

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA**

**Cap RAFAEL LARA CARDOSO
1º Ten LUANA MARQUES MELLO PEREIRA**

POSICIONAMENTO PRECISO POR GNSS EM TEMPO REAL

**Rio de Janeiro
2019**

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Cap RAFAEL LARA CARDOSO
1º Ten LUANA MARQUES MELLO PEREIRA

**POSICIONAMENTO PRECISO POR GNSS EM TEMPO
REAL**

Projeto de Fim de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo.

Orientadores: Prof. Haroldo Antonio Marques - D.Sc.

Co-Orientadora: Prof^a. Heloísa Alves Silva Marques - D.Sc.

Rio de Janeiro
2019

c2019

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha
Rio de Janeiro - RJ CEP 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmar ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

000.00 Cardoso, Rafael Lara
x000x POSICIONAMENTO PRECISO POR GNSS EM
TEMPO REAL / Rafael Lara Cardoso, Luana Marques
Mello Pereira, orientado por Haroldo Antonio Marques e
Heloísa Alves Silva Marques - Rio de Janeiro: Instituto
Militar de Engenharia, 2019.

75p.: il.

Projeto de Fim de Curso (graduação) - Instituto
Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2019.

1. Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica
- projeto de fim de curso. 1. GNSS. 2. RTPPP. 3.
PPP-RTK. 4. RTK/NTRIP. 5. Plataformas Livres. I.
Marques, Haroldo Antonio. II. Marques, Heloísa Alves.
III. Título. IV. Instituto Militar de Engenharia.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Cap RAFAEL LARA CARDOSO
1º Ten LUANA MARQUES MELLO PEREIRA

**POSICIONAMENTO PRECISO POR GNSS EM TEMPO
REAL**

Projeto de Fim de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo.

Orientadores: Prof. Haroldo Antonio Marques - D.Sc. , Prof^a. Heloísa Alves Silva Marques - D.Sc.

Aprovado em 11 de Outubro de 2019 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Haroldo Antonio Marques - D.Sc. do IME - Presidente

Prof^a. Heloísa Alves Silva Marques - D.Sc. do IME

Prof. Leonardo Castro de Oliveira - D.Sc. do IME

Maj Stefano Sampaio Suraci - M.Sc. do IME

Rio de Janeiro
2019

À Deus que sempre guia nossos passos pelo melhor caminho; Às
nossas famílias que sempre estiverem presentes para apoiar-nos e
Ao Instituto Militar de Engenharia, alicerce de nossa formação e
aperfeiçoamento profissional.

AGRADECIMENTOS

É chegado ao fim de um ciclo, o qual se iniciou há muitos anos atrás, por meio de constantes desafios e conquistas. Sendo assim, agradecemos aos apoiadores dessa trajetória, nossa família, alicerce fundamental de vida e todos os professores envolvidos na caminhada, especialmente os nossos orientadores Prof^a Dra. Heloísa Alves Silva Marques e Prof^o Dr. Haroldo Antônio Marques. Gostaríamos ao Prof^o Dr. Leonardo Castro e ao Maj Stefano pelas sugestões e complementos ao projeto. Gostaríamos de agradecer também ao Cap Ferrari, que prestou apoio técnico fundamental, ao 2^o Ten Marco e ao Cap R1 Eduardo, que nos prestaram grande apoio durante as atividades práticas desse projeto estando sempre disponíveis nos momentos que foram necessários.

“Se um dia tiver que escolher entre o mundo e o amor lembre-se: se escolher o mundo ficará sem o amor, mas se escolher o amor com ele você conquistará o mundo. ”

ALBERT EINSTEIN

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	8
LISTA DE SIGLAS	10
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Motivação	14
1.2 Objetivo	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Métodos de posicionamento GNSS	17
2.2 Protocolo de transmissão de dados GNSS	17
2.3 Posicionamento Por Ponto Preciso (PPP)	18
2.3.1 Modelo matemático do PPP	19
2.4 Posicionamento Por Ponto Preciso em tempo real (RTPPP)	20
2.5 Introdução ao método PPP-RTK	22
2.6 RTK utilizando protocolo NTRIP	23
2.7 Sistema Geodésico Local	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 Equipamentos e Softwares	27
3.2 Métodos	28
3.2.1 RTPPP com estação da RBMC	28
3.2.2 RTK com GR-5	29
3.3 Comparação entre os métodos	30
3.4 Especificações técnicas	30
3.5 Cronograma	31
4 RESULTADOS	33
4.1 RTPPP com estação da RBMC	33
4.2 RTPPP com GR-5	37
4.2.1 RTPPP em estação estática	37
4.2.2 RTPPP em estação cinemática	41
4.3 PPP-RTK	44
4.4 RTK	45

5	CONCLUSÃO	47
6	APÊNDICE A - CONFIGURAÇÕES	49
6.1	Configurações do BNC	49
6.1.1	RTPPP com recebimento de dados do receptor via caster	51
6.1.2	RTPPP com recebimento de dados do receptor via porta serial	51
6.2	Configuração do PPP-Wizard para realização do PPP-RTK	53
6.3	Configuração via <i>software</i> TRU do Receptor (GR-5) para a comunicação com computador	54
6.4	Configuração do receptor via controladora para realização de RTK	58
7	APÊNDICE B - CÓDIGOS	61
7.1	Códigos construídos (Python3) para extração de dados do RTPPP e exibição de gráficos	61
7.1.1	Código "main.py"	61
7.1.2	Funções auxiliares	63
7.1.3	Funções para construção dos gráficos e extração dos dados	65
7.2	Extrato do LOG obtido no BNC 2.12 ao realizar RTPPP na estação POAL	71
7.3	Arquivo de coordenadas da estação POAL para realização de RTPPP com <i>software</i> BNC	72
8	APÊNDICE C - DIFICULDADES	73
8.1	Dificuldades enfrentadas o longo do projeto	73
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG.2.1	Esquema RTPPP.	20
FIG.2.2	Esquema PPP-RTK.	23
FIG.2.3	Sistema NTRIP.	24
FIG.2.4	Esquema RTK/NTRIP.	25
FIG.2.5	Sistema Geodésico Local.	26
FIG.3.1	Cronograma de Projeto	31
FIG.4.1	Série temporal RTPPP - dX, dY, dZ.	33
FIG.4.2	Série temporal RTPPP - Incerteza das coordenadas X, Y, Z.	34
FIG.4.3	Série temporal RTPPP - Resultante dX, dY, dZ.	35
FIG.4.4	Série temporal RTPPP - dX, dY, dZ.	36
FIG.4.5	Série temporal RTPPP - Incerteza das coordenadas X, Y, Z.	36
FIG.4.6	Série temporal RTPPP - Norma de dX, dY, dZ.	37
FIG.4.7	Série temporal RTPPP - Resultante dX, dY, dZ.	38
FIG.4.8	Série temporal RTPPP - Norma de dX, dY, dZ.	39
FIG.4.9	Série temporal RTPPP - Incerteza das coordenadas X, Y, Z.	39
FIG.4.10	Resultante dX, dY, dZ - Tempo real em comparação com pós-processado do IBGE.	40
FIG.4.11	Norma de dX, dY, dZ - Tempo real em comparação com pós-processado do IBGE.	41
FIG.4.12	Traçado levantamento RTPPP.	42
FIG.4.13	Série temporal RTPPP - Incerteza das coordenadas X, Y, Z.	42
FIG.4.14	Resultante dX, dY, dZ - Tempo real em comparação com pós-processado do IBGE.	43
FIG.4.15	Norma de dX, dY, dZ - Tempo real em comparação com pós-processado do IBGE.	43
FIG.4.16	Comparação das incertezas entre RTPPP e PPP-RTK	44
FIG.4.17	Comparação normas de dX, dY e dZ entre RTPPP e PPP-RTK	45
FIG.4.18	Pontos obtidos com levantamento RTK.	46
FIG.6.1	Adição de stream <i>stream</i>	51
FIG.6.2	Adição de stream via porta serial.	52
FIG.6.3	Chegada de dados e processamento no BNC.	53

FIG.6.4	Identificação da conexão do receptor via porta serial.	54
FIG.6.5	Configurações de drivers.	55
FIG.6.6	Configurações do receptor.	55
FIG.6.7	Configurações das portas do receptor.	55
FIG.6.8	Formato dos dados de saída.	56
FIG.6.9	Verifica das mensagens transmitidas pelo receptor.	57
FIG.6.10	Inclusão de novas mensagens para a transmissão.	57
FIG.6.11	Configuração de Baud Rate, Byte Size, Stop Bits e Parity.	58
FIG.6.12	Visualização dos arquivos gravados no receptor.	58
FIG.6.13	Tela de início para configuração de RTK.	59
FIG.6.14	Tela correções RTK.	59
FIG.6.15	Tela de início para configuração de RTK	59
FIG.6.16	Tela configuração de rádio RTK.	60
FIG.6.17	Tela 2 configuração de rádio RTK.	60

LISTA DE SIGLAS

GPS	Global Positioning System
DGPS	Differential Global Positioning System
GNSS	Global Navigation Satellite System
PPP	Precise Point Positioning
RTPPP	Real-Time Precise Point Positioning
PPP-RTK	Precise Point Positioning Real-Time Kinematic
IAG	International Association of Geodesy
IGS	International GNSS Service
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
CNES	Centre National d'Études Spatiales

RESUMO

O presente relatório visa apresentar as etapas, atividades, aplicações e revisões do projeto envolvendo posicionamento preciso em tempo real por GNSS utilizando ferramentas livres e aplicação dos seguintes métodos: Método Relativo Cinemático (RTK), Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real (RTPPP) e integração de RTK com PPP, denominado PPP-RTK. O método RTK é bem conhecido nas áreas de engenharia e, em geral, utiliza-se a transmissão de correções em tempo real via link de rádio, contudo, atualmente é possível utilizar também a transmissão de dados via RTCM utilizando protocolo NTRIP. O método RTPPP é relativamente novo e requer correções de órbitas (posição dos satélites) e relógios em tempo real, o que pode ser obtido utilizando, por exemplo, os serviços gratuitos do IGS. Ao receber as correções em tempo real de uma rede de estações GNSS, o método RTPPP permite fixar as ambiguidades da fase da portadora e passa a ser denominado PPP-RTK. Esses métodos (RTPPP e PPP-RTK) atualmente não são totalmente operacionais, haja vista que a maioria dos receptores GNSS não estão preparados para a recepção de dados em tempo real, além de outras questões, como por exemplo, a disponibilidade de internet em diversas regiões do Brasil. Uma possibilidade é utilizar serviços pagos, tal como o OminiSTAR-XP e Trimble-RTX, os quais enviam correções em tempo real a partir de satélites geoestacionários. Dessa forma, o objetivo desse projeto final de curso é aplicar os métodos RTK, RTPPP e PPP-RTK utilizando plataformas livres e verificar a qualidade posicional visando o monitoramento em tempo real, o qual será útil para monitorar frotas, estimar posições de embarcações e aeronaves, monitorar estruturas, entre outras aplicações.

ABSTRACT

This project aims to present the design steps, activities, applications and reviews involving GNSS real-time accurate positioning using free tools and applying the following methods: Relative Kinematic Method (RTK), Real-Time Precise Point Positioning (RTPPP) and integration of RTK with PPP, called PPP-RTK. The RTK method is well known in the engineering field and radio link real-time correction is generally used, however it is currently possible to use data transmission via RTCM using NTRIP protocol. The RTPPP method is relatively new and requires real time orbit (satellite position) and clock correction using, for example, free IGS services. When receiving real-time corrections from a network of GNSS stations, the RTPPP method allows the carrier phase ambiguities to be fixed and is renamed PPP-RTK. These methods (RTPPP and PPP-RTK) are currently not fully operational, as most GNSS receivers are not prepared for real-time data reception, as well as other issues such as internet availability in various regions of Brazil. One possibility is to use paid services, such as OminiSTAR-XP and Trimble-RTX, which send real-time corrections from geostationary satellites. Thus, the purpose of this final course project is to apply RTK, RTPPP and PPP-RTK methods using free platforms and verify positional quality for real-time monitoring, which will be useful for monitoring fleets, estimating vessel and aircraft positions, monitor structures, among other applications.

1 INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Navegação Global por Satélite, do inglês *Global Navigation Satellite Systems (GNSSs)*, possibilitam a estimativa da posição geográfica de um ponto em qualquer lugar da superfície terrestre e em suas proximidades. Suas aplicabilidades vão muito além do mapeamento, como sincronização de relógios ao redor do globo, navegação, segurança, agricultura de precisão, aviação civil, meio ambiente, forças armadas, entre outras. (LIU et al., 2018) (MONICO, 2008).

Os sistemas de navegação por satélites atualmente disponíveis, como GPS, GLO-NASS, Galileu, Beidou-Compass estão em constante processo de evolução e modernização, englobando os seguimentos de controle e espacial com a transmissão de sinais modernizados no qual se espera melhorias na acurácia posicional e na integridade dos sistemas. Os métodos de posicionamento por GNSS são aprimorados com o passar dos anos em função da evolução tecnológica e da demanda por maior acurácia e versatilidade.

Os métodos de posicionamento por GNSS, basicamente, podem ser classificados em *posicionamento absoluto*, quando as coordenadas estão associadas diretamente ao geocentro e *posicionamento relativo*, quando as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas (MONICO, 2008).

Neste Projeto Final de Curso, três métodos serão aplicados os métodos: o RTPPP (*Real Time Precise Point*), RTK (*Real Time Kinematic*) e o PPP-RTK (integração RTPPP e RTK).

O RTPPP envolve a aplicação de PPP (Posicionamento Por Ponto Preciso) em Tempo real) e requer somente um receptor ao nível do usuário, diferente do RTK, que requer observações e correções de uma base. Ao utilizar-se de conexão com internet, com um software de processamento em tempo real, é possível receber as órbitas transmitidas dos satélites bem como a correção das órbitas e relógios. Marques et al. (2014) ressaltam que o método RTPPP encontra-se em desenvolvimento para aplicação em larga escala até nos dias atuais e cita melhorias que podem ser buscadas, tais como a diminuição no tempo de convergência e a utilização da solução fixa de ambiguidades ao invés da solução float, o que é factível no posicionamento relativo. A acurácia esperada do método RTPPP é na ordem decimétrica (LIMA et al., 2016).

No caso do RTK, diversos trabalhos têm mostrado a potencialidade do método para

aplicações em tempo real, onde se pode destacar o RTK em rede com aplicações de estações virtuais (ALVES, 2008). O padrão de transmissão no RTK, em geral, utiliza o formato RTCM com envio a partir de link de rádio, contudo, com o desenvolvimento do protocolo NTRIP, diversos receptores na atualidade permitem a inserção de chips com tecnologia GSM e acesso à internet de tal forma que se pode utilizar o protocolo NTRIP e a recepção de dados de estações de uma rede de monitoramento contínuo. A utilização de tal protocolo no RTK tem levado a comunidade usuária no Brasil à classificar o método como RTK/NTRIP.

Nesse trabalho de PFC foram aplicados os métodos RTPPP, PPP-RTK e RTK com envio de dados a partir de link de rádio e também via NTRIP. Para aplicação dos métodos foi utilizado o receptor GR-5 da Topcon, sendo este equipamento recém chegado na seção de ensino 6 do IME, o que demandou considerável tempo dos alunos para o entendimento e treinamento com o método. Para aplicação do RTPPP foi utilizado o software BNC disponibilizado pelo centro Alemão BKG e a solução foi realizada para estação estática da RBMC, bem como com conexão do software no receptor GR-5 via porta serial. O método PPP-RTK foi realizado utilizando o software PPP-Wizard disponibilizado pelo CNES (Centre National d'Études Spatiales) da França, sendo que este permite receber diversas informações da rede mundial do IGS e possibilita a solução fixa das ambiguidades. Os resultados obtidos nos levantamentos em campo foram analisados a partir da série temporal de estimativa de precisões, bem como dos valores de Erro Médio Quadrático (EMQ), ao comparar a solução em tempo real com solução pós-processada ou com coordenadas oficiais das estações.

1.1 MOTIVAÇÃO

A motivação do trabalho surge a partir de algumas questões e demandas. Como realizar um posicionamento por GNSS, em tempo real, utilizando os métodos de posicionamento RTPPP, RTK e PPP-RTK? Quais são as ferramentas livres na atualidade e como utilizar para as aplicações desses métodos? A acurácia posicional proporcionada pelos métodos de posicionamento em tempo real atende a demanda por levantamentos precisos e de navegação? A busca pelas respostas instiga o projeto

O crescimento da demanda por serviços de posicionamento GNSS no Brasil e no mundo aumenta a necessidade de documentação técnica a respeito do tema. A possibilidade de ter normas e padronizações a respeito do tema é interessante pois possibilita o uso de forma facilitada dos referidos métodos em diversas aplicações, tais como:

- Monitoramento de frotas em tempo real;
- Monitoramento da posição de agentes de segurança pública em operações;
- Utilização pelas Forças Armadas para monitoramento em operações;
- Georreferenciamento de imóveis rurais;
- Levantamento de coordenadas para construção civil;
- Obtenção de coordenadas precisas de maneira eficiente para construção de rodovias;
- Utilização em qualquer aplicação que requeira métodos de posicionamento em tempo real com precisão centimétrica, etc.

Em 2013 foi publicada no Brasil a "Norma Técnica para georreferenciamento de Imóveis Rurais" (INCRA, 2013). Essa norma especifica os métodos de posicionamento que podem ser utilizados para o georreferenciamento de imóveis rurais no Brasil. Entre os métodos previstos estão o PPP em tempo real e RTK em rede (RTK/NTRIP), métodos que este trabalho se propõe a avaliar.

De acordo com o decreto nº 4.449, de 30 de outubro de 2002, e o decreto 9.311, de 15 de março de 2018, os proprietários de imóveis rurais de 25 a 100 hectares possuem até 20/11/2023 para apresentarem, junto ao governo federal, os georreferenciamentos de suas respectivas propriedades; os proprietários de imóveis com área inferior a 25 hectares possuem até 20/11/2025.

Embora os referidos decretos estejam em vigor e o "Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais" publicado, é possível verificar a pouca utilização dos métodos de posicionamento por GNSS pelos grupos e empresas. Muitas das vezes pela resistência às novas tecnologias, falta de equipamento adequado e conhecimento. Dessa forma, busca-se disseminar as técnicas estudadas e apresentar de maneira confiável as acurácias que podem ser obtidas com cada uma.

Além da área de posicionamento para georreferenciamento de imóveis rurais existe também o interesse nesse tipo de posicionamento em empresas diversas de transporte e no setor de segurança pública. Uma empresa com frota de transporte rodoviário pode, utilizando os métodos aqui estudados, monitorar suas viaturas em tempo real com precisão decimétrica ou centimétrica de maneira confiável.

Indo além, órgãos de segurança pública e Forças Armadas podem rastrear, em tempo real, com a precisão citada, diversos escalões, tais como:

- Pelotão em atividade de Garantia da Lei e da Ordem;
- Viaturas de transporte de suprimento ou pessoal;
- Barcos e embarcações diversas para transporte de suprimento ou pessoal;
- Grupos de agentes de segurança pública em atividades diversas;
- Viaturas das Polícias Militares;
- Monitoramento da frota de transporte público de determinada cidade; etc

Por fim, pela carência de literatura na área no Brasil, tais métodos carecem de normas técnicas e manuais que possam apresentar os passos necessários para realizar na prática tais métodos de posicionamento. Suprir essa carência é essencial para a disseminação do conhecimento.

1.2 OBJETIVO

O presente Projeto Final de Curso tem como objetivo geral:

Aplicar e avaliar a acurácia de levantamento a partir dos métodos de posicionamento em tempo real RTPPP, RTK e PPP-RTK fazendo uso de receptores GNSS modernos, dados de redes geodésicas de monitoramento contínuo e plataformas computacionais livres.

