

**FAMIG – FACULDADE MINAS GERAIS**  
AILTON LUIS DIAS JUNIOR

**POSICIONAMENTO GNSS: COMPARATIVO DE RESULTADOS DE  
PROCESSAMENTOS OBTIDOS COM O USO DAS CONSTELAÇÕES GPS,  
GLONASS E GALILEO**

**BELO HORIZONTE**  
**2023**

**AILTON LUIS DIAS JUNIOR**

**POSICIONAMENTO GNSS: COMPARATIVO DE RESULTADOS DE  
PROCESSAMENTOS OBTIDOS COM O USO DAS CONSTELAÇÕES GPS,  
GLONASS E GALILEO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Faculdade de Minas Gerais - FAMIG, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo.

Orientador: Prof. Ms. Diego de Jesus Queiroz Rosa

**BELO HORIZONTE**

**2023**

## RESUMO

Com o avanço das tecnologias disponíveis para a realização do posicionamento GNSS, a quantidade de usuários de receptores GNSS está crescendo consideravelmente, com a disponibilidade de receptores equipados com tecnologias que otimizam e melhoram a qualidade do posicionamento.

Neste trabalho foram realizadas análises dos resultados obtidos por meio de processamentos de dados brutos coletados com um receptor GNSS, utilizando um software de processamento geodésico específico, dividindo a análise dos resultados em duas etapas: GPS, demonstrando os resultados obtidos com a utilização somente a constelação GPS e no segundo momento, utilizando a constelação GPS aliada às demais constelações do sistema GNSS separadamente, demonstrando os resultados dos processamentos utilizando a constelação GPS e outra constelação disponível, como as constelações do sistema GLONASS e Galileo.

Foram analisados os resultados dos processamentos dos arquivos coletados com diferentes períodos de tempo de rastreamento, realizando comparações de resultados e comprovando a melhora de qualidade do resultado final de um posicionamento georreferenciado utilizando um receptor GNSS com todas as constelações disponíveis.

**PALAVRA-CHAVE:** GNSS, Receptor GNSS, Processamento.

## **ABSTRACT**

With the advancement of technologies available for carrying out GNSS positioning, the number of users of GNSS receivers is growing considerably, with the availability of receivers equipped with technologies that optimize and improve the quality of positioning.

In this work, analyzes were carried out on the results obtained through the processing of raw data collected with a GNSS receiver, using specific geodetic processing software, dividing the analysis of the results into two stages: GPS, demonstrating the results obtained using only the GPS constellation and in the second moment, using the GPS constellation combined with the other constellations of the GNSS system separately, demonstrating the results of the processing using the GPS constellation and another available constellation, such as the GLONASS and Galileo system constellations.

The results of processing files collected with different tracking time periods were analyzed, making comparisons of results and proving the improvement in quality of the final result of a georeferenced positioning using a GNSS receiver with all available constellations.

**KEYWORD:** GNSS, GNSS Receiver, Processing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Satélites em órbita.....	10
Figura 2 – Seguimentos do sistema GNSS.....	11
Figura 3 – Características dos sinais dos satélites. ....	11
Figura 4 – Plano orbital da constelação GPS.....	12
Figura 5 – Plano orbital da constelação GLONASS. ....	15
Figura 6 – Satélite da constelação Galileo. ....	17
Figura 7 – Método Relativo Estático.....	18
Figura 8 – Linhas de Base com precisão estimada.....	19
Figura 9 – Linha de base entre o ponto de interesse e a Estação de Referência. ....	22
Figura 10 – Receptor GNSS Qianxun SR2. ....	23
Figura 11 – Observáveis RINEX de cada período de rastreo.....	24
Figura 12 – Caminho para acessar a aba da RBMC.....	25
Figura 13 – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS.....	25
Figura 14 – Selecionando a Estação de Referência para download. ....	25
Figura 15 – Download da Estação de Referência. ....	26
Figura 16 – Software de processamento Trimble Business Center, versão 5.20.....	26
Figura 17 – Configuração do sistema de coordenadas.....	27
Figura 18 – Ativação dos satélites GPS.....	27
Figura 19 – Desativação dos satélites GLONASS. ....	28
Figura 20 – Desativação dos satélites Galileo.....	28
Figura 21 – Importação dos dados RINEX da Estação de Referência.....	29
Figura 22 – Importação dos dados RINEX do ponto a ser processado.....	29
Figura 23 – Linha de base gerada.....	30
Figura 24 – Tabela de Pontos Processados.....	30
Figura 25 – Linha de base processada. ....	31
Figura 26 – Relatório de Processamento de Linha de Base. ....	31
Figura 27 – Satélites utilizados no posicionamento.....	33
Figura 28 – Ativação dos satélites GPS.....	34
Figura 29 – Ativação dos satélites GLONASS. ....	35
Figura 30 – Desativação dos satélites Galileo.....	35
Figura 31 – Satélites utilizados no posicionamento.....	36
Figura 32 – Ativação dos satélites Galileo. ....	37

Figura 33 – Satélites utilizados no posicionamento.....38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Períodos de rastreio do ponto. ....	24
Tabela 2 – Processamento de ponto utilizando somente a constelação GPS. ....	32
Tabela 3 – Satélites rastreados GPS. ....	33
Tabela 4 – Processamento de ponto utilizando as constelações GPS e GLONASS. .....	36
Tabela 5 – Satélites rastreados GPS + GLONASS. ....	36
Tabela 6 – Processamento de ponto utilizando as constelações GPS, GLONASS e Galileo. ....	38
Tabela 7 – Satélites rastreados GPS + GLONASS + Galileo. ....	38
Tabela 8 – Diferenças entre resultados obtidos em processamento. ....	40
Tabela 9 – Diferenças entre resultados obtidos em processamento. ....	40
Tabela 10 – Diferenças entre resultados obtidos em processamento – GPS + GLONASS. ....	40
Tabela 11 – Diferenças entre resultados obtidos em processamento. ....	41

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	6
2 OBJETIVOS .....	7
2.1 Objetivo geral .....	7
2.2 Objetivos específicos .....	7
3 JUSTIFICATIVA .....	8
3.1 Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) – Processo Evolutivo .....	8
3.1.1 Sistema GPS – Global Positioning System.....	12
3.1.2 Sistema GLONASS – Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema .....	14
3.1.3 Sistema GALILEO.....	16
3.2 Métodos de Posicionamento GNSS.....	17
3.2.1 Posicionamento Relativo Estático.....	17
3.2.2 Posicionamento Relativo Estático Rápido .....	18
3.3 Processamento de Dados GNSS.....	18
3.3.1 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC .....	20
3.3.2 Arquivos RINEX - Receiver Independent Exchange Format.....	21
4 METODOLOGIA.....	21
4.1 Materiais Utilizados .....	23
4.2 Procedimentos Realizados em Campo .....	24
4.3 Procedimentos Realizados em Escritório.....	24
4.3.1 Processamento utilizando somente a constelação GPS.....	27
4.3.2 Processamento utilizando as constelações GPS e GLONASS .....	34
4.3.3 Processamento utilizando as constelações GPS, GLONASS e Galileo ....	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	39
6 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS.....	43



## 1 INTRODUÇÃO

Com a evolução das tecnologias aplicadas na fabricação de receptores GNSS disponibilizados no mercado nos últimos anos, à utilização dos métodos disponíveis para posicionamento geodésico preciso se tornaram indispensáveis para obtenção de vértices com coordenadas cada vez mais confiáveis e com precisões que pode chegar à casa do milímetro. O número de usuários de receptores GNSS para a realização de posicionamento geodésico em levantamentos topográficos está crescendo a cada dia. Porém, os receptores disponibilizados atualmente estão equipados com tecnologias ainda mais avançadas, que otimizam e melhoram a qualidade do posicionamento, mas também aumentam os custos para a aquisição do mesmo. Os receptores GPS evoluíram bastante desde os primeiros modelos lançados na década de 80, principalmente devido à evolução da eletrônica, que trouxe equipamentos de excelente precisão para os diferentes tipos de aplicações (SEGANTINE, 1997). Esta técnica de posicionamento GNSS tem sido utilizada desde 1985 em aplicações de alta precisão em tempo real.

As exigências para que se obtenham melhores precisões nos levantamentos georreferenciados são definidas pelas normas de levantamento topográfico, como descrito nas normas NBR (Norma Técnica) 13.133/94 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), e 10.267/01 do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária).

A nomenclatura do Sistema Global de Navegação por Satélite - GNSS (Global Navigation Satellite System) foi utilizada pela primeira vez em 1991, pela Associação Internacional de Aviação Civil – ICAO (International Civil Aviation Organization) para identificar os sistemas de posicionamento por satélites que possuíam tecnologia desenvolvida para utilizar as demais constelações de satélites existentes no mundo (GLONASS, GALILEO e BEIDOU), somados a constelação GPS (Global Positioning System) para calcular o posicionamento preciso por coordenadas geográficas.

O Sistema Global de Navegação por Satélite é uma das tecnologias espaciais mais avançadas, composto por vários sistemas de navegação por satélites artificiais globais, que fornecem posicionamento geodésico tridimensional sob quaisquer condições climáticas em nível global. Este sistema engloba o GPS (Global Positioning System), GLONASS (GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikkovaya Sistema), Galileo, BeiDou, dentre outros (MONICO, 2008).

Ao realizar um levantamento topográfico, diversos procedimentos de campo são aplicados. Todos estes procedimentos são fundamentais para que se possa determinar a posição relativa de quaisquer pontos que constituem uma área específica a ser estudada. Dois ou mais receptores GNSS rastreiam simultaneamente no mínimo quatro satélites em comum. Correções diferenciais são geradas na estação de referência, no momento do posicionamento, e transmitidas para uma estação Rover, através de um link de rádio (RAMOS, 2007).

Os softwares comercializados estão chegando ao mercado com atualizações para que seja realizado o processamento de dados, compreendendo e utilizando no processo todas as informações que foram enviadas pelos satélites das principais constelações disponíveis atualmente. Para finalidades científicas, como controle e estimativa de deformação da crosta terrestre, monitoramento de sismos, densificação de redes geodésicas e outras 18 atividades que exigem estimativas precisas de posicionamento e velocidades da área em estudo, o pós-processamento realizado por softwares científicos torna-se uma alternativa aos estudos da Geodésia (SCARAMBONI; CHAVES, 2013).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma análise sobre os resultados de processamentos de dados brutos coletados com um receptor GNSS, obtidos com diferentes períodos de tempo de rastreamento, afirmando as vantagens de se utilizar receptores GNSS na execução de levantamentos topográficos georreferenciados na atualidade em comparação aos receptores mais antigos que rastreiam somente a constelação do sistema GPS.

### **2.2 Objetivos específicos**

**1** – Estabelecer uma comparação entre processamentos de dados brutos coletados com um receptor GNSS, utilizando diferentes períodos de tempo de rastreamento e diferentes combinações de sistemas de posicionamento por satélites que

foram rastreados.

**2** – Apresentar resultados de processamento de dados brutos, analisando a precisão resultante da combinação das seguintes constelações utilizadas: GPS, GPS + GLONASS e GPS + GLONASS + GALILEO.

**3** – Apresentar as vantagens na utilização de um receptor GNSS no posicionamento geodésico, analisando a precisão resultante do processamento dos dados brutos e destacando quais constelações de satélites disponíveis foram utilizadas.

### **3 JUSTIFICATIVA**

O mercado de receptores GNSS vem apresentando equipamentos cada dia mais evoluídos quando o assunto é rastreamento de sinais de satélites. Tendo como fato que os primeiros receptores fabricados utilizavam somente a constelação de satélites do sistema GPS para a realização do posicionamento geodésico, muitos usuários comuns ainda não entenderam quais seriam os benefícios práticos na atualização dos antigos receptores GPS para receptores com uma tecnologia de rastreamento mais atualizada. Os receptores GNSS prometem uma precisão no posicionamento muito superior e em menor tempo de coleta dos dados, pois a placa receptora contida nestes equipamentos foi desenvolvida para rastrear os sinais de satélites de todas as constelações disponíveis na atualidade, que além da constelação GPS, também irá rastrear sinais de satélites das constelações dos sistemas GLONASS e Galileo.

