

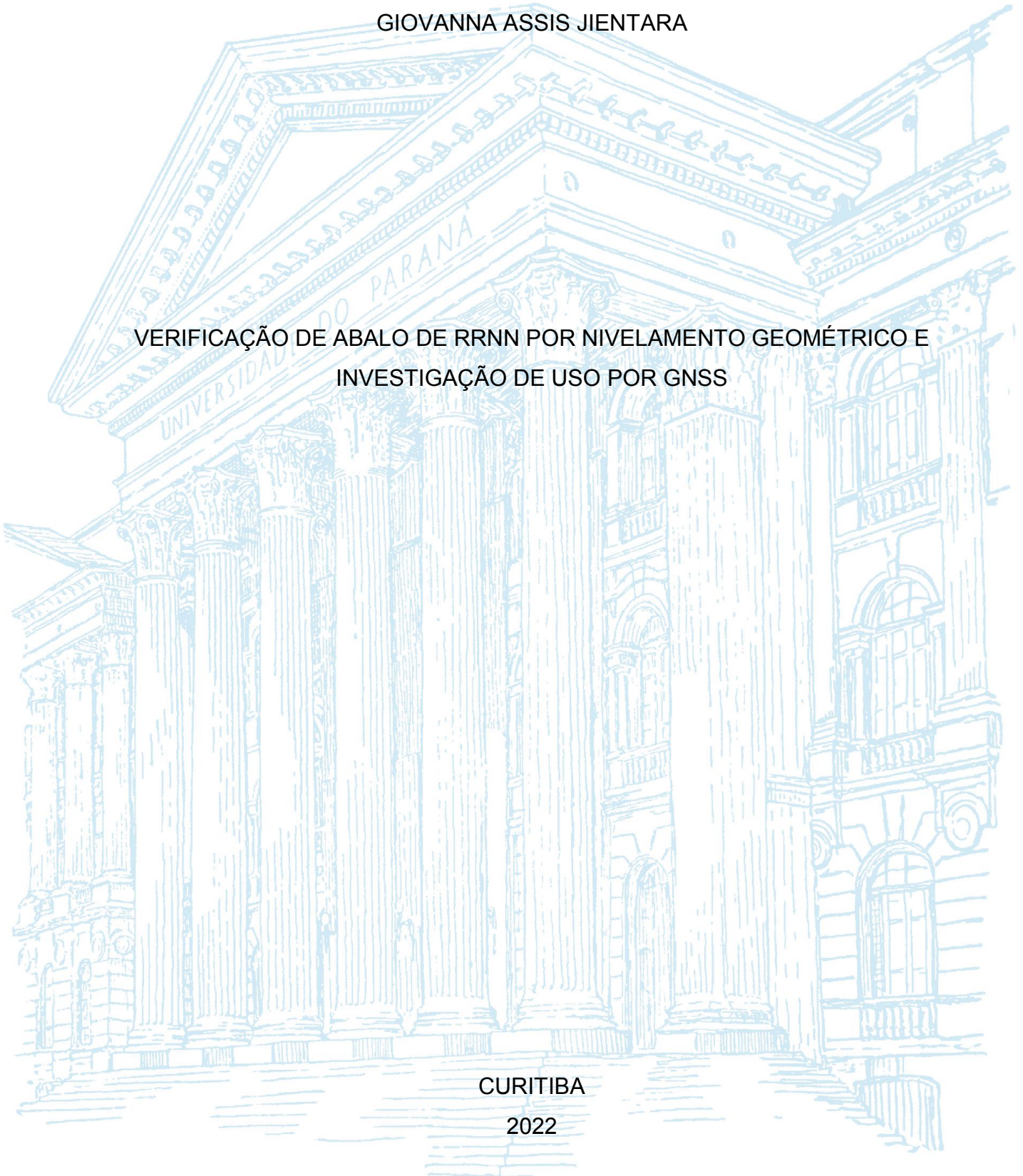
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANNA ASSIS JIENTARA

VERIFICAÇÃO DE ABALO DE RRNN POR NIVELAMENTO GEOMÉTRICO E  
INVESTIGAÇÃO DE USO POR GNSS

CURITIBA

2022



GIOVANNA ASSIS JIENTARA

VERIFICAÇÃO DE ABALO DE RRNN POR NIVELAMENTO GEOMÉTRICO E  
INVESTIGAÇÃO DE USO POR POSICIONAMENTO GNSS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Prof(a). Dr(a). Érica S. M. Baluta  
Orientadora: Prof(a) Dr(a). Regiane Dalazoana.

CURITIBA

2022



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências da Terra  
Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

## TERMO DE APROVAÇÃO

GIOVANNA ASSIS JIENTARA

VERIFICAÇÃO DE ABALO DE RRNN POR NIVELAMENTO GEOMÉTRICO E  
POSICIONAMENTO GNSS

O Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, foi APROVADA como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Profª Drª. Regiane Dalazoana

Orientador(a) – Departamento de Geomática, UFPR

Prof Dr. Daniel Arana

Departamento de Geomática, UFPR

Prof. Dr. Wander da Cruz

Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 16 de setembro de 2022.

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, que me deu força e coragem para a conclusão desse projeto. Dedico também aos meus pais, marido e irmão, que são a minha base.

## **AGRADECIMENTOS**

A Jesus, meu marido Thiago Silva, aos meus pais Eliane Assis, Giovani Jientara, e meu irmão, Gian Carlo, pois são a fonte da minha vida.

Aos meus avós e tios que sempre me apoiaram e me dão todo amor e carinho sempre.

As Professoras e Orientadoras Érica Baluta e Regiane Dalazoana, por toda orientação, ensinamentos, carinho e incentivo comigo, por todos os anos de graduação e conclusão desse projeto.

Ao Centro de Pesquisa Aplicada a Geoinformação (CEPAG), onde pude concluir meu último estágio e obtive um grande crescimento e amadurecimento profissional.

Aos Professores Doutores Luciene Delazari e Leonardo Ercolin, por todo ensinamento, incentivo e orientação em meu último estágio.

A UFPR, que foi como uma segunda casa por todos esses anos, e me deu a possibilidade de formar Engenheira.

Ao Amigo Willyan Ferreira pela sua amizade e por sua ajuda, sem a qual não teria conseguido finalizar meu trabalho de forma tão satisfatória.

A amiga Amanda Leal por toda amizade, incentivo e ajuda durante a graduação.

Aos amigos Rhuan Felipe, Maria Vitoria Pagno, Thiago Motta, por toda amizade, ajuda e disponibilidade de tempo para a execução desse projeto.

E em especial aos meus amigos (as): Giovana Andreis, Marciano Costa Lima, Patrick Busch, e aos demais amigos pela amizade, companheirismo e incentivo.

*Mulher Virtuosa, quem a achará?  
Seu valor muito excede ao de finas joias.  
(Provérbios 31:10)*

## RESUMO

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é o órgão responsável por produzir e disponibilizar dados geodésicos sobre todo o território nacional. Sendo um de seus serviços, a implantação e manutenção do sistema de referência para a determinação de altitudes no país, que é realizado através da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP). Ela é formada pelas estações geodésicas altimétricas tradicionalmente denominadas Referências de Nível (RRNN), implantadas ao longo da malha viária por todo o país. O presente trabalho tem por objetivo verificar se alguma das RRNN escolhidas para o estudo, passou por mudanças físicas, ou seja, sofreu algum tipo de abalo, de acordo com seu estado original. Para isso, foi seguida a normativa disponibilizada pelo IBGE, utilizando o método de nivelamento geométrico, afim de se obter os desníveis necessários para a comparação com medidas anteriores. Com o intuito de investigar a possibilidade de uma diferente técnica, foi também, realizado a verificação de abalo com utilização de métodos de posicionamento relacionados ao Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). A área de estudo da presente pesquisa está localizada no campus da Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, onde foram escolhidas quatro RRNN implantadas pelo IBGE, de modo que se realizaram os levantamentos geodésicos necessários para obtenção dos desníveis. Por fim, após a coleta dos dados, processamento e cálculos necessários, foi possível fazer uma análise acerca da existência ou não de abalo. Foi concluído que uma das RRNN pode apresentar um possível abalo, mas só poderá ser concretizado com mais um nivelamento geométrico realizado a partir dela. A metodologia com uso de GNSS não ocorreu como esperado, apresentando resultados insatisfatórios para um trabalho que requer alta precisão milimétrica.

Palavras-chave: Altimetria 1. Abalo 2. Nivelamento Geométrico 3. Desnível 4. Posicionamento GNSS 5.

## **ABSTRACT**

The Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) provides the body responsible for producing geodetic data over the entire territory. One of its services is the implementation and maintenance of the reference system for determining altitudes in the country, which is carried out through the High Precision Altimetry Network (RAAP). It is long for all geometric stations designed by road network Level references deployed across the entire country of the road network. The objective of this work is to verify if any of the RRNNs chosen for the study underwent physical changes, that is, suffered some type of shake, according to their original state. For, it was a standard made available by the IBGE, using geometry leveling, a method of obtaining sequential methods for comparison with previous measurements. The study area of the present research is located on the campus of the Federal University of Paraná, Centro Politécnico, where four RRNN implemented by IBGE were chosen, so that ethical surveys for the delivery of geodesics were raised. Finally, after data collection, processing and analysis, it was possible to analyze whether or not there is a shake. It was concluded that one of the RRNN may present a possible shake, but it can only be achieved with another geometric leveling carried out from it. A methodology with the use of GNSS not expected as expected, presenting results in a work that requires high millimeter precision.