Objetivos Específicos:

- Treinamento com o par de receptores GR-5 da Topcon adquirido recentemente pelo IME;
- Levantamento RTK padrão utilizando a comunicação via link de rádio;
- RTPPP com o BNC/BKG em estação estática da RBMC;
- RTPPP com o BNC/BKG e conexão com o receptor GR5 a partir da porta serial;
- PPP-RTK fazendo uso do aplicativo PPP-Wizard fornecido pelo CNS;
- Avaliação de acurácia dos levantamentos realizados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO GNSS

De acordo com Monico (2008), posicionamento diz respeito à determinação da posição de objetos com relação a um determinado referencial. Neste contexto, o posicionamento pode ser dividido em: *Absoluto* e *Relativo*. Absoluto, quando as coordenadas estão diretamente associadas ao geocentro; e Relativo, quando são determinadas em relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas. Outra classificação que pode ser feita é quanto ao movimento do objeto a ser posicionado em relação ao referencial. Pode-se dividir em *cinemático*, quando o objeto está em movimento em relação ao referencial ou *estático* quando esse está em repouso.

Ainda não existe uma terminologia padrão para os métodos de posicionamento GNSS junto a comunidade científica, desta forma, neste PFC será adotada a classificação de Monico (2008):

- Posicionamento absoluto;
- Posicionamento relativo;
- Posicionamento com DGPS.

Serão aplicados no presente trabalho os métodos de RTPPP e PPP-RTK que enquadram-se em posicionamento absoluto e o método de RTK que é classificado como posicionamento relativo.

2.2 PROTOCOLO DE TRANSMISSÃO DE DADOS GNSS

Para realizar os métodos de posicionamento GNSS por vezes são necessários protocolos de transmissão que possibilitem a correta comunicação entre as peças envolvidas no método; o RTCM é um padrão empregado em operações com GPS envolvendo posicionamento nos modos DGPS e RTK.

O padrão RTCM foi desenvolvido pela *Radio Technical Commission for Maritime Services*. Este padrão de formato de dados é utilizado para a transmissão de informações entre uma estação de referência e outra remota, geralmente em movimento, possibilitando posicionamento em tempo real.

Na área de navegação e posicionamento, o padrão mais comum é aquele conhecido como padrão SC-104 (geralmente chamado apenas de padrão RTCM). Em meados da década de 80, a RTCM estabeleceu um comitê especial, de número 104. O objetivo inicial deste comitê especial era o de projetar um formato padrão que permitisse a transmissão de informações, das mais diversas, relacionadas com o emprego da tecnologia GPS. Este objetivo se expandiu e atualmente o formato possibilita a transmissão de informações para outros sistemas GNSS (tais com o GLONASS) (ESA, 2019).

2.3 POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO (PPP)

Com o intuito de entender melhor a base para os métodos de RTPPP e PPP-RTK, será tratado a respeito do método PPP. O método do PPP se utiliza de efemérides precisas e correções de relógios dos satélites. Tal termo foi utilizado primeiramente por Héroux e Kouba (1995). Essa metodologia de posicionamento se utiliza, assim como as outras, de três componentes: as observações; os modelos de correção; e o processo de ajustamento (CUNHA, 2016). O seu ganho de precisão em relação ao *Posicionamento por Ponto Absoluto* é a utilização de observações e métodos para correção das observações. As observações utilizadas englobam as efemérides e correções dos relógios dos satélites. A utilização dessas observações combinada ao modelos de correção e ajustamento proporciona ao PPP uma precisão centimétrica. O PPP divide-se em duas fases:

- a) Centrais de análise recebe os dados de controle de GNSS e cria produtos precisos;
- b) Os produtos de elevada precisão são utilizados para processar os dados coletados pelo receptor GNSS.

É importante salientar que para a realização do PPP é necessário um receptor GNSS de dupla frequência. Cunha (2016) cita Kouba e Héroux (2001) ao caracterizar o modelo tradicional de PPP:

- Combinação de observações de dupla frequência da pseudodistância e da fase da portadora para criar uma observação *ion-free* (IF);
- Implementação de um filtro sequencial para o procedimento de ajuste;
- Determinação do atraso troposférico zenital húmido como uma incógnita adicional;
- Utilização de modelos para estimar o valor das restantes fontes de erro.

2.3.1 MODELO MATEMÁTICO DO PPP

A seguir será apresentado o modelo funcional do PPP. Utilizando dados de um receptor GNSS de dupla frequência, as equações de pseudodistância e fase da onda portadora parametrizada com a aplicação da combinação ion-free (IF) podem ser escritas da seguinte forma (MARQUES, 2012):

$$PD_{IF_r}^s = \rho_r^s + c.(dt_r(t_r) + dt^s(t^t)) + m_f.Zwd + \varepsilon_{PD_r^s} \quad (2.1)$$

$$\lambda_{IF}.\phi_{IF_r}^s = \rho_r^s + c.(dt_r(t_r) - dt^s(t^t)) + \lambda_{IF}.N_{IF} + m_f.Zwd + \varepsilon_{\phi_r^s} \quad (2.2)$$

Nas equações 2.1 e 2.2 tem-se que:

- $PD_{IF_r}^s$ - pseudodistância da *ion-free* (metros);
- $\lambda_{IF}.\phi_{IF_r}^s$ - fase da *ion-free* (metros);
- ρ_r^s - distância geométrica entre receptor r e o satélite s;
- $dt_r(t_r)$ - erro do relógio do receptor no instante de recepção t_r ;
- $dt^s(t^t)$ - erro do relógio do receptor no instante de recepção t^t
- N_{IF} - ambiguidade da *ion-free*;
- Zwd - atraso troposférico úmido na direção do zênite;
- m_f - função de mapeamento do Zwd para a direção receptor-satélite; e
- $\varepsilon_{PD_r^s}$ e $\varepsilon_{\phi_r^s}$ - os erros aleatórios e não modelados nas equações *ion-free* de pseudo-distância e fase.

As equações 2.1 e 2.2 apresentam modelos não lineares e a equação linearizada considerando um receptor r e o satélite s_i , pode ser escrita como (MARQUES et al., 2014):

$$E \left\{ \begin{bmatrix} \Delta PD_{IF_r}^{s_i} \\ \Delta \lambda_{IF}.\phi_{IF_r}^{s_i} \end{bmatrix} \right\} = AX = \begin{bmatrix} -\frac{X^{s_i} - X_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Y^{s_i} - Y_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Z^{s_i} - Z_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & 1 & M_f & 0 \\ -\frac{X^{s_i} - X_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Y^{s_i} - Y_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & -\frac{Z^{s_i} - Z_r^0}{(\rho_r^{s_i})^0} & 1 & M_f & \lambda_{IF} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_r \\ \Delta Y_r \\ \Delta Z_r \\ \Delta c.dt_r \\ Z_{wd} \\ N_{IF}^{s_i} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Na equação 2.3:

- $\Delta PD_{IF_r}^{s_i}$ - diferença entre a pseudodistância observada e a calculada (vetor L para pseudodistância);
- $\Delta \lambda_{IF} \cdot \phi_{IF_r}^{s_i}$ - diferença entre a fase observada e a calculada (vetor L para fase);
- $(\rho_r^{s_i})^0$ - distância geométrica calculada em função dos parâmetros aproximados; e
- $E\{. \}$ - representa o operador de esperança matemática.
- Os termos ΔX_r , ΔY_r , ΔZ_r , dt_r , Z_{wd} e N_{IF} são as correções aos parâmetros incógnitos, ou seja, as coordenadas da estação, erro do relógio do receptor, troposfera e ambiguidade.

2.4 POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO EM TEMPO REAL (RTPPP)

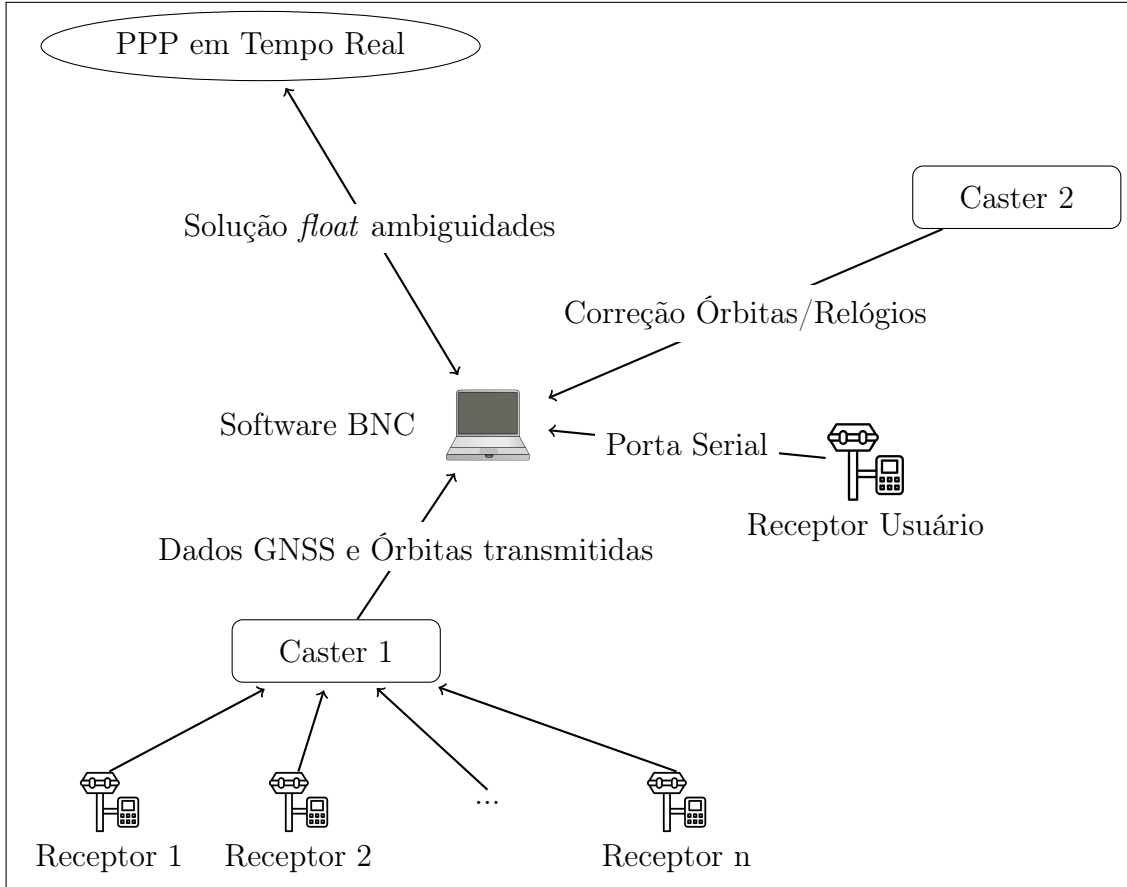


FIG. 2.1: Esquema RTPPP.

O RTPPP se utiliza do mesmo método do PPP entretanto requer a disponibilidade em tempo real das órbitas precisas e das correções ou erros dos relógios dos satélites (não sincronização do relógio do satélite com o sistema de tempo GNSS) (MARQUES, 2012).

Essa necessidade é devido ao fato do RTPPP proporcionar o posicionamento em tempo real.

O RTPPP se utiliza da solução de ambiguidades pelo método "*float*" e pode ser realizado com um receptor GNSS de dupla frequência conectado via porta serial com um computador. Esse computador deve possuir acesso a internet pois receberá dados de dois *Caster*. O *Caster 1* envia para o usuário dados GNSS de outros receptores além das órbitas transmitidas dos satélites. O *Caster 2* envia ao usuário as informações de órbita e relógio do satélite. Nessas informações estão contidas a solução dos relógios dos satélites que atenua os erros dos relógios dos satélites. É possível então, em posse dos dados recebidos pelos *Caster 1* e *2* e das observáveis GNSS obtidas no receptor GNSS em questão, processar os dados e realizar o PPP em tempo real.

2.5 INTRODUÇÃO AO MÉTODO PPP-RTK

O método PPP-RTK é um complemento ao PPP onde a precisão e acurácia são melhores. De acordo com Wübbena et al. (2005), as limitações do método PPP podem ser superadas utilizando uma rede RTK, como as redes RTK podem obter todos os erros GNSS em tempo real o usuário pode resolver as ambiguidades e obter um nível de acurácia superior ao método PPP.

O conceito de PPP aliado a solução de ambiguidades é a síntese do PPP-RTK. A seguir encontra-se uma tabela que explicita as diferenças entre o PPP e o PPP-RTK:

	<i>PPP</i>	<i>PPP-RTK</i>
Tamanho da rede	global	local/regional/ global
	<i>Primary state information</i>	
Órbitas dos satélites	fornecido	fornecido
Relógios dos satélites	fornecido	fornecido
Ionosfera	corrigido	fornecido
Troposfera	estimado	fornecido
Relógio do receptor	estimado	estimado
	<i>Ambiguidade da fase e sinal</i>	
L1/ L2 / L0	-/ - / +	+/ + / +
Tempo de integração	30... 1800 s	10... 50 s
	<i>Acurácia</i>	
3D estático	~5 cm	1... 3 cm
RTK 3D	15... 20 cm	1... 3 cm

TAB. 2.1: Diferenças entre PPP e PPP-RTK. Adaptado de Wübbena et al. (2005).

Conceitualmente, o PPP-RTK é bastante similar ao método RTPPP, com a diferença que se utiliza de uma solução de ambiguidades *fixa* o invés de *float*. Nesse método portando o *Caster 2* proporciona uma solução de ambiguidades do tipo *fixa*, mais precisa que a solução *float*. A seguir um esquema que explicita o método PPP-RTK:

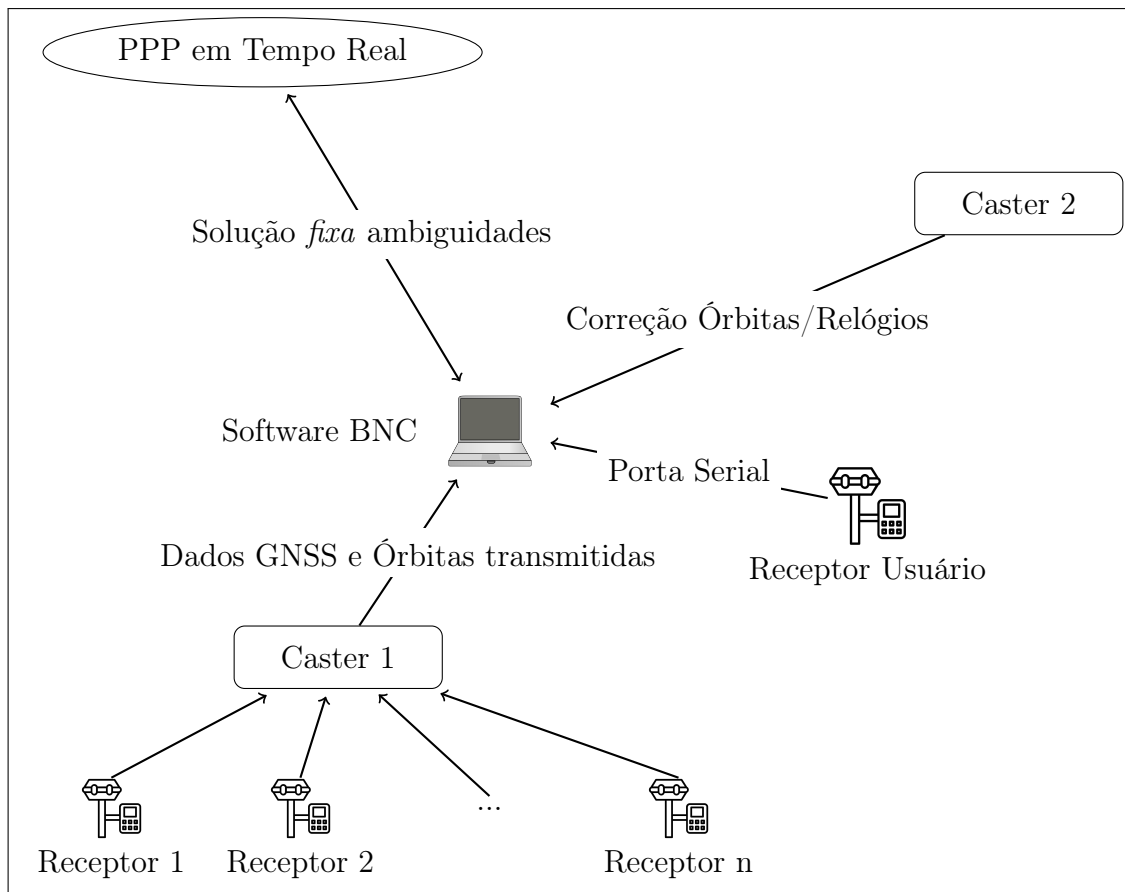


FIG. 2.2: Esquema PPP-RTK.

2.6 RTK UTILIZANDO PROTOCOLO NTRIP

O georreferenciamento de áreas no Brasil é um campo de extrema importância e o desenvolvimento de novas tecnologias apoiadas na rede de telefonia móvel vem sendo aprimorado. Nesse contexto, destaca-se o uso da tecnologia RTK NTRIP, que utiliza a rede de telefonia móvel para receber correções em tempo real, através da internet (LENZ, 2004).

O método RTK NTRIP - *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* - possibilita o usuário, por meio da internet, receber as correções das estações RBMC.

De acordo com Lenz (2004), esse método foi desenvolvido pela Agência Federal de Cartografia e Geodésia da Alemanha, juntamente com a Universidade de Dortmund e a Trimble. O principal objetivo foi utilizar a internet como uma alternativa às tecnologias existentes de correção via rádio e telefonia celular.

O sistema é composto de receptores que enviam continuamente dados no formato RCTM a um servidor denominado "Caster" e um aplicativo denominado "Cliente" localizado no equipamento do interessado a receber as correções. Suas principais características

são:

- baseado em HTTP (Hypertext Transfer Protocol);
- disponibilidade de distribuir qualquer tipo de dados GNSS em fluxo;
- capacidade de aceitar uma grande quantidade de usuários simultaneamente;
- o acesso aos dados é realizado de forma segura sem a necessidade de o usuário estar em contato direto com as estações de referência;
- habilitado a fornecer o fluxo de dados através de qualquer rede móvel TCP/IP (*Transfer Control Protocol / Internet Protocol*);
- a largura de banda necessária para disseminar as correções GNSS é relativamente pequena. Aproximadamente 5Kb/s para RTK.

O NTRIP é basicamente composto por três componentes; o NTRIP *Server*, o NTRIP *Caster* e o NTRIP *Client*.