#### **3.1 Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) – Processo Evolutivo**

O Sistema Global de Navegação por Satélite GNSS (Global Navigation Satellite System) surgiu em 1960 com o lançamento do primeiro satélite Transit, realizado pelos Estados Unidos. Sete anos depois foi lançado o primeiro satélite Timation, da marinha americana, e, no ano de 1978, foi colocado em órbita o primeiro satélite pertencente ao sistema de posicionamento Global GPS (Global Positioning System). A evolução deste sistema comporta fatos como o lançamento

do primeiro satélite GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), ocorrido em 1982, o primeiro processamento de dados GPS, realizado na Universidade de Bern, em 1983 e o lançamento do primeiro satélite do Bloco II de satélites GPS, em 1989.

A nomenclatura do Sistema Global de Navegação por Satélite – GNSS (Global Navigation Satellite System) foi utilizada pela primeira vez em 1991, pela Associação Internacional de Aviação Civil – ICAO (International Civil Aviation Organization) para identificar os sistemas de posicionamento por satélites que possuíam tecnologia desenvolvida para utilizar as demais constelações de satélites existentes no mundo (GLONASS, GALILEO e BEIDOU), somados a constelação GPS (Global Positioning System) para calcular o posicionamento preciso por coordenadas geográficas.

O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) é uma rede de satélites artificiais que transmitem sinais para o posicionamento e localização de qualquer objeto, em qualquer lugar do planeta e tem como objetivo principal obter dados de localização para diversas finalidades, como navegação, geodésica, hidrográfica, agrícola, pesquisa, entre outras.

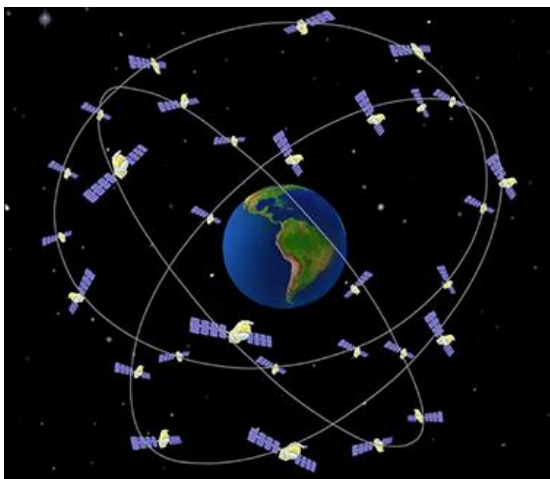
O sistema GNSS é composto por três segmentos: espacial, controle e usuários. O segmento espacial é formado pelos satélites artificiais com finalidade para navegação e comunicação. A estação de controle corresponde ao conjunto de estações presentes na superfície terrestre, que são responsáveis pelo armazenamento dos dados obtidos para disponibilizá-los aos usuários. Por sua vez, o segmento de usuários deve ser entendido como equipamentos, terminais, receptores e dispositivos que recebem sinais do segmento espacial. Por se tratar de uma rede de satélites artificiais em órbita, diversos sistemas de localização são apresentados dentro do GNSS.

O desempenho desses sistemas é avaliado segundo os seguintes critérios:

- Precisão: A diferença entre a medição recebida e a posição real;
- Integridade: A capacidade do sistema soltar um alerta quando detectar uma medição anormal;

- Continuidade: Capacidade do sistema trabalhar sem interrupções;
- Disponibilidade: Percentual do tempo que o sistema preenche os requisitos anteriores (precisão, integridade e continuidade).

Figura 1 – Satélites em órbita.

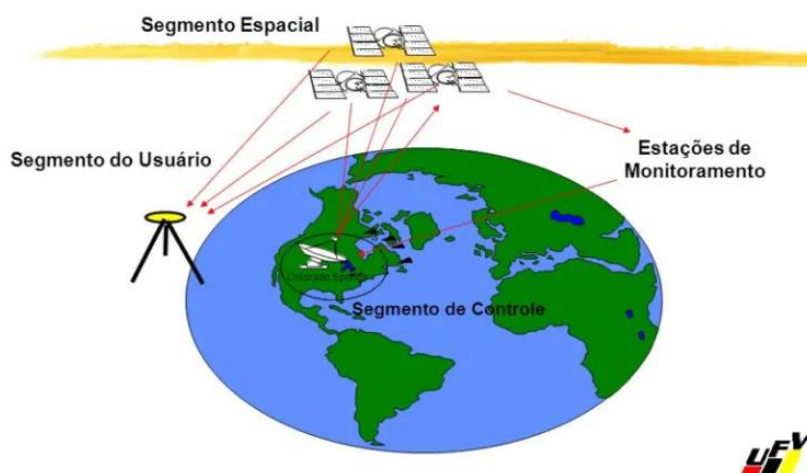


Fonte: [https://multimedia.uned.ac.cr/pem/montanismo/1navegacion/img/imagen\\_31.jpg](https://multimedia.uned.ac.cr/pem/montanismo/1navegacion/img/imagen_31.jpg)

O sistema GNSS se estabelece entre 3 segmentos:

- Segmento espacial – Constituído pelas constelações de satélites em operação;
- Segmento de controle – Responsável por controlar o perfeito funcionamento do sistema se utiliza das observações obtidas pelas estações de referência para monitorar e retransmitir o comportamento da órbita e do relógio de cada satélite aos usuários.
- Segmento de usuário – Pode ser dividido entre a comunidade civil e militar, são os receptores GNSS que fornecem posicionamento geodésico preciso ao usuário.

Figura 2 – Seguimentos do sistema GNSS.



Fonte: UFV – Departamento de Engenharia Agrícola.

Para além de ser relevante escolher a frequência da onda portadora adequada, os sinais precisam ter potência e largura de banda suficiente para se obter intervalos de medidas satisfatórios.

As características dos sinais transmitidos pelos satélites do sistema GNSS são determinantes para a obtenção da precisão desejada no posicionamento geodésico, das quais as principais constelações são GPS, GLONASS, Galileo e Beidou. Cada constelação transmite um tipo de sinal, frequência, largura de banda, modulação, tipo de código e precisão que serão fundamentais para o cálculo da posição atual do receptor GNSS e determinantes na qualidade do posicionamento.

Figura 3 – Características dos sinais dos satélites.

Sinal	Gama Frequências (MHz)	Largura de Banda (MHz)	Modulação	Código	Precisão (m)
GPS L1 C/A	1575,42	2	Binary Phase Shift	C/A	5-10
GPS L1 P(Y)	1575,42	2	Binary Phase Shift	Preciso	0,1-1
GPS L2C	1227,60	20	Binary Phase Shift	C/A	5-10
GPS L2 P(Y)	1227,60	20	Binary Phase Shift	Preciso	0,1-1
GPS LS	1176,45	24	Binary Phase Shift	Preciso	0,1-1
GLONASS G1	1602,00 1615,50	24,3	Frequency Division	C/A	2-4
GLONASS G2	1246,00 1254,50	17,8	Frequency Division	Preciso	2-4
Galileo E1	1575,42	2	Composite	Aberto	1-2
Galileo E5a	1176,45	20	Composite	Comercial	0,1-0,2
Galileo E5b	1207,14	20	Composite	Emergência	0,1-0,2

Fonte: Google imagens

### 3.1.1 Sistema GPS – Global Positioning System

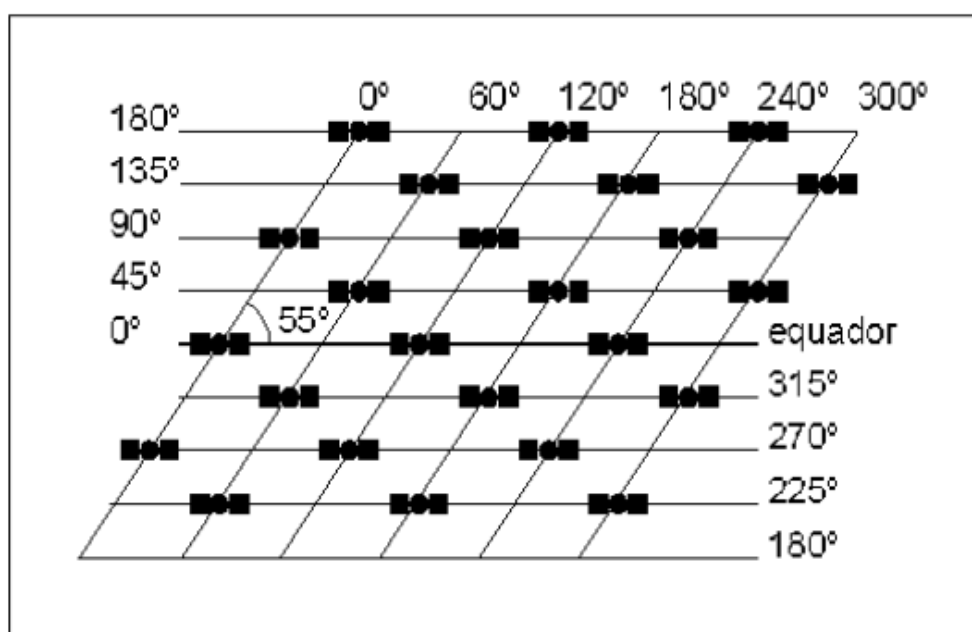
O sistema GPS (Global Positioning System) foi a primeira constelação a entrar em atividade no mundo, pertencente aos Estados Unidos, tendo seu primeiro satélite lançado no ano de 1978.

O sistema GPS consiste em uma constelação mínima de 24 satélites para cobertura global, distribuídos em seis planos orbitais igualmente espaçados, com quatro satélites em cada plano, sendo que cada satélite circula a Terra duas vezes por dia. Os planos orbitais são inclinados em um ângulo de  $55^\circ$  em relação ao equador, numa altitude média de aproximadamente 20200 km e um período orbital de 12 horas siderais. Atualmente, a constelação GPS contém 31 satélites operacionais (GPS, 2023).

O GPS apesar de ter sistemas concorrentes, é o mais utilizado e o mais estável, pois ele é um aperfeiçoamento do antigo sistema chamado TRANSIT, que se encontrava em operação em 1964 até meados de 1995, quando o GPS se tornou o principal sistema de localização americano (GPS, 2023).

Os satélites ficam dispostos em seis planos orbitais igualmente espaçados em torno da Terra, e em cada plano possuindo 4 satélites (GPS, 2023).

Figura 4 – Plano orbital da constelação GPS.



Fonte: Google imagens.

Esta foi a ordem cronológica dos eventos que definiram o desenvolvimento do sistema NAVSTAR GPS:

- 1973: Decisão tomada para o desenvolvimento do sistema de navegação por satélite;
- 1974 – 1979: Realização dos testes para implementação do sistema;
- 1977: Recepção do sinal de uma estação de referência terrestre que simulava o sinal de um satélite;
- 1978 – 1985: Lançamento dos 11 satélites do Bloco I;
- 1979: Redução das verbas financeiras do programa, forçando a decisão do lançamento de 18 satélites ao invés dos 24 satélites previstos;
- 1980: Atribuição das funções do sistema de rastreio de explosão nuclear aos satélites GPS. Lançamento dos primeiros satélites equipados com sensores de detecção de explosões nucleares;
- 1980 - 1982: Segunda redução das verbas destinadas ao programa;
- 1988: Decisão da implantação da constelação orbital com 24 satélites, pois foi constatado que 18 satélites não assegurariam um bom funcionamento ao sistema;
- 1989: Ativação dos satélites do Bloco IIF;
- 1993: Relatório sobre a disponibilidade inicial e decisão final sobre a disponibilização do sinal para utilização de forma gratuita para funções públicas e particulares;
- 1995: Disponibilidade total do sistema;
- 2000: Desativação da Disponibilidade Seletiva para utilizadores civis, aumentando assim a precisão de 100 para 20 metros;
- 2004: Assinatura da declaração que assegura a compatibilidade do sistema Galileo com o sistema GPS;
- 2006: Negociações entre Rússia e Estados Unidos sobre a cooperação para



assegurar a compatibilidade dos sistemas de navegação espacial GLONASS e GPS.