Keywords: Altimetry 1. Concussion 2. Geometric Leveling 3. Unlevelling 4. GNSS Positioning 5.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -- REDE ALTIMÉTRICA DE ALTA PRECISÃO DO BRASIL.....	18
Figura 2 -- MODELO hgeoHNOR2020.....	20
Figura 3 -- LANCE DE VISADAS IGUAIS .....	21
Figura 4 -- SEÇÃO DE UM NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	21
Figura 5 -- NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	22
Figura 6 -- LANCES DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	23
Figura 7 -- POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO.....	28
Figura 8 -- FLUXOGRAMA DE METOFOLOGIA.....	29
Figura 9 -- ÁREA DE LOCALIZAÇÃO DA RRNN NO CENTRO POLITÉCNICO-UFPR.....	30
Figura 10 -- TRAJETO DAS 3 SEÇÕES DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	31
Figura 11 -- REALIZAÇÃO DO NIVELAMENTO GEOMÉTRICO EM CAMPO.....	33
Figura 12 -- RASTREIO GNSS EM CAMPO .....	35
Figura 13 -- DADOS DA RN3279A VIA IBGE.....	40
Figura 14 -- DADOS DA RN3278B VIA IBGE.....	40
Figura 15 -- DADOS DA RN3278C VIA IBGE.....	41
Figura 16 -- DADOS DA RN2053D VIA IBGE.....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -- RESULTADO OBTIDOS NA 1º SEÇÃO DE NIVELAMENTO.....	36
Tabela 2 -- RESULTADO OBTIDOS NA 2º SEÇÃO DE NIVELAMENTO.....	37
Tabela 3 -- RESULTADO OBTIDOS NA 3º SEÇÃO DE NIVELAMENTO.....	38
Tabela 4 -- COORDENADAS PROCESSADAS RN3279A.....	39
Tabela 5 -- COORDENADAS PROCESSADAS RN3278B.....	39
Tabela 6 -- COORDENADAS PROCESSADAS RN3278C.....	39
Tabela 7 -- COORDENADAS PROCESSADAS RN2053D.....	39
Tabela 8 -- DESNÍVEL POR NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	41
Tabela 9 -- DESNÍVEL POR GNSS.....	42
Tabela 10 -- DESNÍVEL POR IBGE.....	42
Tabela 11 -- DIFERENÇA DE DESNÍVEL ENTRE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO ATUAL E IBGE.....	42
Tabela 12 -- DIFERENÇA DE DESNÍVEL ENTRE GNSS E IBGE.....	43
Tabela 13 -- DIFERENÇA DE DESNÍVEL ENTRE GNSS E NIVELAMENTO GEOMÉTRICO ATUAL.....	43

## **LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS**

BNDG	- Banco Nacional de Dados Gravimétricos
CGEO	- Coordenação de Geodésia
DGPS	- Differential Global Positioning System
GNSS	- Global Navigation Satellite System
GPS	- Global Positioning System
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PPP	- Posicionamento por Ponto Preciso
RAAP	- Rede Altimétrica de Alta Precisão do Brasil
RBMC	- Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RRNN	- Referência de Nível
RTK	- Real Time Kinematic
SF	- Superfície Física
SGB	- Sistema Geodésico Brasileiro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.2 JUSTIFICATIVA .....	15
1.3 OBJETIVOS .....	16
1.3.1 Objetivo Geral.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos .....	16
1.4 ESTRUTURA DE TRABALHO .....	16
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
2.1 REDE ALTIMÉTRICA DE ALTA PRECISÃO- RAAP .....	17
2.2 ALTITUDES.....	18
2.3 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO .....	20
2.3.1 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DE ALTA PRECISÃO .....	23
2.4 VERIFICAÇÃO DE ABALO .....	24
2.5 GNSS .....	25
2.5.1 CONSTELAÇÕES UTILIZADAS NO RASTREIO GNSS.....	25
2.5.2 ERROS SISTEMÁTICOS NO POSICIONAMENTO GNSS.....	26
2.5.3 MÉTODO DE POSICIONAMENTO POR PONTO E RELATIVO .....	27
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	29
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS .....	30
3.3 MÉTODOS .....	31
3.4 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO .....	32
3.5 RASTREIO GNSS.....	34
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>35</b>
4.1 RESULTADOS OBTIDOS DO NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	36
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) constitui-se de um conjunto de estações que representam o controle horizontal e vertical necessários ao conhecimento da localização e representação cartográfica no território brasileiro. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é o órgão responsável pela materialização e manutenção do SGB, sendo este sistema estabelecido por um Sistema Geodésico de Referência materializado por redes fundamentais horizontais e tridimensionais, redes altimétrica e de gravidade. A materialização de tais redes é realizada por levantamentos de diversas naturezas sobre um conjunto de pontos, marcos de concreto ou chapas metálicas, locados em regiões supostamente “estáveis” sobre a Superfície Física da Terra (SF). Tais pontos são denominados Referências de Nível (RRNN) quando referentes à rede vertical (PALMEIRO, 2007).

O sistema de referência para medição de altitudes no país é realizado através da sua Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP), que é formada pelas estações geodésicas RRNN espalhadas ao longo de todo o território nacional. Os desníveis entre RRNN da rede vertical do SGB são obtidos através de nivelamento geométrico de alta precisão, partindo-se de um ponto de origem, definido a partir de observações do nível do mar, Datum Vertical, e medindo-se desníveis entre uma RN e outra. No processo são formadas linhas e circuitos de nivelamento que são periodicamente recalculados e ajustados pelo método dos mínimos quadrados.

Em meados de 2018 o IBGE, visando a melhor qualidade de suas informações divulgadas e visando também uma adequação das altitudes da RAAP aos preceitos mais modernos vinculados à definição de altitudes com significado físico, passou a incorporar dados gravimétricos, oriundos de levantamentos gravimétricos realizados pelo IBGE e do Banco Nacional de Dados Gravimétricos (BNDG) aos desníveis medidos, obtendo assim altitudes normais para as RRNN (IBGE, 2019).

A determinação de desníveis entre dois pontos quaisquer sobre a superfície terrestre representa uma das operações fundamentais sob responsabilidade e que demandam atuação da Geodésia, quando consideradas interferências causadas pela forma e dimensões da Terra (NICACIO *et al.*, 2018). Entendendo que a superfície terrestre sofre constantes mudanças e movimentos, a materialização de RRNN pode sofrer abalo, termo técnico, que nessa pesquisa se refere a mudança

de estado da RRNN, seja por acidente físico, atividades densas (como construções próximo a RN) ou sísmicas sob o local de tal materialização.

Seguindo as normas geodésicas padrão impostas pelo IBGE (IBGE, 2017), a verificação de abalo deve ser realizada periodicamente, pela técnica de nivelamento geométrico de alta precisão, com o intuito de confirmar a permanência na posição original das RRNN da RAAP. O procedimento consiste em executar o nivelamento e contranivelamento de três RRNN adjacentes. Os valores de diferença de nível dessa nova medição devem ser comparados com valores de medições anteriores. Para a análise de medições anteriores foram utilizadas as informações de monografias das RRNN disponibilizadas pelo IBGE.

Se for detectado uma discrepância entre o nivelamento atual e o anterior (obtido via monografias do IBGE), é prescrito realizar um nivelamento e contranivelamento com mais três RRNN adjacentes, de modo que essa nova medida traga maior certeza na verificação da RN que sofreu o abalo. Contudo esse processo pode ser longo e trabalhoso, tendo em vista que a distância de uma RN para outra pode chegar a mais de 1 km, e para garantir a melhor precisão é necessário fazer visadas de no máximo 60 metros.

A metodologia implantada para a verificação de abalo, pode ser otimizada usando a técnica de rastreamento GNSS. Conforme descrito por Mônico (2008), o GNSS é um sistema de rádio navegação com ampla aplicação (como em geodinâmica, navegação, levantamentos geodésicos, estabelecimento de redes geodésicas, determinação altimétrica, entre outros) que fornece altitudes e diferenças de nível de natureza geométrica, ligadas à modelagem matemática da Terra segundo o elipsoide de referência, diferentemente das altitudes niveladas, ligadas ao campo da gravidade da Terra e sua modelagem física segundo superfícies equipotenciais (CARVALHO e NETO, 2019). Se optar por utilizar a técnica GNSS, ao invés de nivelamento geométrico, a precisão a ser obtida pode chegar a casa do milímetro, dependendo do método de posicionamento e do equipamento utilizado.

Segundo HILLSHEIM (2015) a utilização do método de posicionamento GNSS está cada vez mais frequente, proporcionando agilidade e comodidade na obtenção do posicionamento e nivelamento de pontos. E com a finalidade de tentar otimizar o processo de verificação de abalo, para o presente trabalho foi realizado o rastreamento GNSS sobre quatro RRNN, que após o processamento gerou as informações planimétrica e altimétrica dos pontos. Seguindo o objetivo de averiguar

o uso de posicionamento por satélites e obter um comparativo entre diferentes metodologias na obtenção de desníveis, foi executado em campo também, o nivelamento geométrico para verificação de abalo das mesmas RRNN, seguindo as “Especificações e normas para levantamentos geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro” do IBGE (IBGE, 2017). As quatro RRNN escolhidas para o estudo estão materializadas dentro do campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O nivelamento geométrico é uma técnica de medida muito utilizada e indispensável em alguns levantamentos, pois é através dela que se obtém o real desnível entre um ponto e outro no terreno de interesse. Entretanto, esta é uma técnica que depende sobremaneira do recurso humano. Além do operador sobre o nível, também são necessárias mais duas pessoas segurando as miras de invar. Tal fato pode ocasionar erros grosseiros ou erros imperceptíveis aos olhos, mas que influenciam diretamente no resultado das medidas. A obtenção do desnível por nivelamento é adequada, podendo ser adaptada ao tipo de resultado e de estudo que se quer obter sobre os pontos de interesse. Esta pode ser ajustada, podendo ser utilizada em técnicas que podem trazer mais precisão ou otimização de trabalho em campo. São diversas as alternativas que se pode tentar fazer e experimentar utilizando de outros recursos e opções que aparecem no mercado. A opção de uso de rastreamento GNSS para a presente pesquisa é visada de acordo com os resultados e estudos obtidos em outros levantamentos.