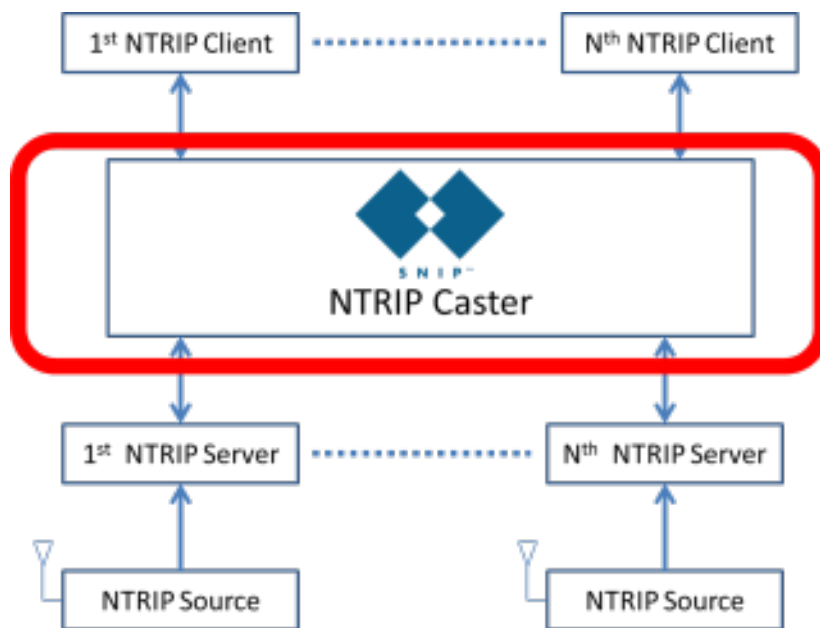


FIG. 2.3: Sistema NTRIP.
(SNIP, 2016)

O referido método é mais operacional em relação ao RTPPP e PPP-RTK pois não necessita de um computador conectador ao receptor GNSS. O receptor conectado a internet (via chip GSM) recebe informações do *Caster 1* (que faz o papel de estação base) e do *Caster 2* (que fornece informações de órbita e relógio dos satélites).

Sua vantagem em relação ao RTK convencional é ausência do link de rádio. O link de rádio que conecta a estação base a estação *rover* pode ser prejudicado por obstáculos entre as estações. Contudo, pode-se ter problemas na solução de ambiguidades se a estação base conectada à internet estiver muito distante. No RTK/NTRIP o *Caster 1* faz o papel de estação base e essas informações chegam via internet. A seguir um esquema que exemplifica o RTK/NTRIP:

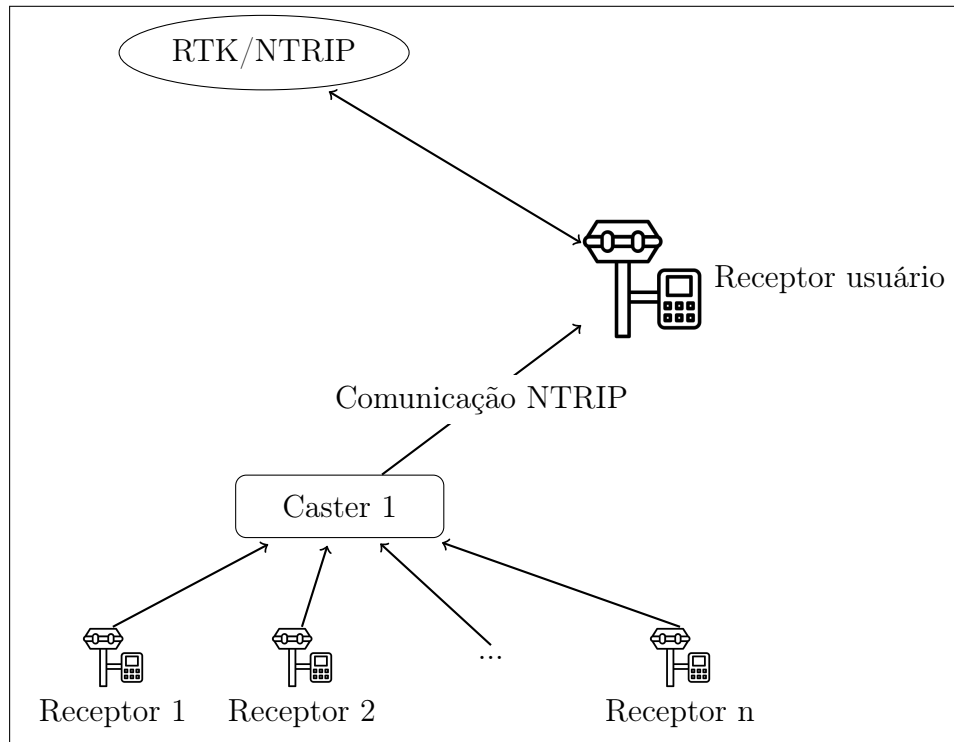


FIG. 2.4: Esquema RTK/NTRIP.

2.7 SISTEMA GEODÉSICO LOCAL

O Sistema Geodésico Local (SGL) é um sistema que é composto por três eixos (e,n,u) que são mutuamente ortogonais. O eixo "n" aponta em direção ao norte geodésico, o eixo "e" aponta para a direção leste, sendo que os eixos "n" e "e" estão contidos no plano topocêntrico. Por fim, o eixo "u" coincide com a normal do elipsoide que passa pelo vértice escolhido como a origem do sistema (INCRA, 2013). A figura a seguir ilustra o SGL.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 EQUIPAMENTOS E SOFTWARES

A seguir, serão apresentados os equipamentos e recursos utilizados para o processamento em tempo real e o pós-processamento.

- Processamento: As conexões aos Casters são feitas via software, o qual realiza o processamento dos dados em tempo real. Será utilizada a plataforma de software livre” BKG Ntrip Client (BNC) 2.12.9”. Já para o pós-processamento, ”Topcon Tools 8.2.3.19157” e ”Magnet Tools”.
- Software BKG Ntrip Client (BNC): Recupera, decodifica, converte e processa fluxos de dados GNSS em tempo real (BNC, 013). Além da principal funcionalidade de processamento em tempo real, ainda possui algumas funcionalidades de pós-processamento. Tal ferramenta foi desenvolvida no âmbito do IAG para o sistema EUREF e para o IGS. O BKG Ntrip Client (BNC) foi escrito uma licença aberta, a GNU General Public License (GPL), desta forma seu código é aberto e está disponível em <http://software.rtcn-ntrip.org/svn/trunk/BNC>.

Abaixo estão alguns dos propósitos do BNC (FOR CARTOGRAPHY; GERMANY, 2013):

- recuperar fluxos de dados GNSS em tempo real disponíveis através do protocolo de transporte NTRIP;
- recuperar fluxos de dados GNSS em tempo real via TCP diretamente de um endereço IP sem usar o NTRIP protocolo de transporte;
- recuperar fluxos de dados GNSS em tempo real a partir de uma porta UDP ou serial local sem usar o NTRIP protocolo de transporte;
- gerar arquivos de Observação e Navegação RINEX de alta taxa para suportar aplicações GNSS pós-processadas quase em tempo real;
- Computador: Para a utilização dos softwares de processamento em tempo real e pós processamento o computador ”Intel(R) Core (TM) i5-7200U CPU @ 2.50GHz” será utilizado;

- Receptor GNSS: para as medições em campo será utilizado o receptor "Topcon GR5", da Seção de Engenharia Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia. Cabe ressaltar que esse possui comunicação via celular SIM Card, GSM/CDMA ou HSPA interno no receptor e suporte à tecnologia NTRIP, requisito para a realização do RTK/NTRIP.
- Coletor de dados: Tablet Topcon FC-5000. Esse equipamento possibilita conexão direta com o GR-5, com um sistema operacional Windows 10, é um computador de bordo no campo de operações.

3.2 MÉTODOS

Os métodos escolhidos para esse projeto visam demonstrar a viabilidade da aplicação das técnicas de posicionamento utilizando GNSS em tempo real. Ademais, busca-se mostrar as etapas e ferramentas necessárias para cada método de posicionamento, visto que em projetos e aplicações de engenharia, a implementação inicial de métodos novos e pouco consolidados é uma etapa adicional em relação a métodos já estabelecidos.

Neste projeto serão obtidas as acurácias esperadas do RTK (RTPPP e RTK/NTRIP) e do PPP-RTK, bem como as etapas práticas necessárias para a sua realização, no sentido de fornecer as informações necessárias para a escolha de cada método adequado para cada situação específica.

3.2.1 RTPPP COM ESTAÇÃO DA RBMC

- Primeiramente, por intermédio do BNC, a avaliação do RTPPP será feita utilizando uma estação estática da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, RBMC:
 - Estação escolhida: Porto Alegre (POAL) – Estação pertencente à Rede de Densificação do IGS e à Rede de Referência do SIRGAS;
 - Coordenadas em SIRGAS 2000 na época 2019.48:
 - * X: 3467519.4343 m; Y: -4300378.65881 m; Z: -3177517.52227 m (SIRGAS, 2019).
 - A escolha de uma estação estática para a primeira coleta e processamento de dados é fundamental para o entendimento prático do método:
 - * Coordenadas de alta precisão e confiabilidade para trabalhos futuros;

- * Posição da estação simulando a ideal, elevada e com o mínimo de obstruções a fim de coletar o máximo de sinais;
 - * Antena *choke ring* (TRM59800.00) a qual é a ideal para atenuar os efeitos de multicaminho.
- O software coletará em tempo real, com um intervalo de 01 segundo durante o período de 24h os dados brutos (em formato RINEX) da estação POAL através da conexão:
- * `www.igs-ip.net`, porta 2102, *mountpoint* POAL00BRA0.
- Simultaneamente com dados da estação POAL, o software coletará os dados das órbitas transmitidas e relógios dos satélites, bem como a solução dos relógios dos satélites para atenuar os erros de relógio. Tais dados serão coletados a partir das seguintes conexões:
- * Caster 1: `products.igs-ip.net`, porta 2101, *mountpoint* CLK91.
 - * Caster 2: `products.igs-ip.net`, porta 2101, *mountpoint* RTCM3EPH.
- Após a coleta, ter-se-ão as informações das coordenadas cartesianas da estação POAL para cada segundo, bem como as variações das coordenadas no sistema geodésico local (dE, dN, dU). Desta forma, os dados de dE, dN e dU são extraídos e constroi-se um gráfico de série temporal com esses dados.
- Configuração do BNC para RTPPP - serão observados os seguintes detalhes:
 - Indicação dos caminhos para armazenamento do *log* do RTPPP e dos RINEX. Na aba "PPP(1)" seleção de "*Real-time streams*" na opção de "*data-source*". "*CLK91*" em "*corrections stream*". Indicação do caminho para o arquivo (`igs14.atx`) que contém as especificações de antenas disponível em Ngs (2019).
 - No arquivo com as coordenadas da estação utilizada deve-se especificar o modelo de antena do receptor.

3.2.2 RTK COM GR-5

Com o intuito de realizar as configurações iniciais do receptor, bem como verificar o correto armazenamento das observáveis obtidas pelo receptor, serão realizados um Posicionamento por Ponto e um RTK utilizando o marco do IBGE "91780", localizado no terraço do quinto andar do prédio frontal do IME.

- Ambientação com o equipamento: Como o GR-5 é recém-chegado na Seção de Engenharia Cartográfica, é necessário realizar as configurações do aparelho, por exemplo:
 - Atualização de Firmware;
 - Configuração de hemisfério (procedência estadunidense, ou seja, alterar a opção de hemisfério norte para sul, afim de rastrear os satélites corretamente);
 - Fuso horário;
 - Sistema de Referência;
 - Comunicação via link de rádio;
 - Configuração da controladora.
- Testes Iniciais: Com o apoio da equipe de topografia da sessão, foram realizadas verificações do funcionamento básico do aparelho: sistema de coordenadas, bateria, conexão bluetooth à controladora e via porta serial com notebook;
- Levantamentos:

Posicionamento por Ponto Estático e RTK: A fim de verificar a gravação de dados pela Base e a confirmação da coerente medição de pontos, optou-se por realizar um PP Estático. Arquivos RINEX de observação foram gerados para análise;

3.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

Ao coletar dados por meio dos receptores e dos Casters e registrá-los em formato RINEX, pode-se realizar a avaliação da acurácia. Pós-processando esses dados, temos uma solução confiável para realizar as comparações.

3.4 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Com o intuito de facilitar e disseminar a utilização dos métodos aqui estudados o presente trabalho visa fornecer especificações técnicas que tratem a respeito da realização dos métodos de RTPPP, PPP-RTK e RTK/NTRIP. Tal especificação deverá conter o seguinte:

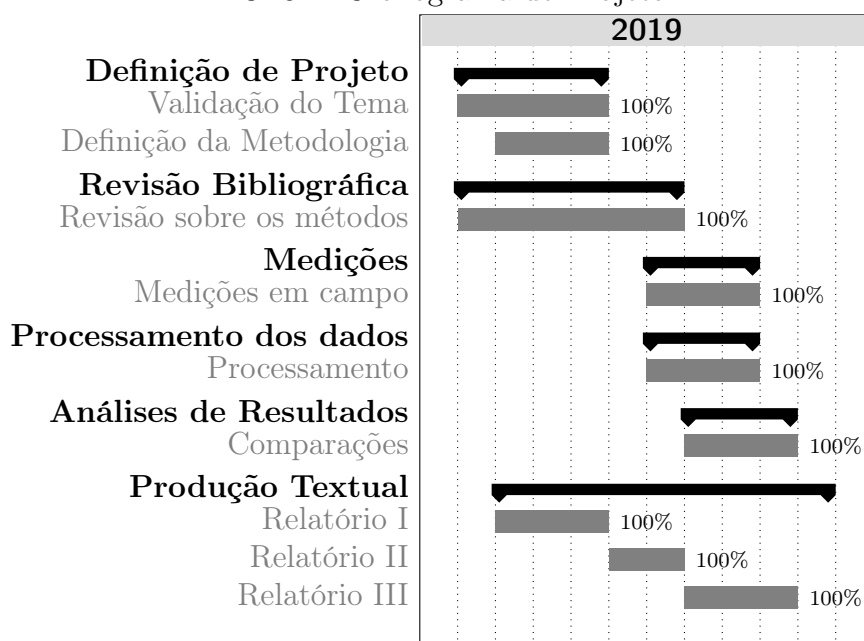
- especificação dos equipamentos utilizados em cada um dos métodos;
- esquema das medições;
- especificação dos softwares utilizados;

- etapas necessárias para a realização de cada método;
- etapas necessárias para o processamento em tempo real e pós-processamento dos dados; e
- acurácia esperada para cada método.

3.5 CRONOGRAMA

Segue na Figura 3.1 o cronograma com as atividades previstas para o desenvolvimento do Projeto. Considera-se como período útil à realização do projeto de 12 de fevereiro de 2019 a 17 de outubro de 2019.

FIG. 3.1: Cronograma de Projeto



São descritos a seguir de forma breve as atividades pretendidas para cada um dos itens descritos no cronograma apresentado:

a) Definição de Projeto

- 1) Validação do Tema: a etapa visa a validação da proposta do projeto, com a definição dos objetivos, verificação de trabalhos que tratem a respeito do assunto e a verificação e explanação da necessidade de realização do projeto.
- 2) Definição da metodologia: definição da metodologia a ser seguida para que se alcancem os objetivos propostos.

b) Revisão Bibliográfica

- 1) Revisão sobre os métodos: a etapa visa realizar a revisão bibliográfica sobre os métodos utilizados no presente trabalho assim como outros métodos relacionados que servirão de base para a confecção do relatório.

c) Medições

- 1) Medições em campo: realização das medições com aparelho GNSS (modelo "GR-5") na Praça General Tibúrcio (Rio de Janeiro - RJ) e também com computador conectado a internet.

d) Processamento

- 1) Processamento dos dados: realização do processamento em laboratório dos dados coletados na etapa de Medições a fim de gerar uma solução mais confiável que servirá de base para comparação e definição das acurácias alcançadas com os métodos. O processamento visa utilizar ferramentas de software livre e softwares licenciados de posse da Seção de Engenharia Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia.

e) Análise de Resultados

- 1) Comparações: esta etapa visa comparar o resultados das medições em campo com o resultado das medições pós-processadas de forma que seja possível estabelecer uma precisão para as medições em campo.

f) Produção Textual

- 1) Relatórios: produção de relatórios parcial (I e II) e final (III).
- 2) Artigo*: produção de artigo (a definir) acerca do tema desenvolvido ao longo do projeto.

4 RESULTADOS

O capítulo apresenta os resultados obtidos ao realizar os procedimentos especificados na metodologia. Etapas e especificações complementares são descritos com o intuito de facilitar o entendimento dos procedimentos executados.

4.1 RTPPP COM ESTAÇÃO DA RBMC

Primeiramente, foi realizado um RTPPP utilizando a estação POAL da RMBC sem a especificação da antena utilizada pelo receptor. A ausência das informação da antena se deu pelo fato da versão mais atual do software utilizado (BNC 2.12) ter alterado o modo de inserção de tal informação em relação a versões anteriores (BNC 2.9). Na versão 2.12 as informações de antena devem ser inseridas juntamente com o arquivo de coordenadas.

Seguem os resultados:

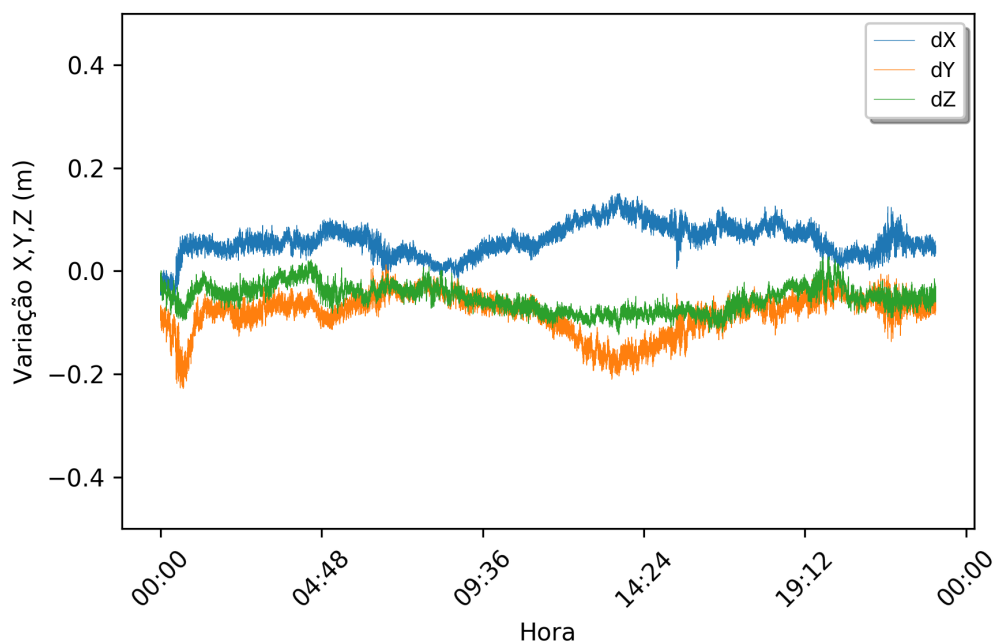


FIG. 4.1: Série temporal RTPPP - dX, dY, dZ.

As coordenadas utilizadas como referência para os cálculos de dX, dY e dZ para cada época foram as coordenadas obtidas em Sirgas (2019) para a semana GPS 2065.

Pode-se observar na fig. 4.1 que desde o início da coleta de dados o RTPPP apresentou

variações relativamente pequenas nas componentes dX , dY , dZ ; entretanto é possível observar uma tendência nas três componentes.