- 2010 – Os Estados Unidos lançam o primeiro dos 12 satélites do Bloco IIF.
- 2016 – Os últimos lançamentos dos satélites do Bloco IIF marcaram o fim do complexo programa, que foi de 1989 a 2016.
- 2018 – A Força aérea americana lança o primeiro satélite do GPS III.
- 2019 – O segundo satélite do GPS III foi lançado em Cabo Canaveral por um foguete Falcon 9 da SpaceX.
- 2020 – A força espacial dos Estados Unidos anuncia que o lançamento do terceiro satélite do GPS III pela SpaceX está atrasado devido a pandemia de COVID-19.

O principal marco do programa NAVSTAR GPS foi o fim da disponibilidade seletiva em 2000, que permitiu que os usuários civis tivessem acesso aos sinais mais precisos transmitidos pelos satélites GPS, abrindo as portas para as evoluções tecnológicas dos sistemas GNSS. Atualmente, o GPS é o sistema de navegação mais preciso do mundo.

### **3.1.2 Sistema GLONASS – Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema**

Então, visando uma competição no cenário da tecnologia militar, o governo da Rússia criou o sistema GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) e lançou seu primeiro satélite em 1982. Sua constelação se encontra totalmente operacional desde 2011, com 24 satélites atualmente.

O sistema GLONASS foi desenvolvido com o intuito de se impor no cenário espacial e ser uma alternativa ao sistema NAVSTAR GPS. Assim, seguindo os passos do seu concorrente, foi aumentando gradualmente o número de satélites até atingir 12 satélites, que em 1993 permitiu que o sistema fosse confirmado como operacional, mas sem cobertura global.

Após o fim da União Soviética e devido à crise econômica, os investimentos para a continuação do sistema GLONASS foram bastante reduzidos, ocorrendo a

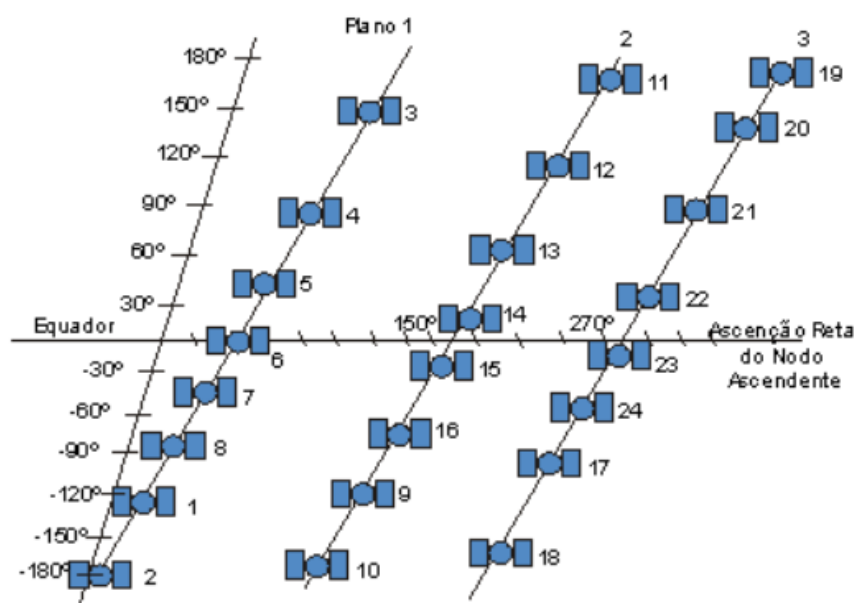
estagnação do programa. Porém, nos anos 2000, a revitalização do sistema se tornou prioridade para o governo atual. Após uma reunião do GPS-GLONASS Interoperability and Compatibility Working Group (WG-1) realizada em dezembro de 2006, foi definido que no futuro os satélites GLONASS iriam transmitir um CDMA, o que tornaria o GLONASS compatível com os recetores GPS, GALILEO e Compass, que também utilizam o método CDMA, permitindo que um receptor utilize múltiplos sistemas de satélite simultaneamente.

Ainda nos anos 2000, uma nova geração de satélites foi desenvolvida, tendo uma nova geração de satélites e contribuindo para a obtenção de um sistema completamente operacional com 24 satélites, alcançando cobertura global.

Atualmente o sistema GLONASS é um sistema totalmente operacional e está disponível para utilizadores em todo o mundo, constituída por 26 satélites, dos quais 23 estão em serviço e 3 em reserva.

O segmento espacial GLONASS consiste numa constelação de satélites em órbita terrestre média, com uma altitude de cerca de 19.130 km, dispostos em três planos orbitais com oito satélites em cada plano separados por aproximadamente 120 graus de longitude, o que assegura que pelo menos quatro satélites sejam visíveis a nível global.

Figura 5 – Plano orbital da constelação GLONASS.



Fonte: Google imagens.

### 3.1.3 Sistema GALILEO

Tendo em vista que os sistemas GPS e GLONASS se encontravam em plena operação na segunda metade dos anos 90, a União Europeia constatou a importância estratégica, econômica, social e tecnológica da navegação por satélite. A parceria da Agência Espacial Europeia (ESA) com a Comissão Europeia (EC) resultou inicialmente no sistema de aumento EGNOS, que tinha como objetivo melhorar o desempenho dos sinais transmitidos pela constelação GPS na região europeia para utilização na navegação aérea. Com o intuito de desenvolver um sistema de cobertura global, a União Europeia solicitou inicialmente parceria com os Estados Unidos para contribuição no desenvolvimento das próximas gerações do sistema GPS, porém o governo norte-americano não autorizou uma outra nação a participar da manutenção, tão pouco do desenvolvimento de novas tecnologias para o sistema GPS devido ao desenvolvimento de sinais para uso militar. Por este motivo, a União Europeia deu início ao desenvolvimento de um sistema de satélites próprio com cobertura global.

Surgiu daí o sistema Galileo, cujo nome é uma homenagem ao astrônomo italiano Galileo Galilei (1564 – 1642), que primeiro descreveu como o movimento regular de quatro satélites poderiam ser utilizados para determinação da longitude (HOFMANN-WELLENHOF et. al., 2008). O Galileo é único sistema desenvolvido como um projeto estritamente para uso civil, se tornando uma alternativa eficaz ao projeto norte-americano GPS, ao GLONASS da Rússia e ao BEIDOU da China.

Seu primeiro satélite foi lançado em 2005 e hoje o sistema possui uma constelação de 30 satélites, sendo 3 deles suplentes que entram em operação conforme a necessidade.

A constelação Galileo se encontra dividida em três planos, cada plano com 8 satélites, com 56 graus de inclinação em relação a linha do equador. Cada satélite orbita circularmente em altitude de aproximadamente 23.222 km, com um período orbital de aproximadamente 14 horas.

Figura 6 – Satélite da constelação Galileo.



Fonte: Google imagens.

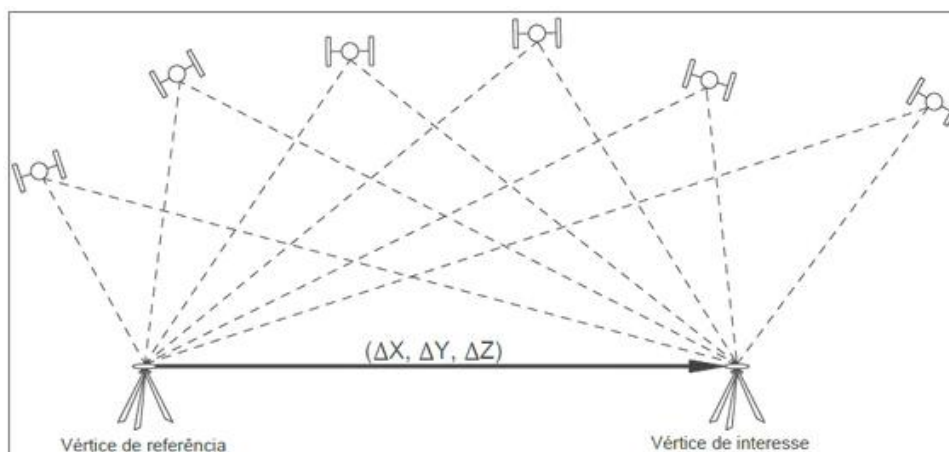
### 3.2 Métodos de Posicionamento GNSS

O método de posicionamento relativo é o mais utilizado atualmente, pois é o método mais confiável quando se trata de garantir a precisão dos pontos coletados. Neste caso é necessário que dois ou mais receptores GNSS estejam coletando dados simultaneamente para que as coordenadas dos vértices de interesse sejam determinadas e corrigidas a partir de um ou mais vértices de coordenadas conhecidas. Dentre os métodos mais utilizados, podemos citar: Posicionamento Relativo Estático, Posicionamento Relativo Semi-cinemático (Stop and Go), Posicionamento Relativo Cinemático, DGPS, RTK Convencional e RTK em Rede.

#### 3.2.1 Posicionamento Relativo Estático

No posicionamento relativo ESTÁTICO a duração da sessão de rastreamento varia entre alguns minutos até várias horas dependendo da finalidade do rastreamento. Neste método realizamos a gravação do ponto com o equipamento estacionado sobre o vértice, finalizando o rastreamento ao completar o período de gravação que foi estipulado, sem necessidade de manter o receptor coletando dados no deslocamento entre os vértices de interesse. Esse método é uma alternativa para os casos onde ocorram obstruções no intervalo entre os vértices de interesse.

Figura 7 – Método Relativo Estático.



Fonte: Google imagens.

### 3.2.2 Posicionamento Relativo Estático Rápido

Este método é uma alternativa entre o estático e o cinemático, pois o receptor que ocupa o vértice de interesse permanece estático, mas o tempo de ocupação poderá ser de alguns segundos ou poucos minutos. Por não ter a necessidade de manter o receptor coletando dados no deslocamento entre os vértices de interesse, este método se torna uma alternativa viável para casos onde ocorram obstruções naturais ou artificiais no perímetro do terreno a ser levantado.

Quanto maior a duração da sessão de levantamento com a coleta de dados íntegros, sem perdas de ciclos, melhor a precisão na determinação de coordenadas.

### 3.3 Processamento de Dados GNSS

O primeiro processamento de dados GPS registrado foi realizado na Universidade de Bern, na Suíça, em 1983 e o início da utilização do posicionamento em tempo real ocorreu em 1993, mas somente teve sua utilização difundida nos anos 2000, com o início da comercialização de equipamentos melhores desenvolvidos para a execução das atividades em campo de modo preciso e confiável.

A instituição responsável pela padronização da transmissão de dados GNSS, a Comissão Técnica de Rádio para Serviços Marítimos (RTCM – Radio Technical

Comission for Maritime Services), iniciou a padronização em 1985 com o RTCM 1.0. (SAATKAMP, 2013).

No levantamento por GNSS, a precisão final do posicionamento realizado é obtida através dos resultados do processamento da linha de base levantada, através dos programas de processamento de dados GNSS. Devem-se verificar todos os elementos relacionados ao processamento, analisando corretamente os resultados apresentados nos relatórios de processamento que serão gerados pelos programas, garantindo assim a entrega de um resultado final confiável.

Estas são as principais análises que devem ser realizadas antes de iniciarmos um processamento de dados GNSS:

- Comprimento da linha de base;
- Número mínimo de satélites rastreados;
- Intervalo de gravação;
- Tempo de rastreamento do arquivo bruto.

Figura 8 – Linhas de Base com precisão estimada.

Linha de Base	Tempo de observação	Equipamento Utilizado	Precisão
00 – 05 Km	05 – 10 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
05 – 10 Km	10 – 15 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
10 – 20 Km	10 – 30 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
20 – 50 Km	02 – 03 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 – 100 Km	mínimo. 03 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm
> 100 Km	mínimo. 04 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm

Fonte: IGN – Instituto Geográfico Nacional (España) – Curso GPS en Geodesia y Cartografía

As distâncias de linha de base e precisões descritas na tabela acima estão sendo apresentadas de forma clara para que o profissional que irá executar o rastreamento do ponto em campo tenha a possibilidade de planejar seus levantamentos e obter a melhor precisão possível, realizando a coleta de dados com o tempo de ocupação indicado e conseguindo atingir a precisão desejada. Para isto, o profissional deve optar por realizar o rastreamento dos pontos respeitando as seguintes condições:

- ✓ Analisar a quantidade de satélites rastreados e verificar se são suficientes para ser iniciada a coleta do ponto;

- ✓ Seguir as instruções contidas no manual do equipamento;
- ✓ Coletar os dados de forma contínua, sem a realização de pausas ou desligamento do receptor GNSS;
- ✓ Optar por locais sem interferências naturais ou artificiais que possam acarretar em perdas de sinal de satélites;
- ✓ Evitar superfícies ao redor da antena que possam provocar interferências;
- ✓ Evitar movimentar a antena no momento em que realiza a coleta de dados do ponto;

### **3.3.1 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC**

Criada em 1996 pelo setor de Geodésia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a rede conhecida como RBMC, que é a abreviação de “Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS” é um grande e complexo sistema de estações pertencentes ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, capturando continuamente sinais de satélites do sistema GNSS e utilizando o sistema SIRGAS2000 como seu Datum oficial. Atualmente existem mais de 100 estações espalhadas pelo Brasil que fornecem dados RINEX gratuitamente para serem utilizados nas atividades de mapeamento do território nacional. Recebe o suporte de instituições de ensino estaduais e federais, além de órgãos governamentais.