O abalo das RRNN pode ocorrer por diversos fatores, entre eles efeitos sísmicos, mudança sob a superfície terrestre e movimentação causada por ação humana. O presente projeto se justifica na medida em que se propõe a oferecer contribuições para verificar o abalo das RRNN e contribuir com a qualidade da rede vertical do IBGE. E também, investigar possibilidades de se realizar a verificação de abalo, utilizando outras técnicas, visando reduzir o tempo de trabalho e custo, que é o caso do rastreamento GNSS.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Realizar a verificação de abalo de RRNN, dentro do Centro Politécnico, seguindo a norma padrão imposta pelo IBGE, e também investigar o uso de posicionamento GNSS como alternativa à verificação.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Com base no objetivo geral, as atividades específicas a serem desenvolvidas são:

- Escolha das RRNN para o estudo;
- Extração de informações de monografias das RRNN disponibilizadas pelo IBGE;
- Realização de posicionamento GNSS sobre as RRNN escolhidas;
- Nivelamento Geométrico entre RRNN;
- Cálculo do desnível entre as RRNN;
- Comparações e Análises de dados;

## 1.4 ESTRUTURA DE TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 7 capítulos. O primeiro capítulo disserta a parte introdutória, o segundo aborda as justificativas, e o terceiro contempla os objetivos gerais e específicos. O Capítulo 4 apresenta a fundamentação teórica, abordando sobre altitudes, a rede altimétrica de precisão, a parte de GNSS e nivelamento geométrico. O Capítulo 5 descreve os materiais e métodos utilizados, detalhando todo procedimento adotado para geração de resultado e análise deste trabalho, visando mostrar como foi feita a coleta de dados em campo, bem como suas técnicas e processos. O Capítulo 6 apresenta a análise feita sobre a verificação de abalo com integração da técnica por GNSS. O capítulo 7 encerra o presente trabalho informando conclusões gerais sobre as técnicas aplicadas, situando os

resultados obtidos no contexto mais geral e sinérgico, bem como as recomendações e sugestões para a continuidade de pesquisas relacionadas com o tema.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

As Redes Geodésicas são de grande importância, pois proporcionam uma base confiável para realização de levantamentos. Assim, o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) tem como objetivo promover referências geométricas e físicas para os levantamentos precisos, como: mapeamento do território, ordenamento da sua ocupação e implantação e manutenção da infraestrutura logística nacional. Entre as componentes principais do SGB está a componente altimétrica, planimétrica e gravimétrica. Esses produtos são gerenciados pelo Instituto Brasileiro Geografia e Estatística (IBGE), assim como a Rede Altimétrica que é formada por um conjunto de estações geodésicas, denominadas referência de nível, que materializam a componente altimétrica do SGB, a partir de nivelamento geométrico de primeira ordem.

O IBGE também possui a Rede Gravimétrica composta por um conjunto de estações geodésicas, denominadas estações gravimétricas, que contém informações sobre a aceleração da gravidade e as características das estações. E por fim, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), que são um conjunto de estações geodésicas equipadas com receptores GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) de alto desempenho, que proporcionam, uma vez por dia ou em tempo real, observações para a determinação de coordenadas.

### 2.1 REDE ALTIMÉTRICA DE ALTA PRECISÃO- RAAP

A componente vertical do SGB, isto é, o sistema de referência para medição de altitudes no Território Nacional, é realizada por meio de sua Rede Altimétrica de Alta Precisão, sendo denominada RAAP (Figura 1). Ela é formada pelas estações geodésicas altimétricas tradicionalmente denominadas Referências de Nível (RRNN), materializadas como um marco de concreto com chapa incrustada no seu topo, e são implantadas ao longo da malha viária por todo o País. Os desníveis entre as RRNN sucessivas são determinados por meio do chamado nivelamento

geométrico de alta precisão, um método de levantamento geodésico, que permite que a altitude de cada uma delas seja obtida com incerteza de poucos milímetros em relação às altitudes das estações vizinhas (IBGE,2019).

Figura 1 REDE ALTIMÉTRICA DE ALTA PRECISÃO DO BRASIL



Fonte: IBGE (2018)

## 2.2 ALTITUDES

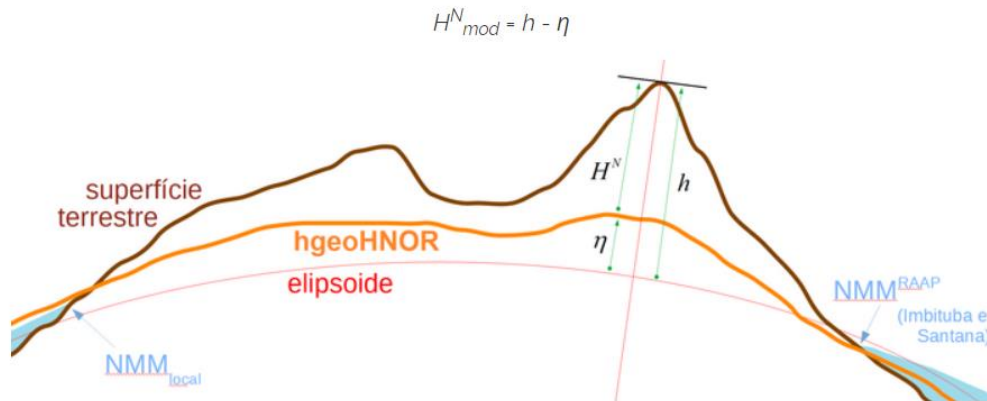
A altitude pode ser definida, de forma simples, como a distância de um ponto sobre a superfície física (SF) da Terra, contada sobre a vertical ou normal, e a superfície de referência ou de altitude zero, por convenção, respectivamente Geóide e Elipsoide (GEMAEL, 1987). Dentro do campo da Geodésia, trabalhamos com alguns tipos de altitudes, dentre eles a altitude elipsoidal e ortométrica-normal. A altitude elipsoidal ou geométrica é a distância contada pela normal a partir do ponto

mensurado na SF até o elipsoide, e a altitude ortométrica é a distância contada a partir do ponto mensurado na SF até o geóide.

A altitude que obtemos utilizando o receptor GNSS não está relacionada ao geóide, um modelo físico, e sim ao elipsoide, um modelo matemático, assim se faz necessário o conhecimento da diferença entre a superfície geoidal e elipsoidal, para que dessa forma consigamos obter a altitude ortométrica, ou seja, a altitude acima do nível médio do mar. Desta forma, para que possamos relacionar a altitude ortométrica com a elipsoidal, é preciso ter o conhecimento da altura geoidal (ou ondulação geoidal), fato que fez com que o IBGE, numa parceria da Coordenação de Geodésia (CGED) com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, produzisse o MAPGEO. Um modelo de ondulação geoidal que possibilita a transformação de altitudes geométricas (em relação ao elipsoide) para ortométricas (em relação ao geóide). Segundo o IBGE, o MAPGEO 2015 foi calculado com uma resolução de 5' de arco, e através deste modelo, obtemos a ondulação geoidal em um ponto ou conjunto de pontos, cujas coordenadas refiram-se ao SIRGAS2000 e estejam compreendidas entre as latitudes de 6°N e 35°S e entre as longitudes de 75°W e 30°W, dentro do território brasileiro. Contudo, esse projeto foi base para o desenvolvimento de um modelo de conversão de altitudes mais recente e aprimorado para melhor adaptação às altitudes vigentes na RAAP, o hgeoHNOR2020.

O novo modelo de conversão do IBGE, hgeoHNOR2020 (Figura 2), fornece novos fatores para a conversão das altitudes obtidas pelos receptores GNSS, resultando em altitudes compatíveis com a gravidade terrestre, mais adequadas para descrever o escoamento de massas líquidas. O novo fator para conversão extraído do modelo ( $\eta$ ) permite, junto com altitudes geométricas ( $h$ ) resultantes de medições GNSS, a obtenção de altitudes normais modeladas ( $H^N_{mod}$ ), sendo  $\eta$  o valor da separação entre o elipsoide de referência das altitudes geométricas em SIRGAS2000 e as superfícies de referência da realização REALT-2018 da componente vertical do SGB, isto é, os dados verticais de Imbituba e Santana. O acesso ao modelo é feito por meio de um serviço de cálculo implementado no portal do IBGE, que facilita a obtenção dos fatores para conversão entre  $h$  e  $H^N$  e respectivas incertezas.

Figura 2 MODELO hgeoHNOR2020



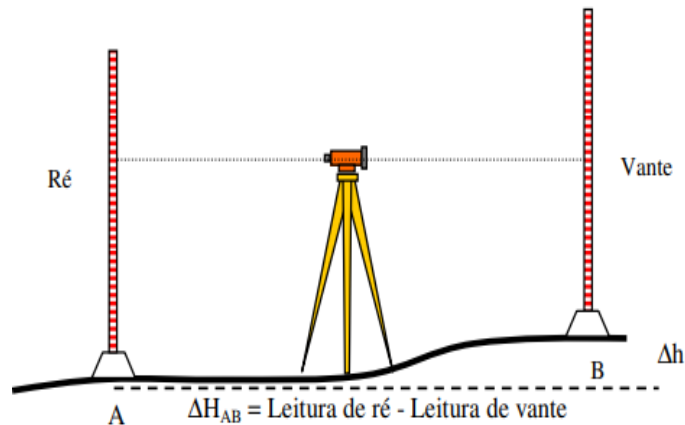
Fonte : IBGE (2021)

### 2.3 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Antes de dar início ao embasamento teórico sobre o método de nivelamento geométrico, para um melhor entendimento dos procedimentos é de fundamental importância à definição de alguns conceitos e termos técnicos utilizados, representados nas figuras a seguir, dentre os quais pode-se citar (MEDEIROS, 1999):

- Estação do Instrumento: Posição ocupada pelo nível na tomada das leituras sobre as miras;
- Visada: leitura da mira executada pelo instrumento na linha de nivelamento, onde uma mesma estação terá que fazer duas visadas, visada de ré (leitura da mira de ré) e visada de vante (leitura da mira de vante);
- Lance: É a medida direta do desnível entre duas miras verticais (estações), distanciadas até 200 m (escala centimétrica) ou até 160m (escala semi centimétrica), obtida pela diferença entre as leituras na mira a ré-e-vante no sentido do percurso (Figura 3) (BRASIL, 1975);

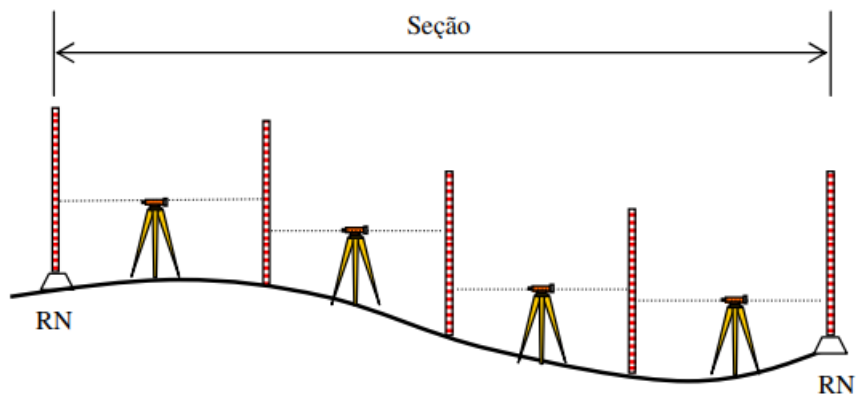
Figura 3 LANCE DE VISADAS IGUAIS



Fonte: Veiga (2012)

