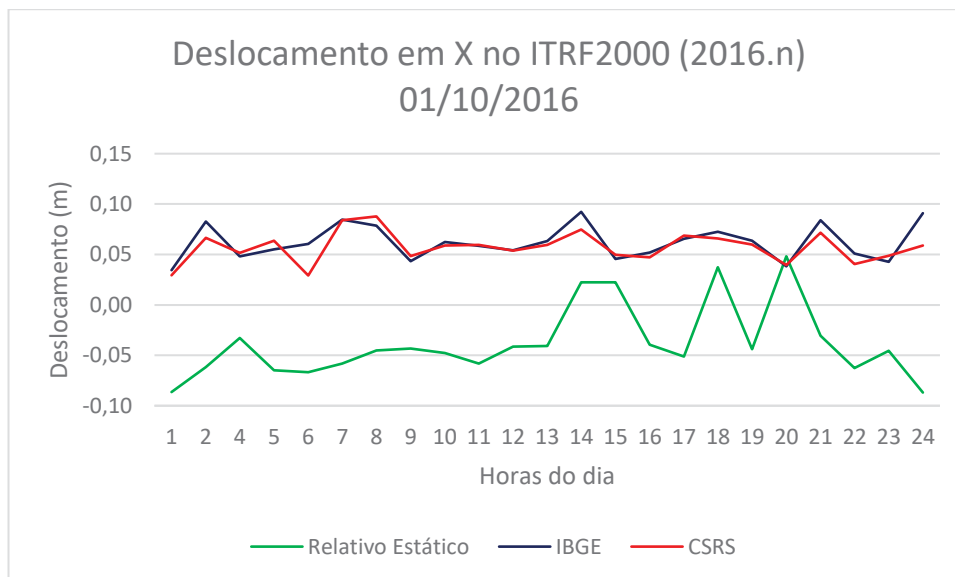
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 31 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z NO DIA 1 DE JULHO



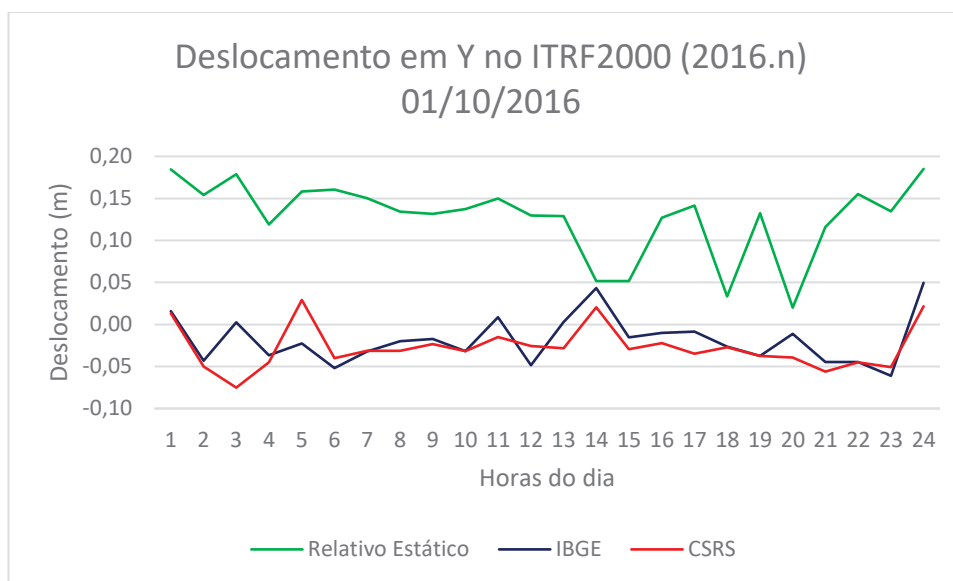
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 32 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X NO DIA 1 DE OUTUBRO



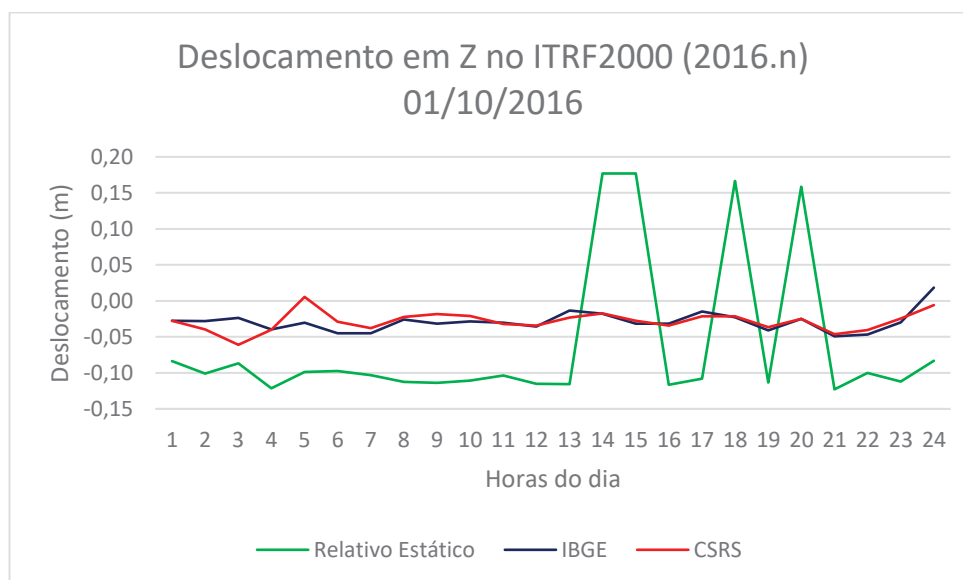
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 33 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y NO DIA 1 DE OUTUBRO



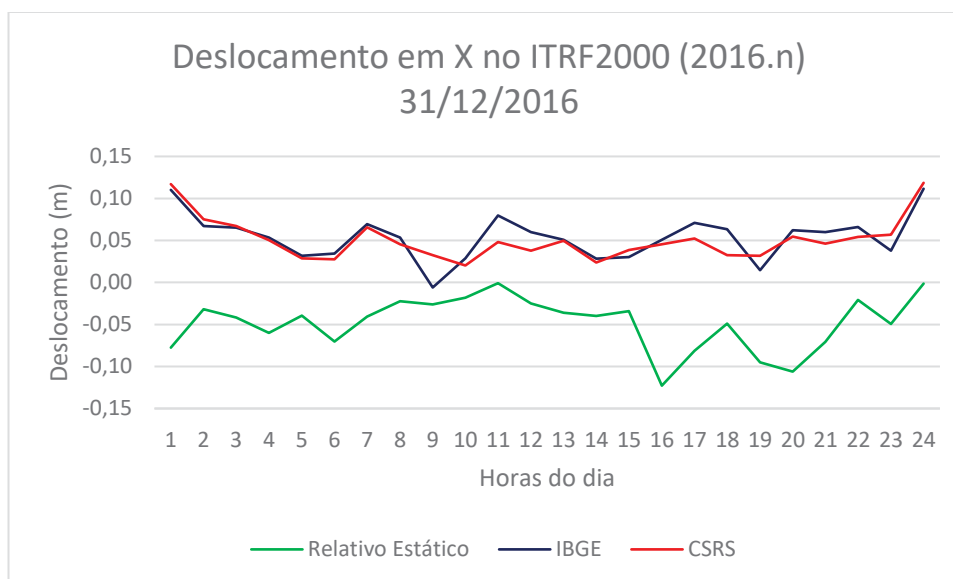
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 34 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z NO DIA 1 DE OUTUBRO



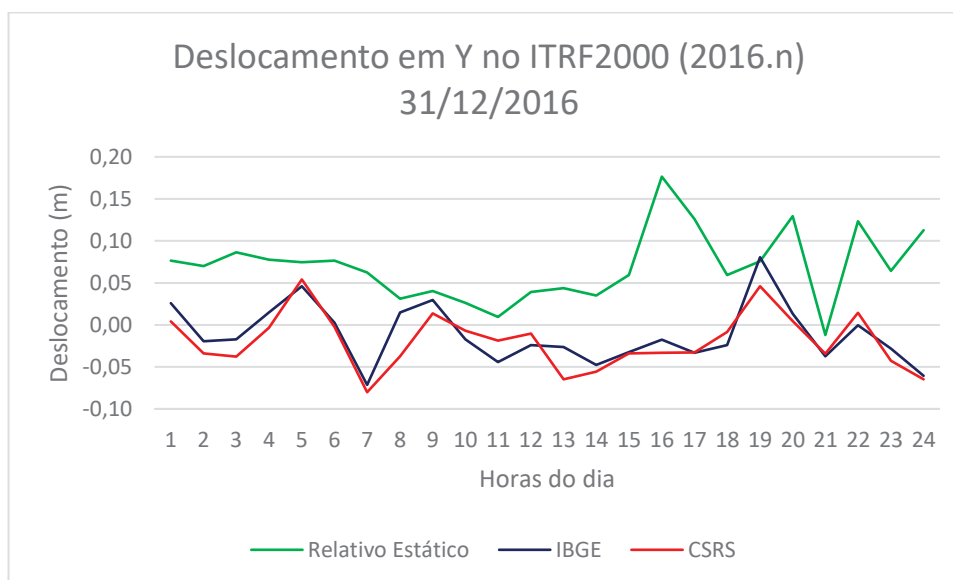
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 35 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X NO DIA 31 DE DEZEMBO



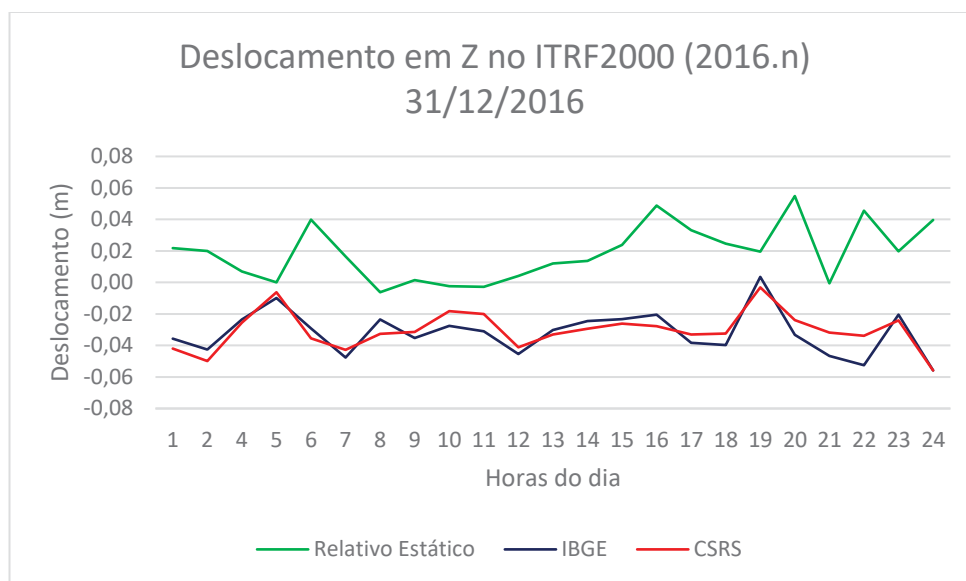
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 36 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y NO DIA 31 DE DEZEMBRO



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 37 – DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z NO DIA 31 DE DEZEMBRO



FONTE: O Autor.

#### 4.4 COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS ABSOLUTAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL DA UHE MAUÁ

##### 4.4.1 Séries diárias

Os gráficos GRÁFICO 38,

GRÁFICO 39 e GRÁFICO 40 representam as coordenadas obtidas através dos três métodos de processamento realizados. Nota-se que as linhas representando as coordenadas referentes aos métodos de processamento PPP possuem um comportamento bastante similar entre si, se comparadas à que representa as coordenadas obtidas pelo processamento relativo estático.

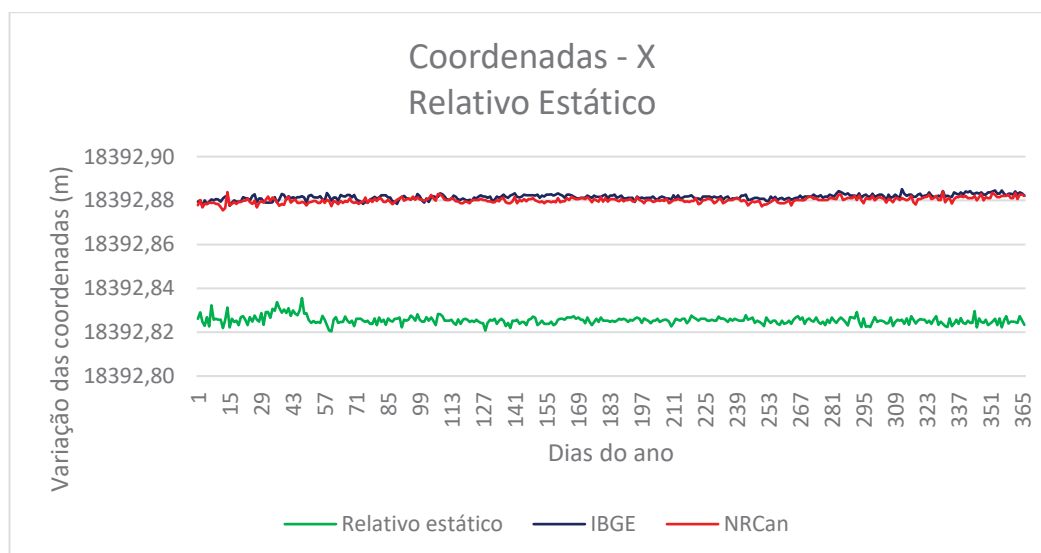
No entanto a amplitude de sua variação individual pode ser considerada similar tendo em vista os desvios-padrão da média obtidos para estes métodos, que podem ser visualizados na TABELA 30.

TABELA 30 – DESVIOS-PADRÃO DA MÉDIA DE TODOS OS MÉTODOS DE PROCESSAMENTO PARA AS COORDENADAS NO SGCL

	XL (m)	YL (m)	ZL (m)
Relativo estático	0,00181	0,00139	0,02055
PPP-IBGE	0,00121	0,00195	0,04006
PPP-NRCan	0,00122	0,00198	0,04114

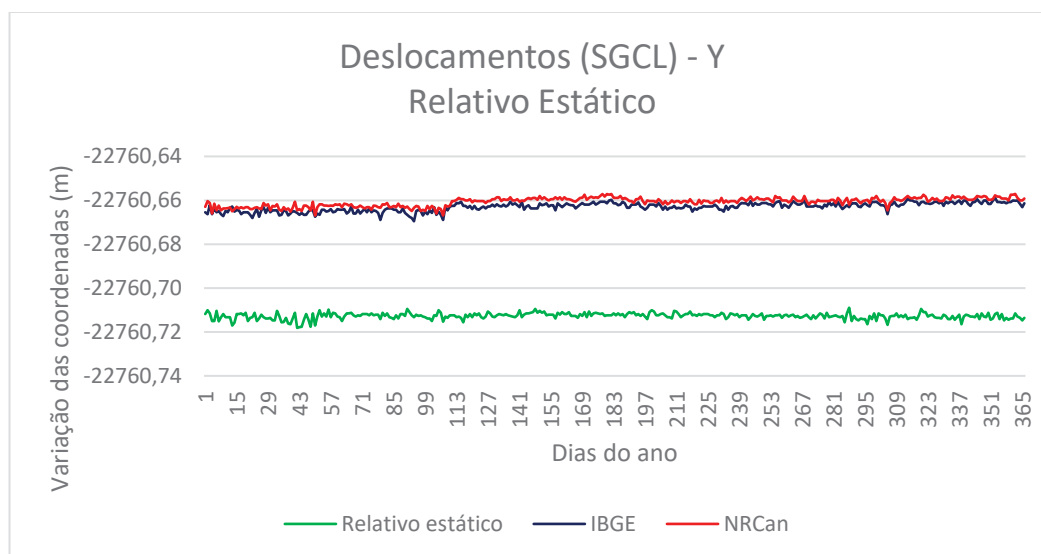
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 38 – VARIACÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X NO SISTEMA GEODÉSICO CARTESIANO LOCAL



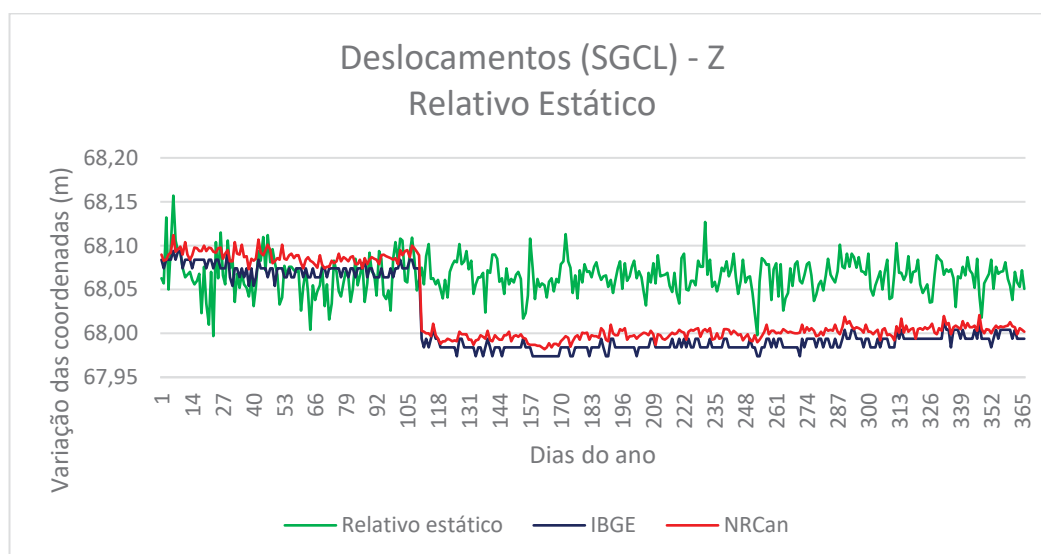
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 39 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y NO SISTEMA GEODÉSICO CARTESIANO LOCAL