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) teve início na década de 40, representado pelo monitoramento vertical e horizontal de pontos de referência e controlado pelo setor de Geodésia do IBGE. Entre as décadas de 50 e 70, foram adotados como sistema de referência o Córrego Alegre, o Datum Chuá e o SAD69 (South America Datum).

Após 20 anos da implantação dos marcos geodésicos em solos Paranaenses, em 1995, ocorreu à necessidade de um novo ajustamento no sistema de referência, então, foi iniciada a modificação para o sistema de referência WGS84 (World Geodetic System 1984), que se tornou usual em 1997. Posteriormente, em 2005, foi adotado como usual o sistema de referência SIRGAS2000 (Sistema de Referência

Geocêntrico para as Américas), atual sistema de referência em nosso território e consequentemente das coordenadas dos pontos da RBMC.

Destaque deve ser dado a Rede de Monitoramento Contínuo do Sistema GNSS (RBMC), que é operada e mantida pelo IBGE. Trata-se de uma rede geodésica ativa que elimina a necessidade de o usuário ocupar estações passivas do SGB em alguns casos (PEREIRA, 2003). Caso não seja possível utilizar dados da RBMC o usuário deve ocupar uma estação passiva pertencente ao SGB. Informações sobre as estações do SGB podem ser encontradas no Banco de Dados Geodésicos disponível pela internet no portal do IBGE (SANTOS, 2005).

### **3.3.2 Arquivos RINEX - Receiver Independent Exchange Format**

O RINEX é o formato de dados genérico que é utilizado no posicionamento GNSS para facilitar o tratamento dos dados rastreados em campo. Cada marca de receptor GNSS possui seu formato específico de dados, o que dificultava o processamento destes dados em um software qualquer, sendo necessária a utilização de um software que interpretasse os dados obtidos por aquele receptor específico.

Como existem diversas marcas de receptores GNSS no mercado, com o tempo surgiu à necessidade da existência de um formato de dados genérico, o qual fosse aceito por todos os softwares existentes no mercado. Então, foi desenvolvido o formato RINEX, cuja tradução literal é “formato de troca independente do receptor”.

Conforme o próprio nome informa, este é um formato de intercâmbio de dados, para dados brutos do sistema de navegação por satélite. Ou seja, após a coleta dos dados, é indicado que o profissional faça a transformação dos dados brutos que se encontram no formato específico para o formato RINEX.

## **4 METODOLOGIA**

Para esta análise, realizou-se um posicionamento geodésico para armazenar dados brutos GNSS em diferentes períodos de tempo, utilizando o método relativo estático e o método relativo estático rápido. Para tal feito, utilizou-se um receptor



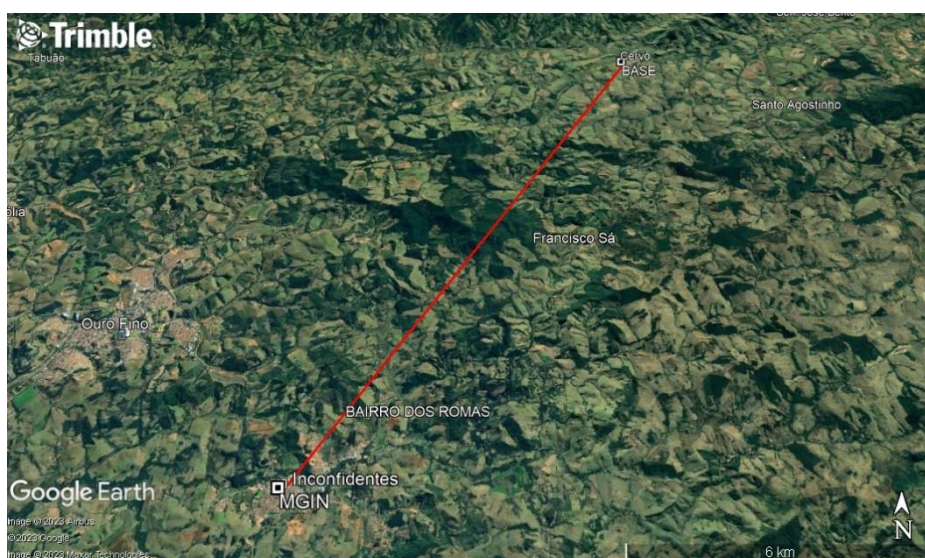
GNSS com tecnologia embarcada compatível com o que está sendo oferecido no mercado atualmente (novembro de 2023).

Em um segundo momento, realizou-se os processamentos dos dados brutos em um software específico, selecionando quais seriam as constelações utilizadas para cada processamento (GPS, GPS+GLONASS ou GPS+GLONASS+Galileo). Ao final, analisou-se os resultados apresentados no relatório final de processamento para cada período de tempo de rastreamento e para cada combinação de satélites, com objetivo de evidenciar se há vantagens expressivas na utilização de receptores GNSS multi-constelação para execução de trabalhos de topografia e geodésia em geral.

Os dados brutos do ponto de estudo foram rastreados em uma área sem obstruções no distrito do Cervo, cidade de Borda da Mata/MG e a Estação de Referência escolhida esta localizada na cidade de Inconfidentes/MG.

A linha de base gerada tem comprimento de 16 quilômetros, porém nesta análise despreza-se o comprimento da linha de base e concentra-se na verificação dos resultados obtidos no processamento dos dados, com o objetivo de se comprovar as vantagens da utilização de um receptor GNSS multi-constelação para a realização do posicionamento relativo.

Figura 9 – Linha de base entre o ponto de interesse e a Estação de Referência.



Fonte: Autor, 2023.

## 4.1 Materiais Utilizados

Para a realização do rastreamento dos dados brutos pelo método relativo estático e estático rápido, foi utilizado um receptor GNSS, modelo SR2, marca Qianxun. Os pontos foram rastreados em períodos de tempo determinados com 5, 10, 15, 30, 60, 120 minutos respectivamente.

Figura 10 – Receptor GNSS Qianxun SR2.



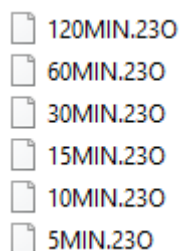
Fonte: Autor, 2023.

O receptor GNSS QIANXUN, modelo SR2 possui as seguintes especificações técnicas:

- 1198 canais multi-constelação;
- Recepção e gravação do código C/A e portadora L1, L2 e L5;
- 2 baterias removíveis com autonomia de 25h de operação contínua;
- Rádio UHF interno de 2 w de potência de transmissão;
- Precisão no método estático e estático rápido de 2.5 mm + 0.5 ppm no horizontal e 5 mm + 0.5 ppm no vertical;
- Precisão no método RTK de 8 mm + 1 ppm no horizontal e 15 mm + 1 ppm no vertical.

Como o receptor GNSS SR2 possui configuração interna para que os dados brutos coletados sejam convertidos para o formato RINEX automaticamente, não houve a necessidade da realização da conversão dos dados brutos em um software específico.

Figura 11 – Observáveis RINEX de cada período de rastreo.



Fonte: Autor, 2023.

Utilizou-se para a realização do processamento dos dados GNSS o software Trimble Business Center versão 5.20, desenvolvido pela empresa Trimble, fabricante americana de equipamentos topográficos e geodésicos.

#### 4.2 Procedimentos Realizados em Campo

Os rastreios dos dados brutos de amostragem foram obtidos em 1 (um) ponto em campo aberto, utilizando o método relativo estático e estático rápido, pois o objetivo foi analisar a variação nos resultados finais obtidos nos processamentos realizados com diferentes períodos de rastreo e com diferentes constelações utilizadas, como informado na tabela 1.

Tabela 1 – Períodos de rastreo do ponto.

RATREIO	GPS	GPS + GLONASS	GPS + GLONASS + GALILEO
5 MINUTOS	OK	OK	OK
10 MINUTOS	OK	OK	OK
15 MINUTOS	OK	OK	OK
30 MINUTOS	OK	OK	OK
60 MINUTOS	OK	OK	OK
120 MINUTOS	OK	OK	OK

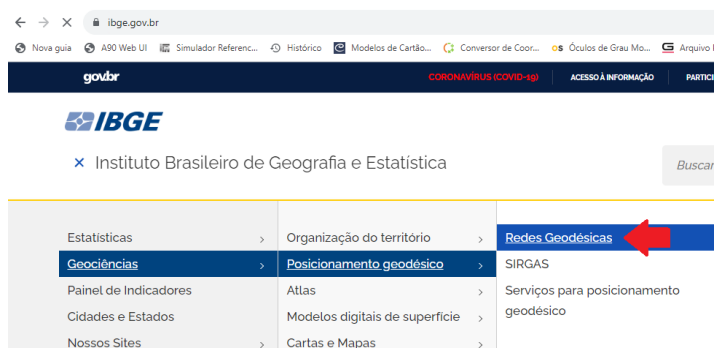
Fonte: Autor, 2023

#### 4.3 Procedimentos Realizados em Escritório

Os processamentos dos dados brutos foram realizados no software Trimble Business Center versão 5.20. Utilizou-se como ponto Base a Estação de Referência da RBMC-IBGE localizada na cidade de Inconfidentes/MG (MGIN), que foi obtida no

site <https://www.ibge.gov.br/>, acessando o caminho Geociências / Posicionamento geodésico / Redes Geodésicas.

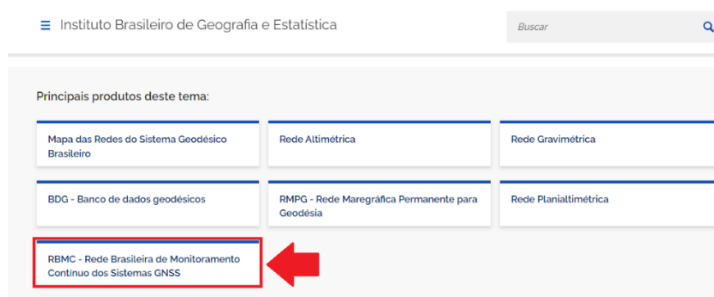
Figura 12 – Caminho para acessar a aba da RBMC



Fonte: Autor, 2023

Selecionou-se a opção RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS, o que possibilitou acesso ao menu de download de dados das Estações de Referência.

Figura 13 – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS.



Fonte: Autor, 2023.

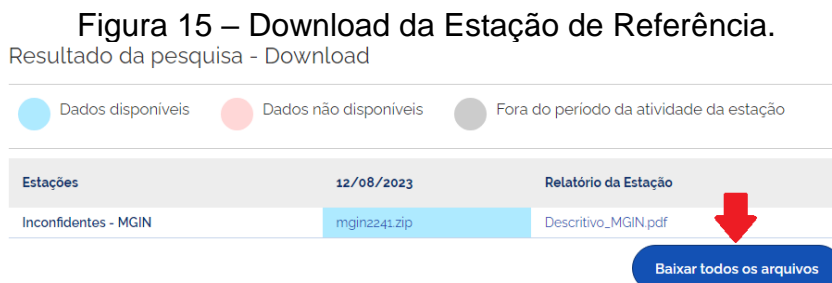
Visualizado o mapa de Estações de Referência, escolheu-se a Estação de Referência de interesse.

Figura 14 – Selecionando a Estação de Referência para download.



Fonte: Autor, 2023.