- Seção: são trajetos da ordem de 2 a 3 km que são nivelados (seção simples) e contra nivelados (seção dupla). As seções são assinaladas por RRNN nos seus extremos (referências de nível monumentadas) (Figura 4);

Figura 4 SEÇÃO DE UM NIVELAMENTO GEOMÉTRICO



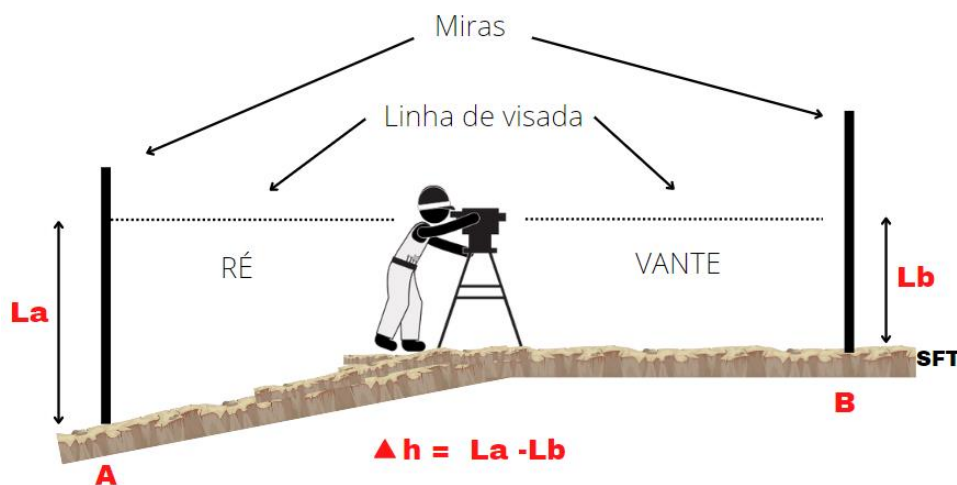
Fonte: Veiga (2012)

- Linha: são composições de seções, ou seja, uma série de diferenças de altitudes medidas. Elas são estabelecidas ao longo de vias de comunicação, preferencialmente ao longo das vias asfaltadas. Seu comprimento varia de 50 a 100 km;
- Circuito: são composições de linhas, de modo que a RN de início da primeira linha seja a mesma RN de término da última linha do circuito. O perímetro máximo deve ser da ordem de 400 km;

- Rede: sistema de enlace ou circuitos que se estendem numa área. No Brasil ela é composta por cerca de 180000 km de linhas. A rede fornece condições para um processo de ajustamento.

O nivelamento geométrico pode ser realizado através dos métodos de visadas iguais, visadas recíprocas, visadas extremas e visadas equidistantes. O procedimento recomendado pela norma para o Nivelamento Geodésico de Alta Precisão é o método das visadas iguais, com o uso do nivelamento e contra-nivelamento (MEDEIROS,1999). Aplicando-se a técnica de visadas iguais ao realizá-lo, minimiza-se o erro de colimação vertical do equipamento e o erro devido à curvatura terrestre (KAHMEN e FAIG, 1988). O desnível entre dois pontos A e B é dado como na Figura 5 e na Equação 1.

Figura 5 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO



Fonte: A autora (2022).

$$\Delta h_{AB} = L_a - L_b \quad (1)$$

Onde:

$\Delta h_{AB}$  é o desnível de A para B;

$L_a$  é a leitura realizada com a mira na posição A (leitura de ré);

$L_b$  é a leitura realizada com a mira na posição B (leitura de vante).

A soma dos desníveis de diversos lances, caracterizando uma seção, fornece o desnível entre ambos os pontos.

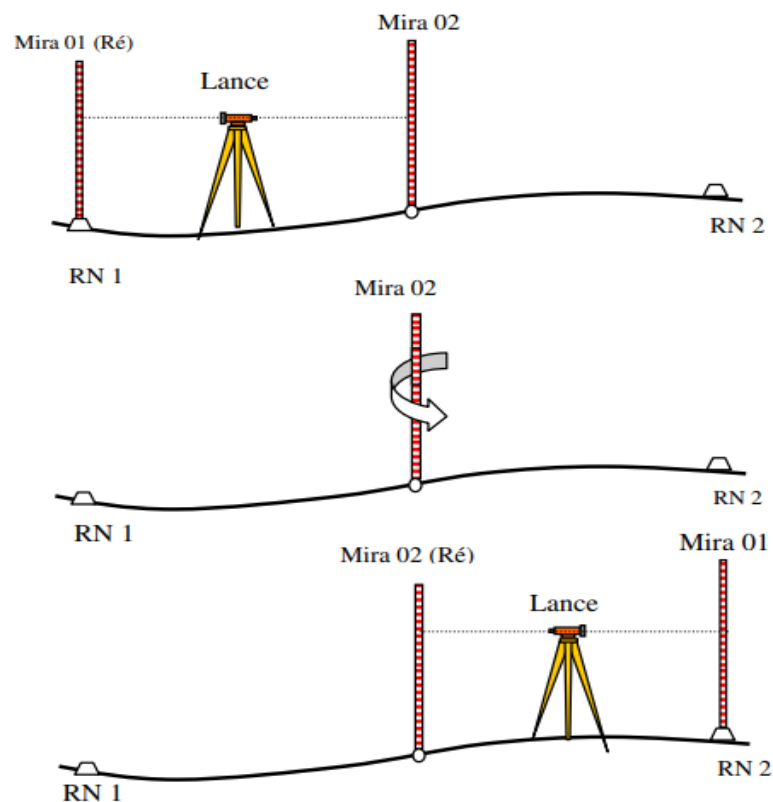
No nivelamento geométrico para a obtenção da diferença de nível entre dois pontos, não se faz necessário centrar o equipamento sobre um ponto físico demarcado. O nivelamento geométrico é utilizado em trabalhos que exijam exatidão e precisão, como implantação de rede altimétrica, controle de obras, locações, entre outros (CARVALHO e NETO, 2019).

### 2.3.1 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DE ALTA PRECISÃO

Para a finalidade de densificação da RAAP e verificação de abalo é especificado pelo IBGE o nivelamento de alta precisão e o científico (para controle geodésico e vinculação entre as Estações Maregráficas), visando evitar a ocorrência de propagação dos erros sistemáticos, efeito de curvatura terrestre e refração atmosférica, entre outros. As especificações recomendadas para nivelamento são:

- Uso de um par de miras de invar com o código de barras, sendo essas utilizadas alternadamente entre ré e vante, de modo que a mira posicionada no ponto de partida (lida a ré) seja a posicionada na RN de chegada (lida a vante), conforme ilustra a Figura 6;

Figura 6 LANCES DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO



Fonte: Veiga (2012)

- Uso de sapatas de ferro no caminhamento, sob as miras com a finalidade de estabilizar a régua sobre o solo.

- Lances com visadas iguais, de modo que as visadas sejam de até 60m de comprimento. Para evitar os efeitos da reverberação, as leituras das miras deverão situar-se acima da marca de 50 cm. No entanto, em caso de terrenos acidentados, com comprimento das visadas inferiores a 10 m, são aceitáveis leituras acima de 20cm (IBGE, 2017).

- Escolha do local para a acomodação das estações deve ser criteriosa e de ocupação breve, evitando comprometimentos nas medidas.

- Para evitar perturbações provenientes de vento, as leituras nas visadas devem ser inferiores a 270 cm, contado a parti do solo.

## 2.4 VERIFICAÇÃO DE ABALO

Com a finalidade de confirmar a permanência, na posição original, das RRNN da RAAP que serão utilizadas como partida e chegada de um novo levantamento, faz-se necessária a chamada verificação de abalo das mesmas.

O procedimento consiste na medição do nivelamento e contranivelamento de um trecho compreendido por três (3) RRNN adjacentes, cujos valores de diferença de nível dessa nova medição sejam comparados com os valores da(s) medição(ões) anterior(es). Caso a diferença entre esses valores seja maior que a tolerância de 3 mm vezes a raiz quadrada da distância em km ( $3\text{mm}\sqrt{\text{km}}$ ), deverá ser feita uma análise para determinar qual RN possivelmente encontra-se abalada, sendo necessária a medição de outras seções existentes até que se encontre uma sequência de 3 RRNN, cujas seções encontram-se dentro da tolerância e assim garanta a utilização da RN do meio desta sequência como partida ou chegada da atividade. (IBGE,2018).

No caso de pausa das atividades de nivelamento por até 15 dias, deve-se realizar o nivelamento em apenas um sentido, nivelamento ou contra, da última seção medida. Se o período for superior ao especificado, deve-se realizar o procedimento completo de verificação de abalo com 3 RRNN sequenciais adjacentes e duas sessões nos dois sentidos (IBGE,2018).

## 2.5 GNSS

O conceito de GNSS é utilizado para designar o posicionamento por satélites com base em toda a infraestrutura. A principal tarefa dos satélites do sistema GNSS consiste em transmitir sinais com informação de navegação e identificação, que são decodificados pelos receptores GNSS. Atualmente, essas informações são moduladas em três frequências. Cada satélite transmite sinais em duas ou três frequências de banda L do espectro, denominadas L1,L2 e L5. As ondas são geradas através da multiplicação eletrônica da frequência fundamental ( $f_0$ ) de 10,23 MHz, produzida por osciladores altamente estáveis (relógios atômicos de césio e rubídio), com estabilidade entre  $10^{12}$  e  $10^{13}$  segundos. (CASTRO,2002)

A eficiência do GPS no posicionamento de alta precisão é indiscutível; contudo, se as coordenadas da estação de referência estiverem eivadas de erros, eles se propagarão nas coordenadas dos pontos determinados a partir dela. (CASTRO,2002). Atualmente existem vários métodos e técnicas para o posicionamento GNSS afim de proporcionar uma boa qualidade e precisão em relação aos dados obtidos.