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 40 - VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z NO SISTEMA GEODÉSICO CARTESIANO LOCAL



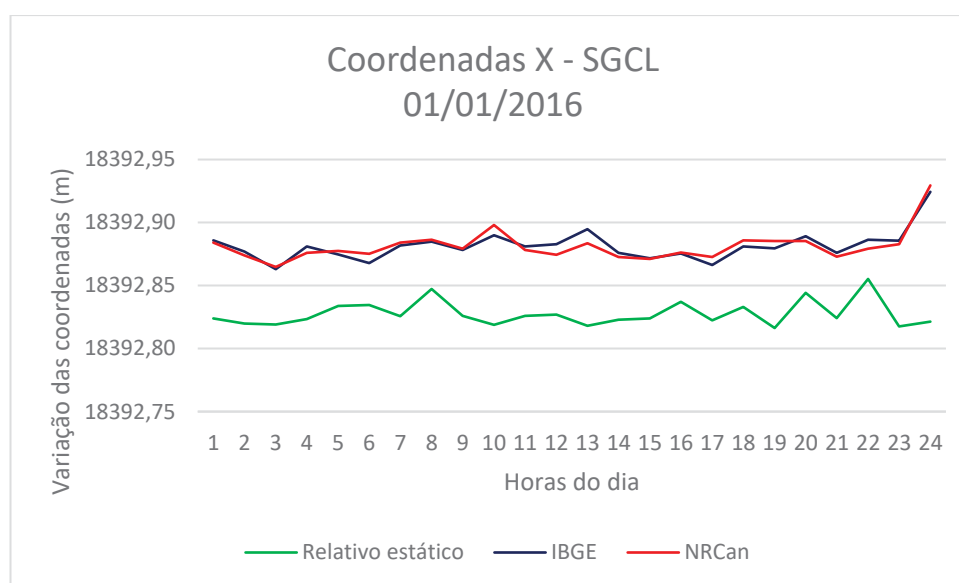
FONTE: O Autor.

No GRÁFICO 40, que explicita as coordenadas Z, ao observarmos as linhas representando os métodos de processamento PPP ainda é possível notar a mesma variação repentina de comportamento vistas nos itens 4.2 e 4.3, quando as coordenadas estavam em ITRF2000.

#### 4.4.2 Séries horárias

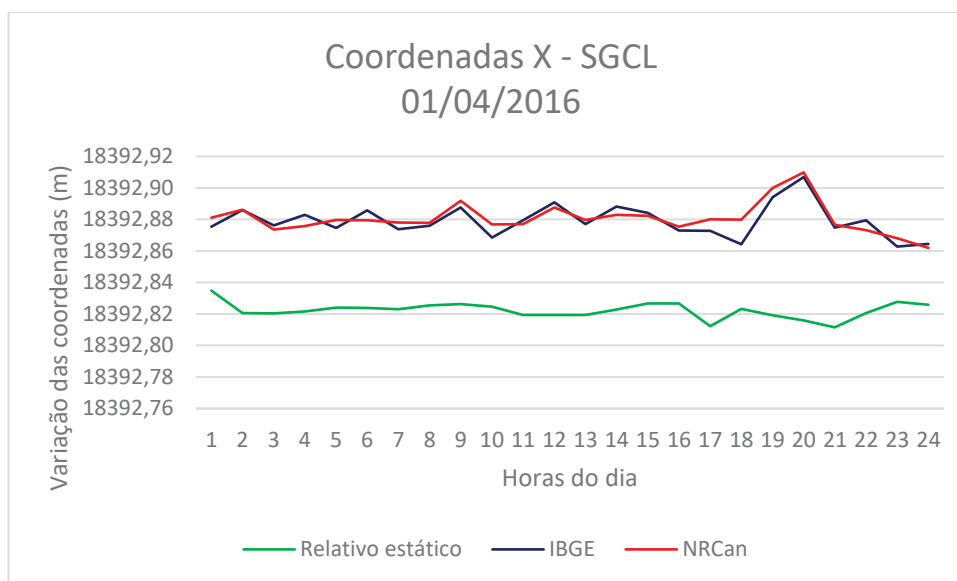
Nas séries horárias, explicitadas nos gráficos de número GRÁFICO 41 a GRÁFICO 55, é possível notar que o método relativo estático se destacou dos dois métodos de processamento PPP em praticamente todos os casos apresentados.

GRÁFICO 41 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 DE JANEIRO NO SGCL



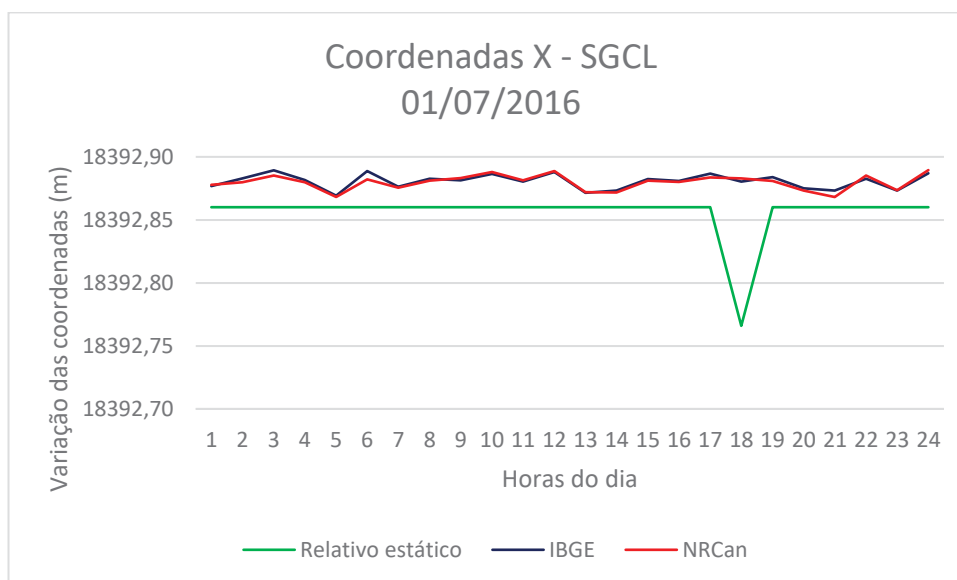
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 42 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 DE ABRIL NO SGCL



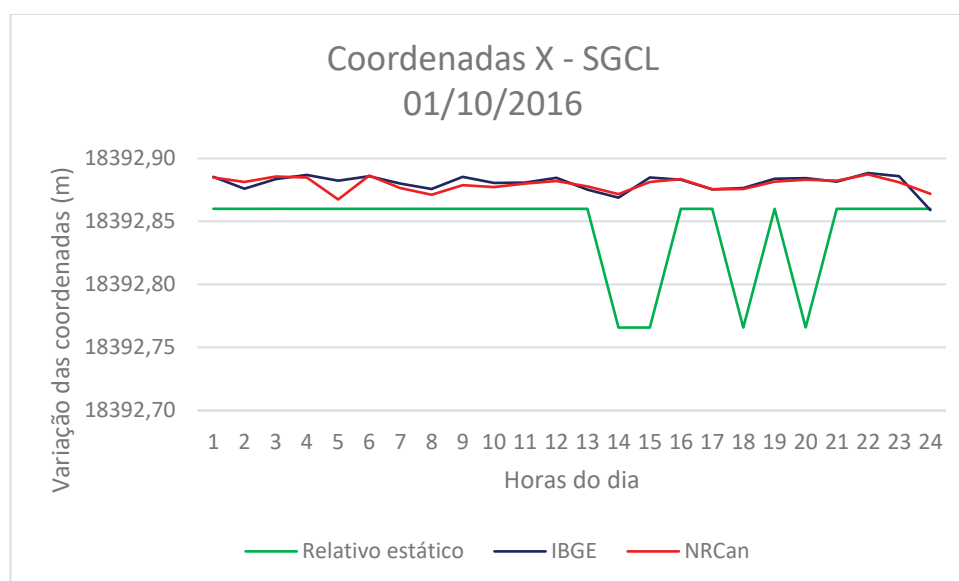
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 43 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 DE JULHO NO SGCL



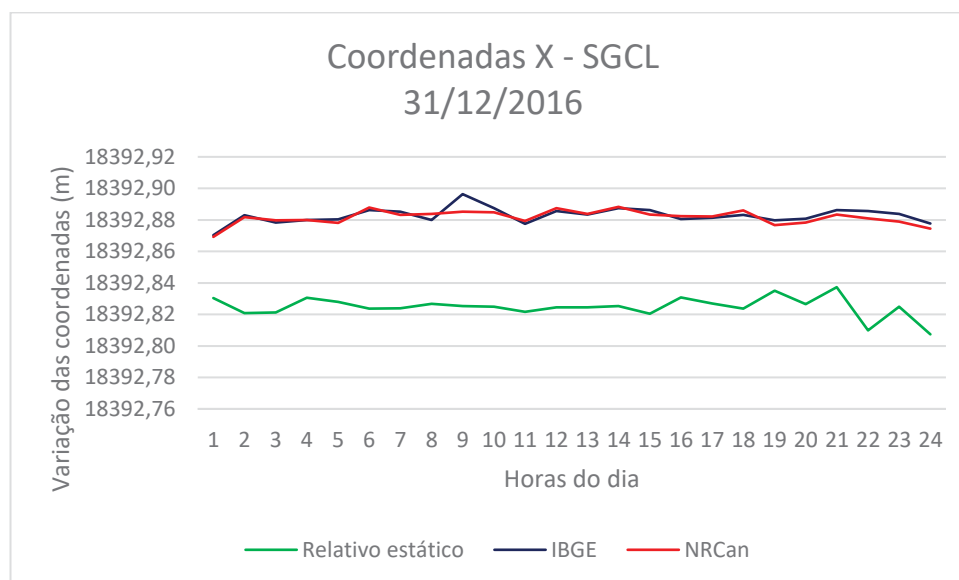
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 44 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 DE OUTUBRO  
NO SGCL



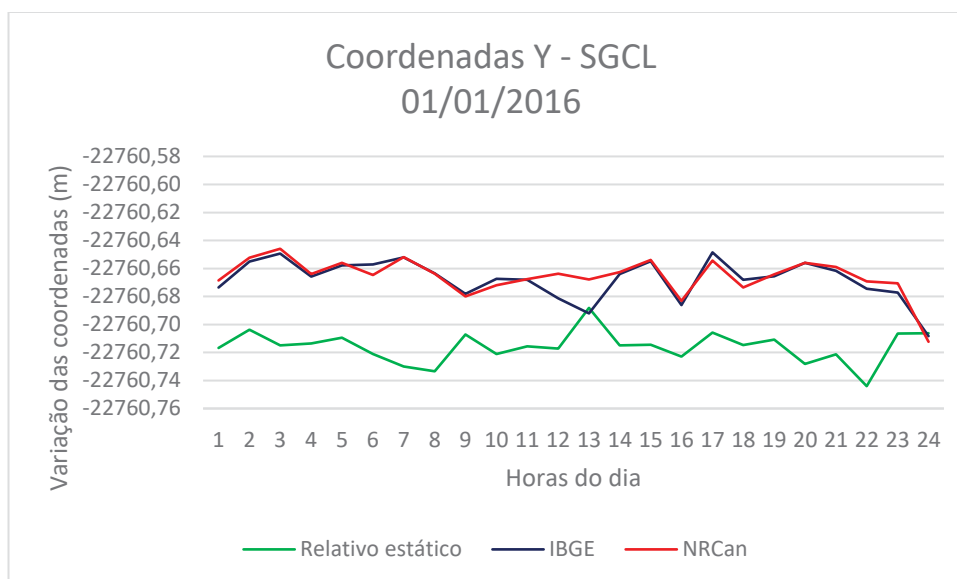
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 45 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 31 DE  
DEZEMBRO NO SGCL



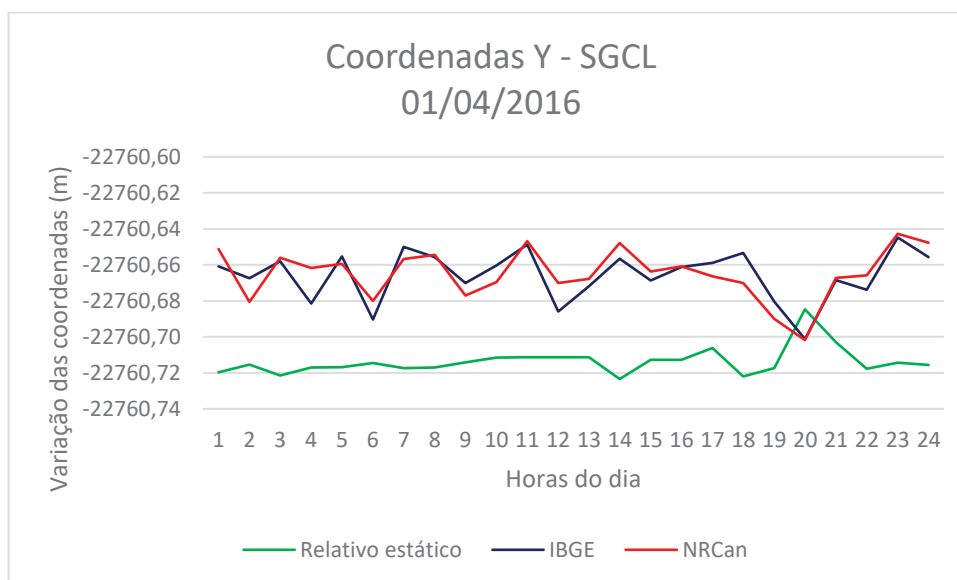
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 46 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 DE JANEIRO  
NO SGCL



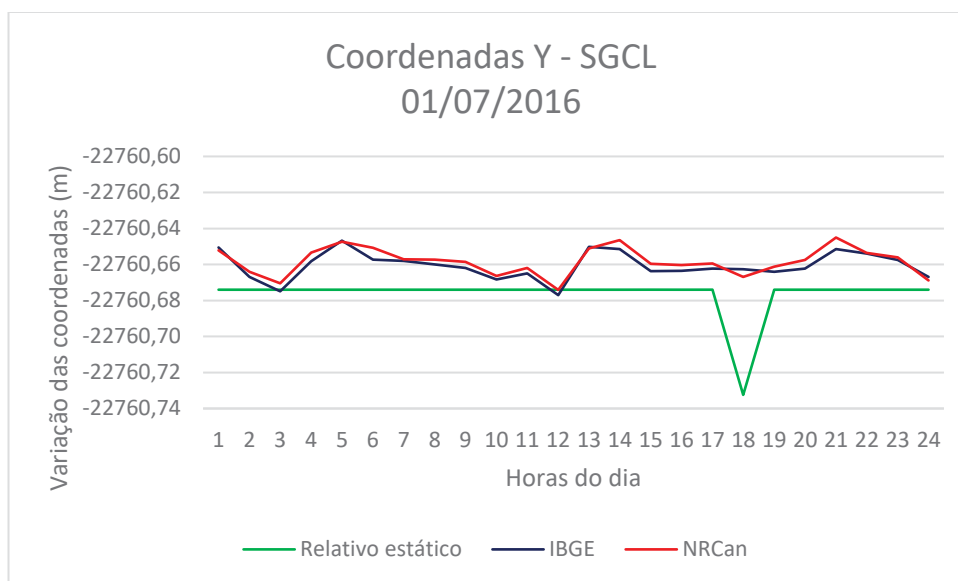
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 47 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 DE ABRIL NO  
SGCL