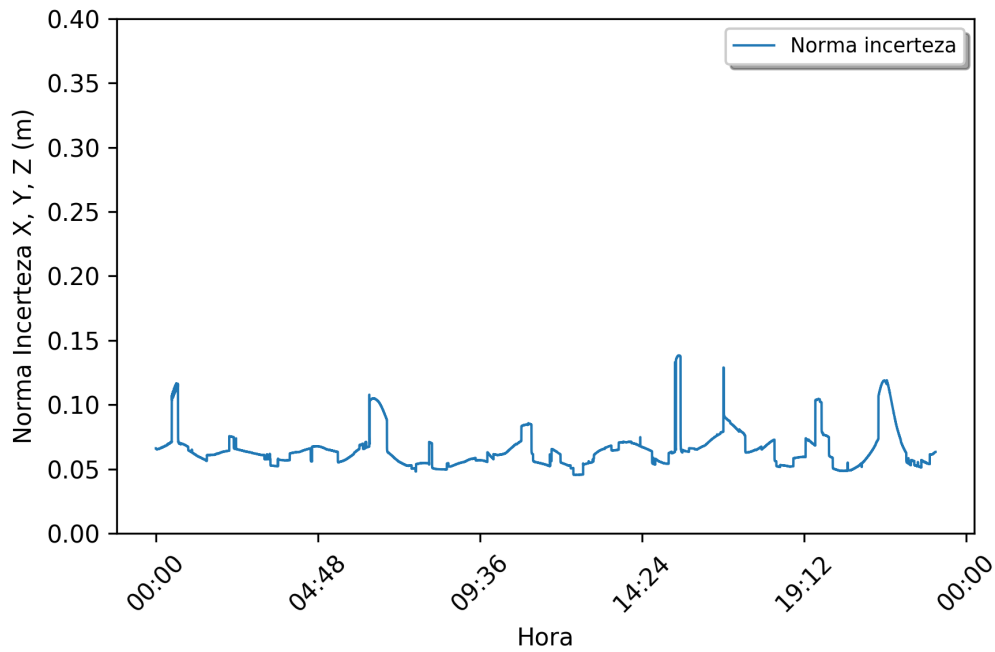


FIG. 4.2: Série temporal RTPPP - Incerteza das coordenadas X, Y, Z.

Pelo fato de estar-se realizando um PPP em tempo real, uma possibilidade para verificar a qualidade dos dados em tempo real é verificar a incerteza das coordenadas X, Y e Z que são obtidas em tempo real. A norma das incertezas das coordenadas X, Y e Z na fig. 4.2 variou entre aproximadamente 5 e 14 cm.

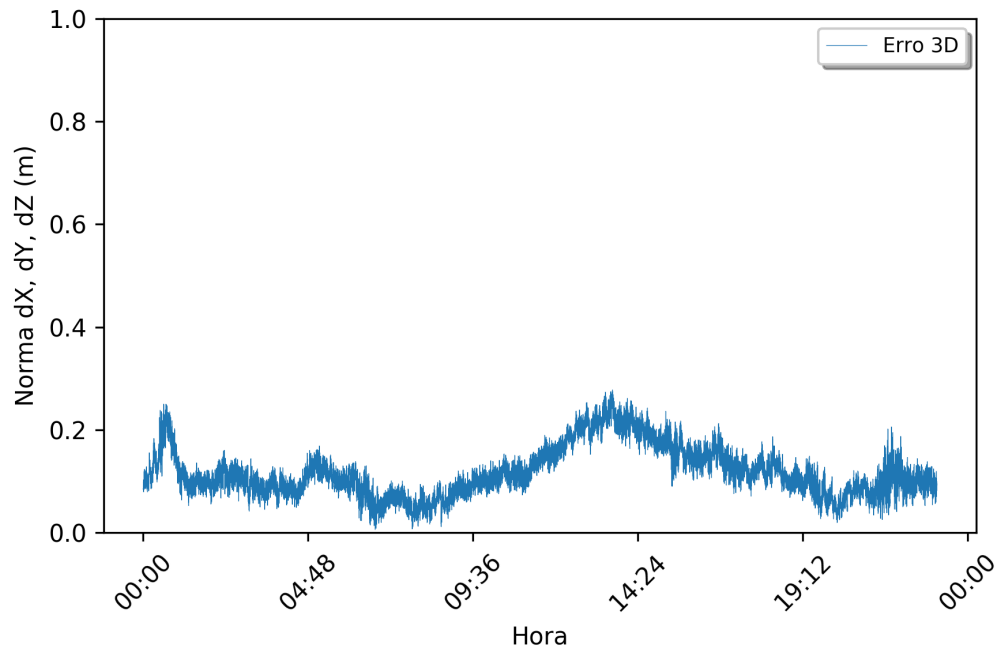


FIG. 4.3: Série temporal RTPPP - Resultante dX, dY, dZ.

O erro médio quadrático do erro 3D deste levantamento foi de 0,126634. Na fig. 4.3 pode-se observar que a norma do vetor resultante de dX, dY e dZ variou entre aproximadamente 22 cm e 37 cm. Tal variação é acima do esperado para um PPP mas provavelmente reflete as tendências causadas pela ausência de informações da antena do receptor.

Após isso, utilizando a mesma estação, realizou-se um RTPPP com a especificação da antena utilizada pelo receptor. A seguir os resultados:

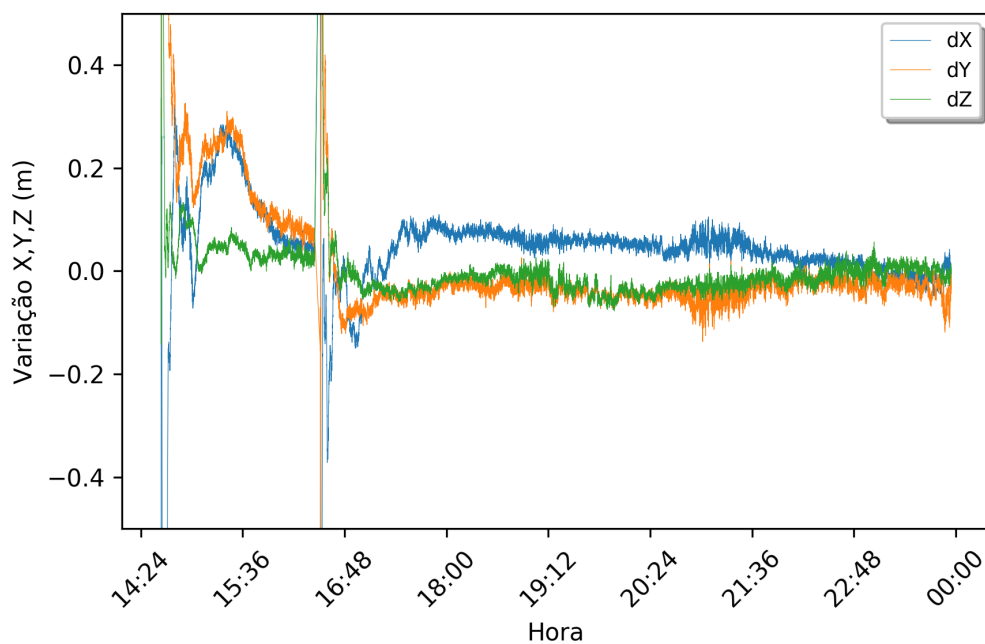


FIG. 4.4: Série temporal RTPPP - dX, dY, dZ.

Na fig. 4.4 pode-se observar que o PPP convergiu para valores menores que 40 cm em aproximadamente 10 minutos. Observa-se um pico nos valores por volta de 16:15 devido a uma queda de conexão, mas com conversão para valores inferiores a 20cm em menos de 10 minutos. Nas horas finais, observa-se que os valores variam em menos de 10 cm.

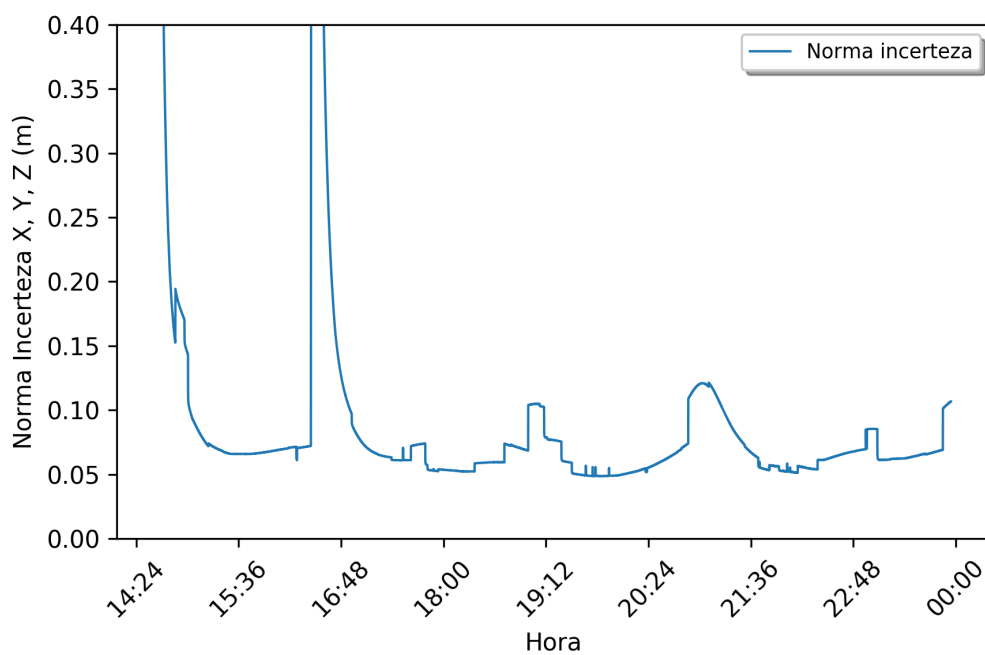


FIG. 4.5: Série temporal RTPPP - Incerteza das coordenadas X, Y, Z.

O erro médio quadrático deste levantamento foi de 0,205781. Na fig. 4.5 observa-se que a resultante das incertezas das coordenadas X, Y e Z variou, na maior parte do tempo, entre aproximadamente 5 e 15 cm.

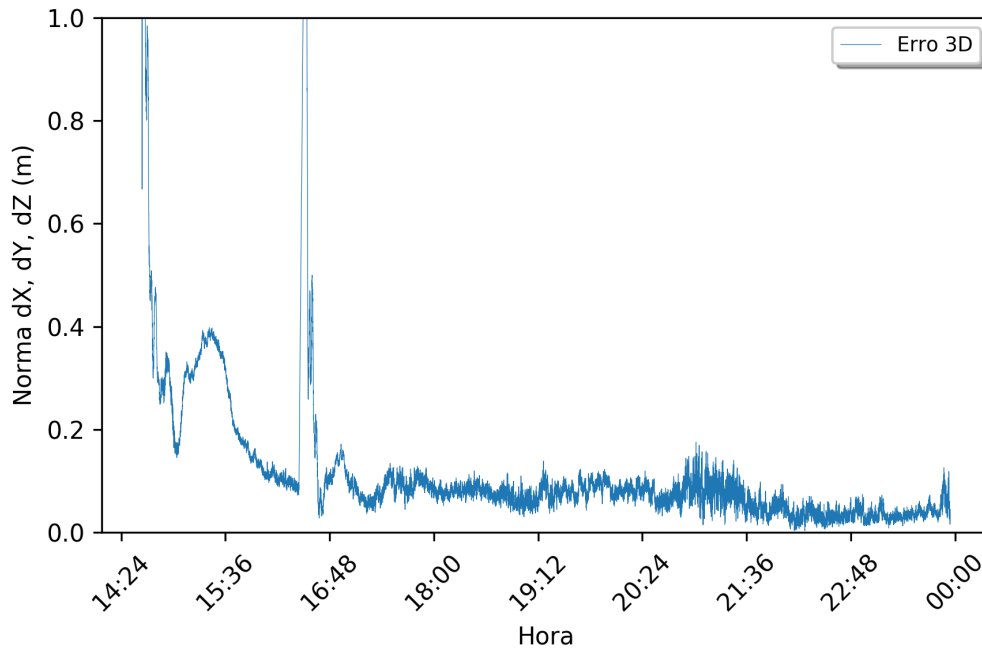


FIG. 4.6: Série temporal RTPPP - Norma de dX, dY, dZ.

4.2 RTPPP COM GR-5

4.2.1 RTPPP EM ESTAÇÃO ESTÁTICA

Com o objetivo de atender a proposta de realizar-se um RTPPP utilizando ferramentas de software livre, realizou-se em 17 de setembro de 2019 uma coleta de dados com o receptor GR-5 conectado a um notebook com o software BNC. O receptor estava no marco "91752" do IBGE, localizado no terraço do prédio dos fundos do IME. A conexão do receptor com o computador foi feita utilizando um cabo Serial/Porta-COM com um adaptador Porta-COM/USB. A coleta durou aproximadamente 4 horas. A seguir os resultados:

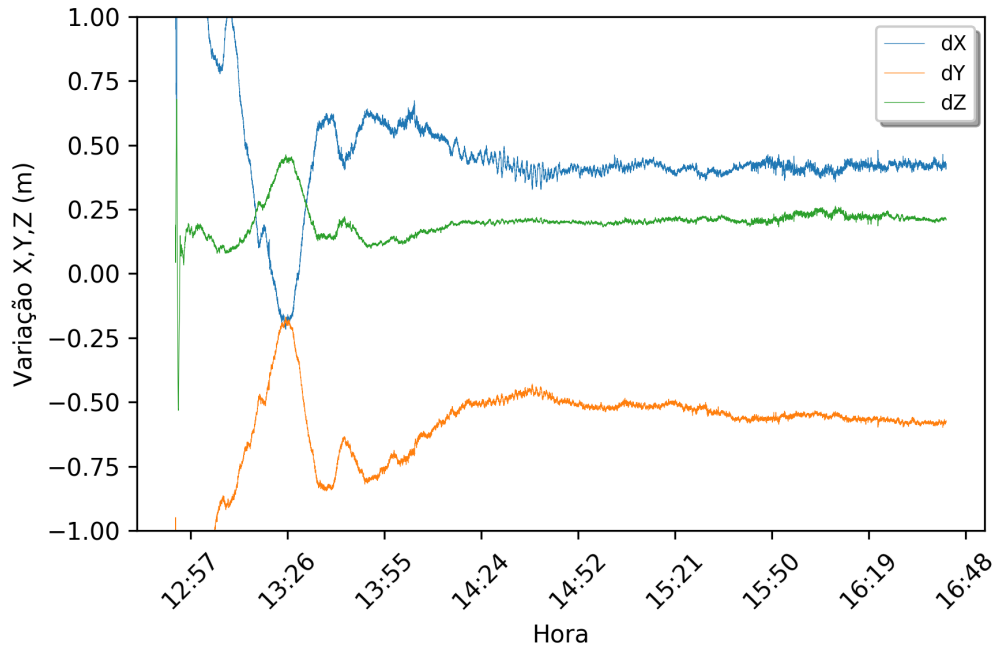


FIG. 4.7: Série temporal RTPPP - Resultante dX, dY, dZ.

As coordenadas utilizadas como referências para o cálculo de dX, dY e dZ foram obtidas a partir da atualização das coordenadas obtidas no descritivo da estação do IBGE. O levantamento foi realizado entre 12h e 16h, sendo que esse é o período de maior atividade solar durante o dia, portanto os efeitos de ionosfera podem ter afetado a convergência do posicionamento.

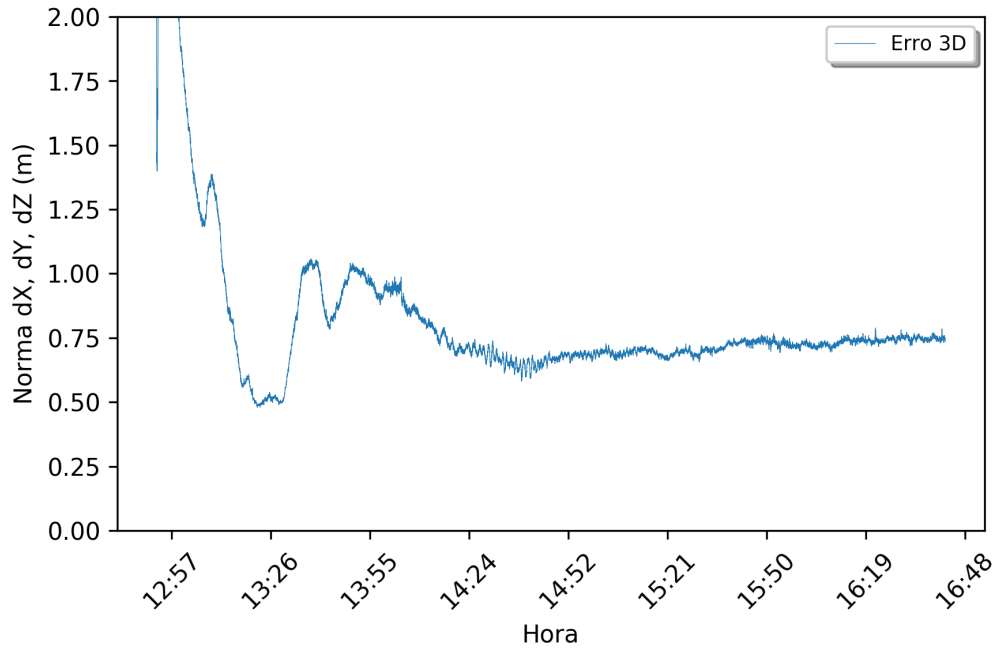


FIG. 4.8: Série temporal RTPPP - Norma de dX, dY, dZ.

Na figura 4.8 é possível observar a resultante de dX, dY e dZ. Utilizando os valores utilizados para construir o gráfico da figura 4.8 calculou-se o erro médio quadrático que foi de 0,921187 m.

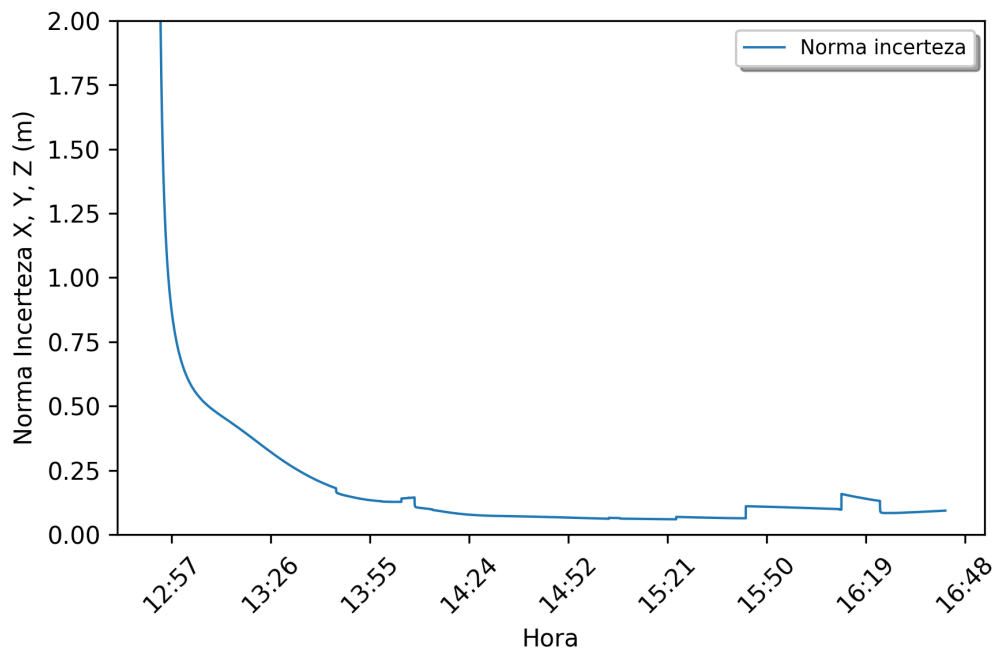


FIG. 4.9: Série temporal RTPPP - Incerteza das coordenadas X, Y, Z.

Na figura 4.9 é possível observar que a resultante das incertezas converge para valores

inferiores a 50 cm em torno de 10 a 15 minutos. Após uma hora a resultante varia de 10 a 20 cm.