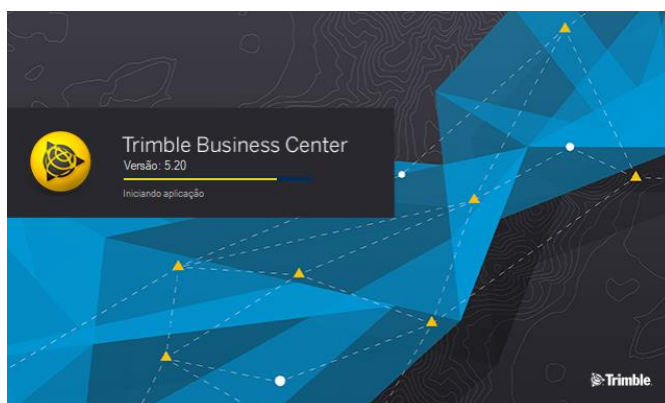
Com a Estação de Referência selecionada, definiu-se a data referente ao rastreo dos dados brutos e realizou-se o download do arquivo compactado no formato .zip.



Fonte: Autor, 2023.

O software de processamento de dados GNSS Trimble Business Center versão 5.20 foi utilizado para realização de todos os processamentos e análises.

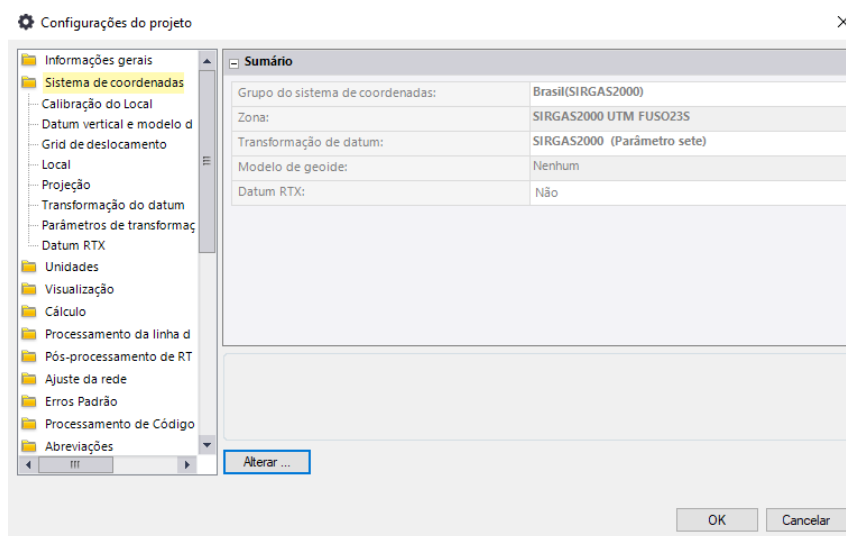
Figura 16 – Software de processamento Trimble Business Center, versão 5.20.



Fonte: Autor, 2023.

Criou-se um projeto e foram definidos os parâmetros do sistema de coordenadas que seria utilizado, que seria o SIRGAS2000 no fuso 23 Sul, referente a região da realização do rastreo do ponto.

Figura 17 – Configuração do sistema de coordenadas.

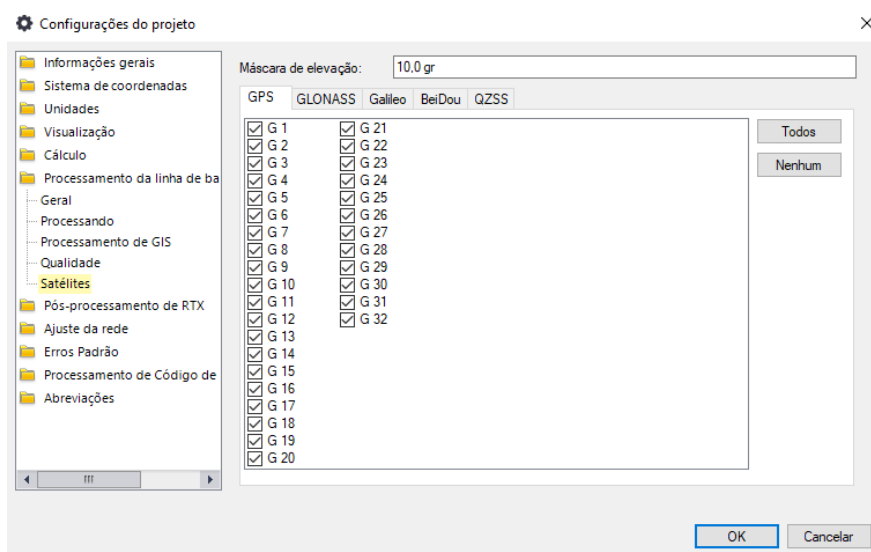


Fonte: Autor, 2023.

#### 4.3.1 Processamento utilizando somente a constelação GPS

Para a primeira análise dos processamentos de dados GNSS realizados, utilizou-se a constelação GPS de forma isolada, com a realização da desabilitação das demais constelações que foram rastreadas pelo receptor GNSS, sendo elas as constelações GLONASS e Galileo.

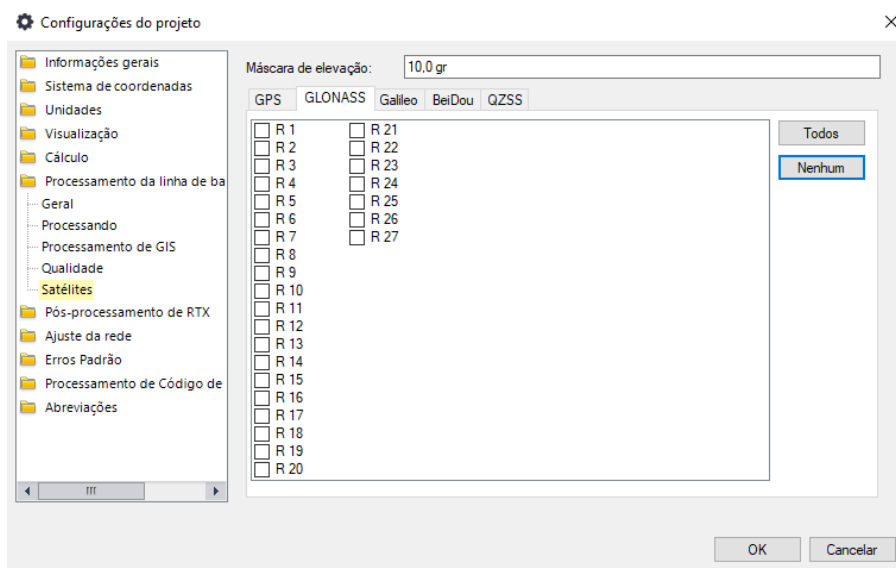
Figura 18 – Ativação dos satélites GPS.



Fonte: Autor, 2023.

Foram desabilitados todos os satélites da constelação GLONASS, como pode ser verificado na imagem.

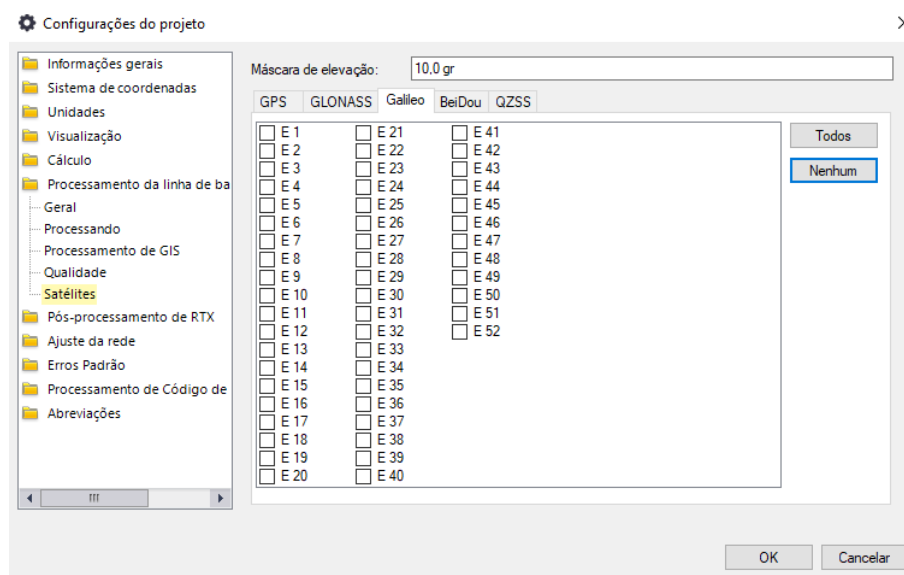
Figura 19 – Desativação dos satélites GLONASS.



Fonte: Autor, 2023.

Também foram desabilitados todos os satélites da constelação Galileo.

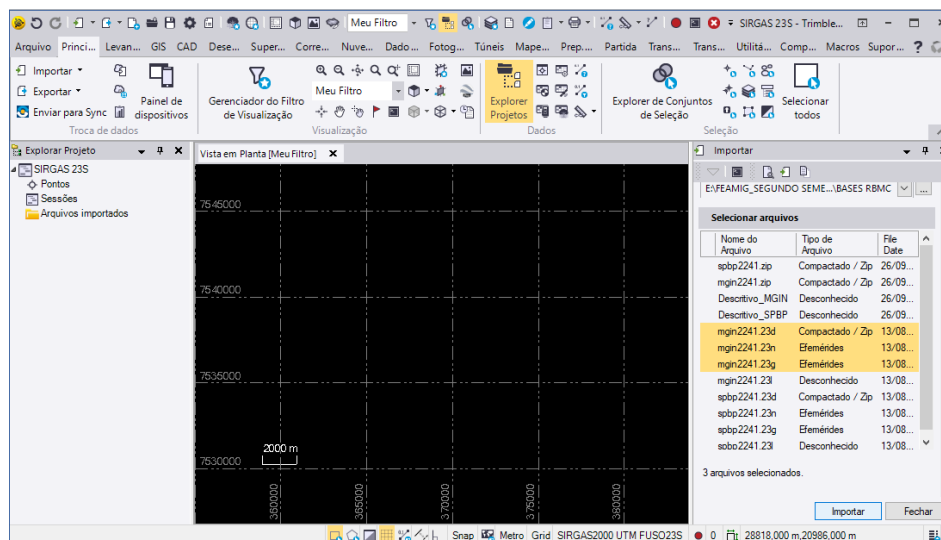
Figura 20 – Desativação dos satélites Galileo.



Fonte: Autor, 2023.

Após a realização das configurações necessárias para a execução do processamento, realizou-se a importação dos dados RINEX referentes à Estação de Referência MGIN.

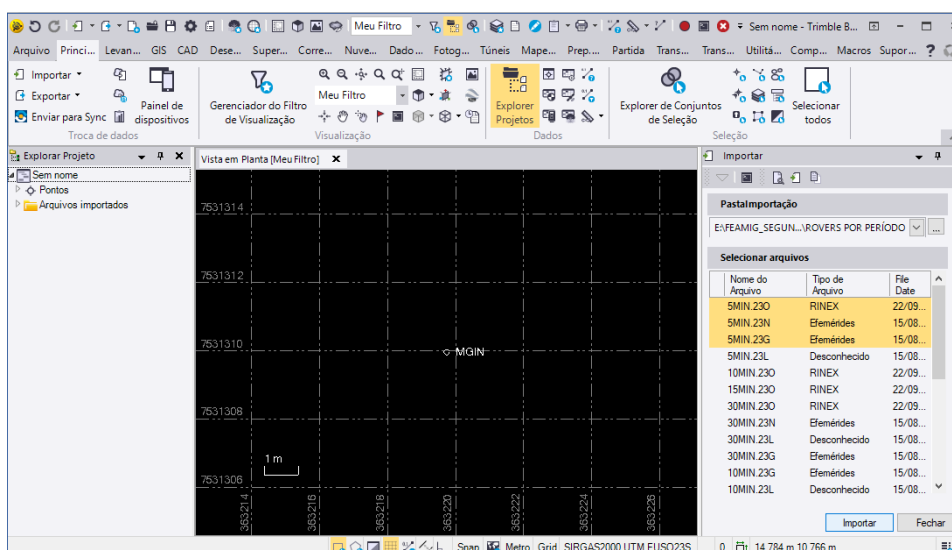
Figura 21 – Importação dos dados RINEX da Estação de Referência.