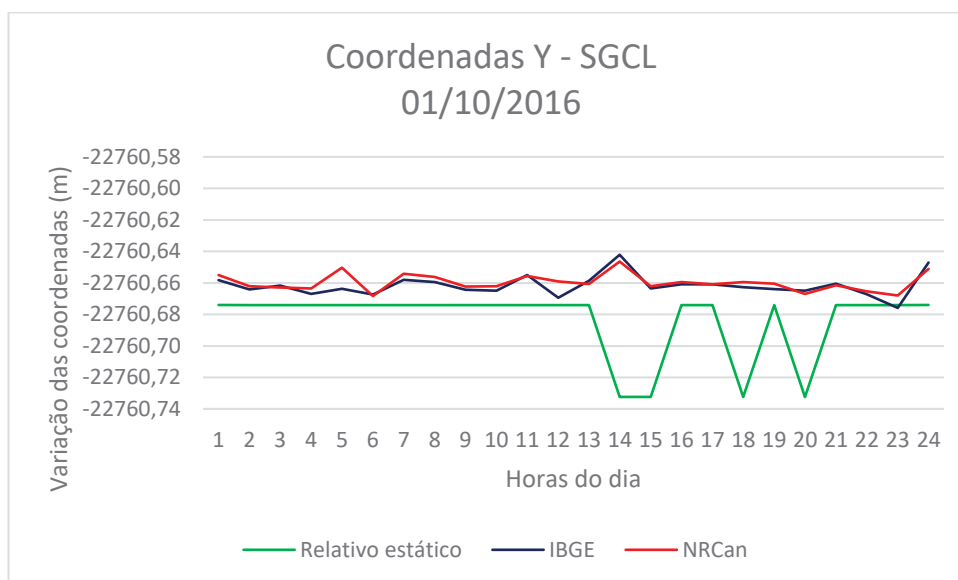
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 48 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 DE JULHO NO SGCL



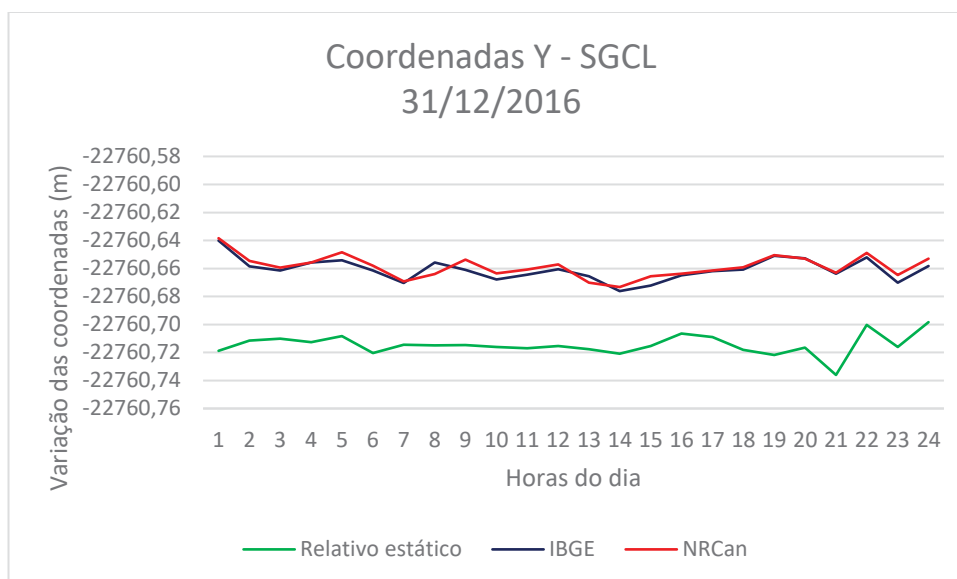
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 49 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 DE OUTUBRO NO SGCL



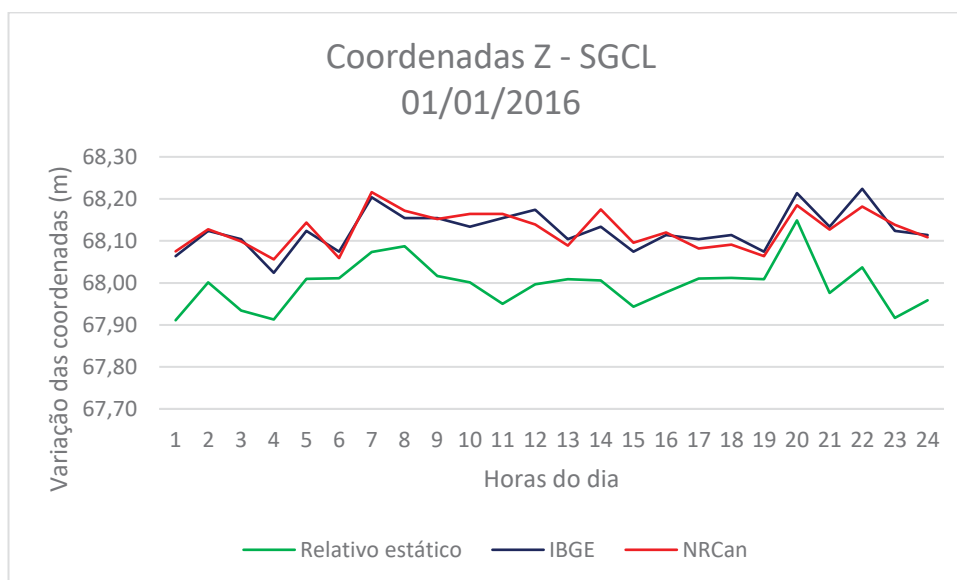
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 50 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 31 DE DEZEMBRO NO SGCL



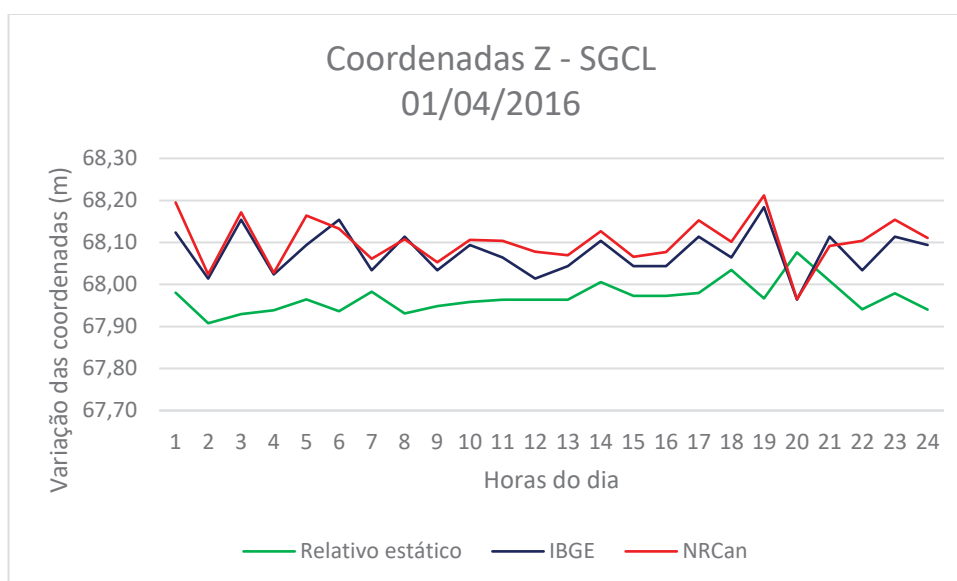
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 51 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 DE JANEIRO NO SGCL



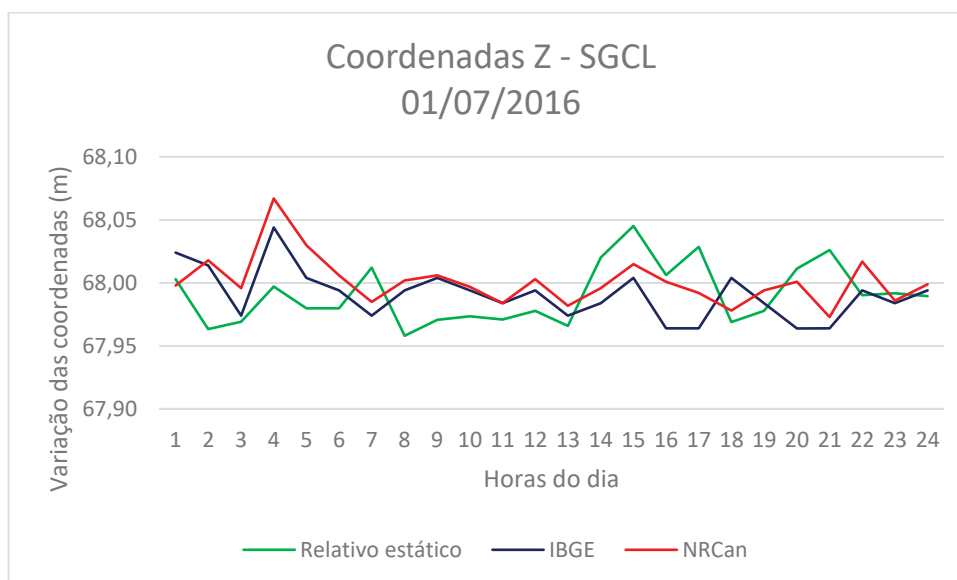
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 52 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 DE ABRIL NO SGCL



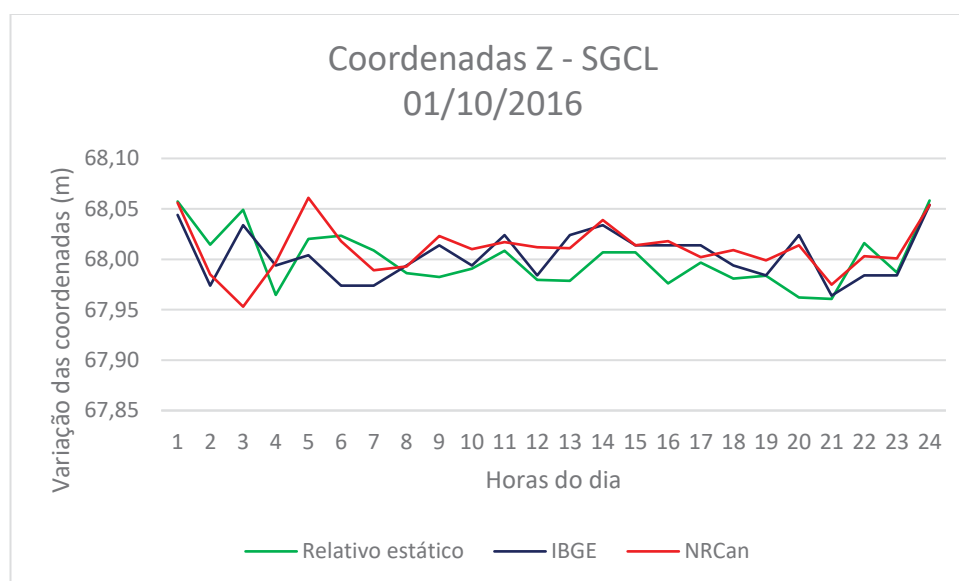
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 53 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 DE JULHO NO SGCL



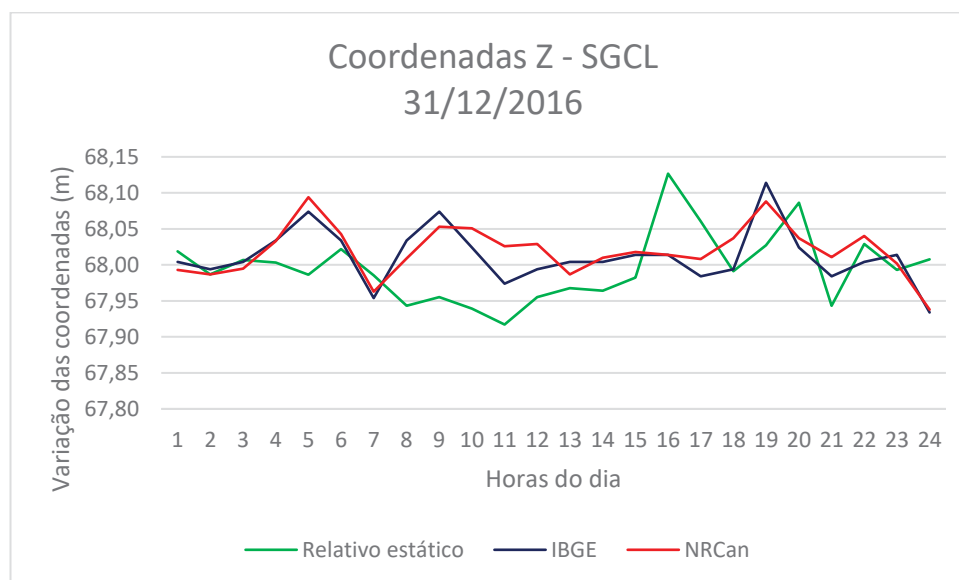
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 54 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 DE OUTUBRO  
NO SGCL



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 55 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 31 DE  
DEZEMBRO NO SGCL



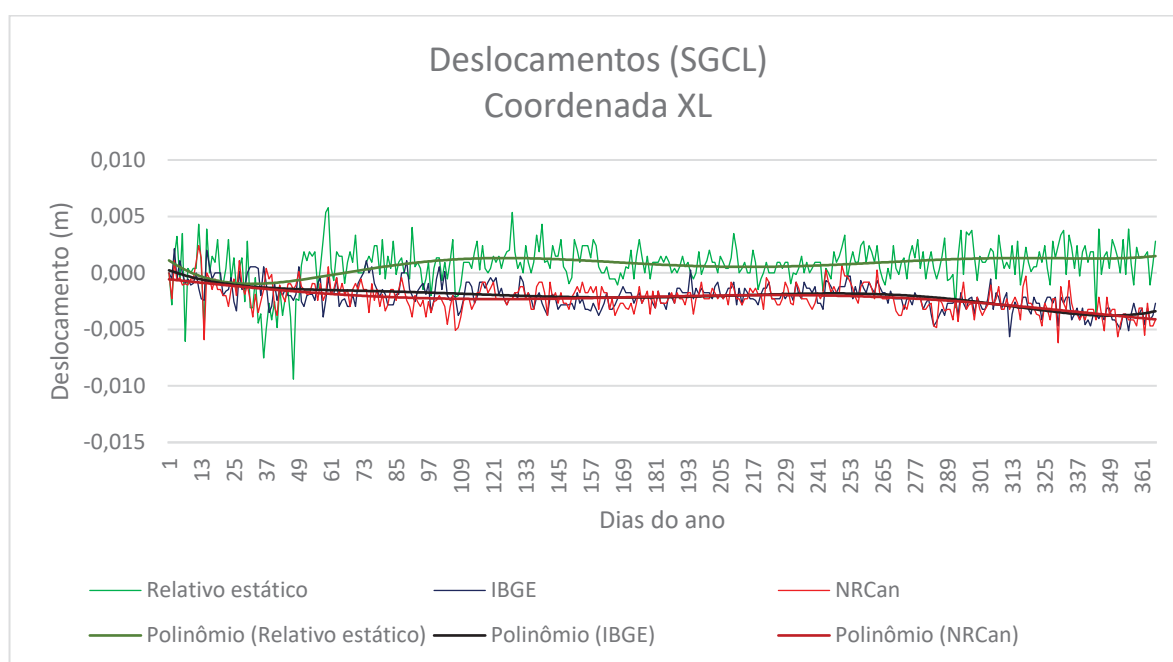
FONTE: O Autor.

## 4.5 COMPARAÇÃO ENTRE DESLOCAMENTOS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL DA UHE MAUÁ

### 4.5.1 Séries diárias

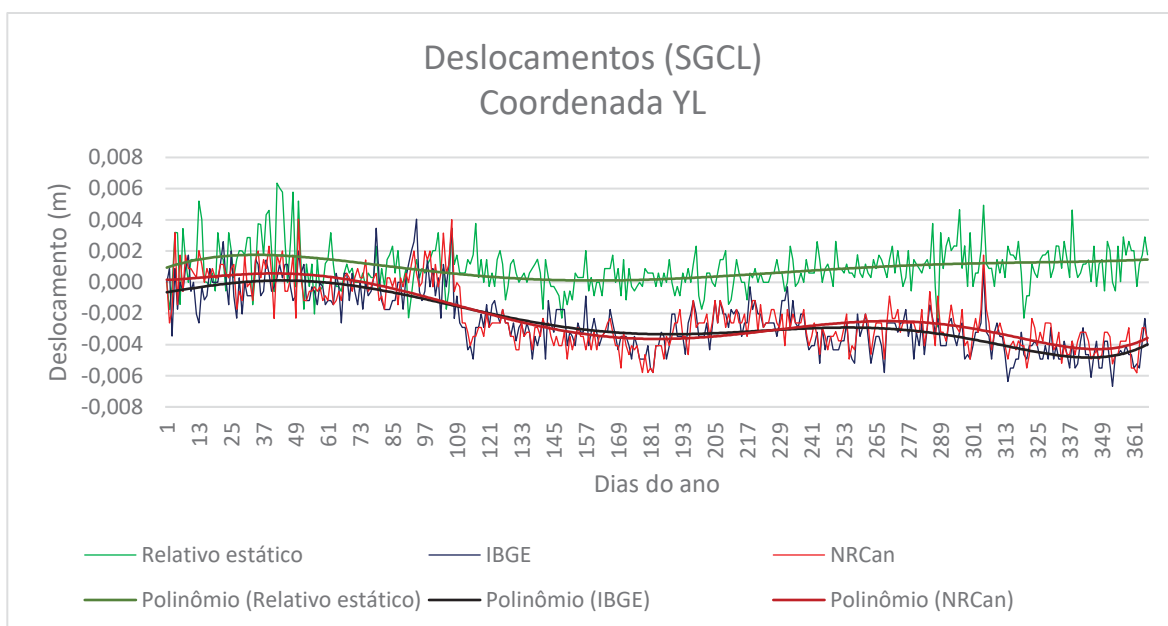
Os gráficos GRÁFICO 56, GRÁFICO 57 e GRÁFICO 58 explicitam o deslocamento absoluto obtidos através dos 3 métodos de processamento realizados neste trabalho. Neles é possível perceber o mesmo comportamento anômalo observado nos itens anteriores nas coordenadas YL e principalmente na coordenada ZL, a partir do dia 20 de abril. Na coordenada XL é possível notar uma maior proximidade entre os deslocamentos destes três métodos.