Com o intuito de verificar a qualidade do levantamento realizado utilizou-se a ferramenta do IBGE de pós-processamento de dados GNSS (IBGE-PPP, 2019), tal ferramenta se utiliza das efemérides ultra-rápidas, rápidas e finais para melhorar a acurácia do posicionamento. No processamento em questão os dados foram inseridos após 36 horas e menos de 11 dias do fim do rastreo, portanto o processamento utilizou-se de efemérides rápidas (IBGE, 2017). Os arquivos RINEX obtidos na medição foram utilizados para o processamento. Com o resultado do processamento comparou-se as coordenadas cartesianas época a época com as coordenadas obtidas em tempo real. A seguir os resultados:

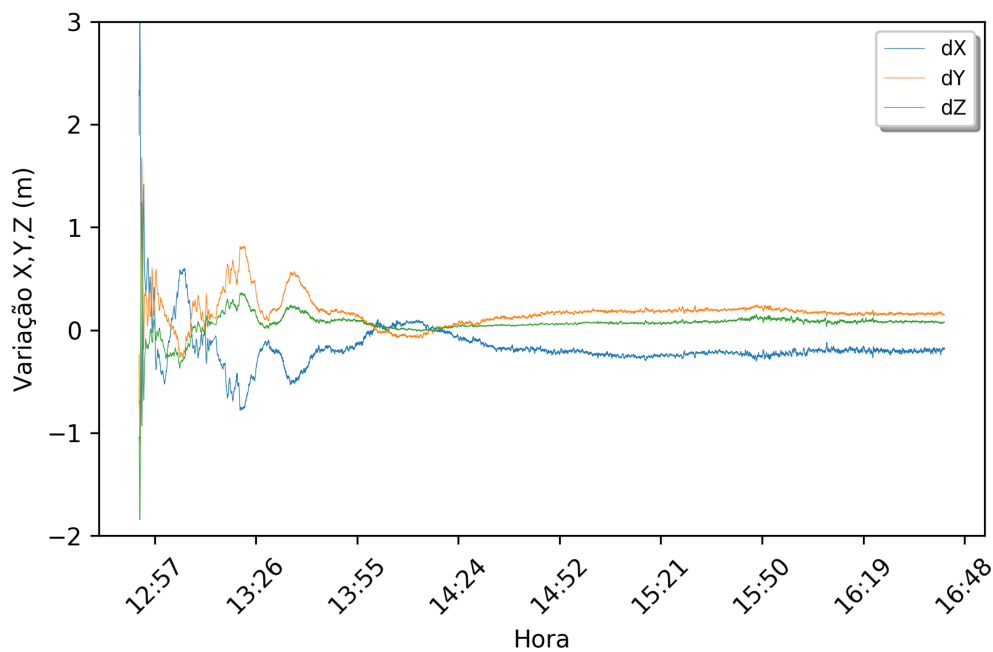


FIG. 4.10: Resultante dX , dY , dZ - Tempo real em comparação com pós-processado do IBGE.

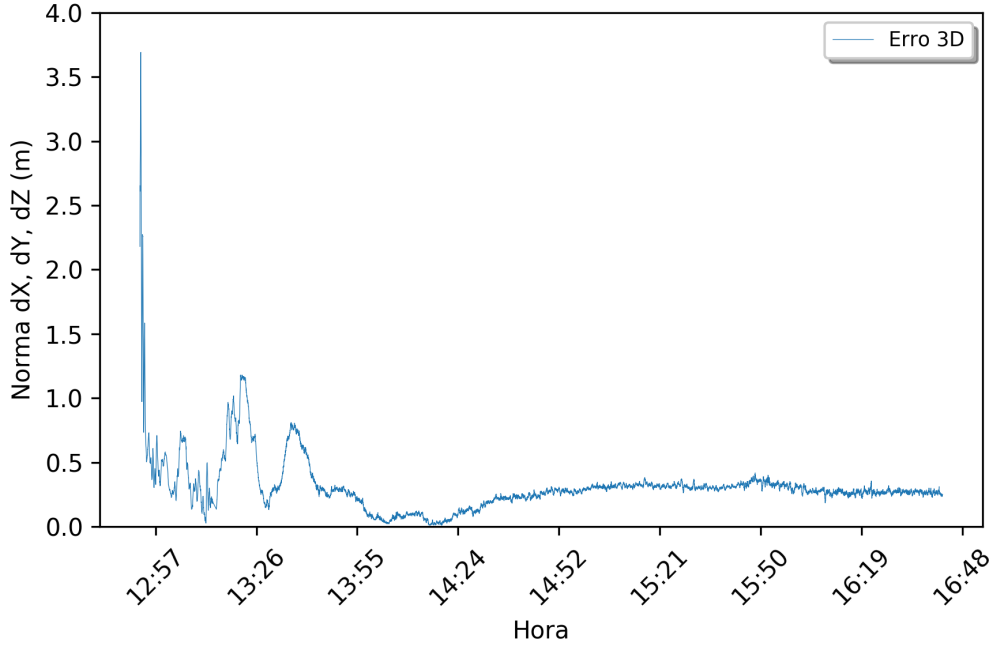


FIG. 4.11: Norma de dX , dY , dZ - Tempo real em comparação com pós-processado do IBGE.

Pode-se observar na figura 4.10 que os valores de dX , dY e dZ apresentam uma queda brusca de valores após os primeiros minutos de levantamento. Na figura 4.11 observa-se que na maior parte do levantamento, após uma hora de coleta, os valores da norma de dX , dY e dZ não são superiores a 50 cm e tem-se ainda que o erro quadrático médio é de 0,385575 m.

4.2.2 RTPPP EM ESTAÇÃO CINEMÁTICA

Com o intuito de consolidar o posicionamento preciso em tempo real utilizando plataformas livres, realizou-se um levantamento na Praça Gen. Tibúrcio, Rio de Janeiro - RJ com um *notebook* com software BNC conectado ao receptor GR-5 via porta serial. O *notebook* estava conectado à internet via 4G e portanto recebendo as correções necessárias para a realização do PPP. As observáveis GNSS foram recebidas pela conexão com o receptor via porta serial. É possível observar nas figuras 4.13, e que o tempo de levantamento foi pouco levando em consideração o tempo ideal para a convergência. A situação ideal é permanecer durante alguns minutos em um ponto estático e em seguida iniciar o levantamento; tal conduta não pôde ser seguida devido a limitações técnicas do *notebook* utilizado.

O traçado percorrido pelo levantamento pode ser observado pela linha branca da

figura 4.12.



FIG. 4.12: Traçado levantamento RTPPP.

Na figura 4.13 é possível observar que a resultante das incertezas converge para valores inferiores a 50 cm em menos de 10 minutos.

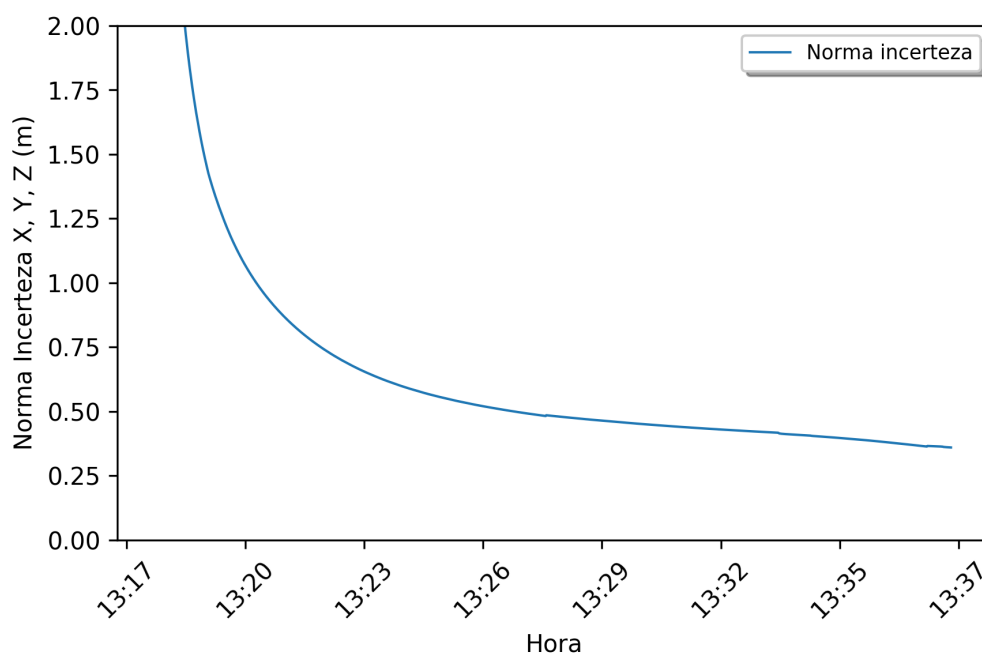


FIG. 4.13: Série temporal RTPPP - Incerteza das coordenadas X, Y, Z.

Assim como na seção 4.2.1 utilizou-se a ferramenta do IBGE de pós-processamento

para avaliar a qualidade do levantamento. O erro quadrático médio encontrado foi de 2,446697 m. A seguir os resultados:

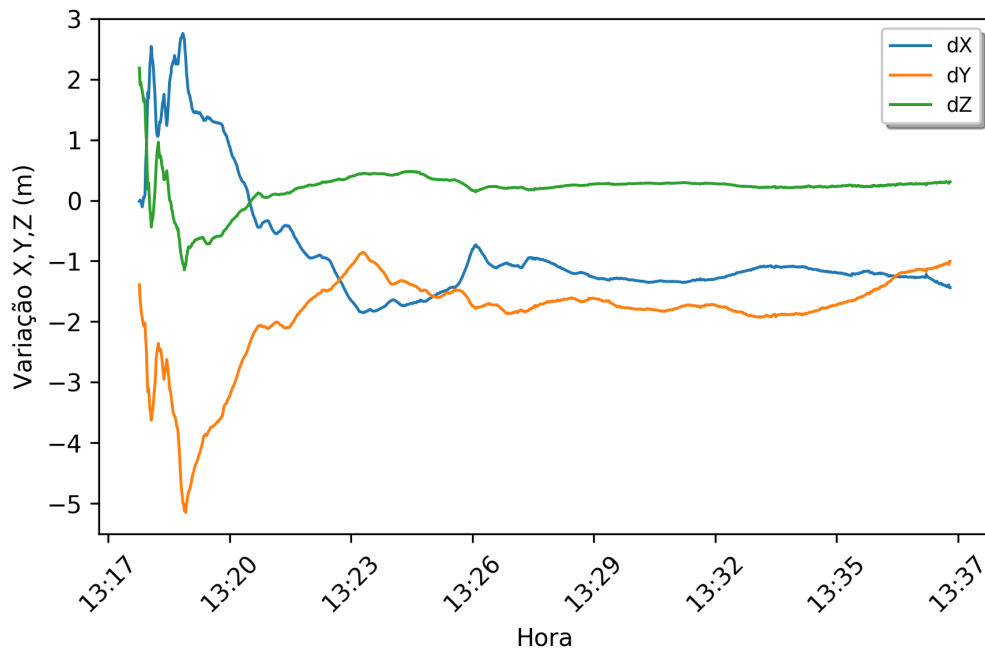


FIG. 4.14: Resultante dX , dY , dZ - Tempo real em comparação com pós-processado do IBGE.

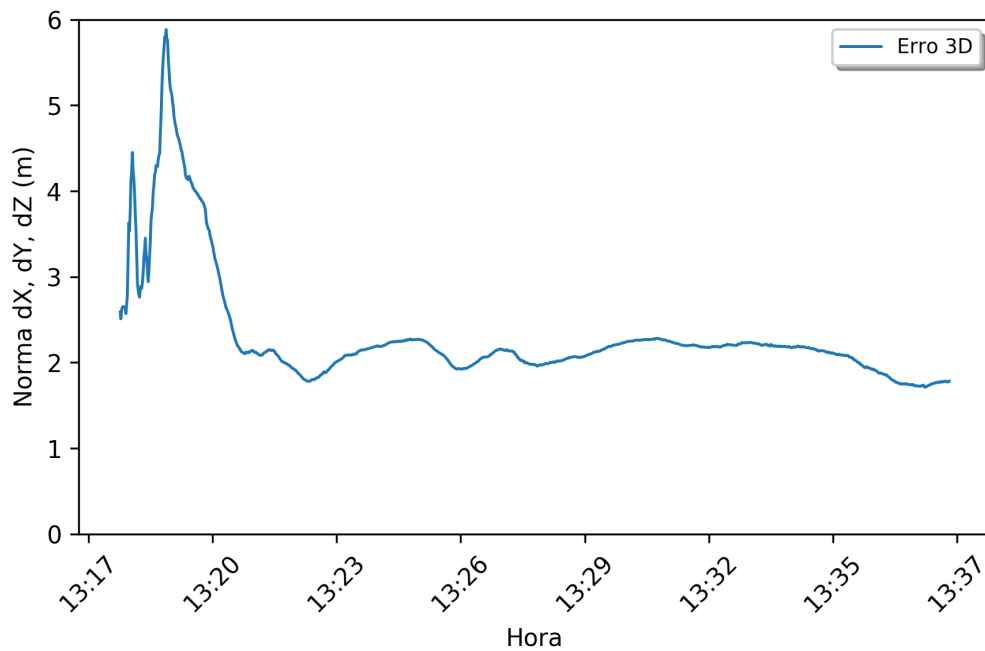
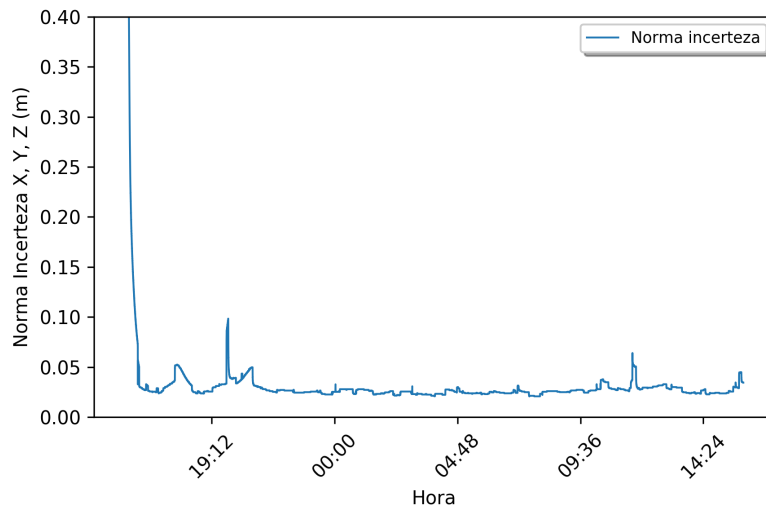


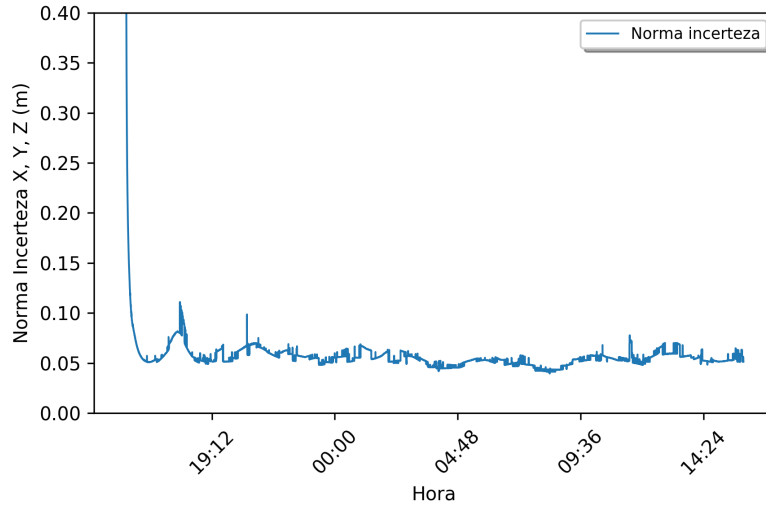
FIG. 4.15: Norma de dX , dY , dZ - Tempo real em comparação com pós-processado do IBGE.

4.3 PPP-RTK

Para a realização do método PPP-RTK utilizou-se o software "PPP-Wizard". Para fim de comparação entre o RTPPP, o qual utiliza solução *float* de ambiguidades, e o PPP-RTK, o qual utiliza solução *fixa* de ambiguidades, realizou-se, durante 24 horas, coleta de dados referente a estação POAL. A seguir os resultados:



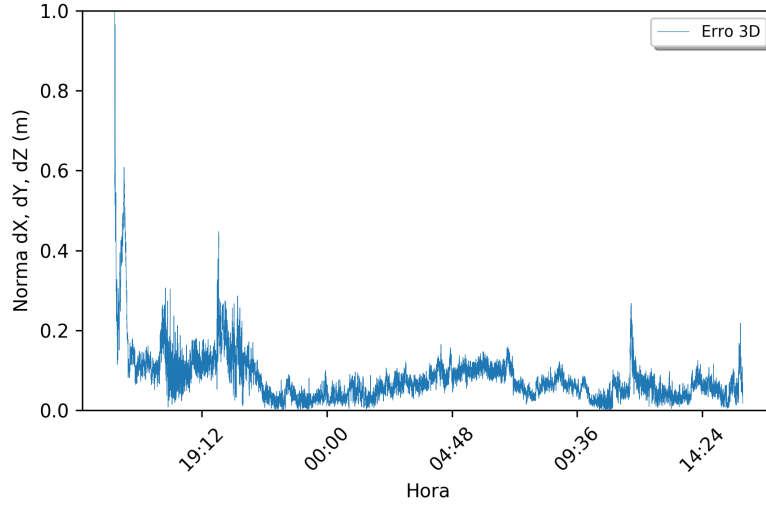
(a) PPP-RTK



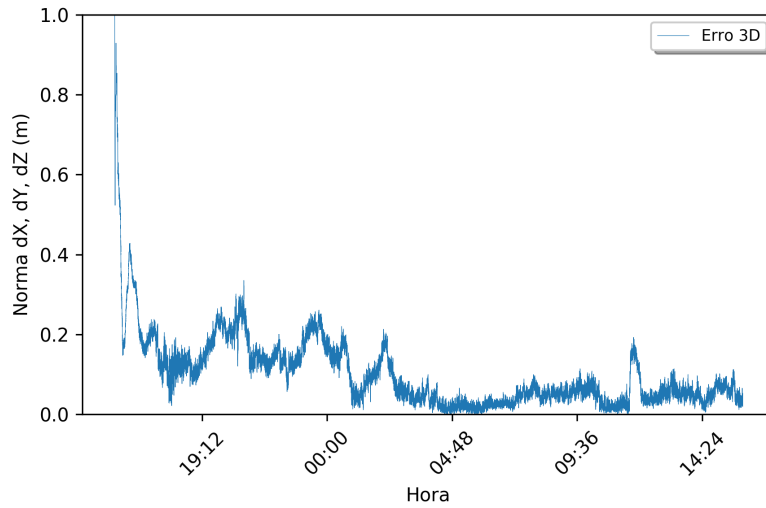
(b) RTPPP

FIG. 4.16: Comparação das incertezas entre RTPPP e PPP-RTK

Pode-se observar na figura 4.16 que, como esperado, a resultante incerteza varia em valores menores quando se utilizada a solução fixa de ambiguidades. Ao utilizar-se o método PPP-RTK os valores variam menos e em torno de 3 cm, enquanto que no RTPPP os valores variam acima de 5 cm e apresentam maior variação.



(a) PPP-RTK



(b) RTPPP

FIG. 4.17: Comparação normas de dX , dY e dZ entre RTPPP e PPP-RTK

Os erros quadráticos médios encontrados foram: para o PPP-RTK - 0,1571640 m; para o RTPPP 0,155435 m. Na figura 4.17 é possível observar que ao utilizar o RTPPP a resultante de dX , dY e dZ é ligeiramente maior que ao utilizar o PPP-RTK. Ainda ao analisar a mesma figura é possível verificar que no PPP-RTK os valores alcançam a marca de 10cm em tempo consideravelmente mais rápido do que o RTPPP.