Fonte: Autor, 2023.

Visualizando as informações da Estação de Referência apresentadas de forma correta no ambiente gráfico do software, realizou-se a importação dos dados RINEX referentes ao ponto de interesse para o processamento. O primeiro processamento será realizado com o arquivo bruto com **5 minutos** de rastreio.

Figura 22 – Importação dos dados RINEX do ponto a ser processado.

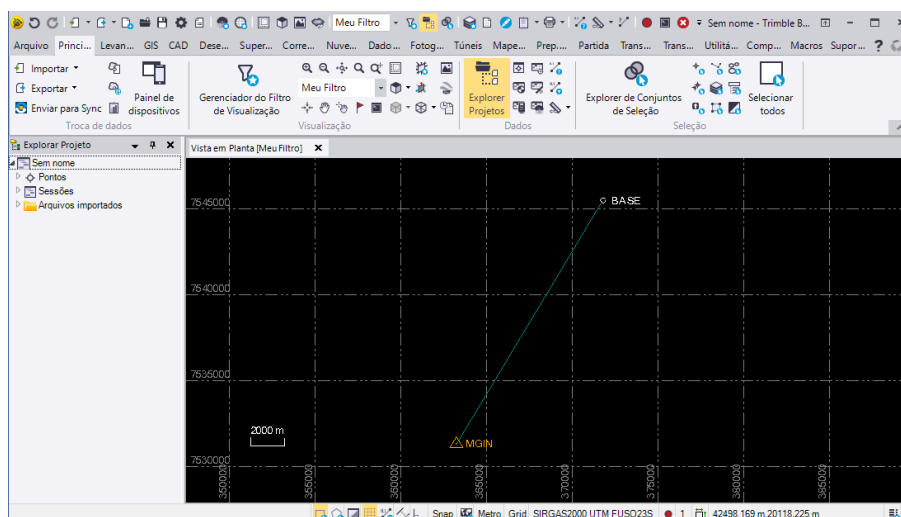


Fonte: Autor, 2023.



Com os dados GNSS de estudo importados para o software, foi gerada a linha de base entre os pontos e realizada as configurações necessárias para a definição da Estação de Referência e execução do processamento.

Figura 23 – Linha de base gerada.



Fonte: Autor, 2023.

Com o processamento realizado, foi possível visualizar a caixa de resultados de processamento que contém os resultados finais, possibilitando a verificação do tipo de solução apresentada e a precisão horizontal e vertical do ponto em questão. Como as informações apresentadas foram satisfatórias, pois a solução foi apresentada como “Corrigido”, que pode ser interpretado como “Fixo” e as precisões foram apresentadas com valores pertinentes com as especificações técnicas para processamento de linhas de base.

Figura 24 – Tabela de Pontos Processados.

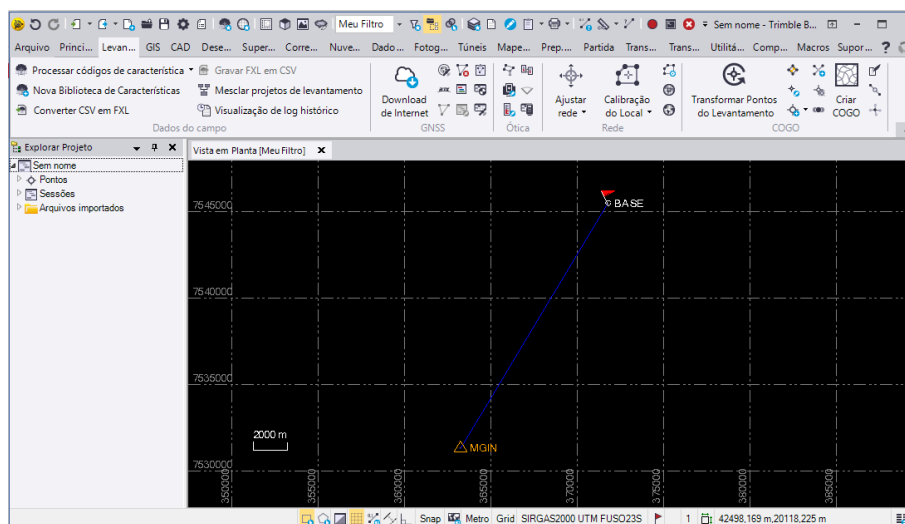
Processar linhas de base						
Resultados do processamento						
Salvar	Observação	Tipo de sol	Precisão horiz (1)	Precisão vertical (1)	RMS	Compriment
<input checked="" type="checkbox"/>	MGIN --- BASE	Corrigido	0,019	0,045	0,009	16524,382

Pressione <Salvar> para salvar os resultados do processamento. 1 observações selecionadas para serem gravadas

Fonte: Autor, 2023.

Em seguida, com a linha de base calculada, gerou-se o relatório final de processamento.

Figura 25 – Linha de base processada.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 26 – Relatório de Processamento de Linha de Base.

#### **MGIN - BASE05 (12:39:17-12:44:17) (S14)**

<b>Observação de linha de base:</b>	<b>MGIN --- BASE05 (B14)</b>
<b>Data do Processamento:</b>	01/11/2023 02:33:15
<b>Tipo de solução:</b>	Fixo
<b>Frequência usada:</b>	Frequência dupla (L1, L2)
<b>Precisão horizontal:</b>	0,019 m
<b>Precisão vertical:</b>	0,045 m
<b>RMS:</b>	0,009 m
<b>PDOP Máximo:</b>	2,032
<b>Efeméride usada:</b>	Transmissão
<b>Modelo da antena:</b>	NGS Absolute
<b>Hora de início do processamento:</b>	12/08/2023 12:39:30 (Horário GPS)
<b>Hora de fim do processamento:</b>	12/08/2023 12:44:15 (Horário GPS)
<b>Duração do processamento:</b>	00:04:45
<b>Intervalo de processamento:</b>	15 segundos

## Componentes do vetor (marca a marca)

De: MGIN					
Grid		Local		Global	
Direção leste	363219,730 m	Latitude	S22°19'06,82327"	Latitude	S22°19'06,82327"
Direção norte	7531309,953 m	Longitude	O46°19'40,88658"	Longitude	O46°19'40,88658"
Elevação	883,720 m	Altura	883,720 m	Altura	883,720 m

Para: BASE05					
Grid		Local		Global	
Direção leste	371740,564 m	Latitude	S22°11'29,03041"	Latitude	S22°11'29,03041"
Direção norte	7545461,757 m	Longitude	O46°14'39,04510"	Longitude	O46°14'39,04510"
Elevação	903,185 m	Altura	903,185 m	Altura	903,185 m

Vetor					
$\Delta$ Direção leste	8520,835 m	Azimute de avanço NS	31°33'19"	$\Delta X$	9946,027 m
$\Delta$ Direção norte	14151,804 m	Distância do elip.	16522,047 m	$\Delta Y$	2104,972 m
$\Delta$ Elevação	19,465 m	$\Delta$ Altura	19,465 m	$\Delta Z$	13026,921 m

## Desvio Padrão

Erros de vetor:					
$\sigma \Delta$ Leste	0,018 m	$\sigma$ Azimute de avanço NS	0°00'00"	$\sigma \Delta X$	0,031 m
$\sigma \Delta$ Norte	0,017 m	$\sigma$ Dist. elipsoide	0,016 m	$\sigma \Delta Y$	0,035 m
$\sigma \Delta$ Elevação	0,045 m	$\sigma \Delta$ Altura	0,045 m	$\sigma \Delta Z$	0,021 m

Fonte: Autor, 2023.

Para os demais períodos de rastreo, realizou-se o mesmo procedimento de processamento e os resultados foram apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Processamento de ponto utilizando somente a constelação GPS.

PROCESSAMENTO UTILIZANDO CONSTELAÇÃO GPS							
RASTREIO	NORTE	ESTE	ALT. GEO	$\sigma \Delta$ NORTE	$\sigma \Delta$ LESTE	$\sigma \Delta$ ALT.	SOLUÇÃO
5 MINUTOS	7545461,757	371740,564	903,185	0,017	0,018	0,045	FIXO
10 MINUTOS	7545460,961	371740,694	901,985	0,011	0,011	0,024	FIXO
15 MINUTOS	7545460,959	371740,694	901,976	0,008	0,008	0,019	FIXO
30 MINUTOS	7545460,958	371740,694	901,981	0,006	0,006	0,014	FIXO
60 MINUTOS	7545460,958	371740,683	901,940	0,003	0,004	0,027	FIXO
120 MINUTOS	7545460,961	371740,687	901,933	0,003	0,003	0,022	FIXO

Fonte: Autor, 2023.

Na primeira parte da análise, utilizando somente a constelação GPS, foi possível perceber uma discrepância nos resultados apresentados no processamento com período de rastreo de 5 minutos, apresentando um bom desvio padrão, mas com coordenadas muito divergentes dos demais períodos processados. Porém, é

possível observar uma melhora significativa na confiabilidade dos resultados obtidos com 10 minutos de rastreo, pois deste período em diante a variação nas coordenadas finais comparadas aos demais períodos de rastreo são coerentes.

Nas informações apresentadas pelo o software Trimble Business Center, foi possível verificar o número de satélites utilizados no posicionamento para cada período de rastreo, como demonstrado na tabela 3.

Tabela 3 – Satélites rastreados GPS.

SATÉLITES UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO				
RASTREIO	GPS	GLONASS	GALILEO	TOTAL
<b>5 MINUTOS</b>	10	0	0	<b>10</b>
<b>10 MINUTOS</b>	10	0	0	<b>10</b>
<b>15 MINUTOS</b>	10	0	0	<b>10</b>
<b>30 MINUTOS</b>	10	0	0	<b>10</b>
<b>60 MINUTOS</b>	11	0	0	<b>11</b>
<b>120 MINUTOS</b>	12	0	0	<b>12</b>

Fonte: Autor, 2023.

Figura 27 – Satélites utilizados no posicionamento.

Ponto 2		Ponto 2		Ponto 2	
ID do ponto:	BASE05	ID do ponto:	BASE10	ID do ponto:	BASE15
Altura:	1,873	Altura:	1,873	Altura:	1,873
Método:	Base da monta	Método:	Base da monta	Método:	Base da monta
Fabricante:	ComNav	Fabricante:	ComNav	Fabricante:	ComNav
Tipo:	T300	Tipo:	T300	Tipo:	T300
Arquivo 1:	5MIN.23O	Arquivo 1:	10MIN.23O	Arquivo 1:	15MIN.23O
Satélites Observados		Satélites Observados		Satélites Observados	
GPS:	10	GPS:	10	GPS:	10
GLONASS:	0	GLONASS:	0	GLONASS:	0
Galileo:	0	Galileo:	0	Galileo:	0
BeiDou:	0	BeiDou:	0	BeiDou:	0
QZSS:	0	QZSS:	0	QZSS:	0
NavIC:	0	NavIC:	0	NavIC:	0

Ponto 2	
ID do ponto:	BASE30
Altura:	1,873
Método:	Base da monta
Fabricante:	ComNav
Tipo:	T300
Arquivo 1:	30MIN.230

Satélites Observados	
GPS:	10
GLONASS:	0
Galileo:	0
BeiDou:	0
QZSS:	0
NavIC:	0

Ponto 2	
ID do ponto:	BASE60
Altura:	1,873
Método:	Base da monta
Fabricante:	ComNav
Tipo:	T300
Arquivo 1:	60MIN.230

Satélites Observados	
GPS:	11
GLONASS:	0
Galileo:	0
BeiDou:	0
QZSS:	0
NavIC:	0

Ponto 2	
ID do ponto:	BASE120
Altura:	1,873
Método:	Base da monta
Fabricante:	ComNav
Tipo:	T300
Arquivo 1:	120MIN.230

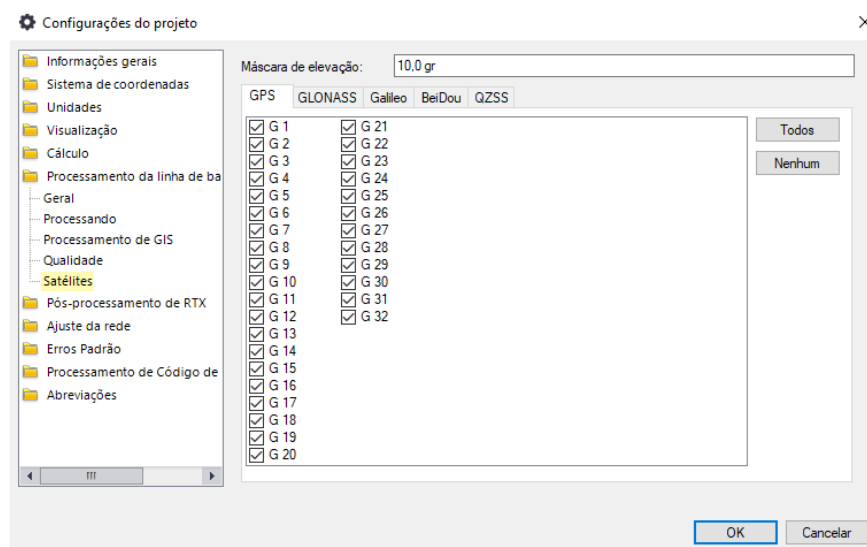
Satélites Observados	
GPS:	12
GLONASS:	0
Galileo:	0
BeiDou:	0
QZSS:	0
NavIC:	0

Fonte: Autor, 2023.