### 2.5.1 CONSTELAÇÕES UTILIZADAS NO RASTREIO GNSS

Criado pela Associação Internacional de Aviação Civil, o termo GNSS (*Global Navigation Satellite System-Navegação Global por Satélite*) foi utilizado para abordar os sistemas de posicionamento por satélites em 1991. Esses sistemas foram criados com intuito de se conhecer o posicionamento de um determinado objeto ou ponto sobre a superfície terrestre, e com isso obter uma precisão satisfatória para tal posição. O GNSS engloba sistemas operacionais com alcance global, considerando que uma constelação de satélites deve possuir no mínimo 24 satélites posicionados, de forma que um receptor sobre a superfície terrestre consiga o rastreio de pelo menos 4 satélites para se determinar sua posição. Até o momento, os sistemas GNSS operados com alcance global são, o NAVSTAR- GPS (EUA), o GLONASS (URSS), o Galileo (Europeu) e o Beidou (China).

Desenvolvido e comandado pelo Estados Unidos, o NAVSTAR-GPS (*Navigation System with Time and Ranging-Global Positioning System*) foi uma junção de projetos da força aérea americana com a marinha, para uso militar, na

década de 70. Após o sucesso, viu-se um grande potencial para liberar o seu uso para setores não militares. Para melhor operação, o GPS é dividido em três segmentos, denominados de segmento espacial, segmento de controle e segmento de usuário. O GLONASS inicialmente desenvolvido pelo governo soviético em meados da década de 70, teve seu primeiro satélite lançado em 1982. Assim como o GPS é operado por 3 segmentos, o espacial, usuário e controle, sendo esse último diretamente subordinado à força espacial Russa. Diferente dos outros dois sistemas, o GALILEO foi gerado para ser operado por civis, e não teve origem associada ao uso militar. Embora com concepções diferentes, os sistemas de posicionamento globais operantes no mercado possuem tecnologia semelhante no segmento orbital, seguimento solo e gerenciamento do sistema. O Programa Galileo foi estruturado em duas fases principais: Fase de Validação em Órbita e Fase de Capacidade Operacional Completa.

Por último, mas não menos importante, o BEIDOU, sistema global de navegação por satélite implantado pela China, similar ao GPS e GLONASS. Para consolidar essa infraestrutura, o programa percorreu três etapas de execução ao longo de 20 anos. A primeira etapa se deu com o lançamento de apenas 3 satélites nos anos 2000, os quais davam cobertura apenas para o território chinês e países vizinhos. A Segunda etapa foi iniciada em 2007 com o lançamento do Beidou-1 e, por conseguinte, outros lançamentos vieram até a última etapa, que se concluiu em 2020 com o último satélite do programa.

## 2.5.2 ERROS SISTEMÁTICOS NO POSICIONAMENTO GNSS

O posicionamento GNSS, como qualquer outra técnica de medição, sofre uma série de efeitos que implicam na introdução de erros no processamento das coordenadas. Esses erros devem ser reduzidos ou eliminados durante o processamento dos dados através de modelagem e técnicas de observação. Os erros envolvidos nas observações GNSS podem ser divididos em erros provenientes dos satélites, erros na propagação do sinal, erros do receptor/antena e erros da própria estação. Dentre as principais fontes de erros, pode-se destacar (MOREIRA, 2010):

- erro na órbita do satélite;

- erros no relógio do receptor e do satélite;
- refração troposférica;
- refração ionosférica;
- centro de fase da antena;
- efeito de multicaminho;
- perdas de ciclos.

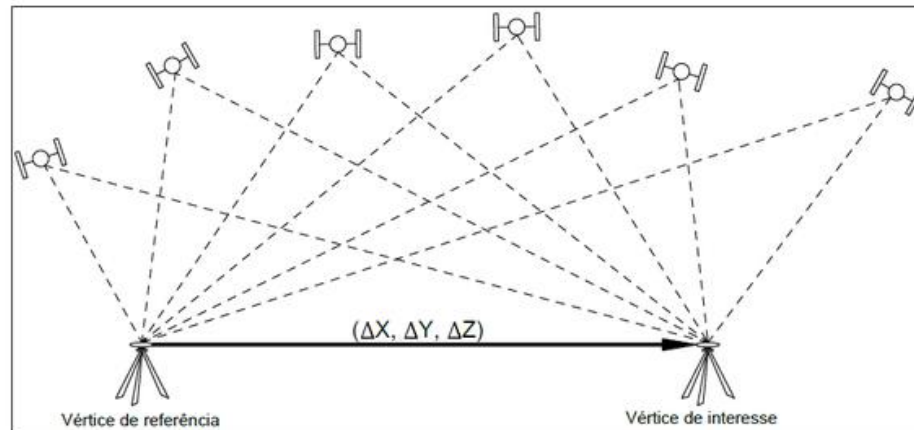
### 2.5.3 MÉTODO DE POSICIONAMENTO POR PONTO E RELATIVO

Posicionamento diz respeito à determinação da posição de objetos com relação a um referencial específico. Pode então ser classificado em posicionamento por ponto ou absoluto, quando as coordenadas estão associadas diretamente ao geocentro, e relativo, no caso em que as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas (MONICO, 2008).

O posicionamento GNSS pode ser realizado por diferentes métodos, escolhido da forma que atenda melhor o serviço proposto. No posicionamento por ponto preciso (absoluto), as coordenadas do vértice de interesse são determinadas de forma absoluta, portanto, dispensa o uso de receptor instalado sobre um vértice de coordenadas conhecidas (INCRA, 2013).

De acordo com Mônico (2008), no Posicionamento Relativo dois ou mais receptores rastreiam simultaneamente os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de dezenas de minutos até algumas horas, pelo fato de haver várias possibilidades de se executar um posicionamento relativo este tipo de posicionamento foi subdividido em quatro grupos: estático, estático-rápido, semicinemático e cinemático.

Figura 7 POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO



Fonte: Incra (2013)

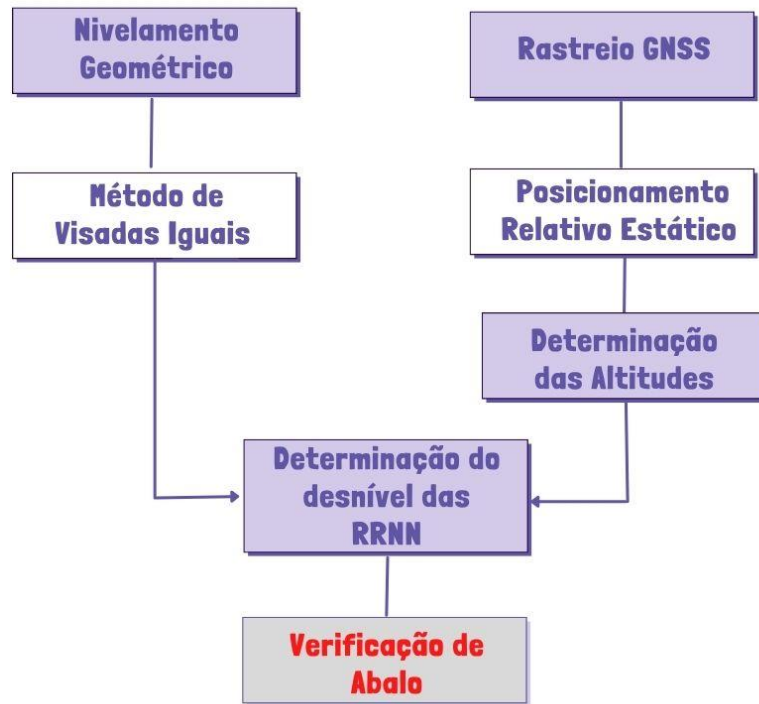
No posicionamento relativo estático (Figura 7), os receptores, sendo um de referência e outro do ponto de interesse, devem estar estacionados durante todo o rastreo simultaneamente, de modo que a sessão de rastreo pode se estender até várias horas. Para o posicionamento estático rápido, o método é o mesmo que o anterior comentado, contudo, a sessão de rastreo em geral é menor do que 20 minutos.

No método de posicionamento semicinemático, o receptor que ocupa o vértice de interesse permanece estático, porém num tempo de ocupação bastante curto, necessitando coletar dados no deslocamento entre um vértice de interesse e outro. 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 (INCRA 2013). E por fim o posicionamento relativo cinemático, no qual um receptor fica no vértice de referência e o outro coleta dados dos pontos de interesse em movimento, que nesse caso pode se dizer o caminhamento.

### 3 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho passou pela etapa de coleta de dados em campo, seu processamento e análises conforme ilustra o fluxograma da Figura 8:

Figura 8 FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA



Fonte: A autora (2022)

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi selecionada de forma a facilitar a coleta de dados. O Centro Politécnico é um importante campus da Universidade Federal do Paraná, localizado no bairro Jardim das Américas na cidade de Curitiba, possuindo uma área de aproximadamente 500 mil metros quadrados. Dentro dele estão implantadas algumas RRNN do IBGE, as quais foram usadas para o estudo em questão. Visando realizar a verificação de abalo, esse local foi propício para a realização desse trabalho pois, as RRNN estão em um local de constante movimentação humana e transformações físicas, fatores estes que podem ter influenciado a ocorrência de abalo nas referências de nível. As RRNN escolhidas foram as de

nomenclatura: 3278C; 3279A; 2053D; 3278B, cuja localização está ilustrada na Figura 9:

Figura 9 ÁREA DE LOCALIZAÇÃO DAS RRNN NO CENTRO POLITÉCNICO-UFPR



Fonte: Adaptado de CAMPUSMAP (2022).

### 3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a execução desse trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais:

Nivelamento geométrico:

- 1 Nível digital Leica DNA03;
- 2 Miras de invar;
- 4 balizas;
- 1 tripé;
- 2 Sapatas de ferro;
- Caderneta de campo.

Rastreio GNSS:

- 1 Antena GPS LEICA TX900;
- 1 Bastão Leica;
- 1 Bipé.

Coordenadas de Referência Temporal:

- Monografias geradas pelo IBGE.

### 3.3 MÉTODOS

Antes de iniciar com a coleta de dados em campo, foram escolhidas as RRNN que participariam do estudo, bem como foi definido o caminhamento a ser seguido para a obtenção dos desníveis com o nivelamento geométrico. A Figura 10 mostra as RRNN adjacentes saindo de uma RN central bem como o trajeto a ser seguido no nivelamento. Ao todo foram realizadas três seções de nivelamento geométrico, sendo a primeira entre a RN3878C-RN3278B, segunda entre RN3278C-RN3279A e por último entre a RN3278C-RN2053D.