4.4 RTK

Com o objetivo de realizar as primeiras configurações no receptor GR-5, bem como entender corretamente seu funcionamento, realizou-se um RTK no prédio frontal do Instituto

Militar de Engenharia, foram obtidos os pontos conforme figura a seguir:

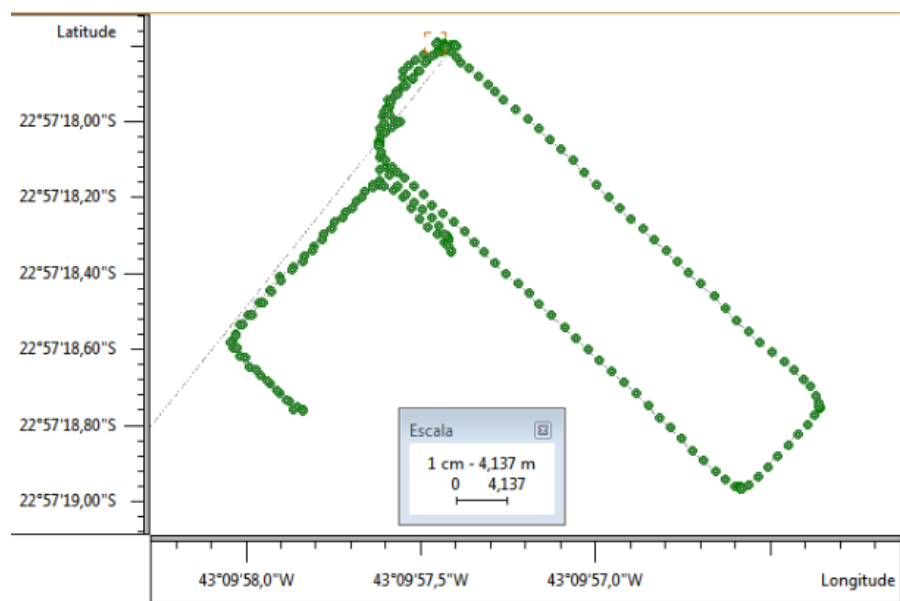


FIG. 4.18: Pontos obtidos com levantamento RTK.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste projeto gerou especificações técnicas e instruções para a realização dos métodos RTPPP, PPP-RTK e RTK com ferramentas de softwares livres e com receptor GNSS GR-5. Além disso, *scripts* foram implementados para a extração das informações geradas por tais softwares possibilitando uma melhor visualização e análise dos dados. Tais especificações e códigos encontram-se no apêndice deste projeto. A análise aprofundada dos métodos de posicionamento espacial tratados neste projeto, apura a aplicação da teoria no mundo real além de demonstrar sua eficácia em relação à acurácia esperada e atendida.

O RTPPP realizado em uma estação da RBMC mostrou que a incerteza das coordenadas permanece em valores inferiores a 10 cm e sua convergência para tais valores foi aproximadamente 40 minutos. Além da utilização da estação da RBMC, fez-se um RTPPP com o receptor GNSS conectado via porta serial e tal atividade gerou o conhecimento para realizar a conexão da maneira correta e eficiente; as orientações para realizar essa conexão se encontram nos apêndices deste projeto. Os valores das incertezas das coordenadas e tempo de convergência são similares ao levantamento RTPPP realizado com a estação da RBMC. Ao realizar o RTPPP com estação cinemática evidenciou-se sua operacionalidade e sua realização inteiramente com ferramentas livres. Ao comparar as coordenadas obtidas com as pós-processadas na ferramenta IBGE-PPP tem-se que no levantamento estático a resultante da diferenças das coordenadas apresenta valores próximos a 30 cm na maior parte do tempo, enquanto que no levantamento cinemático a mesma comparação apresenta valores próximos a 2 m (valores altos devidos o pouco tempo de levantamento que não possibilitou a devida convergência).

O PPP-RTK realizado em comparação com o RTPPP mostra que sua convergência é mais rápida, além de possuir valores de incerteza próximos a 3 cm, enquanto que o RTPPP possui 5 cm. Tal fato dá-se em função da utilização da solução fixa de ambiguidades do PPP-RTK e não da solução *float* de ambiguidades (RTPPP). Ainda, a realização do RTK "clássico" possibilitou a geração de informações que auxiliam e agilizam a configuração do receptor GR-5 (apêndice).

As dificuldades encontradas foram amplamente analisadas e solucionadas na medida do possível, como as configurações dos receptores desde o início, a aquisição de materiais para a conexão (cabos) e o entendimento do funcionamento dos métodos. Outras dificul-

dades exploradas não tiveram solução completa, como a questão do recebimento de dados pelo receptor por meio de internet 4G via ”*SIM card*” e um novo levantamento RTK. Por questões de gestão de tempo e priorização dos objetivos principais, estas tarefas podem ser exploradas em trabalhos futuros, valendo-se do escopo deste trabalho. A realização deste projeto materializa a possibilidade de utilizar meios modernos (receptores recém lançados) e acessíveis (plataformas e softwares livres) para as diversas empregabilidades citadas Assim, o anseio de aplicar produtos GNSS em projetos de engenharia é crescente e factível para trabalhos futuros para explorar outros detalhes não abordados no presente relatório.

6 APÊNDICE A - CONFIGURAÇÕES

6.1 CONFIGURAÇÕES DO BNC

Para a realização do método RTPPP utilizando o software BNC, uma série de configurações devem ser estabelecidas. A seguir, elas são detalhadas:

- General
 - *Logfile (fullpath)* - Deve se indicar o caminho onde o Log do RTPPP será salvo. Recomenda-se criar uma pasta "LOG" para tal função. Os arquivos Log são importantes pois neles é que são registradas as coordenadas de cada época, entre outras informações.
 - *Re-read configuration* - Recomenda-se deixar desabilitada essa opção pois caso ela esteja habilitada e o usuário alterar as configurações e iniciar o levantamento, quando as configurações forem re-lidas o levantamento pode parar devido a alteração feita logo antes do início.
- *RINEX Observations*
 - *Directory* - Deve se indicar o caminho para que se salvem os arquivos RINEX do levantamento. Recomenda-se criar uma pasta "RINEX". Caso o caminho não seja indicado os arquivos não serão salvos e não será possível pós processar os dados do levantamento.
 - *Interval* - Tempo que se deseja para salvar o arquivo RINEX. Caso seja "2 horas", o software salva um arquivo RINEX a cada duas horas.
 - *Sampling* - Amostragem das épocas. Caso seja "1 segundo" o software calcula e salva uma coordenada por segundo.
- *RINEX Ephemerides*
 - Análogo a aba "*RINEX Observations*" mas para as Efemérides.
- *PPP (1)* - Nesta aba são determinadas as principais configurações do RTPPP
 - *Data source - Real-Time Streams*

- *Corrections stream* - Determina qual o stream utilizado para receber as correções para o PPP em tempo real. Nesse trabalho foi utilizado o "CLK91".
 - *Coordinates file* - Indica-se o caminho para o arquivo que contém as coordenadas da estação que está sendo levantada, naturalmente as coordenadas podem ser aproximadas e são utilizadas para que o programa estime um dE, dN e dU e a visualização da convergência seja facilitada. Ainda neste arquivo deve-se constar o modelo da antena utilizada de acordo com o padrão do arquivo de antenas do IGS. A seguir o extrato completo do arquivo utilizado em um dos levantamentos: "POAL00BRA0 3467519.42758 -4300378.65527 -3177517.52025 0.0000 0.0000 0.0010 TRM115000.00 NONE TRIMBLE NETR9".
 - *Logfile directory* - Indica-se para a pasta onde os log's serão salvos.
 - *ANTEX file* - Caminho para o arquivo que contém as especificações das antenas.
- *PPP* (2) - Deve-se adicionar o nome da estação exatamente como está escrito no arquivo de coordenadas e na lista de streams.
 - *PPP* (3) - Opções sobre as portadoras e os sistemas GNSS - convém utilizar "P3 & L3" sempre que possível.
 - *PPP* (4)
 - *PPP Plot* - Deve-se inserir o nome da estação que se deseja plotar o gráfico para visualização.
 - *Add Stream* (figura 6.1) - Nesse botão é onde são incluídos os streams para as correções e recebimento das observáveis GNSS.
 - Correções - Para as correções e efemérides foram utilizados dois *streams*, ambos no *Caster host* "products.igs-ip.net", porta 2101. Os streams foram: "CLK91" e "RTCM3EPH".

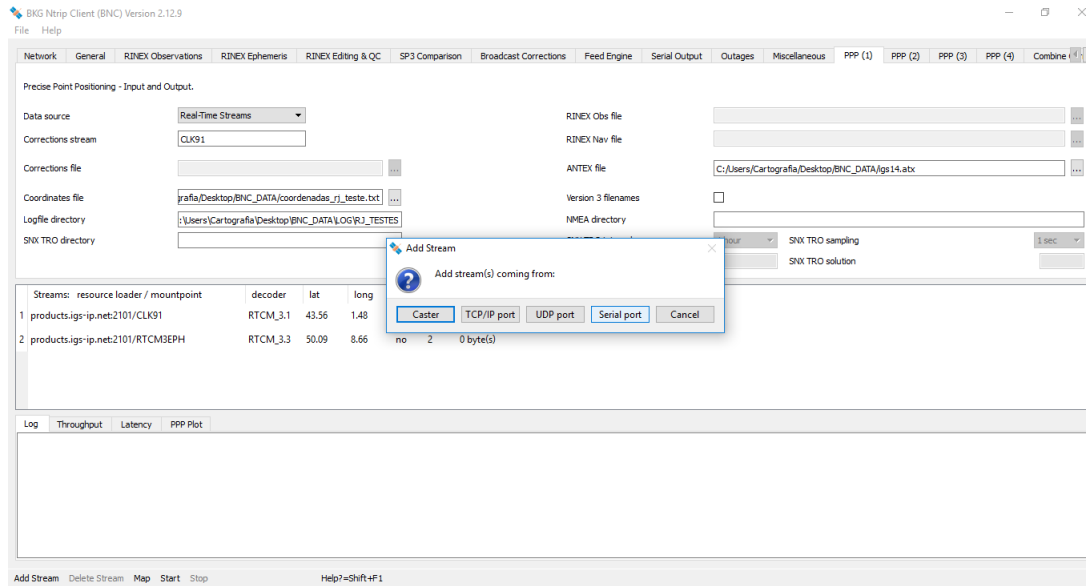


FIG. 6.1: Adição de stream *stream*.

6.1.1 RTPPP COM RECEBIMENTO DE DADOS DO RECEPTOR VIA CASTER

Para realizar o RTPPP dessa forma realiza-se a configuração conforme seção 6.1 e inclui-se outro stream da seguinte forma:

- *Add Stream*
 - *Caster* - *Caster host* "www.igs-ip.net", porta 2101. O stream utilizado nesse trabalho foi: "POAL00BRA0".

6.1.2 RTPPP COM RECEBIMENTO DE DADOS DO RECEPTOR VIA PORTA SERIAL

Nesse trabalho a conexão Receptor - Computador foi feita utilizando dois cabos: Serial/-COM (fêmea) e COM (Macho) - COM (Macho). O segundo cabo foi necessário pois foi um adaptador para a porta disponível no computador utilizado. Para realizar o RTPPP dessa forma realiza-se a configuração conforme seção 6.1 e inclui-se outro *stream* da seguinte forma:

- *Add Stream*
 - *Serial port* - A configuração utilizada nesse trabalho foi:
 - * *Mountpoint* - "RJteste" - A denominação da *Mountpoint* é de acordo com o usuário, devendo ser o mesmo dado no arquivo de coordenadas;

- * *Format* - "RTCM3" - Formato que o BNC fará a leitura dos dados recebidos pelo receptor. É importante ressaltar que essa configuração deve estar coerente com a configuração dos dados de saída do receptor, nesse trabalho o receptor estava configurado para enviar dados no formato "RTCM 3.x";
- * *Latitude e Longitude* - valores aproximados e inteiros, somente para exibição na lista da tela;
- * *Country* - País onde está localizado o receptor. Somente para fins de exibição em tela;
- * *Port name* - "COM1" - No sistema operacional Windows por padrão a porta "COM" é denominada "COM1" ou "COM2", vale ressaltar que no computador utilizado a cada vez que a conexão com o receptor era refeita o sistema criava um novo nome, como por exemplo "COM6" - Esse é o nome da porta em que o receptor está conectado via cabo.
- * *Baud rate* - 115200 - Recomenda-se que seja tão alta quanto possível.
- * *Data bits* - 8
- * *Stop bits* - 1
- * *Parity* - None
- * *Flow control* - Off
- * As configurações de *Baud rate*, *Data bits*, *Stop bits*, *Parity*, *Flow control* devem ser idênticas com a configuração estabelecida na saída de dados do receptor.

A figura 6.2 explicita os passos explicados na seção 6.1.2:

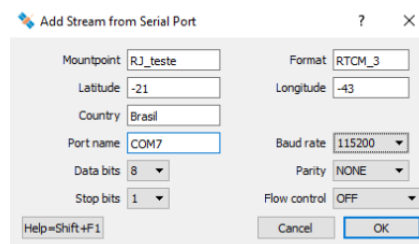


FIG. 6.2: Adição de stream via porta serial.

Realizadas as configurações explicadas nas seções 6.1 e 6.1.1 ou 6.1.2, aciona-se o botão *start* para começar o recebimento e processamento de dados. A figura 6.3 mostra tal recebimento.

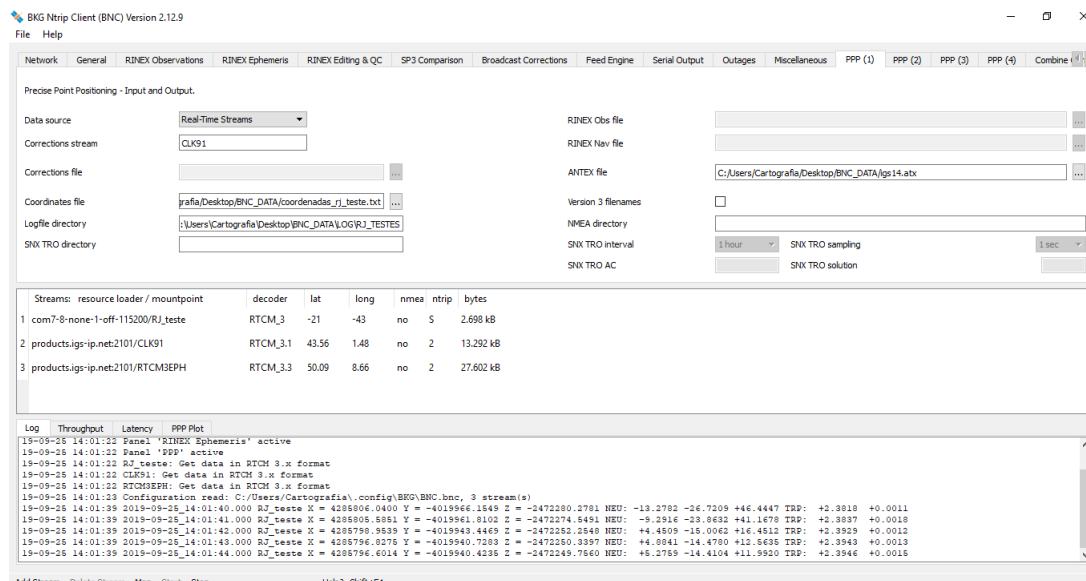


FIG. 6.3: Chegada de dados e processamento no BNC.

6.2 CONFIGURAÇÃO DO PPP-WIZARD PARA REALIZAÇÃO DO PPP-RTK

Para a realização do PPP-RTK nesse trabalho utilizou-se o software PPP-Wizard, uma modificação do código do BNC que utiliza solução fixa de ambiguidades ao invés de solução *float*. A seguir serão detalhados alguns passos para a configuração e utilização do PPP-Wizard.

Primeiramente deve-se abrir a pasta onde encontram-se os arquivos do programa diretamente no terminal (ou *Prompt de comando*). Nessa pasta devem constar os seguintes arquivos básicos: *conf_get.txt*, *conf_process.txt* e *rover.txt*.

O arquivo *conf_get.txt* especifica quais serão os *streams* a serem conectados para o recebimento de dados e correções. A seguir o arquivo utilizado no presente projeto:

```

usuario:senha@78.46.41.8:2101/POAL00BRA0 7 1
usuario:senha@78.46.41.26:2101/CLK91 7 1
usuario:senha@78.46.41.26:2101/RTCM3EPH 7 1

```

O usuário e senha devem ser obtidos através de cadastro no portal do IGS.

O arquivo *conf_process.txt* determina as opções do procedimento. É importante selecionar o modo *mode_PPP_AR* e colocar o modelo da antena utilizada. A seguir um extrato do arquivo *conf_process.txt* utilizado:

```

mode_PPP_AR mode
igs14.atx TRM115000.00
1 1 0 AR/JumpsIndicators

```

```
1 useGPS
1 useGlonass
```

O *rover.txt* informa o nome da estação e suas coordenadas aproximadas. A seguir o arquivo utilizado:

```
POAL00BRA0 3467519.42758 -4300378.65527 -3177517.52025
```

Após a manipulação desses três arquivos deve-se executar o seguinte comando no terminal:

```
./getStream <conf_get.txt | ./processStream -conf conf_process.txt -
  rover rover.txt -dcb "*.DCB" > out_POAL_PPP_wizard.txt
```

O arquivo de saída *out_POAL_PPP_wizard.txt* armazenará todas as coordenadas e suas respectivas épocas.

6.3 CONFIGURAÇÃO VIA *SOFTWARE* TRU DO RECEPTOR (GR-5) PARA A COMUNICAÇÃO COM COMPUTADOR

Esta seção explicará a configuração para a comunicação correta entre o receptor e computador, visando a utilização do *software* BNC. A configuração é realizada através do *software* TRU.

- Conexão do receptor com *software* TRU: *Device > Connect*
- Seleciona-se a porta serial através do botão "...” e então pressiona-se o botão *Connect*

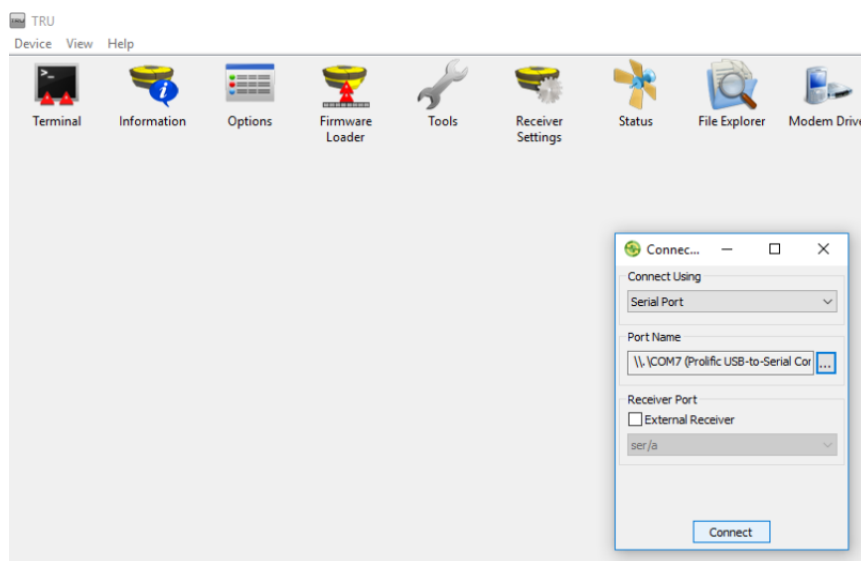


FIG. 6.4: Identificação da conexão do receptor via porta serial.