GRÁFICO 56 – DESLOCAMENTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS XL NO SGCL



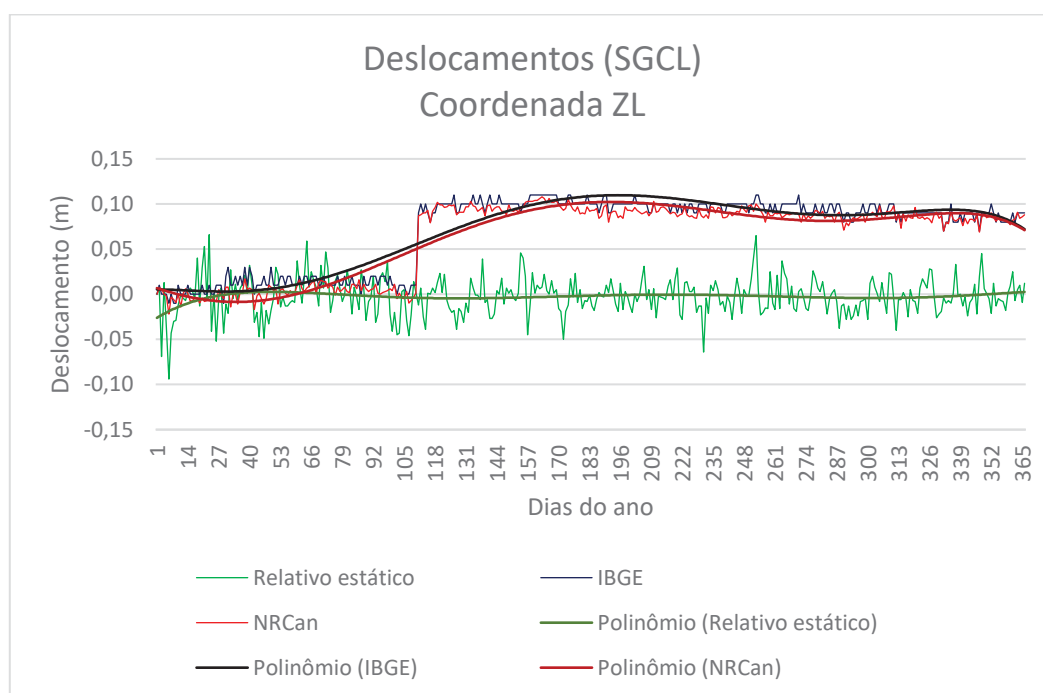
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 57 - DESLOCAMENTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS YL NO SGCL



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 58 - DESLOCAMENTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS ZL NO SGCL



FONTE: O Autor.

Na TABELA 31, na TABELA 32 e na TABELA 33 estão explicitados os valores máximo, médio e mínimo dos deslocamentos obtidos para os métodos relativo estático, PPP-IBGE e PPP-NRCan respectivamente.

TABELA 31 - VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS DOS DESLOCAMENTOS ENCONTRADOS PARA O MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO NO SGCL

Relativo Estático			
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Máximo	5,77	6,35	65,99
Média	0,72	0,90	-24,83
Mínimo	-9,40	-2,87	-94,00

FONTE: O Autor.

TABELA 32 - VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS DOS DESLOCAMENTOS ENCONTRADOS PARA O MÉTODO PPP-IBGE NO SGCL

PPP-IBGE			
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Máximo	2,14596	4,04172	110,00005
Média	-2,05701	-2,45793	70,19129
Mínimo	-5,64612	-6,68184	-10,00000

FONTE: O Autor.

TABELA 33 - VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS DOS DESLOCAMENTOS ENCONTRADOS PARA O MÉTODO PPP-NRCAN NO SGCL

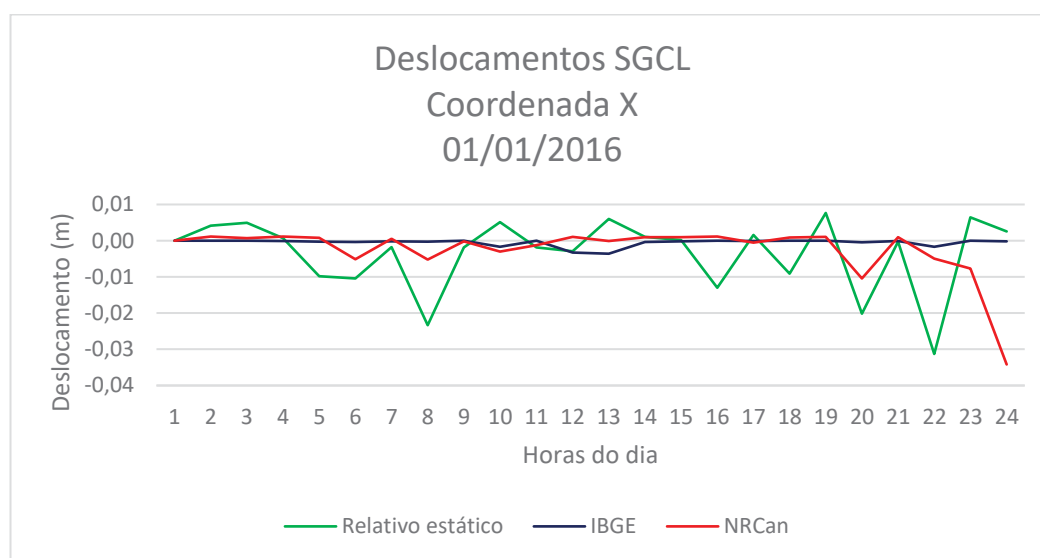
PPP-NRCan			
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Máximo	2,41881	4,04170	108,00003
Média	-2,22678	-2,21323	63,51916
Mínimo	-6,18256	-5,81747	-21,99999

FONTE: O Autor.

#### 4.5.2 Séries horarias

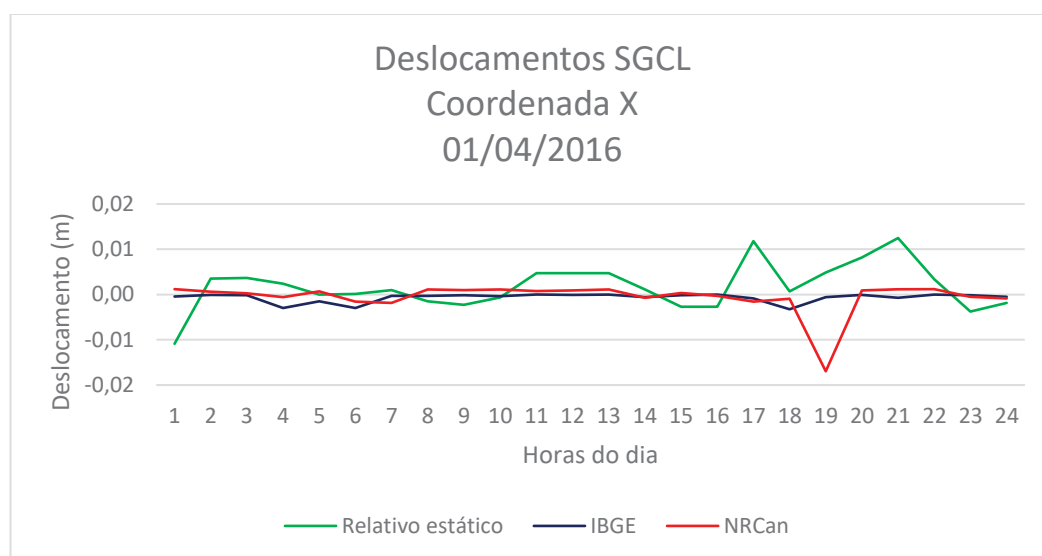
Os gráficos de número GRÁFICO 59 a GRÁFICO 73 mostram os deslocamentos no sistema geodésico local para as séries horárias. Percebe-se que em sua maioria os gráficos mostram que todos os três métodos de processamento comparado possuem comportamento similar, salvo em alguns em que o método relativo estático se afasta dos demais.

GRÁFICO 59 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 JANEIRO NO SGCL



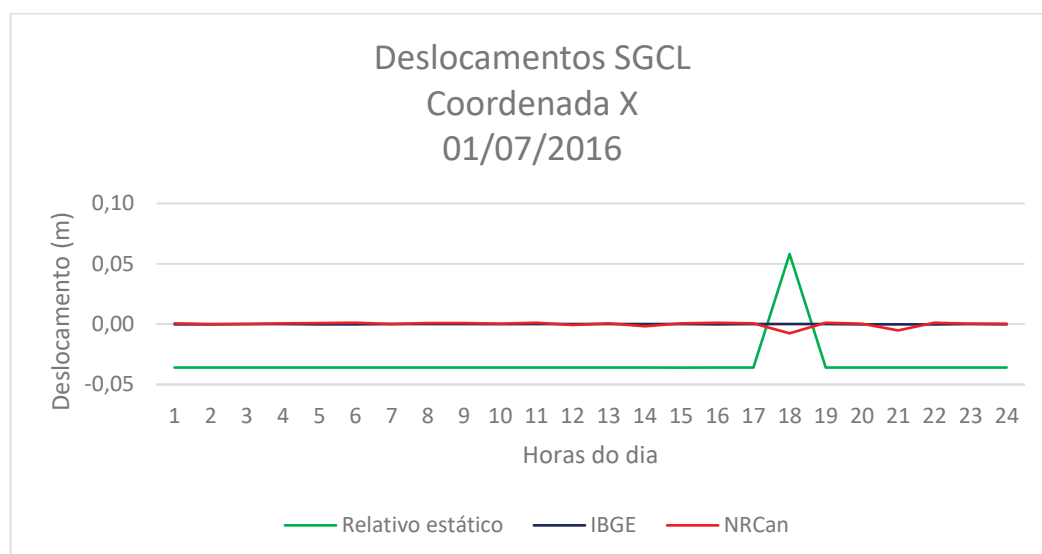
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 60 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 ABRIL NO SGCL



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 61 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 JULHO NO SGCL



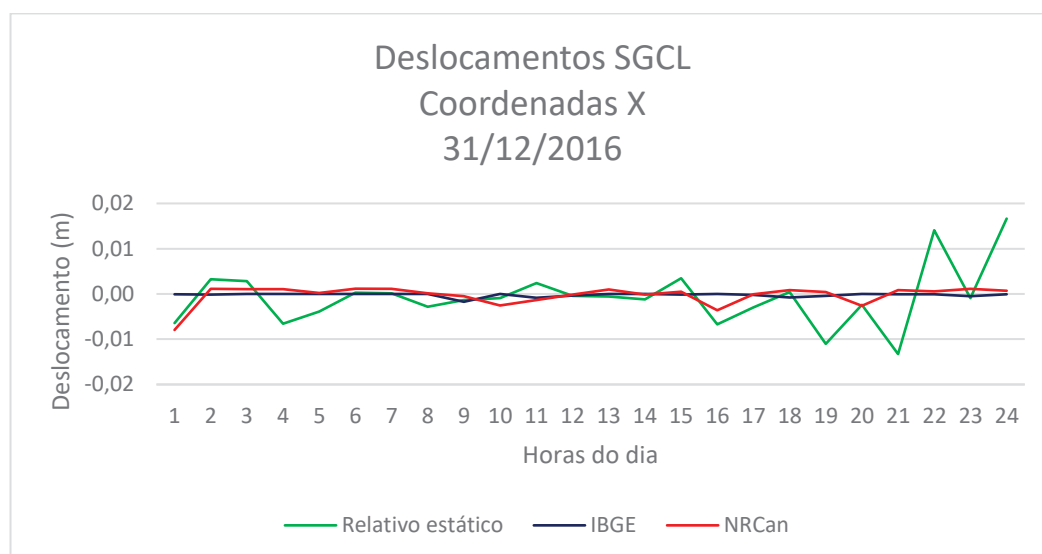
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 62 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 1 OUTUBRO NO SGCL



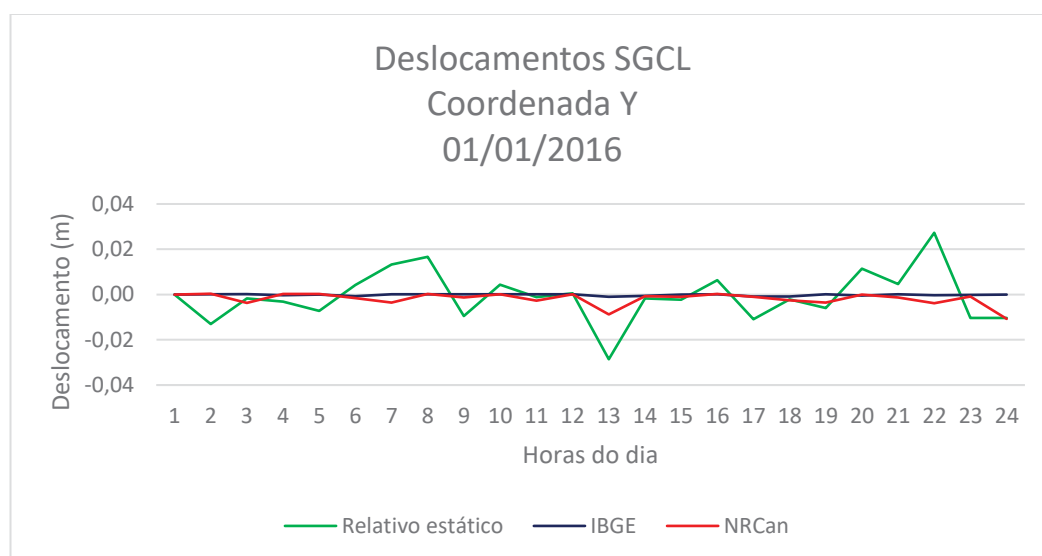
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 63 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS X PARA O DIA 31 DEZEMBRO NO SGCL



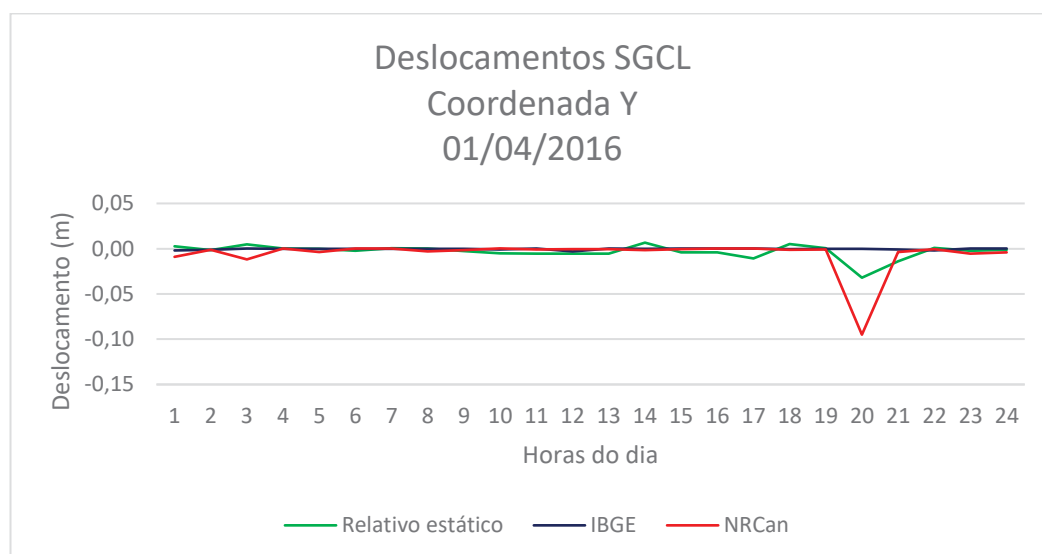
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 64 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O  
DIA 1 JANEIRO NO SGCL