Figura 10 TRAJETO DAS 3 SEÇÕES DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO



Fonte: Adaptado de CAMPUSMAP (2022)

### 3.4 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Para a realização do nivelamento geométrico foi utilizado o método de visadas iguais, com visada máxima de até 60 metros, como estipula o IBGE. Para o ponto de partida do nivelamento, foi escolhido a RN3278C devido a sua localização estratégica, parcialmente no meio entre as outras três RRNN adjacentes. Foram escolhidos também pontos estratégicos para fazer a visada de cada lance.

Como as medidas foram feitas com o uso de um equipamento digital, a somatória dos desníveis forneceu o desnível total, sendo que neste método os desníveis são obtidos entre a posição da mira e o equipamento, e assim por diante.

Para a primeira seção de nivelamento, uma mira foi posta sobre a RN3278C, com o uso de duas balizas entrelaçadas de modo a deixar o mais estável possível para a leitura do fio nivelador. Em seguida foi instalada a estação do equipamento, na distância média entre as duas réguas utilizando o tripé. Por fim, para completar o primeiro lance foi montada a segunda mira, mas essa com o uso da sapata (equipamento de ferro utilizado para garantir a estabilidade da mira) e também com duas balizas entrelaçadas. Após a instalação do nível e miras, se fez a leitura da distância e do fio nivelador com o nível digital. O nivelamento prosseguiu desse modo com apenas dois lances para chegar na estação da RN3278B, posteriormente foi realizado o contra-nivelamento, sendo que a mira e a estação eram posicionadas em um local distinto ao do nivelamento. Esse procedimento foi realizado com o intuito de validar os dados, ou seja, tornar possível a verificação do erro de fechamento do nivelamento geométrico e análise de verificação de abalo.

A seção dois, foi dada entre a RN 3278C e RN3279A, pelo mesmo método apresentado anteriormente, por visadas iguais, onde o nivelamento partiu da estação principal e o contranivelamento partiu da RN3279A. Nesta seção, devido à localização e andamento do nivelamento, optamos por fazer lances mais curtos, para obter o resultado esperado. A terceira e última seção foi dada entre a RN 3278C e RN2053D, que também por motivos de localização e distanciamento, foram estabelecidos lances distintos uns dos outros, para se obter melhor resultado. Ressaltando que os lances nas três seções foram feitos com no máximo 60 metros de visada, a fim de evitar os efeitos da curvatura terrestre e da refração atmosférica.

Para a realização do nivelamento geométrico (Figura 11), foram necessários apenas 2 dias em campo, no período da tarde, levando em consideração a distância entre uma RN e outra, que é relativamente curta, o que facilitou a coleta de dados para o andamento da presente pesquisa. Para a finalização dos cálculos do nivelamento geométrico, foi utilizado o software Excel.

Figura11 REALIZAÇÃO DO NIVELAMENTO GEOMÉTRICO EM CAMPO



Fonte: A autora (2022)

Com o uso do software Excel foram realizados os cálculos para obtenção dos desníveis para cada seção considerando os dados do nivelamento e contra nivelamento, bem como a verificação do erro de fechamento em função do erro máximo permitido ou tolerância. Após estes cálculos, foi possível comparar os desníveis obtidos com os desníveis obtidos pelo IBGE.

O processo de cálculo do desnível se deu pela diferença do fio nivelador entre ré e vante de cada lance, como apresentado na equação 2.

$$DNAB = FNré - FNvante \quad (2)$$

Onde:

$DNAB$  = Diferença de Nível no lance entre ponto A e B;

$FNré$  = Fio nivelador lido em Ré;

$FNvante$  = Fio Nivelador lido em Vante.

A seguir foi realizado o somatório total dos desníveis e das distâncias, tanto para o nivelamento como para seu respectivo contranivelamento, utilizando a equações 3 e 4.

$$DN\ Total = \sum(DNAB...DNnn) \quad (3)$$

$$Dist\ Total = \sum(Dist.\ AB...Dist.\ nn) \quad (4)$$

Onde:

*DN total* = Desnível Total;

*Dist Total* = Distância Total.

Para verificar os procedimentos de campo, foi praticada a comparação dos desníveis obtidos entre o nivelamento e o contra-nivelamento, calculando o erro cometido. Essa verificação foi realizada utilizando a Equação 5.

$$Ec = | (DNtotal)\ NIV - (DN\ total)\ CON | \quad (5)$$

Onde:

*Ec* = Erro cometido entre o nivelamento e contra-nivelamento

Em seguida, foi feito o cálculo de erro permitido (Equação 6), para verificar se as seções de nivelamento atendiam a tolerância proposta pela norma do IBGE.

$$EP = 3mm\sqrt{K} \quad (6)$$

Onde:

*EP* = Erro ou tolerância máxima permitido;

*K* = Média da distância total da seção percorrida em quilômetros.

### 3.5 RASTREIO GNSS

A parte de campo para o rastreo GNSS é bem otimizada, sendo necessário apenas configurar a antena e deixar instalado sobre o ponto de interesse. Para a análise do desnível por posicionamento GNSS, realizou-se o rastreo e processamento de dados referente as quatros RRNN do estudo. Foi instalado o receptor GPS LEICA TX900 em cada RN, nas quais ficou em modo estático por 1 hora, sobre um bastão com 2 m de altura (Figura 12). Como configurações para o levantamento foi estipulado um ângulo de elevação de 10° para evitar a influência de obstruções existentes abaixo desta elevação, e o intervalo de gravação de dados

em 1" (um segundo). Após o rastreio, os dados obtidos foram processados no software Infinity da Leica definindo o posicionamento como relativo estático.

O receptor adotado como base foi a estação UFPR que compõe as estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), também localizada dentro do campus Centro Politécnico, configuração esta que na teoria é relativamente favorável à precisão dos resultados, pois é uma linha de base considerada curta entre o que chamamos de rover (as RRNN) e base (RBMC). Todo o dado referente a RBMC foi obtido via portal do IBGE.

Figura12 RASTREIO GNSS EM CAMPO



RN 3279A

RN 3278C

RN 2053D

RN 3278B

Fonte: A autora (2022)

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, considerando os objetivos desse projeto, serão apresentados os resultados obtidos pelo nivelamento geométrico, e o rastreio GNSS das RRNN. O objetivo é o de que os valores de diferença de nível dessas novas medições sejam comparados com os valores da medição anterior, ou seja, aos dados extraídos das monografias disponibilizadas pelo IBGE.

#### 4.1 RESULTADOS OBTIDOS DO NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Realizando a metodologia descrita no item 3.4 e considerando as orientações da norma do IBGE (IBGE, 2017), os resultados obtidos para o nivelamento geométrico são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3 a seguir:

Tabela 1. RESULTADOS OBTIDOS NA 1ª SEÇÃO DE NIVELAMENTO.

<b>NIVELAMENTO RN3278C-RN3278B</b>					
Estação	Distância Ré (m)	Distância Vante (m)	Fio Nivelador		Desnível
			Ré	Vante	
RN3278C-A	59,090	61,560	2,249	1,628	0,620
A-RN3279N	46,350	47,170	2,488	0,816	1,673
Distancia Total (m)	214,170		Desnivel Total (m) :		2,293
<b>CONTRA-NIVELAMENTO RN3278C-RN3278B</b>					
Estação	Distância Ré (m)	Distância Vante (m)	Fio Nivelador		Desnível
			Ré	Vante	
RN3279N-A	47,020	46,650	0,834	2,506	-1,672
A-RN3878C	61,360	59,230	1,636	2,255	-0,620
Distância Total (m)	214,260		Desnivel Total (m) :		-2,292
Distância média Total :	214,215	m	Calculo dos Erros	Erro Permitido 3mm*RAIZ(K)	1,389
	0,214	km		<b>Erro Cometido</b>	<b>0,00084 m</b>
<b>Desnivel Médio (m)</b>	<b>2,293</b>				<b>0,840 mm</b>

Fonte: A autora (2022)

A tabela 1 apresenta todos os dados obtidos em campo no nivelamento geométrico da primeira seção (RN3278C-RN3278B), como a leitura do fio nivelador e distâncias de ré e vante. Posteriormente foi realizado o cálculo dos desníveis obtidos em cada lance e o somatório das distâncias, completando pôr fim a planilha com os cálculos necessários para a obtenção do erro permitido e erro cometido. Nos resultados gerados da primeira seção, é possível analisar que o nivelamento foi bem-sucedido pois o erro de fechamento cometido ficou abaixo da tolerância máxima permitida.

Tabela 2 RESULTADOS OBTIDOS NA 2ª SEÇÃO DE NIVELAMENTO.

<b>NIVELAMENTO RN3278C-RN2379A</b>					
Estação	Distância Ré (m)	Distância Vante (m)	Fio Nivelador		Desnível
			Ré	Vante	
RN3278C-A	48,850	49,860	1,502	1,581	-0,079
A-B	31,850	30,350	0,920	2,158	-1,238
B-C	26,320	26,480	0,711	2,058	-1,346
C-RN3279A	30,300	29,100	0,704	1,547	-0,843
Distancia Total (m)	273,110		Desnivel Total (m) :		-3,507
<b>CONTRA-NIVELAMENTO RN3278C-RN3279A</b>					
Estação	Distância Ré (m)	Distância Vante (m)	Fio Nivelador		Desnível
			Ré	Vante	
RN3279A-C	29,100	30,300	1,546	0,703	0,843
C-B	27,120	26,930	2,097	0,728	1,369
B-A	29,410	30,390	2,277	1,076	1,202
A-RN3278C	49,120	49,610	1,683	1,590	0,093
Distância Total (m)	271,980		Desnivel Total (m) :		3,507
Distância média Total :	272,545	m	Calculo dos Erros	Erro Permitido 3mm*RAIZ(K)	1,566
	0,273	km		<b>Erro Cometido</b>	<b>0 m</b>
<b>Desnivel Médio (m)</b>		<b>3,507</b>			<b>0,000 mm</b>

Fonte: A autora (2022)

Assim como a tabela anterior, a tabela 2 apresenta os dados da segunda seção de nivelamento, feita entre as RN3278C e RN3279A. Essa seção foi a que apresentou o melhor resultado, tendo em vista que o erro cometido apresentou um valor zero, mostrando que o nivelamento e contranivelamento não apresentaram nenhum problema durante sua execução.

Tabela 3 RESULTADOS OBTIDOS NA 3º SEÇÃO DE NIVELAMENTO.