Para a realização de qualquer levantamento RTK deve-se manter atualizado os drivers de comunicação rádio do receptor. Para tal deve-se acessar *Modem Driver > Topcon Digital UHF II Motorola H24 > Modem Properties* conforme figura 6.5.

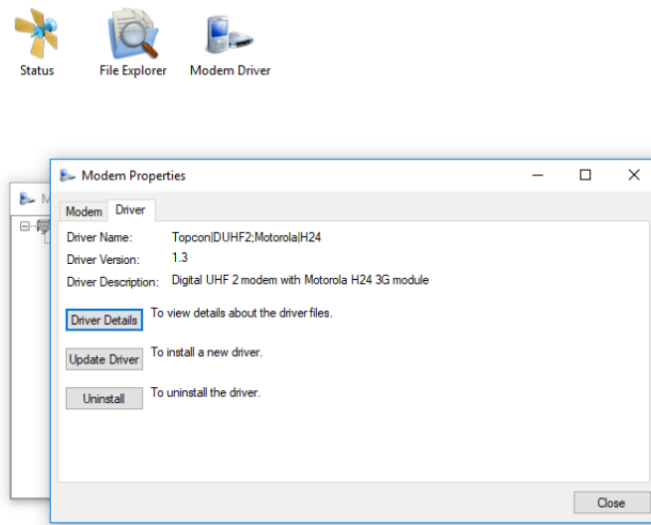


FIG. 6.5: Configurações de drivers.

Para realizar as configuração das informações de entrada e saída nas portas do receptor deve-se acessar a opção *Receiver Settings* conforme figura 6.6 e em seguida acessar a opção *Ports* conforme figura 6.7.

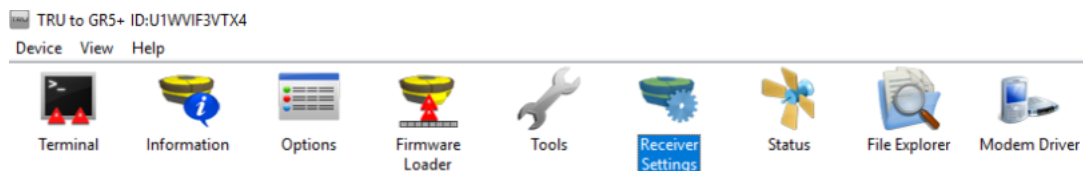


FIG. 6.6: Configurações do receptor.

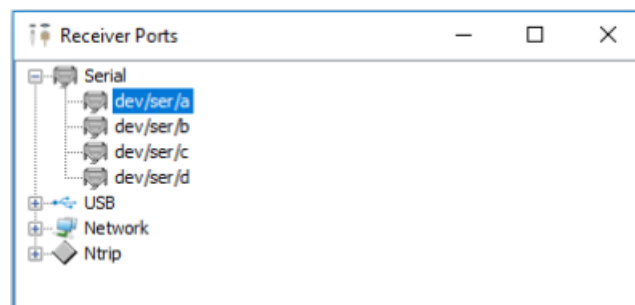


FIG. 6.7: Configurações das portas do receptor.

A porta que realiza a comunicação de dados com o BNC nesse trabalho foi a porta

"dev/ser/a". Abre-se a configuração dessa porta e seleciona-se o *Output mode* para "RTK RTCM 3.x" na aba *General*, conforme figura 6.8.

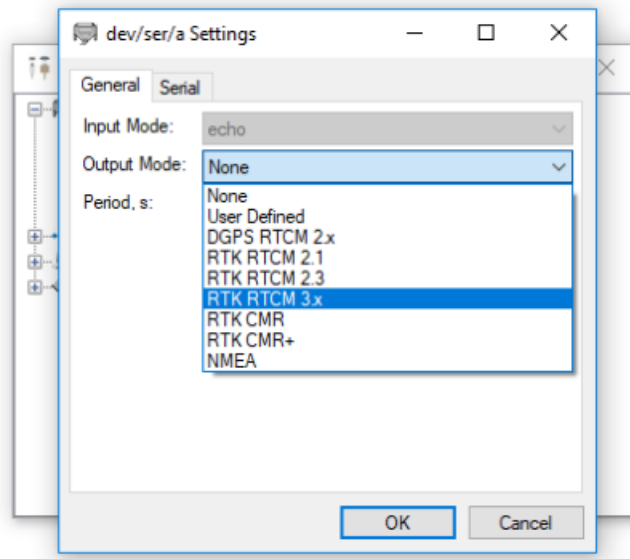


FIG. 6.8: Formato dos dados de saída.

Nessa mesma aba pode-se realizar a verificação das mensagens RTCM que o aparelho está transferindo, conforme figura 6.9. Por padrão do receptor as mensagens relacionadas as efemérides do sistema GPS e GLONASS (1019 e 1020 respectivamente) não estão incluídas na configuração. Caso ao realizar o RTPPP com o BNC não se conecte ao *stream RTCM3EPH* deve-se incluir essas mensagens no aparelho, conforme figura 6.10. Recomenda-se que se conecte ao referido caster utilizando as efemérides recebidas através dele. Ao utilizar as efemérides recebidas pelo próprio receptor nesse trabalho a seguinte mensagem de erro no BNC era transmitida: "*Wrong observation epoch(s)*"

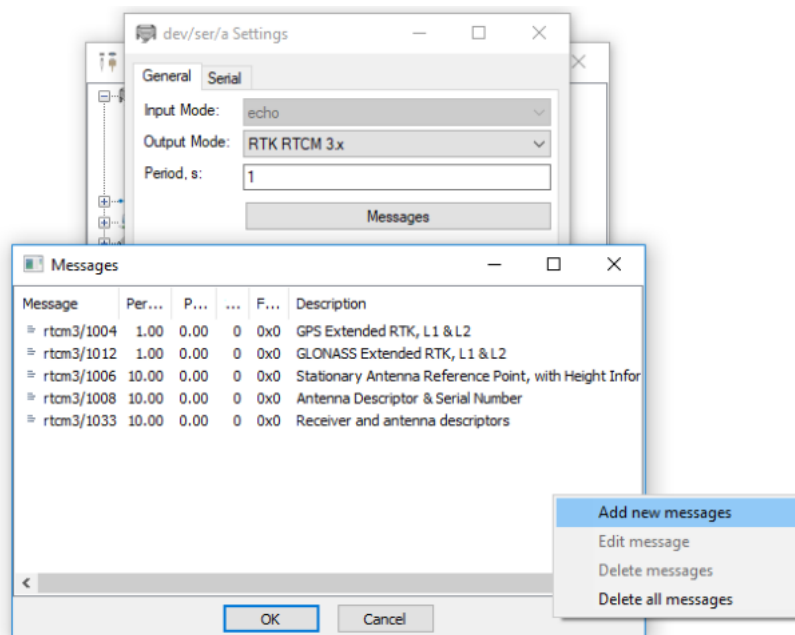


FIG. 6.9: Verifica das mensagens transmitidas pelo receptor.

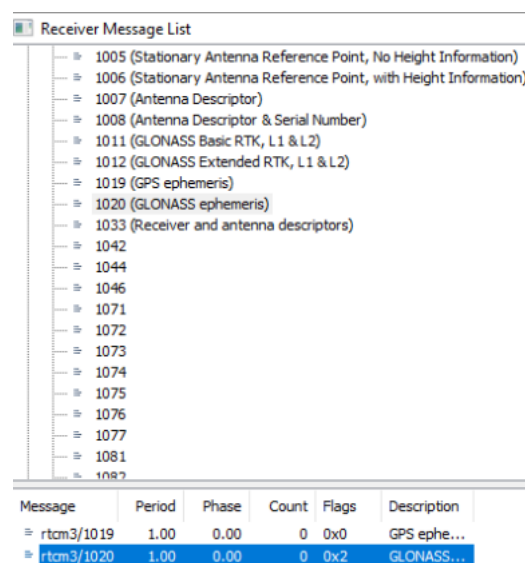


FIG. 6.10: Inclusão de novas mensagens para a transmissão.

Na aba *Serial* da mesma janela são realizadas as configurações da transmissão de dados da porta serial. Tais dados devem ser configurados de forma idêntica aos configurados no BNC conforme explicado na seção 6.1.2 e figura 6.11.

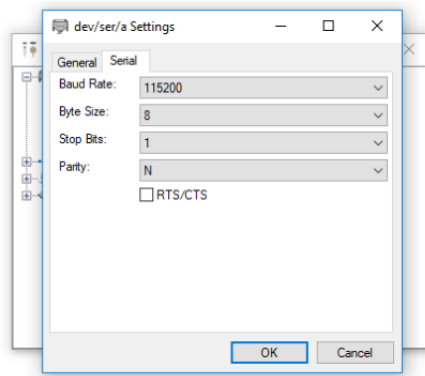


FIG. 6.11: Configuração de Baud Rate, Byte Size, Stop Bits e Parity.

O receptor GR-5 armazena os dados do levantamento em cartão de memória SD, nesse trabalho não foi possível acessar os dados gravados diretamente no cartão, para tal foi necessário acessar os dados através do TRU conforme figura 6.12.

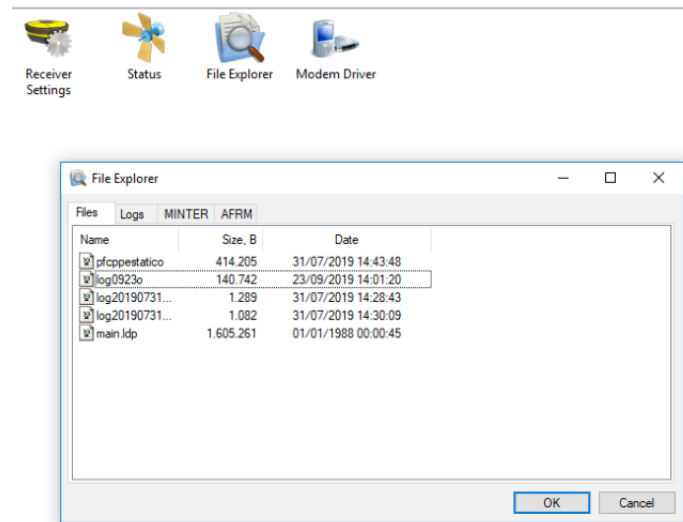


FIG. 6.12: Visualização dos arquivos gravados no receptor.

6.4 CONFIGURAÇÃO DO RECEPTOR VIA CONTROLADORA PARA REALIZAÇÃO DE RTK

A fim de realizar as configurações necessárias para a realização de RTK com o receptor GR-5 é interessante a utilização da controladora devido sua portabilidade. A seguir serão descritas algumas configurações básicas a a realização desse método com o GR-5. Cabe ressaltar que caso a comunicação via *bluetooth* entre o receptor e a controladora não esteja funcionando deve-se conectar o receptor ao TRU e alterar a taxa de transmissão da porta "/dev/serial/d" para 115200.

Após a conexão do receptor com a controladora deve-se abrir a janela "Configuração", nomear a configuração e escolher o tipo de método, conforme figura 6.13.

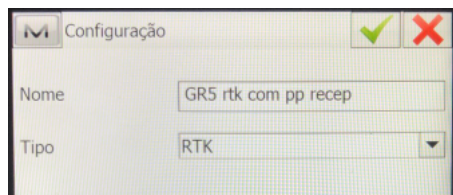


FIG. 6.13: Tela de início para configuração de RTK.

Escolhe-se o valor para máscara de elevação e o formato para as correções diferenciais enviadas do receptor base para o receptor rover, conforme figura 6.14

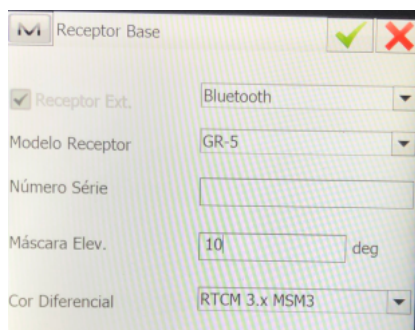


FIG. 6.14: Tela correções RTK.

Escolhe-se onde será feito o armazenamento dos dados, se na controladora ou no receptor conforme figura 6.15. Recomenda-se que tanto para a Base quanto para o Rover selecione-se "Receptor" visto que nas tentativas realizadas nesse trabalho para arquivamento na controladora os dados não foram armazenados.

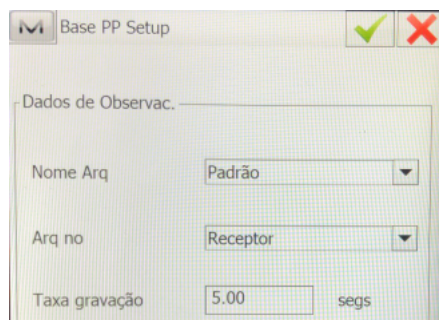


FIG. 6.15: Tela de início para configuração de RTK

Escolhem-se as configurações de rádio, conforme figuras 6.16 e 6.17.

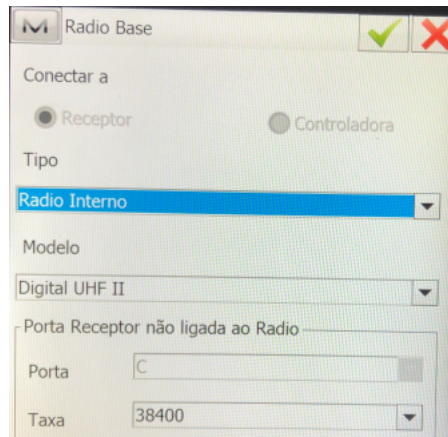


FIG. 6.16: Tela configuração de rádio RTK.

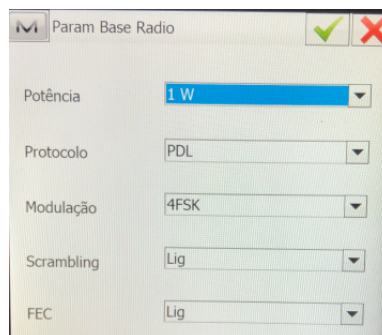


FIG. 6.17: Tela 2 configuração de rádio RTK.

Realizadas essas configurações as telas se repetirão para determinar as configurações do *rover* que são idênticas a configuração do base. As demais telas de configuração são intuitivas.

Após a realização das configurações deve-se iniciar o receptor base, conectar ao receptor rover e então coletar os pontos desejados.

Cabe ressaltar que para iniciar o receptor base deve-se inserir as coordenadas do ponto em que ele está posicionado ou solicitar que as coordenadas obtidas via GNSS sejam utilizadas. Caso se escolha por inserir as coordenadas manualmente recomenda-se a utilização de coordenadas geográficas visto que nesse trabalho ao utilizar-se de coordenadas cartesianas o sistema trocava as coordenadas X e Y e exibia a mensagem de erro que o receptor estava a mais de 500 metros do ponto informado.

7 APÊNDICE B - CÓDIGOS

7.1 CÓDIGOS CONSTRUÍDOS (PYTHON3) PARA EXTRAÇÃO DE DADOS DO RTPPP E EXIBIÇÃO DE GRÁFICOS

Para a extração dos diversos dados obtidos no BNC, PPP-Wizard e IBGE-PPP, *scripts* em linguagem *Python* foram desenvolvidos. A seguir encontram-se esses *scripts*. A explicação detalhada dos códigos encontra-se tanto nos comentários quanto no arquivo "LEIAME.txt" disponível em: <https://github.com/cardosoeng09/real_time_ppp>. Nesse link encontra-se todo o projeto, os dados utilizados e arquivos gerados.

7.1.1 CÓDIGO "MAIN.PY"

```
#CODIGO QUE AUXILIA NA EXTRACAO DE DADOS OBTIDOS ATRAVES DO SOFTWARE BNC,
    DO PPP-WIZARD e IBGE-PPP.
#ANTES DE UTILIZAR LEIA O ARQUIVO LEIAME.TXT
from graphics import bnc_ibge_graphic,save_graphics
from auxiliary_functions import get_processado,extrai,
    get_processado_ppp_wizard, grafico_path, extrai_processado_ibge,
    extrai_ibge,compara_bnc_ibge,get_dados_bnc

measure1="POAL20636" #Medida utilizando BNC na POAL - Sem especificacoes
    de antena
measure3="POAL20650" #Medida utilizando BNC na POAL - Com especificacoes
    de antena
measure4="RJ_T20712" #Medida feita no terraco da secao de Eng. Car. do
    IME no dia 17/09 - Conexao do notebook (BNC) com
measure5="POAL20716" #measure de RTPPP feita em 21/09/2019 -
    simultaneamente com a coleta do PPP-WIZARD #COORDENADAS 3467519.42758
    -4300378.65527 -3177517.52025 (coordenadas da semana 2065)
measure6='POAL001_ppp_wizard' #measure de PPP-RTK feita em 21/09 -
    simultaneamente com a coleta do BNC (RTPPP) #COORDENADAS 3467519.42758
    -4300378.65527 -3177517.52025 (coordenadas da semana 2065)
```

```

measure7="RJ_T20721" #measure feita em 23/09 na praa Gen Tiburcio com BNC
### PARTE DO CODIGO QUE GERAM OS GRAFICOS PARA AS MEDIDAS DE 1 A 7 -
    Graficos de dX,dY,dZ; Norma da incerteza e resultante de dX,dY,dZ
for file_name in ["POAL20636","POAL20650","RJ_T20712","POAL20716","
    RJ_T20721","POAL001_ppp_wizard"]:
    time,xyz,dXYZ,neu,incertezas,graphic_path=get_dados_bnc(file_name)
    save_graphics(graphic_path,file_name,time,dXYZ,incertezas)

### PARTE DO CODIGO QUE EXTRAI AS COORDENADAS COM AS RESPECTIVAS EPOCAS
    DO POS-PROCESSADO DO IBGE-PPP E SALVA UM ARQUIVO FORMATADO
    CORRETAMENTE PARA CONVERTER AS COORDENADAS GEOGRAFICAS EM COORDENADAS
    CARTESIANAS UTILIZANDO O SOFTWARE PROGRID
extrai_processado_ibge(measure7)
extrai_processado_ibge(measure4)
### #PARA RODAR CORRETAMENTE A PROXIMA CELULA DO CODIGO DEVE UTILIZAR A
    SAIDA DA CELULA ANTERIOR E CONVERTER AS COORDENADAS GEOGRAFICAS PARA
    COORDENADAS CARTESIANAS UTILIZANDO O SOFTWARE PRO-GRID DO IBGE, ESSAS
    COORDENADAS CARTESIANAS SAO UTILIZADAS NA PROXIMA PARTE DO CODIGO
### PARTE DO CODIGO QUE GERAM OS GRAFICOS DE COMPARACAO DAS MEDICOES 4 E
    7 COM RELACAO AS COORDENADAS PS PROCESSADAS PELO IBGE-PPP
for file_name in ["RJ_T20721"]:
    time_bnc7,xyz_bnc,dXYZ,neu,incertezas,graphic_path=get_dados_bnc(
        file_name)
    time_ibge7,bnc_med7,ibge_med7,comp_med7,tempo_comp7=compara_bnc_ibge(
        file_name)
    bnc_ibge_graphic(graphic_path,file_name+'_comparison',tempo_comp7,
        comp_med7,'xyz',[-5.5,3],1.2)
    bnc_ibge_graphic(graphic_path,file_name+'_comparison',tempo_comp7,
        comp_med7,'result',[0,6],1.2)

for file_name in ["RJ_T20712"]:
    time_bnc4,xyz_bnc,dXYZ,neu,incertezas,graphic_path=get_dados_bnc(
        file_name)

```



```

time_ibge4,bnc_med4,ibge_med4,comp_med4,tempo_comp4=compara_bnc_ibge(
    file_name)
bnc_ibge_graphic(graphic_path,file_name+'_comparison',tempo_comp4,
    comp_med4,'xyz',[-2,3],0.3)
bnc_ibge_graphic(graphic_path,file_name+'_comparison',tempo_comp4,
    comp_med4,'result',[0,4],0.3)