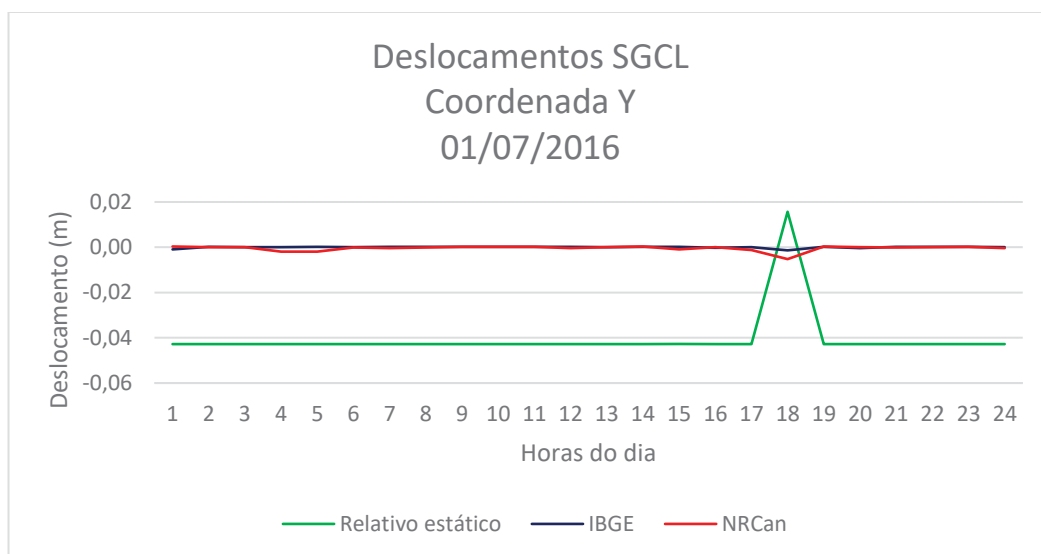
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 65 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O  
DIA 1 ABRIL NO SGCL



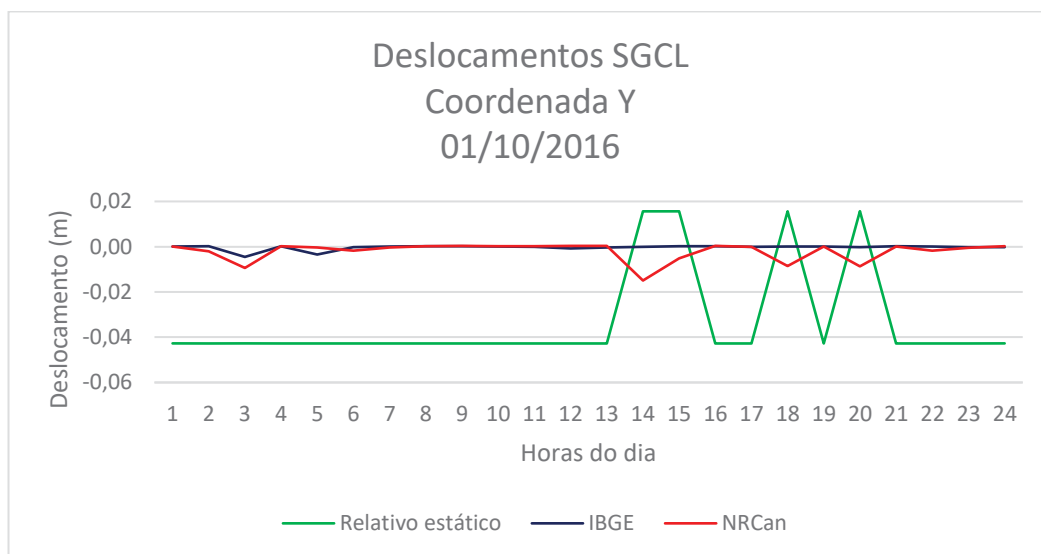
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 66 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 JULHO NO SGCL



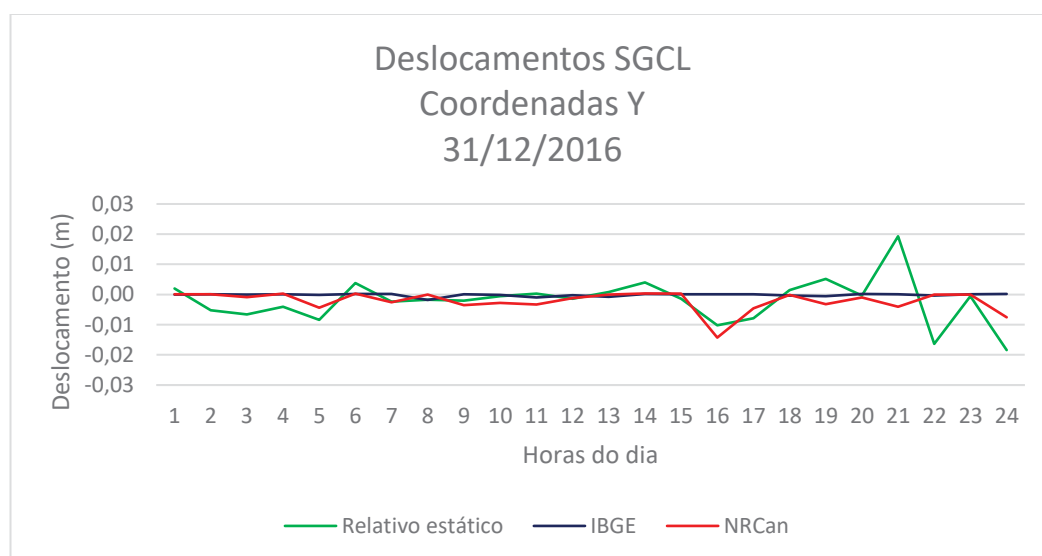
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 67 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 1 OUTUBRO NO SGCL



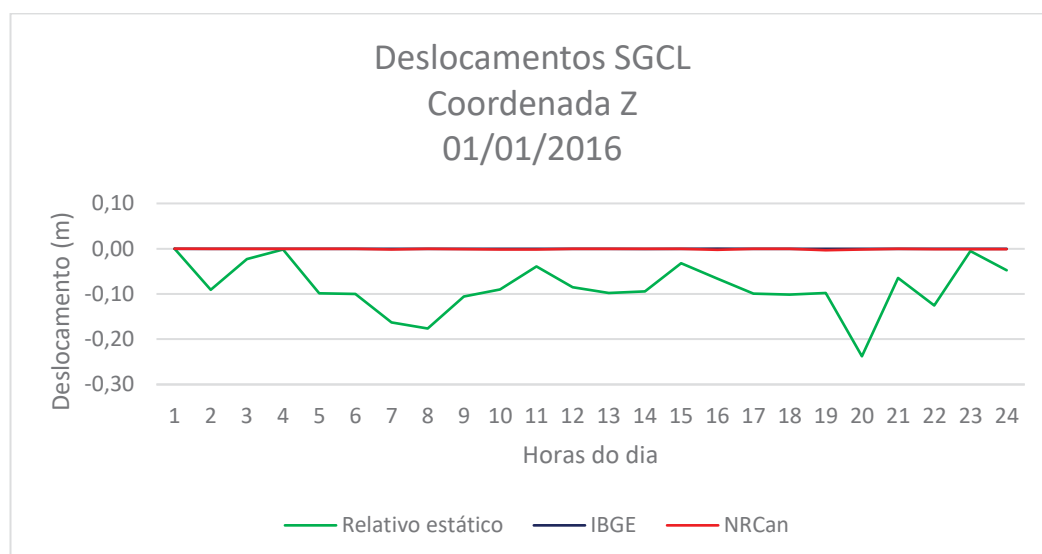
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 68 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Y PARA O DIA 31 DEZEMBRO NO SGCL



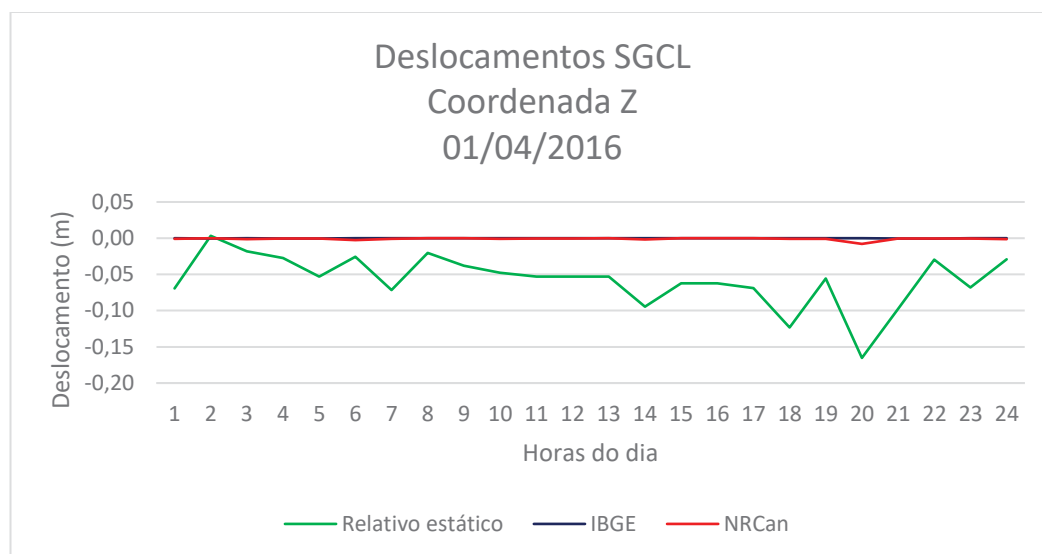
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 69 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 JANEIRO NO SGCL



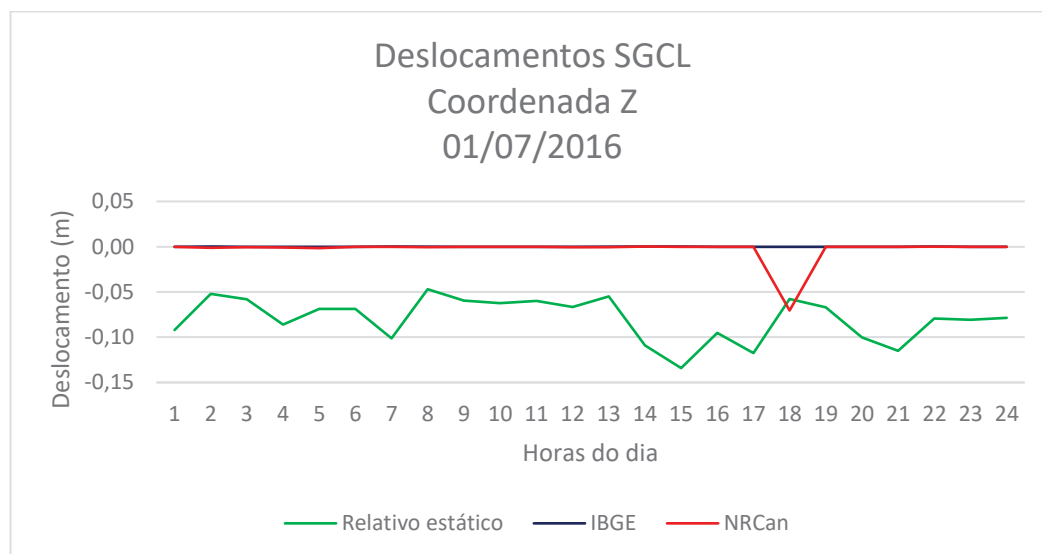
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 70 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 DE ABRIL NO SGCL



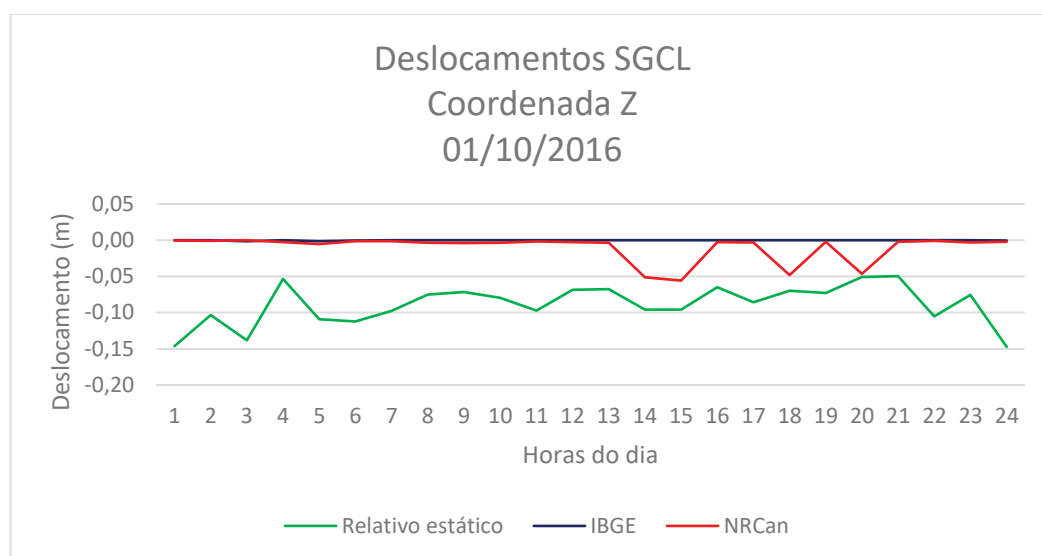
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 71 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 DE JULHO NO SGCL



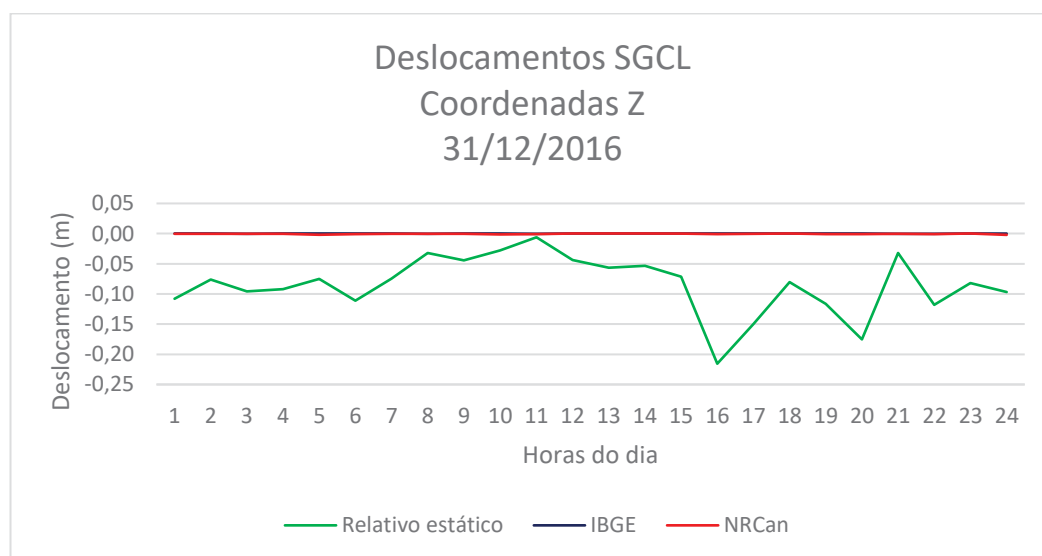
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 72 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 1 OUTUBRO NO SGCL



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 73 - DESLOCAMENTO ABSOLUTO DAS COMPONENTES CARTESIANAS Z PARA O DIA 31 OUTUBRO NO SGCL

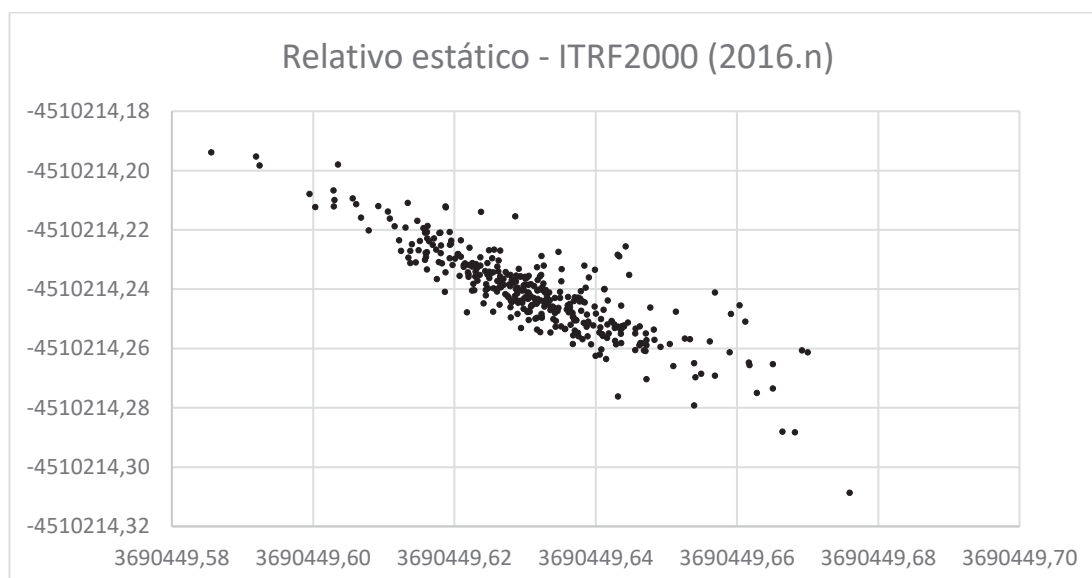


FONTE: O Autor.