<b>NIVELAMENTO RN3278C-RN2053D</b>					
Estação	Distância Ré (m)	Distância Vante (m)	Fio Nivelador		Desnível
			Ré	Vante	
RN3278C-A	49,600	49,130	1,582	1,675	-0,093
A-B	26,600	25,120	1,690	0,912	0,778
B-C	16,500	17,110	1,876	1,088	0,788
C-RN2053D	22,910	22,930	1,961	0,790	1,171
Distancia Total (m)	229,900		Desnivel Total (m) :		2,644
<b>CONTRA-NIVELAMENTO RN3278C-RN2053D</b>					
Estação	Distância Ré (m)	Distância Vante (m)	Fio Nivelador		Desnível
			Ré	Vante	
RN2053D-C	22,920	22,910	0,791	1,962	-1,171
C-B	15,690	15,970	1,146	1,833	-0,687
B-A	26,430	26,980	0,770	1,624	-0,854
A-RN3278C	49,740	48,090	1,626	1,559	0,068
Distância Total (m)	228,730		Desnivel Total (m) :		-2,644
Distância média Total :	229,315	m	Calculo dos Erros	Erro Permitido 3mm*RAIZ(K)	1,437
	0,229	km		<b>Erro Cometido</b>	<b>0,000190 m</b>
<b>Desnivel Médio (m)</b>	<b>2,644</b>				<b>0,190 mm</b>

Fonte: A autora (2022)

A tabela 3 expressa os resultados derivados da terceira seção de nivelamento (RN3278C-RN2053D), que assim como as outras, também obteve resultados satisfatórios, uma vez que o erro cometido ficou menor que 1 milímetro.

#### 4.2 RESULTADOS OBTIDOS POR RASTREIO GNSS

Após o rastreo de dados GNSS em cada RN, o processamento foi realizado de maneira a obter os dados que vão servir para as análises seguintes. Com o processamento obtemos além das coordenadas horizontais (latitude e longitude) e da altitude elipsoidal do ponto, as informações sobre a qualidade do rastreo e suas respectivas precisões. Todavia, salienta-se que houve alguns problemas durante o processamento devido a episódios de perda de sinal, o que acaba afetando a qualidade do rastreo. Porém, mesmo com problemas de perda de sinal, o processamento ocorreu fixando seus valores dentro de um parâmetro aceitável. As coordenadas processadas das RRNN bem como seu respectivo desvio padrão (DP) são apresentadas nas Tabelas 4, 5, 6 e 7.

Tabela 4 COORDENADAS PROCESSADAS RN3279A

<b>RN3279A</b>			
<b>Latitude</b>	25° 27' 09,54" S	DP:	0,0008 m
<b>Longitude</b>	49° 14' 05,58" W	DP:	0,0006 m
<b>E (m)</b>	677.801.478	DP:	0,0014 m
<b>N(m)</b>	7.183.920.104	DP:	0,0015 m
<b>Altit. Geom. (h)</b>	912,2682 m	DP:	0,0021 m

Fonte: A autora (2022)

Tabela 5 COORDENADAS PROCESSADAS RN3278B

<b>RN3278B</b>			
<b>Latitude</b>	25° 27' 09,54" S	DP:	0,0002 m
<b>Longitude</b>	49° 14' 05,58" W	DP:	0,0002 m
<b>E (m)</b>	677.477.128	DP:	0,0003 m
<b>N(m)</b>	7.183.754.456	DP:	0,0004 m
<b>Altit. Geom. (h)</b>	918,0939 m	DP:	0,0005 m

Fonte: A autora (2022)

Tabela 6 COORDENADAS PROCESSADAS RN3278C

<b>RN3278C</b>			
<b>Latitude</b>	25° 27' 06,99" S	DP:	0,0006 m
<b>Longitude</b>	49° 14' 00,22" W	DP:	0,0005 m
<b>E (m)</b>	677.627.808	DP:	0,0008 m
<b>N(m)</b>	7.183.830.669	DP:	0,0011 m
<b>Altit. Geom. (h)</b>	915,7810 m	DP:	0,0014 m

Fonte: A autora (2022)

Tabela 7 COORDENADAS PROCESSADAS RN2053D

<b>RN2053D</b>			
<b>Latitude</b>	25° 27' 11,64" S	DP:	0,0004 m
<b>Longitude</b>	49° 13' 58,29" W	DP:	0,0004 m
<b>E (m)</b>	677.679.883	DP:	0,0006 m
<b>N(m)</b>	7.183.687.127	DP:	0,0008 m
<b>Alt. Geom. (h)</b>	918,4355 m	DP:	0,0009 m

Fonte: A autora (2022)

#### 4.3 DADOS OBTIDOS POR MONOGRAFIA DO IBGE

As monografias com os dados de cada RN da RAAP, encontram-se disponibilizadas no site do IBGE, e delas é possível extrair as informações necessárias para possíveis estudos, como este. Vale ressaltar que a altitude apresentada nas monografias disponibilizadas pelo IBGE, são as altitudes normais, calculadas a partir do ajustamento dos números geopotenciais obtidos a partir de nivelamento geométrico associado com gravimetria. As Figuras 13, 14, 15 e 16 ilustram parte das monografias das RRNN utilizadas neste trabalho:

Figura 13 DADOS DA RN3279A VIA IBGE

<i>Estação :</i>	3279A	<i>Nome da Estação :</i>	3279A	<i>Tipo :</i>	Referência de Nível - RN
<i>Município :</i>	CURITIBA			<i>UF :</i>	PR
<i>Última Visita:</i>	19/08/2003	<i>Situação Marco Principal :</i>	BOM	<i>Última Atualização :</i>	30/07/2018
<i>Conexões :</i>	EG : 8113294			<i>Inscrição chapa :</i>	
<b>DADOS PLANIMÉTRICOS</b>		<b>DADOS ALTIMÉTRICOS</b>		<b>DADOS GRAVIMÉTRICOS</b>	
<i>Latitude</i>	25° 27' 04,00" S	<i>Altitude Normal(m)</i>	908,2039	<i>Gravidade(mGal)</i>	978.761,65
<i>Longitude</i>	49° 13' 54,00" W	<i>Fonte</i>	Nivelamento Geométrico	<i>Datum</i>	RGFB
<i>Fonte</i>	GPS Navegação	<i>Sigma Altitude(m)</i>	0,044	<i>Data Medição</i>	25/06/2003
<i>Origem</i>	Transformada	<i>Datum</i>	Imbituba	<i>Data Cálculo</i>	22/11/2011
<i>Datum</i>	SIRGAS2000	<i>Data Medição</i>	19/08/2003		
<i>Data Medição</i>	19/08/2003	<i>Data Cálculo</i>	30/07/2018		
<i>Data Cálculo</i>		<i>Número Geopotencial (m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)</i>	8.889,924		
<i>Sigma Latitude(m)</i>					
<i>Sigma Longitude(m)</i>					
<i>UTM(N)</i>	7.183.920				
<i>UTM(E)</i>	677.803				
<i>MC</i>	-51				

Fonte: Adaptado de IBGE.

Figura 14 DADOS DA RN3278B VIA IBGE

<i>Estação :</i>	3278B	<i>Nome da Estação :</i>	3278B	<i>Tipo :</i>	Referência de Nível - RN
<i>Município :</i>	CURITIBA			<i>UF :</i>	PR
<i>Última Visita:</i>	18/08/2003	<i>Situação Marco Principal :</i>	BOM	<i>Última Atualização :</i>	30/07/2018
<i>Conexões :</i>	EG : 8113276			<i>Inscrição chapa :</i>	
<b>DADOS PLANIMÉTRICOS</b>		<b>DADOS ALTIMÉTRICOS</b>		<b>DADOS GRAVIMÉTRICOS</b>	
<i>Latitude</i>	25° 27' 10,00" S	<i>Altitude Normal(m)</i>	914,0169	<i>Gravidade(mGal)</i>	978.760,39
<i>Longitude</i>	49° 14' 06,00" W	<i>Fonte</i>	Nivelamento Geométrico	<i>Datum</i>	RGFB
<i>Fonte</i>	GPS Navegação	<i>Sigma Altitude(m)</i>	0,044	<i>Data Medição</i>	24/06/2003
<i>Origem</i>	Transformada	<i>Datum</i>	Imbituba	<i>Data Cálculo</i>	22/11/2011
<i>Datum</i>	SIRGAS2000	<i>Data Medição</i>	18/08/2003		
<i>Data Medição</i>	18/08/2003	<i>Data Cálculo</i>	30/07/2018		
<i>Data Cálculo</i>		<i>Número Geopotencial (m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)</i>	8.946,818		
<i>Sigma Latitude(m)</i>					
<i>Sigma Longitude(m)</i>					
<i>UTM(N)</i>	7.183.740				
<i>UTM(E)</i>	677.465				
<i>MC</i>	-51				

Fonte: Adaptado de IBGE.

Figura 15 DADOS DA RN3278C VIA IBGE

Estação :	3278C	Nome da Estação :	3278C	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	CURITIBA			UF :	PR
Última Visita:	19/08/2003	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	30/07/2018
Conexões :	EG : 8113275			Inscrição chapa :	
<b>DADOS PLANIMÉTRICOS</b>		<b>DADOS ALTIMÉTRICOS</b>		<b>DADOS GRAVIMÉTRICOS</b>	
Latitude	25° 27' 07,00" S	Altitude Normal(m)	911,7085	Gravidade(mGal)	978.760,99
Longitude	49° 14' 00,00" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,044	Data Medição	24/06/2003
Origem	Transformada	Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	19/08/2003		
Data Medição	19/08/2003	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Cálculo		Número Geopotencial (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	8.924,225		
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	7.183.830				
UTM(E)	677.634				
MC	-51				

Fonte: Adaptado de IBGE.

Figura 16 DADOS DA RN2053D VIA IBGE

Estação :	2053D	Nome da Estação :	2053D	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	CURITIBA			UF :	PR
Última Visita:	02/07/2015	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	30/07/2018
Conexões :	EG : 8113274			Inscrição chapa :	RN 2053D
<b>DADOS PLANIMÉTRICOS</b>		<b>DADOS ALTIMÉTRICOS</b>		<b>DADOS GRAVIMÉTRICOS</b>	
Latitude	25° 27' 12,00" S	Altitude Normal(m)	914,3544	Gravidade(mGal)	978.760,41
Longitude	49° 13' 59,00" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,043	Data Medição	24/06/2003
Origem	Transformada	Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	22/08/1983		
Data Medição	02/07/2015	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Cálculo		Número Geopotencial (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	8.950,121		
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	7.183.676				
UTM(E)	677.660				
MC	-51				

Fonte: Adaptado de IBGE.