### 4.3.2 Processamento utilizando as constelações GPS e GLONASS

Na segunda análise, utilizou-se as constelações GPS e GLONASS para a realização do processamento, desabilitando apenas os satélites da constelação Galileo.

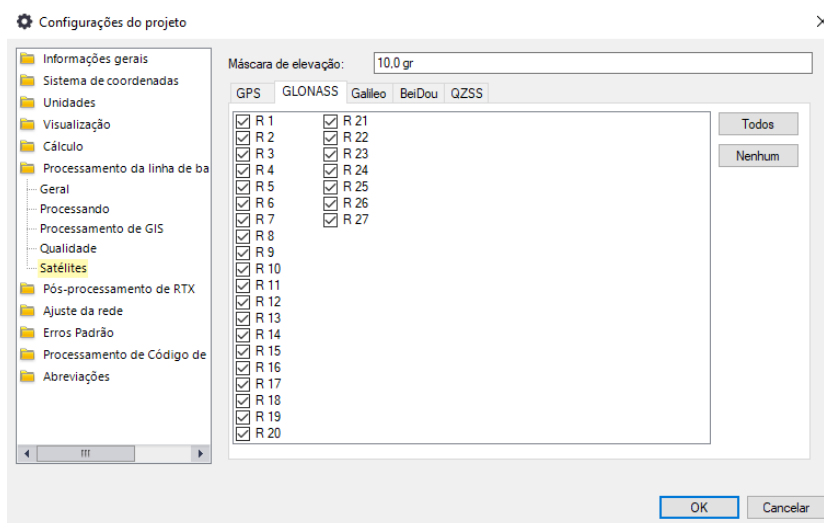
Figura 28 – Ativação dos satélites GPS.



Fonte: Autor, 2023.

A constelação GLONASS foi habilitada para a realização do processamento.

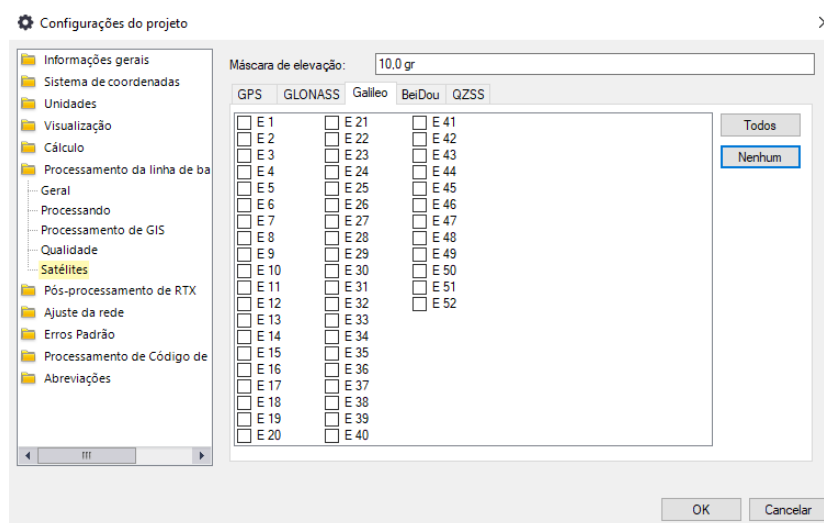
Figura 29 – Ativação dos satélites GLONASS.



Fonte: Autor, 2023.

Foram mantidos desabilitados todos os satélites da constelação Galileo.

Figura 30 – Desativação dos satélites Galileo.



Fonte: Autor, 2023.

Com a realização do processamento do ponto utilizando as constelações GPS e GLONASS, foi possível identificar uma melhora nos resultados apresentados, mas o ponto com 5 minutos de rastreamento ainda não apresentou uma melhora significativa em seus resultados, sendo mais confiáveis os rastreios de mais de 10 minutos nos casos de processamento de dados brutos rastreados somente com estas duas constelações, como demonstrado na tabela 4.

Tabela 4 – Processamento de ponto utilizando as constelações GPS e GLONASS.

PROCESSAMENTO UTILIZANDO CONSTELAÇÃO GPS + GLONASS							
RASTREIO	NORTE	ESTE	ALT. GEO	$\sigma\Delta$ NORTE	$\sigma\Delta$ LESTE	$\sigma\Delta$ ALT.	SOLUÇÃO
<b>5 MINUTOS</b>	7545461,046	371740,613	901,783	0,019	0,019	0,045	FIXO
<b>10 MINUTOS</b>	7545460,963	371740,695	901,984	0,010	0,010	0,021	FIXO
<b>15 MINUTOS</b>	7545460,961	371740,694	901,976	0,009	0,009	0,019	FIXO
<b>30 MINUTOS</b>	7545460,960	371740,694	901,983	0,006	0,007	0,014	FIXO
<b>60 MINUTOS</b>	7545460,957	371740,686	901,943	0,003	0,003	0,022	FIXO
<b>120 MINUTOS</b>	7545460,959	371740,684	901,953	0,002	0,002	0,016	FIXO

Fonte: Autor, 2023.

A tabela 5 apresenta a quantidade de satélites utilizados no posicionamento.

Tabela 5 – Satélites rastreados GPS + GLONASS.

SATÉLITES UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO				
RASTREIO	GPS	GLONASS	GALILEO	TOTAL
<b>5 MINUTOS</b>	10	6	0	<b>16</b>
<b>10 MINUTOS</b>	10	7	0	<b>17</b>
<b>15 MINUTOS</b>	10	7	0	<b>17</b>
<b>30 MINUTOS</b>	10	8	0	<b>18</b>
<b>60 MINUTOS</b>	11	9	0	<b>20</b>
<b>120 MINUTOS</b>	12	10	0	<b>22</b>

Figura 31 – Satélites utilizados no posicionamento.

Ponto 2		Ponto 2		Ponto 2	
ID do ponto:	BASE05	ID do ponto:	BASE10	ID do ponto:	BASE15
Altura:	1,873	Altura:	1,873	Altura:	1,873
Método:	Base da monta	Método:	Base da monta	Método:	Base da monta
Fabricante:	ComNav	Fabricante:	ComNav	Fabricante:	ComNav
Tipo:	T300	Tipo:	T300	Tipo:	T300
Arquivo 1:	5MIN.230	Arquivo 1:	10MIN.230	Arquivo 1:	15MIN.230
Satélites Observados		Satélites Observados		Satélites Observados	
GPS:	10	GPS:	10	GPS:	10
GLONASS:	6	GLONASS:	7	GLONASS:	7
Galileo:	0	Galileo:	0	Galileo:	0
BeiDou:	0	BeiDou:	0	BeiDou:	0
QZSS:	0	QZSS:	0	QZSS:	0
NavIC:	0	NavIC:	0	NavIC:	0

Ponto 2	
ID do ponto:	BASE30
Altura:	1,873
Método:	Base da monta
Fabricante:	ComNav
Tipo:	T300
Arquivo 1:	30MIN.23O

Satélites Observados	
GPS:	10
GLONASS:	8
Galileo:	0
BeiDou:	0
QZSS:	0
NavIC:	0

Ponto 2	
ID do ponto:	BASE60
Altura:	1,873
Método:	Base da monta
Fabricante:	ComNav
Tipo:	T300
Arquivo 1:	60MIN.23O

Satélites Observados	
GPS:	11
GLONASS:	9
Galileo:	0
BeiDou:	0
QZSS:	0
NavIC:	0

Ponto 2	
ID do ponto:	BASE120
Altura:	1,873
Método:	Base da monta
Fabricante:	ComNav
Tipo:	T300
Arquivo 1:	120MIN.23O

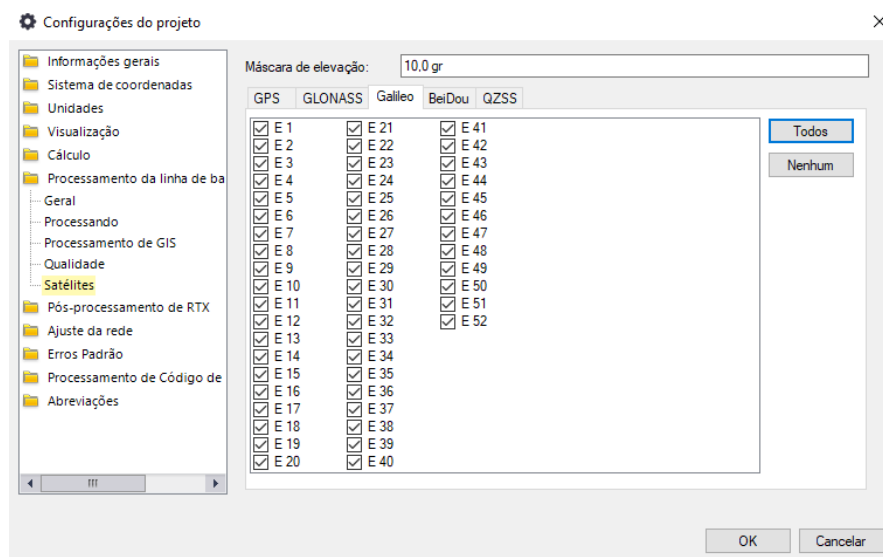
Satélites Observados	
GPS:	12
GLONASS:	10
Galileo:	0
BeiDou:	0
QZSS:	0
NavIC:	0

Fonte: Autor, 2023.

### 4.3.3 Processamento utilizando as constelações GPS, GLONASS e Galileo

Na terceira análise, utilizou-se as constelações GPS, GLONASS e Galileo para a realização do processamento.

Figura 32 – Ativação dos satélites Galileo.



Fonte: Autor, 2023.

Com a realização do processamento do ponto utilizando as constelações GPS, GLONASS e Galileo, foi possível identificar uma melhora importante nos resultados apresentados na tabela 6, porém o ponto com 5 minutos de rastreamento ainda



não apresentou uma melhora significativa em seus resultados, sendo mais confiáveis os rastreios de mais de 10 minutos nos casos de processamento de dados brutos rastreados somente com estas duas constelações.

Tabela 6 – Processamento de ponto utilizando as constelações GPS, GLONASS e Galileo.

PROCESSAMENTO UTILIZANDO CONSTELAÇÃO GPS + GLONASS + GALILEO							
RASTREIO	NORTE	ESTE	ALT. GEO	$\sigma\Delta$ NORTE	$\sigma\Delta$ LESTE	$\sigma\Delta$ ALT.	SOLUÇÃO
5 MINUTOS	7545460,975	371740,662	901,954	0,021	0,020	0,045	FIXO
10 MINUTOS	7545460,965	371740,696	901,983	0,009	0,009	0,018	FIXO
15 MINUTOS	7545460,963	371740,694	901,976	0,010	0,010	0,019	FIXO
30 MINUTOS	7545460,962	371740,694	901,985	0,006	0,008	0,014	FIXO
60 MINUTOS	7545460,956	371740,689	901,946	0,003	0,002	0,017	FIXO
120 MINUTOS	7545460,957	371740,681	901,955	0,001	0,001	0,010	FIXO

Fonte: Autor, 2023.