#### 4.6 REPRESENTAÇÃO BIDIMENSIONAL DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO CONTÍNUO AO LONGO DO PERÍODO OBSERVADO

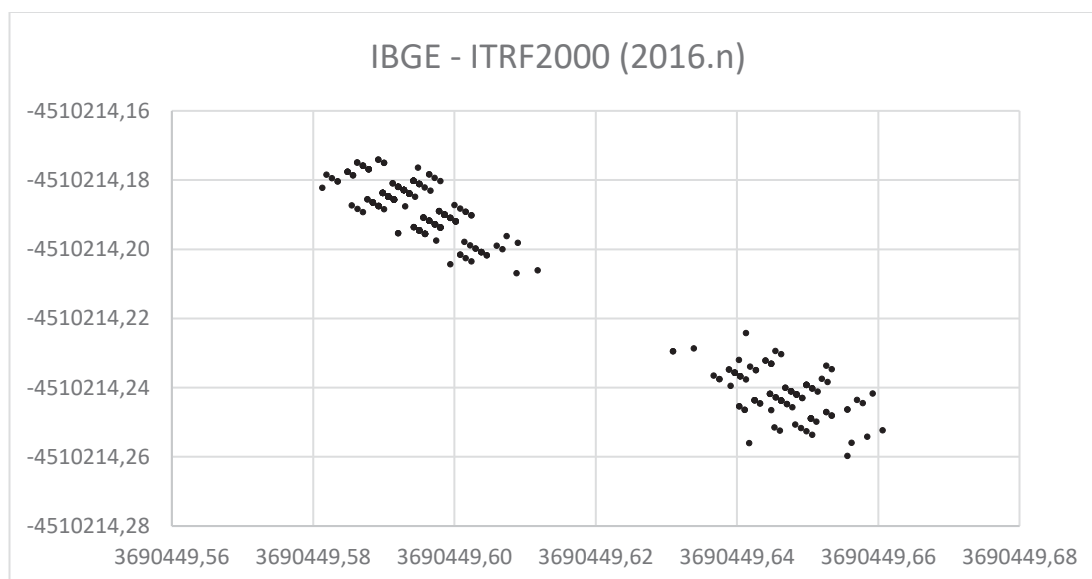
Os gráficos GRÁFICO 74, GRÁFICO 75 e GRÁFICO 76 mostram a distribuição dos pontos no plano XY no ITRF2000, época 2016.n e ao analisar tais gráficos percebe-se que o comportamento anômalo que ocorre a partir da observação do dia 20 de abril, descrito nos itens 4.2.1; 4.3.1; 4.4.1 e 4.5.1, é perceptível por meio da existência de dois agrupamentos de coordenadas espaçados. Vemos esse comportamento mais especificamente no GRÁFICO 75 e no GRÁFICO 76, representando o PPP- IBGE e o PPP-NRCan, respectivamente. Também nos gráficos GRÁFICO 75 e GRÁFICO 76 nota-se que a distribuição dos pontos ocorre de maneira a formar uma malha regular.

GRÁFICO 74–REPRESENTAÇÃO BIDIMENSIONAL DAS COORDENADAS OBTIDAS POR MEIO DO MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO NO ITRF2000 ÉPOCA 2016.N



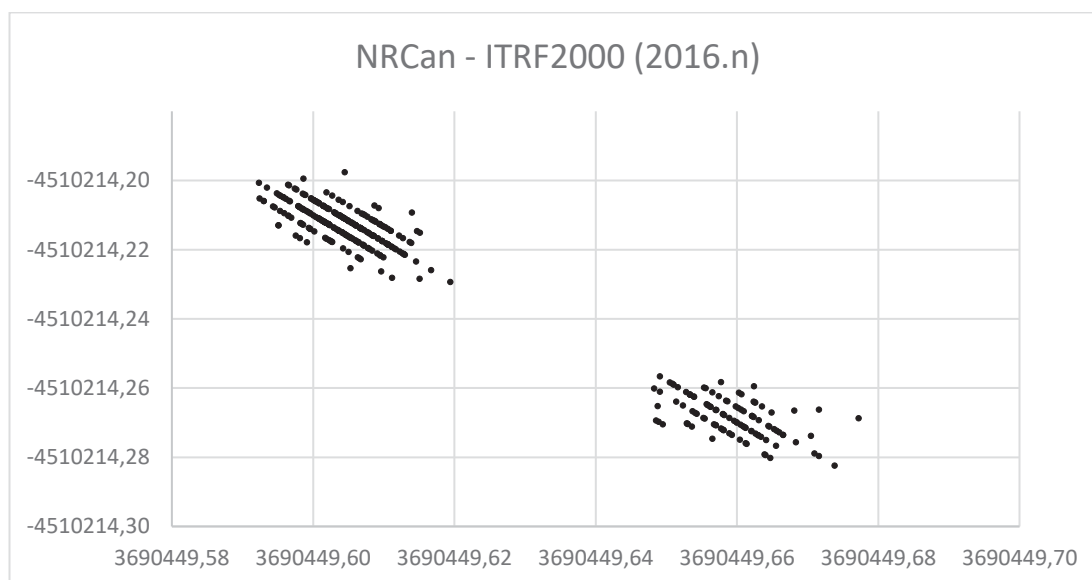
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 75–REPRESENTAÇÃO BIDIMENSIONAL DAS COORDENADAS OBTIDAS POR MEIO DO MÉTODO PPP-IBGE NO ITRF2000 ÉPOCA 2016.N



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 76–REPRESENTAÇÃO BIDIMENSIONAL DAS COORDENADAS OBTIDAS POR MEIO DO MÉTODO PPP-NRCAN NO ITRF2000 ÉPOCA 2016.N

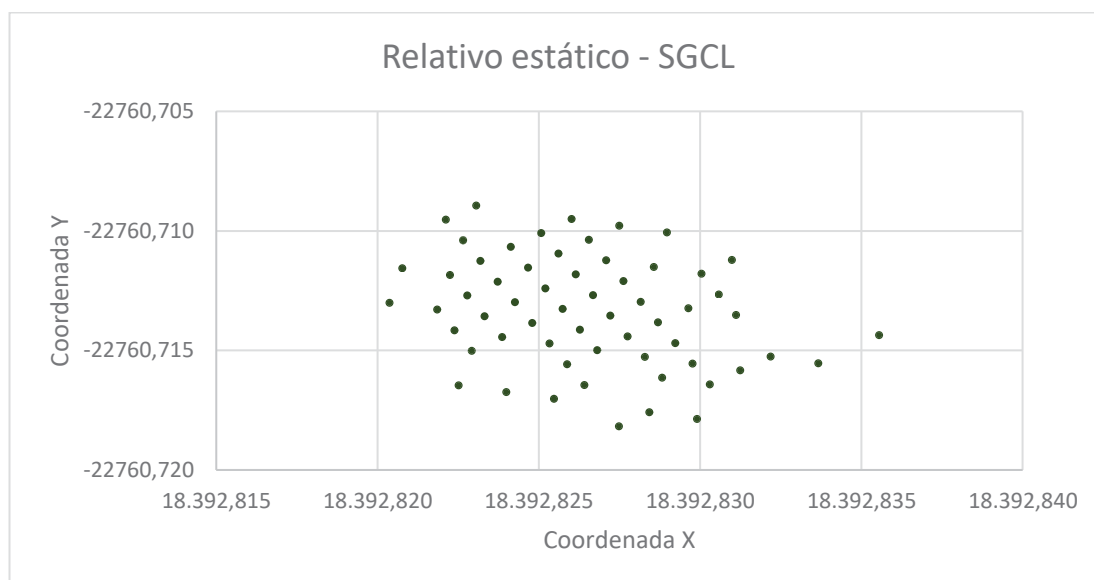


FONTE: O Autor.

Os gráficos GRÁFICO 77, GRÁFICO 78 e GRÁFICO 79 mostram a distribuição dos pontos no plano XY no SGCL, na época 2016.n, para os três métodos de processamentos abordados. Neles o comportamento anômalo observado nos gráficos GRÁFICO 75 e GRÁFICO 76, não é visto, porém o que pode ser visto em

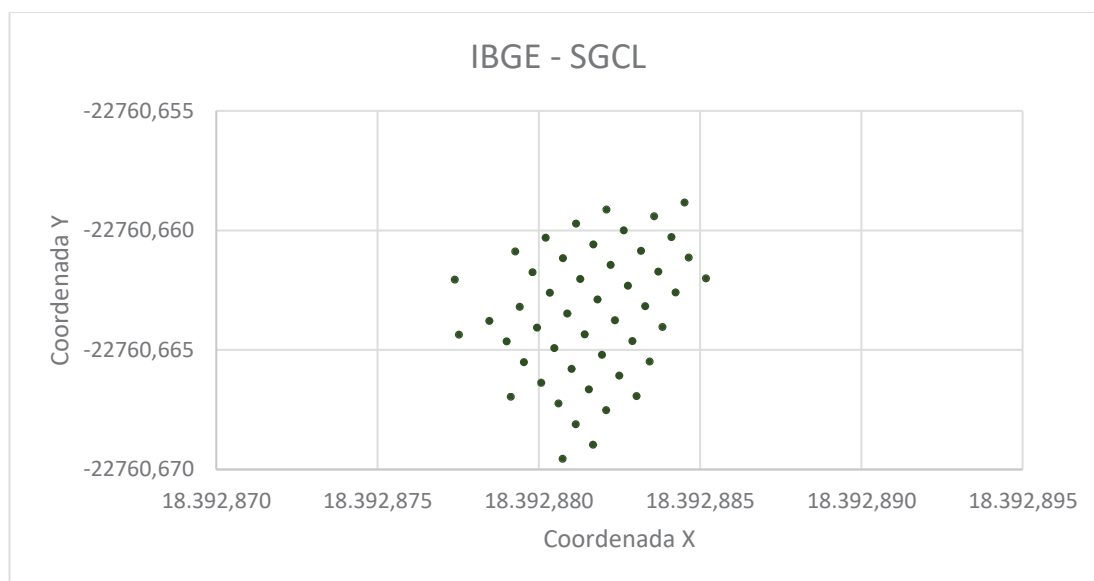
todos eles é que os pontos estão distribuídos de forma uma malha regular de pontos, assim também como nos gráficos GRÁFICO 75 e GRÁFICO 76. A diferença está no fato de que a malha regular com os pontos no SGCL apresenta-se inclusive nas coordenadas obtidas com uso do método relativo estático, o que não ocorre quando as coordenadas estão no ITRF2000. E também que existe uma sobreposição de pontos no gráfico, onde os pontos ocupam a mesma posição no eixo XY, porém possuem coordenada Z distinta.

GRÁFICO 77 - DISTRIBUIÇÃO PLANIMÉTRICA DAS COORDENADAS OBTIDAS POR MEIO DO MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO NO SGCL



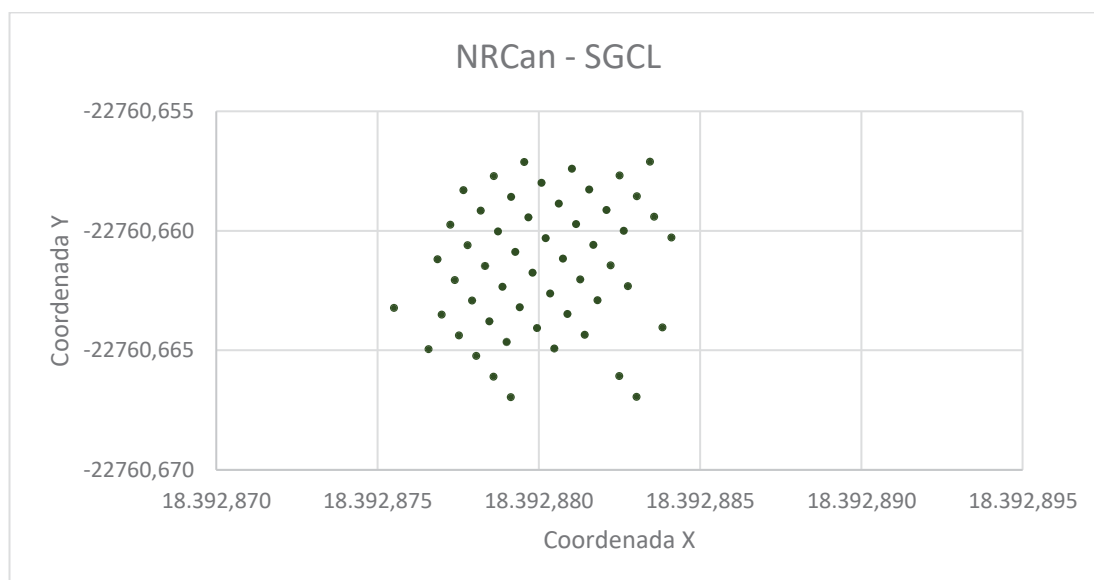
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 78 - DISTRIBUIÇÃO PLANIMÉTRICA DAS COORDENADAS OBTIDAS POR MEIO DO MÉTODO PPP-IBGE NO SGCL



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 79 - DISTRIBUIÇÃO PLANIMÉTRICA DAS COORDENADAS OBTIDAS POR MEIO DO MÉTODO PPP-NRCAN NO SGCL



FONTE: O Autor.

#### 4.7 RESULTADOS DO PROCESSAMENTO COM A ANTENA LEIAT504

As TABELA 34, TABELA 35, TABELA 36, TABELA 37, TABELA 38 e TABELA 39 e apresentam as coordenadas cartesianas tridimensionais ITRF2000 (2016.n) ajustadas da estação Mauá processadas com a antena LEIAT504 e seus respectivos desvios padrões. O ajustamento foi executado com as estações RBMC Ourinhos, Guarapuava, Maringá e UFPR.

Os GRÁFICO 80, GRÁFICO 81, GRÁFICO 82, GRÁFICO 83,

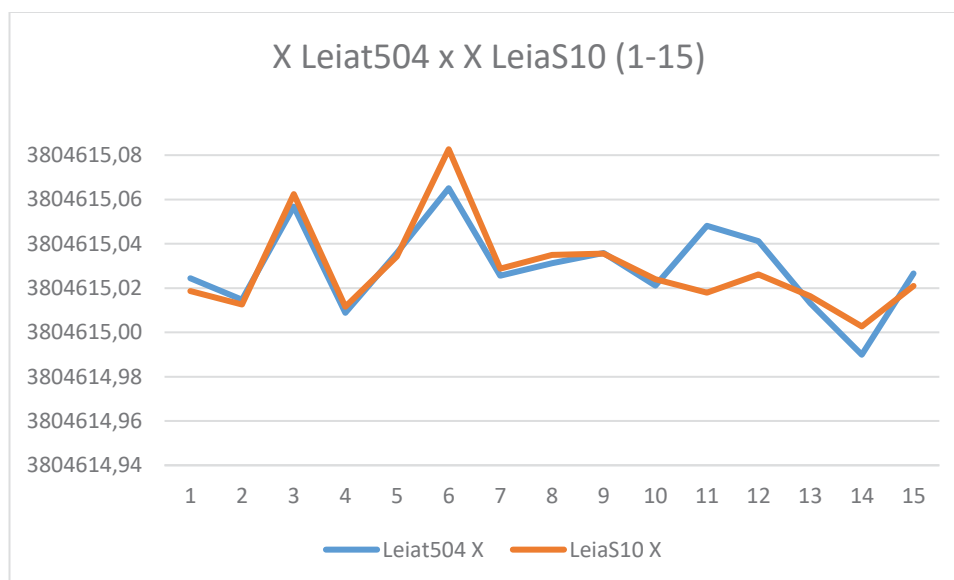
GRÁFICO 84, GRÁFICO 85, GRÁFICO 86, GRÁFICO 87 e GRÁFICO 88 comparam como as coordenadas absolutas se comportam quando processadas com as antenas LeiaS10 e Leiat504, para os períodos de tempo analisados

TABELA 34 – COORDENADAS CARTESIANAS TRIDIMENSIONAIS DA ESTAÇÃO MAUÁ NOS PRIMEIROS 15 DIAS DO ANO DE 2016 PROCESSADAS COM USO DA ANTENA LEIAT504.