```

7.1.2 FUNÇÕES AUXILIARES

```

# FUNES GERADORAS DE GRFICOS
import matplotlib.pyplot as plt
from numpy import linalg as LA
import matplotlib.dates as md

def grafico_xyz(ax,datenums,arrayx,y_lim,width):
    ax.plot(datenums,arrayx[:,0],label="dX",linewidth=width)
    ax.plot(datenums,arrayx[:,1],label="dY",linewidth=width)
    ax.plot(datenums,arrayx[:,2],label="dZ",linewidth=width)
    plt.ylabel('Variao X,Y,Z (m)')
    axes = plt.gca()
    axes.set_ylim(y_lim)
    return axes

def grafico_norma_xyz(ax,datenums,arrayx,y_lim,width):
    ax.plot(datenums,LA.norm(arrayx,axis=1),label="Erro 3D",linewidth=
        width)
    plt.ylabel('Norma dX, dY, dZ (m)')
    axes = plt.gca()
    axes.set_ylim(y_lim)
    return axes

def incerteza(ax,datenums,arrayx,y_lim):
    ax.plot(datenums,LA.norm(arrayx,axis=1),label="Norma incerteza",
        linewidth=1)
    plt.ylabel('Norma Incerteza X, Y, Z (m)')

```

```

axes = plt.gca()
axes.set_ylim(y_lim)
return axes

def conf_geral(ax,grafico_path,file_name,tipo_grafico):
    plt.xlabel('Hora')
    plt.xticks(rotation=45)
    xfmt = md.DateFormatter('%H:%M') ##
    ax.xaxis.set_major_formatter(xfmt) ##
    plt.tight_layout()
    ax.legend(loc='best', shadow=True, fontsize='small')
    plt.savefig(grafico_path+'/'+file_name+'_graphic_'+tipo_grafico+'.png',
                ,dpi=300)
    plt.show()
    return 0

def graphic(grafico_path,file_name,time,arrayx,tipo_grafico,restricao):
    datenums=md.date2num(time)
    fig, ax = plt.subplots()
    if tipo_grafico=='xyz':
        if file_name=="RJ_T20712" or file_name=="RJ_T20721":
            y_lim=[-1,1]
        else:
            y_lim=[-0.5,0.5]
        grafico_xyz(ax,datenums,arrayx,y_lim,0.3)
    if tipo_grafico=='uncertainty':
        if file_name=="RJ_T20712" or file_name=="RJ_T20721":
            y_lim=[0,2]
        else:
            y_lim=[0,0.4]
        incerteza(ax,datenums,arrayx,y_lim)
    if tipo_grafico=='result':
        if file_name=="RJ_T20712" or file_name=="RJ_T20721":
            y_lim=[0,2]

```

```

        else:
            y_lim=[0,1]
            grafico_norma_xyz(ax,datenums,arrayx,y_lim,0.3)
            conf_geral(ax,grafico_path,file_name,tipo_grafico)
            return datenums

def bnc_ibge_graphic(grafico_path,file_name,time,arrayx,tipo_grafico,
                    y_lim,width):
    datenums=md.date2num(time)
    fig, ax = plt.subplots()
    if tipo_grafico=='xyz':
        grafico_xyz(ax,datenums,arrayx,y_lim,width)
    if tipo_grafico=='result':
        grafico_norma_xyz(ax,datenums,arrayx,y_lim,width)
    conf_geral(ax,grafico_path,file_name,tipo_grafico)
    return 0

def save_graphics(graphic_path,file_name,time,dXYZ,incertezas):
    graphic(graphic_path,file_name,time,dXYZ,'xyz',False)
    graphic(graphic_path,file_name,time,dXYZ,'result',False)
    graphic(graphic_path,file_name,time,incertezas,'uncertainty',False)
    return 0

```

7.1.3 FUNÇÕES PARA CONSTRUÇÃO DOS GRÁFICOS E EXTRAÇÃO DOS DADOS

```

#FUNCOES AUXILIARES

from datetime import datetime, timedelta
import numpy as np
import os

def transforma_tempo(tempo):
    time=[]
    for i in range(len(tempo)):
        tempo[i]=tempo[i].replace("-", ' ')

```

```

        time.append(datetime.strptime(tempo[i], '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f'))
time=np.asarray(time)
return time

def get_processado(processado_path,coord):
    dados=np.loadtxt(processado_path,dtype=str)
    tempo=dados[:,0]
    xyz=dados[:,1:4].astype(np.float) #novo array para salvar as
        coordenadas cartesianas
    neu=dados[:,7:10].astype(np.float) #novo array para salvar somente as
        informaes de dE,dN e dU
    time=transforma_tempo(tempo)
    incerteza=dados[:,4:7].astype(np.float)
    dXYZ=xyz-coord #subtrai o array que contem os XYZ obtidos no BNC com
        as coordenadas 'reais'
    return time,xyz,dXYZ,neu,incerteza

def extrai(file_path,nome_arquivo): #funo que extrai
    #abre-se o arquivo do qual quer se extrair os dados
    if nome_arquivo=="RJ_T20712" or nome_arquivo=="RJ_T20721":
        string_procura="RJ_teste X"
    else:
        string_procura="POALOOBRAO X"
    with open(file_path, "r") as ins:
        dados = []
        for line in ins:
            if line.find(string_procura) > 0:
                line=line.rstrip('\n')
                line=line.split()
                dados.append(line)
    #dados o array que contm as informaes de poca ,X,Y,Z,incerteza X,
        Y,Z e dE,dN, dU, incerteza dE,dN,dU
    dados=np.array(dados)
    dados=dados[:,(0,4,9,14,6,11,16,19,24,29,21,26,31)]

```

```

processado_path = file_path[:len(file_path)-4] + '_processado' +
    file_path[len(file_path)-4:]
np.savetxt(processado_path,dados,fmt='%s')
return processado_path#dados

def transforma_tempo_em_hora(time):
    hora=[]
    for i in range(len(time)):
        hora.append(time[i].hour)
    hora=np.asarray(hora)
    return hora

def get_processado_ppp_wizard(path,coord):
    dados=np.loadtxt(path,dtype=str)
    dia=dados[:,0]
    tempo=dados[:,1]
    tempocorreto=[]
    for i in range(len(dia)):
        tempocorreto.append('20'+dia[i]+'_'+tempo[i])
    tempocorreto=np.asarray(tempocorreto)
    x=dados[:,8]
    i_x=dados[:,10]
    y=dados[:,11]
    i_y=dados[:,13]
    z=dados[:,14]
    i_z=dados[:,16]
    xyz=np.array([x,y,z]).T.astype(np.float)
    incerteza=np.array([i_x,i_y,i_z]).T.astype(np.float)
    time=transforma_tempo(tempocorreto)
    dXYZ=xyz-coord
    return time,xyz,dXYZ,incerteza

def grafico_path(nome_arquivo):

```

```

script_dir = os.path.dirname(__file__) #caminho do cdigo (path of the
    code)
rel_path = "Graphics"+"/"+nome_arquivo
grafico_path = os.path.join(script_dir, rel_path)
if os.path.exists(grafico_path)==False:
    os.mkdir(grafico_path) #creates a folder to keep the graphics (
        cria uma pasta para armazenar os graficos)
rel_path = "Logs"+"/"+nome_arquivo+'/'+'nome_arquivo+'.ppp'
file_path=os.path.join(script_dir,rel_path)
return file_path,grafico_path

def corrige_array_time_ibge(array,nome_arquivo):
    new_array=[]
    for i in range(len(array)):
        string=array[i][0]+' '+array[i][1]
        string=datetime.strptime(string, '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f').replace(
            microsecond=0)
        new_array.append(string)
    time=np.asarray(new_array)
    if nome_arquivo=='RJ_T20721.190.pos':
        time=time + timedelta(seconds=1)
    return time

def extrai_ibge(nome_arquivo,file_path): #funo que extrai
    #abre-se o arquivo do qual quer se extrair os dados
    string_procura="RJ_t"
    with open(file_path, "r") as ins:
        dados = []
        for line in ins:
            if line.find(string_procura) > 0:
                line=line.rstrip('\n')
                line=line.split()
                dados.append(line)

```

```

dados=np.array(dados) #dados o array que contm as informaes de
    poca ,X,Y,Z,incerteza X,Y,Z e dE,dN, dU, incerteza dE,dN,dU
datetime=dados[:,(4,5)]
datetime=corrige_array_time_ibge(datetime,nome_arquivo)
lat=dados[:,(20,21,22)].astype(np.float)
lon=dados[:,(23,24,25)].astype(np.float)
alt=dados[:,26].astype(np.float)
return datetime,lat,lon,alt

def compara_bnc_ibge(nome_arquivo):
    script_dir = os.path.dirname(__file__)
    file_path = script_dir+'/Logs/'+nome_arquivo+'/Coord_transformadas/'+
        nome_arquivo+'.190.pos_coord_OUT.txt'
    xyz_ibge=np.loadtxt(file_path,delimiter='|')
    file_path = script_dir+'/Logs/'+''+'/'+nome_arquivo+'/'+''+nome_arquivo+'.19
        0.pos'
    time_ibge,lat,lon,alt=extraibge(nome_arquivo,file_path)
    time_bnc,xyz_bnc,dXYZ,neu,incertezas,grafico_caminho=get_dados_bnc(
        nome_arquivo)
    bnc=np.concatenate((np.array([time_bnc]).T,xyz_bnc),axis=1)
    ibge=np.concatenate((np.array([time_ibge]).T,xyz_ibge),axis=1)
    comparacao=[]
    tempo_comparacao=[]
    for i in range(len(ibge)):
        for j in range(len(bnc)):
            if ibge[i][0]==bnc[j][0]:
                dX=ibge[i][1]-bnc[j][1]
                dY=ibge[i][2]-bnc[j][2]
                dZ=ibge[i][3]-bnc[j][3]
                comparacao.append([dX,dY,dZ])
                tempo_comparacao.append(ibge[i][0])
            break
    return time_ibge,bnc,ibge,np.asarray(comparacao),np.asarray(
        tempo_comparacao)

```

```

def get_dados_bnc(nome_arquivo):
    coord_poa=np.array([[3467519.42758,-4300378.65527,-3177517.52025]]) #
        array que guarda as coordenadas de POAL obtidas no SIRGAS-CON (
            Semana gps 2065)
    coord_rj=np.array
        ([[4285796.90510288,-4019920.95100773,-2472249.93687366]])
    file_path,grafico_caminho=grafico_path(nome_arquivo) #funco que retorna
        o caminho do arquivo que serao feitas as leituras dos dados, e
        tambem o caminho da pasta para salvar os graficos
    if nome_arquivo.find('ppp_wizard') >= 0: #caso seja uma medica do PPP-
        Wizard tem que ser diferente a funcao get_processado
        time,xyz,dXYZ,incertezas=get_processado_ppp_wizard(file_path,
            coord_poa)
        neu=[]
    else:
        if os.path.isfile(file_path[:len(file_path)-4] + '_processado' +
            file_path[len(file_path)-4:]) == False:
            processado_path=extrai(file_path,nome_arquivo) #esse 'if'
                verifica se o .ppp j foi processado, caso ja tenha sido, no
                perde tempo fazendo novamente
        else:
            processado_path=file_path[:len(file_path)-4] + '_processado' +
                file_path[len(file_path)-4:]
        if nome_arquivo.find('RJ') >= 0:
            time,xyz,dXYZ,neu,incertezas=get_processado(processado_path,
                coord_rj)
        elif nome_arquivo.find('POA') >= 0:
            time,xyz,dXYZ,neu,incertezas=get_processado(processado_path,
                coord_poa)
    return time,xyz,dXYZ,neu,incertezas,grafico_caminho

def extrai_processado_ibge(nome_arquivo):
    script_dir = os.path.dirname(__file__)

```



```

file_path=script_dir+'/Logs/'+nome_arquivo+'/'+'nome_arquivo+'.190.pos'
datetime,lat,lon,alt=extraibge(nome_arquivo,file_path)
lat_lon= np.concatenate((lat,lon,np.array([alt]).T),axis=1)
nome_novo=file_path+'_coord.txt'
np.savetxt(nome_novo,lat_lon,fmt='%.5f',delimiter='|')
with open(nome_novo, 'r') as f:
    s = f.read()
    s = s.replace('00000', '')
    s = s.replace('.', ',')
    with open(nome_novo, 'w') as file:
        file.write(s)
return 0

```

7.2 EXTRATO DO LOG OBTIDO NO BNC 2.12 AO REALIZAR RTPPP NA ESTAÇÃO POAL

```

19-07-27 00:00:23 2019-07-27_00:00:10.000 POAL00BRAO X = 3467519.3895 Y =
-4300378.7366 Z = -3177517.5357 NEU: +0.2430 -0.1367 +0.0316 TRP:
+2.3821 +0.0336
19-07-27 00:00:23 2019-07-27_00:00:11.000 POAL00BRAO X = 3467519.3976 Y =
-4300378.7418 Z = -3177517.5480 NEU: +0.2369 -0.1336 +0.0458 TRP:
+2.3821 +0.0336
19-07-27 00:00:23 2019-07-27_00:00:12.000 POAL00BRAO X = 3467519.3928 Y =
-4300378.7414 Z = -3177517.5469 NEU: +0.2361 -0.1372 +0.0423 TRP:
+2.3821 +0.0336
19-07-27 00:00:23 2019-07-27_00:00:13.000 POAL00BRAO X = 3467519.3987 Y =
-4300378.7494 Z = -3177517.5474 NEU: +0.2407 -0.1375 +0.0511 TRP:
+2.3821 +0.0336
19-07-27 00:00:23 2019-07-27_00:00:14.000 POAL00BRAO X = 3467519.3960 Y =
-4300378.7405 Z = -3177517.5460 NEU: +0.2376 -0.1341 +0.0429 TRP:
+2.3821 +0.0336
19-07-27 00:00:29 2019-07-27_00:00:15.000 POAL00BRAO X = 3467519.3999 Y =
-4300378.7434 Z = -3177517.5477 NEU: +0.2385 -0.1329 +0.0479 TRP:
+2.3821 +0.0336

```

7.3 ARQUIVO DE COORDENADAS DA ESTAÇÃO POAL PARA REALIZAÇÃO DE RTPPP COM SOFTWARE BNC

POAL00BRA0	3467519.42758	-4300378.65527	-3177517.52025	0.0000	0.0000
0.0010	TRM115000.00	NONE	TRIMBLE	NETR9	

8 APÊNDICE C - DIFICULDADES

8.1 DIFICULDADES ENFRENTADAS O LONGO DO PROJETO

- *Porta COM*: Os notebooks mais modernos não possuem entrada COM e a conexão do receptor é por meio desta. Assim, necessitou-se buscar um adaptador COM para USB;
- *Atualização de firmware*: A empresa responsável pelo produto veio ao IME realizar a atualização de firmware dos receptores para a correta configuração dos mesmos;
- *Configurações da conexão*: Para a correta comunicação do receptor e o notebook, foram necessárias realizar diversas configurações, as quais foram retiradas do manual do GR-5 e testadas. A taxa de transmissão dos dados é uma seleção crucial para ocorrer a comunicação e dentre as opções, apenas uma era a correta;
- *Bluetooth*: Ao alterar a taxa de transmissão de dados inúmeras vezes, alteramos a configuração do bluetooth, o qual permite a comunicação entre a Base e o Rover. Para correção, foi preciso investigar o manual e consultas web;
- *Mensagem de "Wrong Epoch"*: Ocorreram divergências entre o horário padrão software BNC e das mensagens advinda dos casters e estações. Ao buscar a solução desse problema, descobriu-se que o BNC possui uma diferença de quatro horas ao fuso padrão do notebook;
- *PPP-Wizard*: Pela característica nativa da modificação do BNC pelo código fonte, ocorreram dificuldades no manuseio dessa funcionalidade pela janela de comando, demandando tempo e configurações adicionais.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, D. B. M. Posicionamento baseado em redes de estações de referência gps utilizando o conceito de estação virtual. **Universidade Estadual Paulista**, v. 6, n. 1, p. 20,100, 2008.
- CUNHA, J. P. M. **Processamento de Dados GNSS em Modo Cinemático**. 2016. 146 f. Tese (1) – Escola Naval, Rio de Janeiro, 2016.
- ESA. RTK Standards. Disponível em: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/RTK_Standards>. Acesso em: 23 de maio de 2019.
- FOR CARTOGRAPHY, F. A.; GERMANY, G. **BKG Ntrip Client (BNC) Version 2.9 Manual**. [S.l.]: Federal Agency for Cartography and Geodesy - Germany, 2013. 96 p.
- HÉROUX, P.; KOUBA, J. **GPS precise point positioning with a difference**. [S.l.]: Natural Resources Canada, Geomatics Canada, Geodetic Survey Division, 1995.
- IBGE. **Manual do Usuário Aplicativo Online IBGE-PPP**. 1. ed. [S.l.]: IBGE, 2017.
- IBGE-PPP. Serviço online para pós-processamento de dados GNSS - IBGE-PPP. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?t=processar-os-dados>>. Acesso em: 25 de setembro de 2019.
- INCRA. **Manual Técnico de Posicionamento - georreferenciamento de imóveis rurais**. 3. ed. [S.l.]: INCRA, 2013.
- KOUBA, J.; HÉROUX, P. Precise point positioning using igs orbit and clock products. **GPS solutions**, v. 5, n. 2, p. 12-28, 2001.
- LENZ, E. Networked transport of rtcm via internet protocol (ntrip) - application and benefit in modern surveying systems.. **FIG Working Week**, v. 10, n. 1, p. 190-200, 2004. Disponível em: <http://www.fig.net/pub/athens/papers/ts03/ts03_2_lenz.pdf>. Acesso em: 19 mai. de 2019.

- LIMA, C. M. D. A.; MONICO, J. F. G. ; MARQUES, H. A. Ppp com solução inteira das ambiguidades da fase da onda portadora: Fundamentos envolvidos e análise de acurácia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 5, p. 50, 100, 2016.
- LIU, T.; ZHANG, B.; YUAN, Y. ; LI, M. Real-time precise point positioning (rtppp) with raw observations and its application in real-time regional ionospheric vtec modeling. **Journal of Geodesy**, v. 92, n. 11, p. 1267–1283, 2018.
- MARQUES, H. A. **PPP em tempo real com estimativa das correções dos relógios dos satélites no contexto de rede GNSS**. 2012. 228 f. Tese (1) – Unesp, Presidente Prudente - SP, 2012.
- MARQUES, H. A.; MONICO, J. F. G.; SHIMABUKURO, M. H.; OYAMA, R. T. ; WENTZ, J. P. Ppp em tempo real: fundamentos, implementação computacional e análises de resultados no modo estático e cinemático. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 6, n. 66/6, p. 1331–1345, 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44717/23731>>. Acesso em: 01 de Maio de 2019.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS**. [S.l.: s.n.], 2008.
- NGS. Antex File IGS. Disponível em: <<https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=ngs14.atx>>. Acesso em: 31 de julho de 2019.
- SIRGAS. Posições semanais das estações SIRGAS-CON. Disponível em: <<http://www.sirgas.org/pt/sirgas-con-network/coordinates/weekly-positions/>>. Acesso em: 02 de agosto de 2019.
- SNIP. What is an NTRIP Caster. Disponível em: <<https://www.use-snip.com/kb/knowledge-base/question-what-is-an-ntrip-caster/>>. Acesso em: 23 de maio de 2019.
- WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M. ; BAGGE, A. Ppp-rtk: precise point positioning using state-space representation in rtk networks. In: PROCEEDINGS OF ION GNSS, 1., 2005. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2005, p. 13–16.