A tabela 7 apresenta a quantidade de satélites utilizados no posicionamento.

Tabela 7 – Satélites rastreados GPS + GLONASS + Galileo.

SATÉLITES UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO				
RASTREIO	GPS	GLONASS	GALILEO	TOTAL
5 MINUTOS	10	6	5	21
10 MINUTOS	10	7	5	22
15 MINUTOS	10	7	5	22
30 MINUTOS	10	8	5	23
60 MINUTOS	11	9	6	26
120 MINUTOS	12	10	9	31

Figura 33 – Satélites utilizados no posicionamento.

Ponto 2		Ponto 2		Ponto 2	
ID do ponto:	BASE05	ID do ponto:	BASE10	ID do ponto:	BASE15
Altura:	1,873	Altura:	1,873	Altura:	1,873
Método:	Base da monta	Método:	Base da monta	Método:	Base da monta
Fabricante:	ComNav	Fabricante:	ComNav	Fabricante:	ComNav
Tipo:	T300	Tipo:	T300	Tipo:	T300
Arquivo 1:	5MIN.23O	Arquivo 1:	10MIN.23O	Arquivo 1:	15MIN.23O
Satélites Observados		Satélites Observados		Satélites Observados	
GPS:	10	GPS:	10	GPS:	10
GLONASS:	6	GLONASS:	7	GLONASS:	7
Galileo:	5	Galileo:	5	Galileo:	5
BeiDou:	0	BeiDou:	0	BeiDou:	0
QZSS:	0	QZSS:	0	QZSS:	0
NavIC:	0	NavIC:	0	NavIC:	0

Ponto 2	
ID do ponto:	BASE30
Altura:	1,873
Método:	Base da monta
Fabricante:	ComNav
Tipo:	T300
Arquivo 1:	30MIN.23O

Ponto 2	
ID do ponto:	BASE60
Altura:	1,873
Método:	Base da monta
Fabricante:	ComNav
Tipo:	T300
Arquivo 1:	60MIN.23O

Ponto 2	
ID do ponto:	BASE120
Altura:	1,873
Método:	Base da monta
Fabricante:	ComNav
Tipo:	T300
Arquivo 1:	120MIN.23O

Satélites Observados	
GPS:	10
GLONASS:	8
Galileo:	5
BeiDou:	0
QZSS:	0
NavIC:	0

Satélites Observados	
GPS:	11
GLONASS:	9
Galileo:	6
BeiDou:	0
QZSS:	0
NavIC:	0

Satélites Observados	
GPS:	12
GLONASS:	10
Galileo:	9
BeiDou:	0
QZSS:	0
NavIC:	0

Fonte: Autor, 2023.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os processamentos realizados comprovaram que os resultados obtidos se tornam mais confiável à medida que mais constelações são englobadas ao rastreo. Apesar da linha de base ser extensa, realizou-se uma análise de forma satisfatória para se alcançar o objetivo do trabalho, comprovando que principalmente em rastreios pelo método relativo estático rápido, com períodos de tempo de armazenamento abaixo de 15 minutos, os receptores GNSS multi-constelações serão indispensáveis para uma execução segura e confiável dos trabalhos de topografia e geodesia.

Observou-se que no processamento dos dados brutos que utilizaram somente a constelação GPS no posicionamento, os resultados apresentados no processamento do arquivo bruto com 5 minutos de rastreo, mesmo com solução fixa, não se apresentaram satisfatórios, com coordenadas preocupantemente discrepantes dos resultados de processamento dos demais períodos de tempo.

Verificou-se diferenças em Norte, Este e Altura Geométrica encontradas entre os resultados apresentados no processamento do dado bruto com 5 minutos de rastreo, comparando-o aos demais períodos de tempo processados. Na tabela 8 é possível observar uma grande diferença encontrada no eixo Norte e na altura geométrica.

Tabela 8 – Diferenças entre resultados obtidos em processamento.

RASTREIO	NORTE	ESTE	ALT. GEO	DIF. N	DIF. E	DIF. ALT
<b>5 MINUTOS</b>	7545461,757	371740,564	903,185			
<b>10 MINUTOS</b>	7545460,961	371740,694	901,985	0,796	-0,130	1,200
<b>15 MINUTOS</b>	7545460,959	371740,694	901,976	0,798	-0,130	1,209
<b>30 MINUTOS</b>	7545460,958	371740,694	901,981	0,799	-0,130	1,204
<b>60 MINUTOS</b>	7545460,958	371740,683	901,940	0,799	-0,119	1,245
<b>120 MINUTOS</b>	7545460,961	371740,687	901,933	0,796	-0,123	1,252

Fonte: Autor, 2023.

Após os resultados divergentes no processamento dos dados brutos de 5 minutos de rastreo, observou-se uma expressiva estabilização nos resultados apresentados nos processamentos dos demais períodos de tempo, assegurando que um período de rastreo de 10 minutos já seria suficiente para termos uma confiabilidade nos resultados finais, como demonstrado na tabela 9.

Tabela 9 – Diferenças entre resultados obtidos em processamento.

RASTREIO	NORTE	ESTE	ALT. GEO	DIF. N	DIF. E	DIF. ALT
<b>10 MINUTOS</b>	7545460,961	371740,694	901,985			
<b>15 MINUTOS</b>	7545460,959	371740,694	901,976	0,002	0,000	0,009
<b>30 MINUTOS</b>	7545460,958	371740,694	901,981	0,003	0,000	0,004
<b>60 MINUTOS</b>	7545460,958	371740,683	901,940	0,003	0,011	0,045
<b>120 MINUTOS</b>	7545460,961	371740,687	901,933	0,000	0,007	0,052

Fonte: Autor, 2023.

Também se observou que no processamento dos dados brutos que utilizaram as constelações GPS e GLONASS no posicionamento, os resultados apresentados no processamento do arquivo bruto com 5 minutos de rastreo, também com solução fixa, apresentaram melhoras significativas, mais ainda com valores discrepantes dos resultados de processamento dos demais períodos de tempo, como demonstrado na tabela 10.

Tabela 10 – Diferenças entre resultados obtidos em processamento – GPS + GLONASS.

RASTREIO	NORTE	ESTE	ALT. GEO	DIF. N	DIF. E	DIF. ALT
<b>5 MINUTOS</b>	7545461,046	371740,613	901,783			
<b>10 MINUTOS</b>	7545460,963	371740,695	901,984	0,083	-0,082	-0,201

<b>15 MINUTOS</b>	7545460,961	371740,694	901,976	0,085	-0,081	-0,193
<b>30 MINUTOS</b>	7545460,960	371740,694	901,983	0,086	-0,081	-0,200
<b>60 MINUTOS</b>	7545460,957	371740,686	901,943	0,089	-0,073	-0,160
<b>120 MINUTOS</b>	7545460,959	371740,684	901,953	0,087	-0,071	-0,170

Fonte: Autor, 2023.

Quando alcançada a terceira parte da análise, utilizou-se para o processamento todas as constelações disponíveis (GPS, GLONASS e Galileo). Desta vez, o processamento alcançou-se os resultados esperados até mesmo para o arquivo bruto de 5 minutos de rastreo, verificando assim a importância de um receptor GNSS multi-constelação para o posicionamento geodésico atualmente. Utilizando todas as constelações disponíveis, os resultados se apresentaram mais confiáveis, até mesmo com rastreios realizados pelo método relativo estático rápido, como um período mais curto de rastreo, como demonstrado na tabela 11.

Tabela 11 – Diferenças entre resultados obtidos em processamento

<b>RASTREIO</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	<b>ALT. GEO</b>	<b>DIF. N</b>	<b>DIF. E</b>	<b>DIF. ALT</b>
<b>5 MINUTOS</b>	7545460,975	371740,662	901,954			
<b>10 MINUTOS</b>	7545460,965	371740,696	901,983	0,010	-0,034	-0,029
<b>15 MINUTOS</b>	7545460,963	371740,694	901,976	0,012	-0,032	-0,022
<b>30 MINUTOS</b>	7545460,962	371740,694	901,985	0,013	-0,032	-0,031
<b>60 MINUTOS</b>	7545460,956	371740,689	901,946	0,019	-0,027	0,008
<b>120 MINUTOS</b>	7545460,957	371740,681	901,955	0,018	-0,019	-0,001

Fonte: Autor, 2023.

## 6 CONCLUSÃO

O objetivo desta análise foi alcançado de forma satisfatória em relação aos resultados apresentados nos processamentos realizados. Constatou-se ao decorrer da obtenção dos resultados finais referentes aos rastreios realizados pelo método estático, que ainda é confiável a utilização de um receptor GPS para a obtenção dos dados brutos dos pontos de interesse, pois as coordenadas e precisões se mantiveram estáveis nos processamentos em períodos com mais de 15 minutos de armazenamento. Por outro lado, os resultados finais referentes aos rastreios realizados pelo método estático rápido não apresentaram confiabilidade expressiva utilizando somente a constelação GPS, havendo uma pequena melhora quando se realizou o processamento utilizando as constelações GPS e GLONASS, porém ainda não o suficiente para serem atingidos resultados aceitáveis.

No momento que foram habilitadas todas as constelações (GPS, GLONASS e Galileo) para a realização dos processamentos, observou-se uma melhora expressiva nos processamentos realizados com dados brutos obtidos pelo método estático rápido, apresentando bons resultados para o período de rastreio mais curto desta análise, que possui 5 minutos de rastreio.

Conclui-se que os receptores que armazenam dados brutos utilizando somente a constelação GPS, exigem atenção e planejamento para os períodos de rastreio que serão realizados em campo, evitando a realização de rastreios muito curtos, com tempo de coleta inferiores a 10 minutos. Porém, em armazenamentos mais longos, estes receptores atendem perfeitamente.

Com a utilização de receptores GNSS multi-constelações, os dados brutos armazenados poderão ser utilizados com segurança até mesmo em rastreios com período de tempo mais curto, inferiores a 10 minutos. O dado bruto processado, mesmo com um período de 5 minutos de rastreio, apresentou resultados próximos a outro dado bruto com um período de 120 minutos de rastreio, comprovando assim a eficácia no posicionamento utilizando este tipo de receptor e a produtividade que um receptor GNSS multi-constelação pode proporcionar em levantamentos topográficos em áreas com obstruções naturais e artificiais, que obriguem o operador a utilizar o método relativo estático ou estático rápido.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Execução de levantamento topográfico, de 30 de junho de 1994**. NBR 13.133. Levantamento topográfico, Rio de Janeiro, junho de 1994.

FORTES, L. P. S. "**OPERACIONALIZAÇÃO DA REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DO SISTEMA GPS (RBMC)**". Tese de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia (IME). 1997.

GUANDALINI, M. **Análise metodológica do posicionamento relativo através do GNSS e suas aplicações na engenharia** - São Paulo, 2012.

GPS (2023). **Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS)**. Disponível: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/#generations>.

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

Programa de Producción Electrónica Multimedial PEM Multimedia UNED. Disponível: [https://multimedia.uned.ac.cr/pem/montanismo/1navegacion/sistema\\_navegacion\\_sa\\_telite.html](https://multimedia.uned.ac.cr/pem/montanismo/1navegacion/sistema_navegacion_sa_telite.html)

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Especificações e Normas Gerais para levantamentos GPS**, Rio de Janeiro, 1992.

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

MENEGHINI, C.; PARENTE, C. **Advantages of Multi GNSS Constellation: GDOP Analysis for GPS, GLONASS and Galileo Combinations**. International Journal of Engineering and Technology Innovation, vol. 7, no. 1, pp. 01 – 10. 2017.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. 2.ed., Berlin, New York: Walter de Gruyter, 589p, 2003.

SEGANTINE, P. C. L. **Curso de Atualização em Topografia e GPS**. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1997.

SETTI JÚNIOR, P. T.; ALVES, D. B. M. **Posicionamento por ponto combinado GPS e Galileo: melhorias na geometria dos satélites e na estimativa da posição**. IV Simpósio Brasileiro de Geomática (SBG2017) e II Jornadas Lusófonas - Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica (CTIG2017). Presidente Prudente – SP, p 558 – 562. 2017.

SCARAMBONI, F. A., CHAVES, J. C., **Processamento GNSS no GAMIT/GLOBK utilizando o GridUNESP**. Anais do VII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, 2013.