Dia do Ano	Data	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	1/1/16	3804615,0186	-4421945,1805	-2572066,2006
2	2/1/16	3804615,0126	-4421945,1736	-2572066,2066
3	3/1/16	3804615,0624	-4421945,2271	-2572066,2255
4	4/1/16	3804615,0116	-4421945,1767	-2572066,1837
5	5/1/16	3804615,0342	-4421945,2118	-2572066,2121
6	6/1/16	3804615,0827	-4421945,2420	-2572066,2329
7	7/1/16	3804615,0288	-4421945,2185	-2572066,2262
8	8/1/16	3804615,0350	-4421945,2040	-2572066,2096
9	9/1/16	3804615,0355	-4421945,2003	-2572066,2118
10	10/1/16	3804615,0240	-4421945,1912	-2572066,2021
11	11/1/16	3804615,0179	-4421945,1842	-2572066,1979
12	12/1/16	3804615,0262	-4421945,1851	-2572066,1905
13	13/1/16	3804615,0163	-4421945,1954	-2572066,1944
14	14/1/16	3804615,0027	-4421945,1882	-2572066,2048
15	15/1/16	3804615,0209	-4421945,1747	-2572066,1887

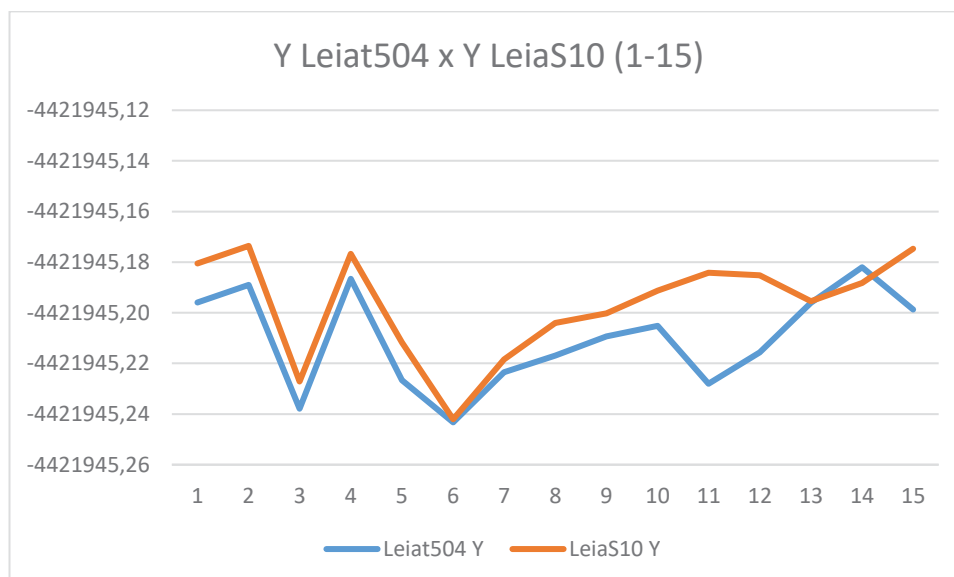
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 80 – COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES X DAS COORDENADAS  
PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 1 E 15 DO ANO DE  
2016.



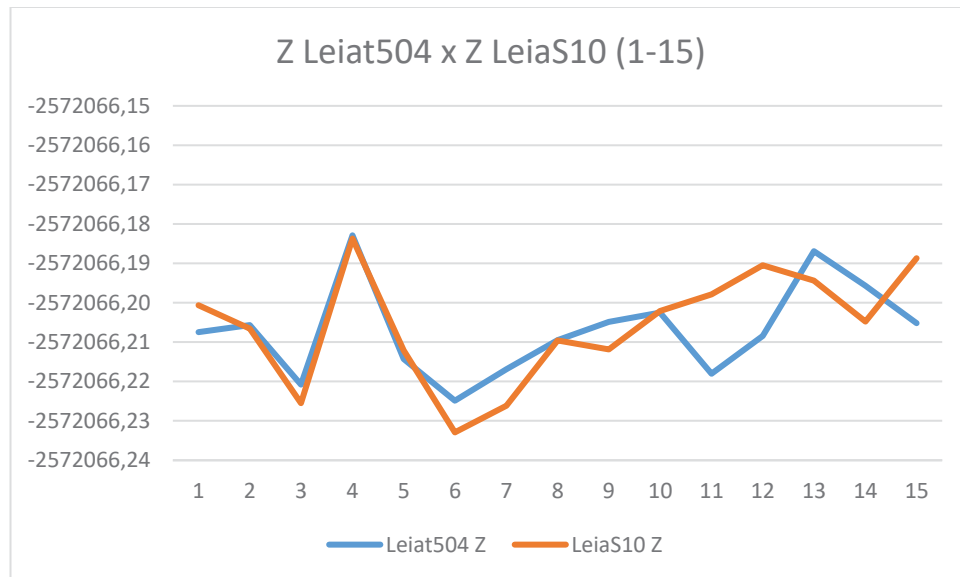
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 81 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES Y DAS COORDENADAS  
PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 1 E 15 DO ANO DE  
2016.



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 82 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES Z DAS COORDENADAS  
PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 1 E 15 DO ANO DE  
2016.



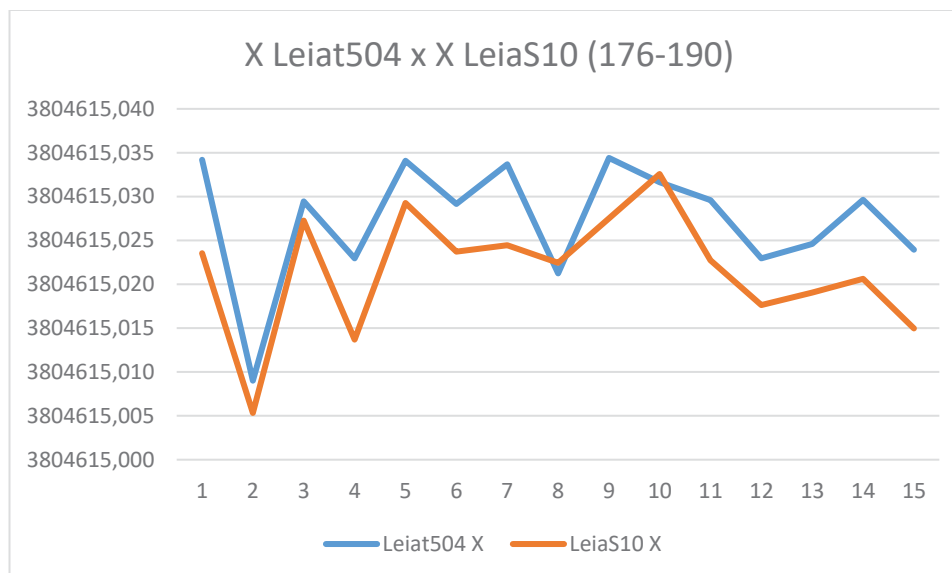
FONTE: O Autor.

TABELA 35 - COORDENADAS CARTESIANAS TRIDIMENSIONAIS DA ESTAÇÃO MAUÁ 15 DIAS  
NO MEIO DO ANO DE 2016 PROCESSADAS COM USO DA ANTENA LEIAT504

Dia do Ano	Data	X(m)	Y(m)	Z(m)
176	24/6/16	3804615,0235	-4421945,1839	-2572066,1935
177	25/6/16	3804615,0053	-4421945,1671	-2572066,1859
178	26/6/16	3804615,0272	-4421945,1883	-2572066,1960
179	27/6/16	3804615,0137	-4421945,1812	-2572066,1930
180	28/6/16	3804615,0293	-4421945,1950	-2572066,1987
181	29/6/16	3804615,0237	-4421945,1886	-2572066,1949
182	30/6/16	3804615,0245	-4421945,1894	-2572066,1954
183	1/7/16	3804615,0224	-4421945,1827	-2572066,1925
184	2/7/16	3804615,0275	-4421945,1930	-2572066,1974
185	3/7/16	3804615,0326	-4421945,1945	-2572066,1994
186	4/7/16	3804615,0227	-4421945,1874	-2572066,1941
187	5/7/16	3804615,0176	-4421945,1815	-2572066,1940
188	6/7/16	3804615,0191	-4421945,1875	-2572066,1930
189	7/7/16	3804615,0206	-4421945,1850	-2572066,1959
190	8/7/16	3804615,0150	-4421945,1741	-2572066,1906

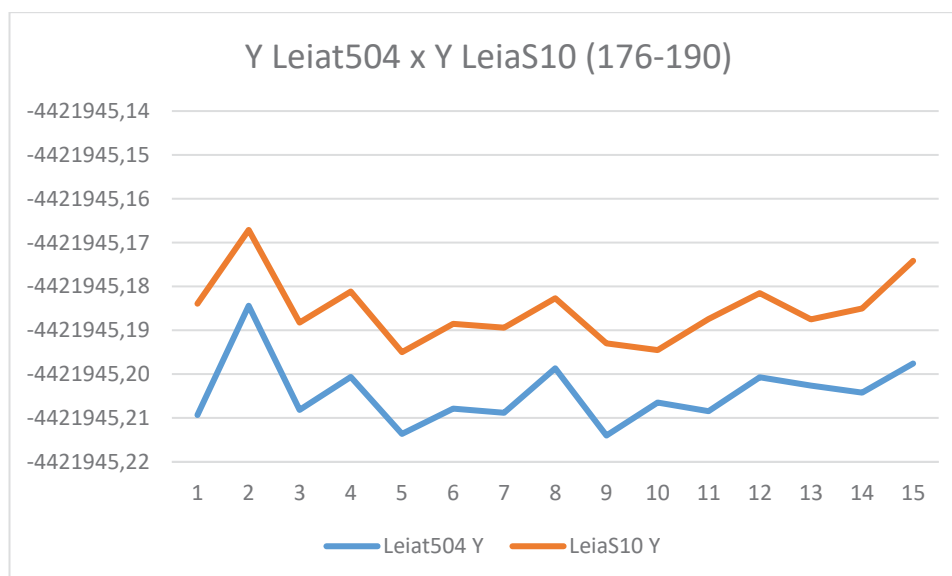
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 83 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES X DAS COORDENADAS PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 176 E 190 DO ANO DE 2016.



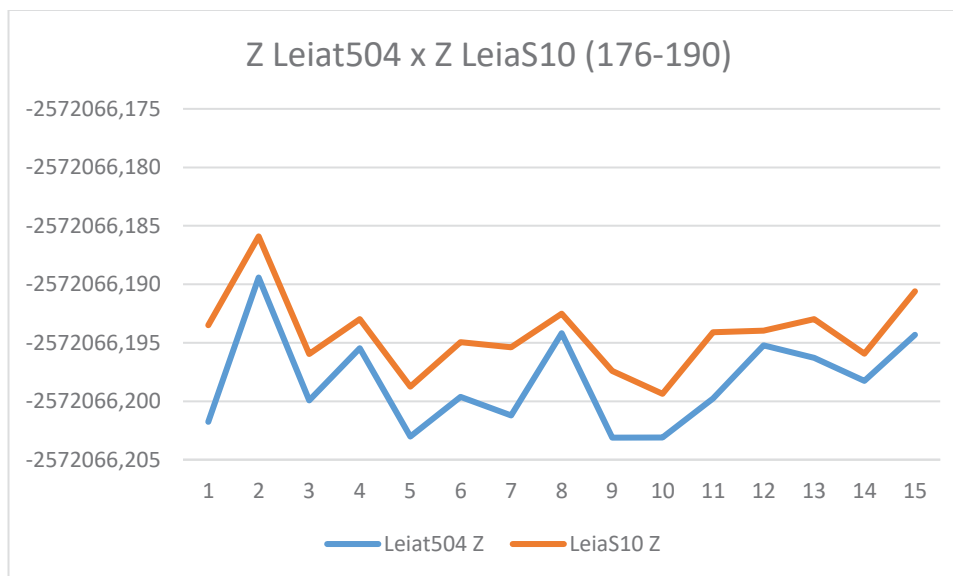
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 84 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES Y DAS COORDENADAS PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 176 E 190 DO ANO DE 2016.



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 85 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES Z DAS COORDENADAS  
PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 176 E 190 DO ANO  
DE 2016.



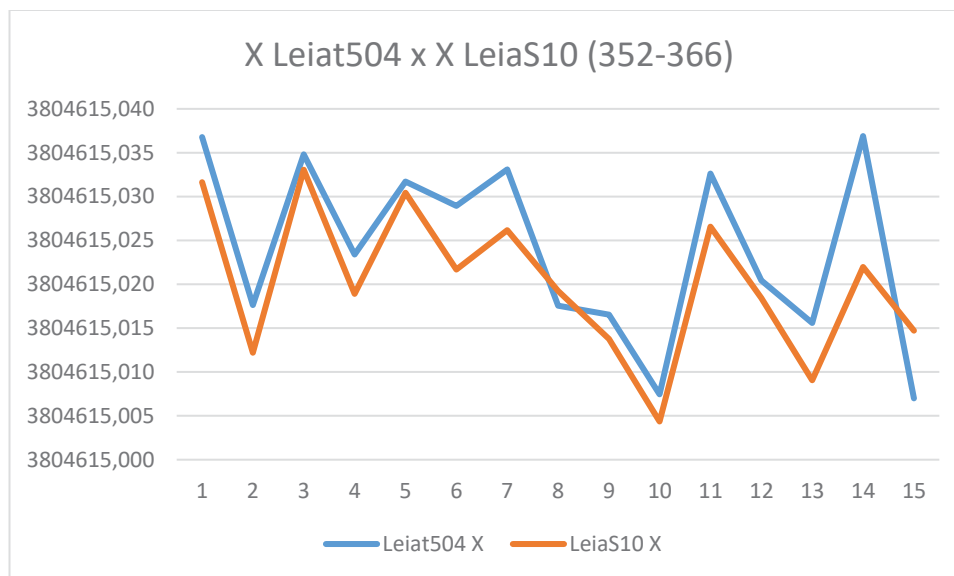
FONTE: O Autor.

TABELA 36 - COORDENADAS CARTESIANAS TRIDIMENSIONAIS DA ESTAÇÃO MAUÁ NOS  
ULTIMOS 15 DIAS DO ANO DE 2016 PROCESSADAS COM USO DA ANTENA LEIAT504

Dia do Ano	Data	X(m)	Y(m)	Z(m)
352	17/12/16	3804615,0316	-4421945,2040	-2572066,1929
353	18/12/16	3804615,0122	-4421945,1771	-2572066,1849
354	19/12/16	3804615,0331	-4421945,1927	-2572066,1895
355	20/12/16	3804615,0189	-4421945,1936	-2572066,1890
356	21/12/16	3804615,0304	-4421945,1896	-2572066,1842
357	22/12/16	3804615,0217	-4421945,1969	-2572066,1875
358	23/12/16	3804615,0261	-4421945,2020	-2572066,1972
359	24/12/16	3804615,0192	-4421945,1897	-2572066,1809
360	25/12/16	3804615,0138	-4421945,1833	-2572066,1805
361	26/12/16	3804615,0044	-4421945,1724	-2572066,1741
362	27/12/16	3804615,0266	-4421945,1895	-2572066,1896
363	28/12/16	3804615,0184	-4421945,1845	-2572066,1821
364	29/12/16	3804615,0091	-4421945,1822	-2572066,1854
365	30/12/16	3804615,0220	-4421945,1973	-2572066,1874
366	31/12/16	3804615,0147	-4421945,1802	-2572066,1761

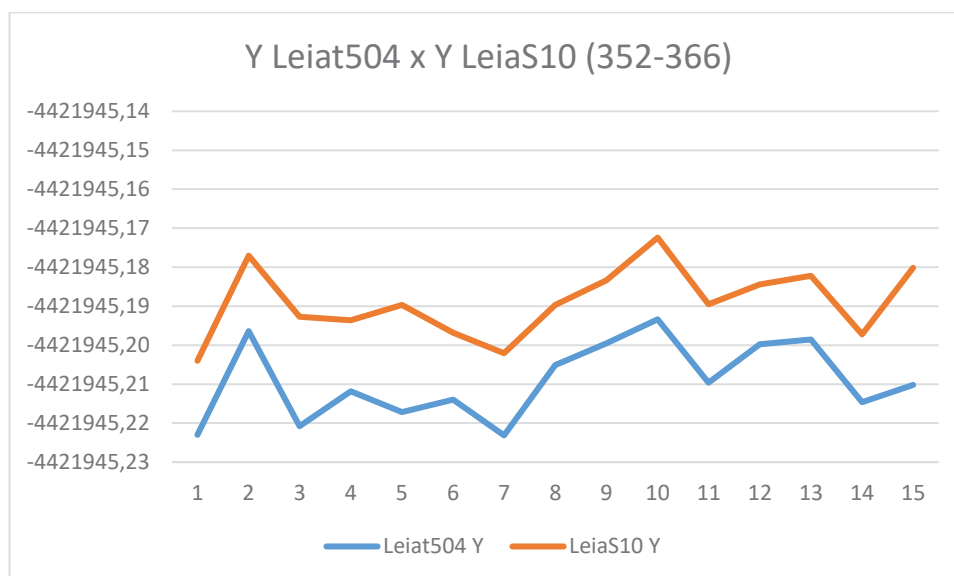
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 86 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES X DAS COORDENADAS  
PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 352 E 366 DO ANO  
DE 2016.



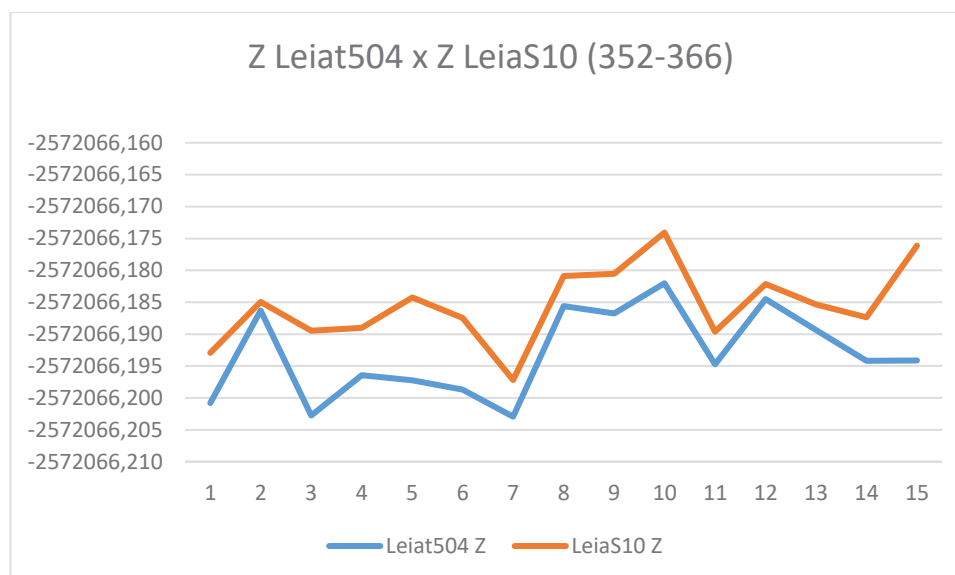
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 87 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES Y DAS COORDENADAS  
PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 352 E 366 DO ANO  
DE 2016.