#### 4.4 COMPARAÇÕES DE DESNIVEIS

Para a construção de uma análise, as tabelas 8, 9 e 10 apresentam os valores de desníveis obtido em cada seção de nivelamento, nos respectivos métodos abordados.

Tabela 8 DESNÍVEL POR NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

DESNÍVEL NIVELAMENTO	
Estações	Desnível Niv. (m)
RN3278C-RN3278B	2,293
RN3278C-RN3279A	3,507
RN3278C-RN2053D	2,644

Fonte: A autora (2022)

Tabela 9 DESNÍVEL POR GNSS

<b>DESNÍVEL GNSS</b>	
<b>Estações</b>	<b>Desnível GNSS (m)</b>
RN3278C-RN3278B	2,313
RN3278C-RN3279A	3,513
RN3278C-RN2053D	2,655

Fonte: A autora (2022)

Tabela 10 DESNÍVEL POR IBGE

<b>DESNÍVEL IBGE</b>	
<b>Estações</b>	<b>Desnível IBGE (m)</b>
RN3278C-RN3278B	2,308
RN3278C-RN3279A	3,505
RN3278C-RN2053D	2,646

Fonte: A autora (2022)

Para a construção de uma análise as comparações a seguir seguem a ideia de que é necessário comparar os desníveis obtidos via nivelamento geométrico atual e via GNSS com dados anteriores, ou seja, os oriundos do IBGE. Mas também ressaltando que temos como parâmetro de melhor qualidade o desnível obtido pelo nivelamento geométrico atual, e com isso também será apresentado a comparação desse com o desnível obtido por rastreamento GNSS, de forma a gerar uma melhor observação dos resultados com os diferentes métodos.

Tabela 11 DIFERENÇA DE DESNÍVEL ENTRE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO ATUAL E IBGE

<b>Estações</b>	<b>Desnível IBGE (m)</b>	<b>Desnível Niv. (m)</b>	<b>Discrepância (cm)</b>	<b>Discrepância (mm)</b>
RN3278C-RN3278B	2,308	2,293	1,589	15,890
RN3278C-RN3279A	3,505	3,507	0,226	2,260
RN3278C-RN2053D	2,646	2,644	0,178	1,775

Fonte: A autora (2022)

Na tabela 11 observamos que a comparação entre os desníveis obtidos no nivelamento geométrico atual e os antigos obtidos a partir das altitudes conhecidas das RRNN, apresentou uma diferença entre o caminhar da RN3278C e

RN3278B, sendo essa diferença maior do que a tolerância calculada, apresentada na tabela 1, que seria de 1,3885mm.

Tabela 12 DIFERENÇA DE DESNÍVEL ENTRE GNSS E IBGE

Estações	Desnível IBGE (m)	Desnível GNSS (m)	Discrepância (m)	Discrepância (cm)
RN3278C-RN3278B	2,308	2,3129	0,0045	0,450
RN3278C-RN3279A	3,505	3,5128	0,0082	0,820
RN3278C-RN2053D	2,646	2,6545	0,0086	0,860

Fonte: A autora (2022)

Conforme os cálculos apresentados na tabela 12, observamos que entre a comparação de desnível obtida por rastreamento GNSS e pelo IBGE não houve discrepância alarmante, e que conforme a norma sobre a verificação de abalo, com esse resultado não seria necessária uma nova medição com mais 3 RRNN adjacentes.

Tabela 13 DIFERENÇA DE DESNÍVEL ENTRE GNSS E NIVELAMENTO GEOMÉTRICO ATUAL

Estações	Desnível GNSS (m)	Desnível Niv. (m)	Discrepância (cm)	Discrepância (mm)
RN3278C-RN3278B	2,313	2,293	2,039	20,390
RN3278C-RN3279A	3,513	3,507	0,594	5,940
RN3278C-RN2053D	2,655	2,644	1,038	10,375

Fonte: A autora (2022)

Por fim na última comparação temos a diferença de desnível obtidas pelas duas medições atuais, sendo uma por rastreamento GNSS e outra pelo nivelamento geométrico. Essa comparação se torna interessante, pois é a que mostrou mais diferenças entre os desníveis calculados. É observado que houve duas discrepâncias significativas entre os três caminhamentos, sendo uma entre a RN3278C-RN3278B e RN3278C-RN2053D.

Como relatado anteriormente, os desníveis obtidos pelo nivelamento geométrico são considerados como parâmetro de qualidade, pois é a técnica que apresenta melhor precisão para tal medida. As discrepâncias obtidas via GNSS ficaram na casa do centímetro, não resultando no esperado, que era no máximo na casa do milímetro, mas esse fato pode ser resultado devido à inúmeros erros sistemáticos que contemplam o sistema GNSS, como abordado no item 2.5.2. Outro

fator pode ser a ocorrência do efeito de multicaminho durante o rastreo, sendo que as RRNN se encontram ao lado de grandes edificações e arborização. Contudo, e de fato curioso, na RN3278B se obteve uma discrepância de 15,890 mm entre o nivelamento geométrico atual e as anteriores via IBGE, e na comparação entre a medida feita por GNSS e a de referência do IBGE, ela não apresentou alteração significativa.

Em uma ideologia teórica o esperado seria de que entre as 3 comparações, duas se mantivessem com discrepância (tabela 11 e tabela 12) e uma em total concordância (tabela 13), mas não foi o que ocorreu. Contudo, em pelo menos duas sessões se mostrou que entre o caminhamento da RN3278C e RN3278B houve diferença de na casa do centímetro, e seguindo a normativa dada pelo IBGE, o ideal é medir o desnível de mais 3 RRNN adjacentes a partir da RN3278B para concretizar um possível abalo.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES**

O presente trabalho teve como objetivo geral realizar a verificação de abalo de RRNN, dentro do Centro Politécnico, seguindo a norma padrão imposta pelo IBGE, e também investigar o uso de posicionamento GNSS como alternativa à verificação. Para a execução da proposta pesquisa, foi necessário a revisão de diversas referências, conceitos e métodos visando a aplicação prática dos mesmos. Na realização de nivelamento geométrico em campo não houve nenhum problema ou dificuldade para execução do mesmo, visto que, a conclusão de fechamento de erros em relação aos desníveis foi totalmente satisfatória.

Para a verificação de abalo em questão, com o método de nivelamento geométrico, foi possível analisar que houve uma discrepância de 15,890 mm entre o desnível da RN3278C e RN3278B, quando comparado com desnível de medições anteriores, e que seguindo pela norma, seria necessário fazer mais seções de nivelamento para concretizar de fato o abalo comentado. Vale ressaltar que tal nivelamento não foi executado por falta de tempo necessário a aplicação do estudo.

Para a análise do uso do GNSS como alternativa a verificação de abalo, houve uma expectativa de que as discrepâncias entre as diferenças de desnível de altitude pudessem estabelecer um grau de confiabilidade para o uso de tal método,

porém não houve essa concretização. Ao comparar as medidas realizadas entre o nivelamento geométrico e o rastreamento GNSS, constatou-se diferenças na casa dos centímetros em duas sessões das RRNN, o que impossibilita o estabelecimento de um grau de confiabilidade de acordo com o erro permitido para um nivelamento de 1ª ordem. Como abordados existem fatores que podem ter ocasionado tal discrepância, o que dá embasamento para não descartar totalmente a metodologia como alternativa ao estudo.

Recomenda-se para trabalhos futuros realizar o nivelamento geométrico em mais três RRNN adjacentes à RN3278B de modo que possa verificar de fato o possível abalo sobre essa estação. Quanto ao uso de posicionamento GNSS, recomenda-se para futuras investigações, o estabelecimento de maior período de tempo sobre as RRNN, de modo que possa obter mais informação de observações dos satélites para melhor qualidade dos resultados, bem como um melhor operador sobre o software de processamento, para que assim não haja problemas em ajustes quando necessários.

## REFERÊNCIAS

CARVALHO, M. T. B.; COSTA NETO V. J. Análise Comparativa das Altitudes Normais Obtidas Por Nivelamento Geométrico e Posicionamento GNSS em um Trecho de Rodovia. Trabalho de Graduação (Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia 2019.

CASTRO, A. L. P. de. Nivelamento através do GPS: avaliação e proposição de estratégias. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, São Paulo.

IBGE. Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro. Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em:

[ftp://geofp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/normas/normas\\_levantamentos\\_geodesicos.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/normas_levantamentos_geodesicos.pdf).

IBGE. Modelo hgeoHNOR2020 para conversão de altitudes geométricas em altitudes normais, Coordenação de Geodésia. - Rio de Janeiro, 2021.

IBGE. Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais. 2019. 2ª Edição. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf>.

KAHMEN, H., Faig, W. Surveying. Berlin. 1988. Ed. de Gruyter

MANUAL TÉCNICO DE POSICIONAMENTO, Georreferenciamento de Imóveis Rurais (INCRA), 1ª ed. informação e documentação – referências – elaboração. Brasília, 2013.

MEDEIROS, Z. Considerações sobre a Metodologia de Levantamentos Altimétricos De Alta Precisão e propostas para sua Implementação Tese (Mestrado), Curitiba, 1999.

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

MOREIRA, M D. Rede de Referência Altimétrica para avaliação da Altimetria por Satélites e Estudos Hidrológicos na Região Amazônica. Tese (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

NICACIO, E.; DALAZOANA, R. Comparação entre Abordagens Absolutas e Relativa em Determinação Altimétrica Baseadas em Observações GNSS e Modelos Globais do Geopotencial. Revista Brasileira de Cartografia, Curitiba, 2018.

NICACIO, E.; SANTACRUZ JARAMILLO, A. G.; ZANETTI, G. Z.; FAGGION, P. L. Avaliação de técnicas de nivelamento e métodos de posicionamento GNSS para determinação de desnível de primeira ordem. R. bras. Geom., Curitiba, v.6, n.4, p.274-293, out/dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>.

PALMEIRO, S. A. Integração de informações do SGB em um Sig, Visando a realização do Sistema Vertical do Sirgas. Tese (Mestrado em Ciências Geodésicas), Setor da Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.