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 88 - COMPORTAMENTO DAS COMPONENTES Z DAS COORDENADAS  
PROCESSADAS COM AS ANTENAS LEIAT504 E LEIAS10, ENTRE OS DIAS 352 E 366 DO ANO  
DE 2016.



FONTE: O Autor.

TABELA 37 – DESVIOS PADRÃO DOS DADOS DE RASTREIO DA ESTAÇÃO MAUÁ NOS PRIMEIROS 15 DIAS DO ANO DE 2016 PROCESSADAS COM USO DA ANTENA LEIAT504

Dia do Ano	Data	Desvio Padrão em X (mm)	Desvio Padrão em Y (mm)	Desvio Padrão em Z (mm)
1	1/1/16	0,01	0,05	0,39
2	2/1/16	0,04	0,00	0,32
3	3/1/16	1,28	2,38	1,10
4	4/1/16	0,15	0,01	0,02
5	5/1/16	0,22	1,41	0,71
6	6/1/16	1,94	2,92	1,39
7	7/1/16	0,02	1,17	0,86
8	8/1/16	0,10	0,77	0,48
9	9/1/16	0,22	0,40	0,30
10	10/1/16	0,00	0,25	0,23
11	11/1/16	0,74	1,50	0,94
12	12/1/16	0,41	0,69	0,44
13	13/1/16	0,06	0,04	0,00
14	14/1/16	0,97	0,05	0,07
15	15/1/16	0,03	0,09	0,32

FONTE: O Autor.

TABELA 38 - DESVIOS PADRÃO DOS DADOS DE RASTREIO DA ESTAÇÃO MAUÁ 15 DIAS NO MEIO DO ANO DE 2016 PROCESSADAS COM USO DA ANTENA LEIAT504

Dia do Ano	Data	Desvio Padrão em X (mm)	Desvio Padrão em Y (mm)	Desvio Padrão em Z (mm)
176	24/6/16	0,16	0,31	0,37
177	25/6/16	0,16	0,05	0,05
178	26/6/16	0,06	0,27	0,31
179	27/6/16	0,00	0,08	0,17
180	28/6/16	0,16	0,47	0,43
181	29/6/16	0,06	0,26	0,30
182	30/6/16	0,15	0,29	0,36
183	1/7/16	0,00	0,05	0,14
184	2/7/16	0,17	0,49	0,44
185	3/7/16	0,10	0,21	0,44
186	4/7/16	0,06	0,27	0,31
187	5/7/16	0,00	0,08	0,17
188	6/7/16	0,01	0,11	0,20
189	7/7/16	0,07	0,15	0,26
190	8/7/16	0,01	0,03	0,15

FONTE: O Autor.

TABELA 39 - DESVIOS PADRÃO DOS DADOS DE RASTREIO DA ESTAÇÃO MAUÁ NOS  
ULTIMOS 15 DIAS DO ANO DE 2016 PROCESSADAS COM USO DA ANTENA LEIAT504

Dia do Ano	Data	Desvio Padrão em X (mm)	Desvio Padrão em Y (mm)	Desvio Padrão em Z (mm)
352	17/12/16	0,22	0,82	0,56
353	18/12/16	0,02	0,00	0,08
354	19/12/16	0,16	0,69	0,66
355	20/12/16	0,00	0,30	0,37
356	21/12/16	0,09	0,52	0,41
357	22/12/16	0,05	0,38	0,47
358	23/12/16	0,12	0,82	0,67
359	24/12/16	0,02	0,11	0,07
360	25/12/16	0,03	0,03	0,10
361	26/12/16	0,21	0,00	0,03
362	27/12/16	0,11	0,23	0,32
363	28/12/16	0,00	0,03	0,06
364	29/12/16	0,04	0,02	0,16
365	30/12/16	0,22	0,40	0,30
366	31/12/16	0,23	0,24	0,30

FONTE: O Autor.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As análises realizadas no item 4.1 deixam claro que, para o período de tempo analisado nos processamentos, reduzir as coordenadas a uma mesma época de referência não as torna suficientemente diferentes das coordenadas não reduzidas e, portanto, a redução de coordenadas foi descartada nas demais comparações feitas posteriormente.

No item 4.2 foi realizada a comparação entre as coordenadas obtidas através dos 3 métodos de processamento com séries diárias e horárias. Nas séries diárias foi possível perceber que ambos os métodos iniciam com valores próximos e a partir de uma data, no caso 20 de abril, as coordenadas dos dois métodos PPP sofrem uma brusca variação o que pode ter sido ocasionado por uma mudança no sistema de processamento do NRCan e uma vez que o PPP do IBGE tem como base o serviço disponibilizado pelo NRCan, este também foi afetado. Tal variação brusca não pode ser percebida nas séries horárias, que pouco de incomum explicitam ao serem analisadas, mantendo o padrão: Métodos PPP mais próximos e Relativo estático diferenciando-se.

Ainda no item 4.2 são feitas as mesmas análises estatísticas realizadas do item 4.1, a fim de verificar se as coordenadas obtidas através de cada um dos métodos poderiam ser consideradas equivalentes dentro de um nível de significância de 95%. Os resultados desta análise estatística revelaram que as comparações entre todos os três métodos foram rejeitados no teste de hipóteses em questão.

O item 4.3 analisa os deslocamentos ocorridos nas coordenadas em ITRF2000 para as séries diárias e horárias e nele é possível perceber o mesmo comportamento existente na comparação entre as coordenadas absolutas, item 4.2, em que existe o já mencionado “salto” no valor das coordenadas ocorrido no dia 20 de abril. E mesmo com as coordenadas no SGCL, tal variação no deslocamento ainda é evidenciada apesar de com menos intensidade nas componentes X e Y.

Analisando também os deslocamentos médios nas coordenadas em ITRF2000, percebe-se que os menores valores apresentam-se nas coordenadas obtidas através do método relativo estático (1,8mm em X; 5,8mm em Y; e 7,3mm em Z) que distancia-se dos métodos PPP (para o PPP-IBGE 43,7mm em X; 58,8mm em

Y; e 28,1mm em Z; já para o PPP-NRCan os valores foram de 40,4mm em X; 53,7mm em Y; e 10,6mm em Z) enquanto estes mantiveram valores mais próximos entre si do que em relação ao relativo estático.

Quando são analisados os deslocamentos médios nas coordenadas no SGCL a tendência descrita acima se mantém, com os valores menores sendo os provenientes dos processamentos pelo método relativo estático, com valores de 0,7mm em X; 0,9mm em Y; e -2,4mm em Z. Tais valores médios, como já dito, distanciam-se dos valores médios dos deslocamentos para o PPP-IBGE em 2,78mm na componente X; 3,35mm na componente Y; e 72,67mm na componente Z; e para o PPP-NRCan os valores foram de 2,95mm em X; 3,11mm em Y; e 66,00mm em Z.

O objetivo deste trabalho era a comparação de resultados de processamentos de dados GNSS através do método relativo estático de bases longas, tido neste trabalho como método mais confiável e preciso, com métodos de posicionamento por ponto preciso, conhecidos e citados neste trabalho como “métodos PPP”. Sendo assim, ao analisar os resultados obtidos após o processamento de séries diárias de todo o ano de 2016 e horárias de 5 dias específicos deste mesmo ano, conclui-se que para os enfoques dados neste trabalho, os métodos PPP ainda não possuem a acurácia necessária para rivalizar com o método relativo estático no estudo de caso deste trabalho, mesmo no que tange o conceito de bases longas e mesmo considerando variáveis importantes e que foram levadas em conta no decorrer do trabalho.

Por fim, tem-se as representações bidimensionais para as coordenadas em ITRF2000 e no SGCL, no item 4.6. Percebe-se logo que a única representação não-regular é a correspondente ao método relativo estático quando em ITRF2000, que apresenta uma distribuição perpendicular ao comprimento da barragem. Todas as demais representações demonstram uma regularidade incomum na distribuição de seus pontos de rastreo, sobretudo as correspondentes as coordenadas no SGCL que além de regulares possuem muitos pontos sobrepostos uns aos outros, ou seja, com as componentes X e Y iguais. As distribuições correspondentes aos métodos PPP em ITRF2000 também possuem dois agrupamentos de pontos, característica proveniente do mesmo evento citado anteriormente, ocorrido no dia 20 de abril.

Seguindo recomendações da banca uma parte dos dados foi reprocessada com uma antena diferente, ao invés da antena LeiaS10 registrada nos arquivos brutos de rastreamento, o processamento foi feito com a antena Leiat504 que é a antena que realmente está instalada na UHE Mauá. Analisando as Tabelas geradas e principalmente os gráficos, nota-se que a maior diferença gerada entre os resultados foi de aproximadamente 3cm para a componente X, aproximadamente 4cm para a componente Y, e aproximadamente 2cm para a componente Z. Porém, ao analisar os desvios padrões, nota-se que os relativos ao processamento com a antena Leiat504 aumentaram se comparados com os processamentos relativos a antena LeiaS10.

Recomenda-se ainda a observação de alguns fatores e variáveis que podem ser levados em conta em trabalhos futuros como a inclusão de um período temporal maior para verificar o impacto do movimento litosférico nas coordenadas; a maior atenção as correções dos erros provenientes da atmosfera no que tange as observações GNSS; e a inclusão de um maior número de processamentos PPP, considerando também uma análise mais profunda de como cada um desses métodos PPP chega a seu resultado.

## 6 REFERENCIAS

ALMEIDA, M. S.; DAL POZ, W. R. POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO E POSICIONAMENTO RELATIVO COM GNSS: QUAL É O MÉTODO MAIS ACURADO ATUALMENTE? **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 1, p. 175–195, 2016.

ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G. GPS/VRS positioning using atmospheric modeling. **GPS Solutions**, v. 15, n. 3, p. 253–261, 2011.

CRUZ, W. D. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. , p. 146, 2015.

DALAZOANA, R. **IMPLICAÇÕES NA CARTOGRAFIA COM A EVOLUÇÃO DO SISTEM A GEODÉSICO BRASILEIRO E FUTURA ADOÇÃO DO SIRGAS**, 2001. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná.

DE SOUZA, E. M.; ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G. As Diferentes Versões da Transformada de Helmert e suas Aplicações na Transformação entre Sistemas de Referência. **TEMA - Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, v. 9, n. 3, 2008. Disponível em:  
<<http://sbmac.org.br/tema/seer/index.php/tema/article/view/149>>. Acesso em: 13/3/2018.

FAUSTINO, R. C. POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO ESTÁTICO E CINEMÁTICO: IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE. , p. 106, 2006.

GEMAEL, C.; ANDRADE, J. B. Geodésia Celeste. , 2015.

GROVES, P. D. **Principles of GNSS, Inertial, and Multi-sensor Integrated Navigation Systems**. 2008.

HEIN, G. W. From GPS and GLONASS via EGNOS to Galileo – Positioning and Navigation in the Third Millennium. **GPS Solutions**, v. 3, n. 4, p. 39–47, 2000.

HEISKANEN, W. A.; MORITZ, H.; HOFMANN-WELLENHOF, B. **Physical geodesy**. 2º ed. Springer Science & Business Media, 2006.

HELMERT, F. R. **Mathematical and physical theories of higher geodesy**. Leipzig, B. G. Teubner, 1880.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS - Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and more**. Wien: Springer, 2008.

IAG. IAG Resolutions. Disponível em: <[https://iag.dgfi.tum.de/fileadmin/IAG-docs/IAG\\_Resolutions\\_2015.pdf](https://iag.dgfi.tum.de/fileadmin/IAG-docs/IAG_Resolutions_2015.pdf)>. Acesso em: 21/7/2018.

IBGE. **Resolução 1/2005 - IBGE**. 2005.

IBGE. Especificações e normas para levantamentos geodésicos associados ao sistema geodésico brasileiro. , 2017.

IBGE. Serviço online para pós-processamento de dados GNSS | Geociências | IBGE :: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 24/7/2018a.

IBGE. IBGE :: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <[https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/download/tela\\_inicial.php?tipo=8](https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/download/tela_inicial.php?tipo=8)>. Acesso em: 30/7/2018b.

IERS. Conventions Chapter 1. Disponível em: <[http://iers-conventions.obspm.fr/2010/2010\\_official/chapter1/tn36\\_c1.pdf](http://iers-conventions.obspm.fr/2010/2010_official/chapter1/tn36_c1.pdf)>. Acesso em: 14/3/2018a.

IERS. Conventions Chapter 4. Disponível em: <[http://iers-conventions.obspm.fr/2010/2010\\_official/chapter4/tn36\\_c4.pdf](http://iers-conventions.obspm.fr/2010/2010_official/chapter4/tn36_c4.pdf)>. Acesso em: 14/3/2018b.

IERS. Transformation parameters from ITRF2014 to past ITRFs. Disponível em: <[http://itrf.ensg.ign.fr/doc\\_ITRF/Transfo-ITRF2014\\_ITRFs.txt](http://itrf.ensg.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2014_ITRFs.txt)>. Acesso em: 16/3/2018.

IGS. Access to Products. Disponível em: <<http://kb.igs.org/hc/en-us/articles/115003935351-Access-to-Products>>. Acesso em: 30/7/2018.

IHDE, J.; SÁNCHEZ, L.; BARZAGHI, R.; et al. Definition and Proposed Realization of the International Height Reference System (IHRs). , 2017.

LISTING, J. B. **Über unsere jetzige Kenntniss der Gestalt und Grösse der Erde: Aus den Nachrichten der K. Ges. der Wiss.** Dieterich, 1872.

MADRY, S. **Global Navigation Satellite Systems and Their Applications.** New York, NY: Springer New York, 2015.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS.** UNESP, 2000.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** 2008.

MUGUIO, M. R. Implantação e análise da estação GNSS para o monitoramento contínuo da barragem da usina hidrelétrica de Mauá. , 2012.

NAVCEN, U. Interface Specification (IS-GPS-200). Disponível em:  
<[https://www.navcen.uscg.gov/pdf/gps/IRN\\_IS\\_200H\\_001\\_002\\_003\\_rollup.pdf](https://www.navcen.uscg.gov/pdf/gps/IRN_IS_200H_001_002_003_rollup.pdf)>.  
Acesso em: 24/7/2018.

NICACIO, E. L. Alternativa para determinação de altitudes normais-ortométricas na Amazônia legal brasileira. , 2017.

NICACIO, E. L.; DALAZOANA, R. RBMC/IGS DATA DOWNLOADER: APLICAÇÕES PARA AQUISIÇÃO DE DADOS GEOESPACIAIS. , p. 6, 2017.

NOAA, U. D. OF C. Antenna Calibrations. Disponível em:  
<<https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/#>>. Acesso em: 26/7/2018.

OGUNDARE, J. O. Precision Surveying - The Principles and Geomatics Practice. , 2015. Wiley.

PROL, F. DOS S.; JUNIOR, J. M.; GOMES, R. L.; NIEVINSKI, F. G.; FILHO, A. C. P. TRANSFORMAÇÃO ENTRE REFERENCIAIS E CÁLCULO DE VELOCIDADES ATRAVÉS DO APLICATIVO WEB TREVel / Transformation Between Reference Frames and Calculation of Velocities Through the Web Application TREVel. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 66/3, 2014. Disponível em:  
<<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/664>>. Acesso em: 27/7/2018.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods, and applications**. 2., compl. rev. and extended ed ed. Berlin: de Gruyter, 2003.

SIRGAS. Home | Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS). Disponível em: <<http://www.sirgas.org/pt/>>. Acesso em: 15/3/2018.

SOARES, M. A.; SIGUEL, A. R.; FAGGION, P. L.; et al. Aplicação do método de irradiação tridimensional no monitoramento de barragens. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, n. 3, p. 391–406, 2013.

TORGE, W.; MÜLLER, J. **Geodesy**. 4th edition ed. Berlin Boston: De Gruyter, 2012.

UNB. The Precise Point Positioning Software Centre - Online PPP Services.

Disponível em: <<http://www2.unb.ca/gge/Resources/PPP/OnlinePPPs.html>>. Acesso em: 24/7/2018.

VANÍČEK, P.; KRAKIWSKY, E. J. **Geodesy: The concepts**. 2º ed. Elsevier Science Publisher, 1986.

WITCHAYANGKOON, B. Elements of GPS precise point positioning /. , 2000.

Unpublished.

YIGIT, C. O. Experimental assessment of post-processed kinematic Precise Point Positioning method for structural health monitoring. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 7, n. 1, p. 360–383, 2016.