

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA

Atilio Efrain Bica Grondona

**REDE DE REFERÊNCIA ALTIMÉTRICA PARA SUPORTE A MEDIÇÃO DO  
NÍVEL DO MAR NA PLATAFORMA MARÍTIMA DE BALNEÁRIO  
RINCÃO (SC)**

Porto Alegre  
Março de 2020

Atilio Efrain Bica Grondona

**REDE DE REFERÊNCIA ALTIMÉTRICA PARA SUPORTE A MEDIÇÃO DO  
NÍVEL DO MAR NA PLATAFORMA MARÍTIMA DE BALNEÁRIO  
RINCÃO (SC)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo graduando em Engenharia Cartográfica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Geremia Nievinski

Porto Alegre  
Março de 2020

### CIP - Catalogação na Publicação

Grondona, Atilio Efrain Bica  
Rede de Referência Altimétrica para Suporte a  
Medição do Nível do Mar na Plataforma Marítima de  
Balneário Rincão (SC) / Atilio Efrain Bica Grondona.  
-- 2020.  
128 f.  
Orientador: Felipe Geremia Nievinski.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto  
de Geociências, Curso de Engenharia Cartográfica,  
Porto Alegre, BR-RS, 2020.

1. GNSS. 2. Marégrafo. 3. Altimetria. 4.  
Nivelamento Geométrico. 5. Nível médio dos mares. I.  
Nievinski, Felipe Geremia, orient. II. Título.

Atilio Efrain Bica Grondona

**REDE DE REFERÊNCIA ALTIMÉTRICA PARA SUPORTE A MEDIÇÃO DO  
NÍVEL DO MAR NA PLATAFORMA MARÍTIMA DE BALNEÁRIO  
RINCÃO (SC)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo graduando em Engenharia Cartográfica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Geremia Nievinski

Aprovado em 13 de março de 2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Matias Guilherme Boll

---

Prof. Dr. Reginaldo Macedonio da Silva

---

Eng. Cartógrafo Mauricio Kenji Yamawaki

---

Prof. Dr. Felipe Geremia Nievinski – UFRGS (orientador)

Porto Alegre

2020

## DEDICATÓRIA

Para meus pais Sônia Maria Peres Bica e  
Eduardo Natalio Grondona (*in memoriam*),  
meus primeiros professores.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço minha família, especialmente meus pais, Sônia Maria Peres Bica e Eduardo Natalio Grondona, sempre colocando o futuro dos filhos à frente de tudo.

Agradeço também a duas pessoas muito importantes na minha retomada dos estudos, a Profa. Dra. Silvia Beatriz Alves Rolim, que foi a maior incentivadora do meu retorno para a graduação, e ao Prof. Dr. Felipe Geremia Nievinski, o qual sem sua ajuda ao longo de todo o curso eu não chegaria neste momento hoje, meu muito obrigado aos dois pela confiança, incentivo e principalmente amizade.

Agradeço a minha supervisora do Pós-Doutorado a Profa. Dra. Luciana Paulo Gomes por sua compreensão, pois sem isto, com certeza, o curso se estenderia por mais um tempo.

Aos docentes do curso de Engenharia Cartográfica que tive a oportunidade de conversar um pouco mais, além da relação professor-aluno da sala de aula, vocês tiveram grande importância na minha trajetória até aqui.

Aos colegas Maurício Kenji Yamawaki e Manuela Fagundes, que sem sua ajuda este trabalho não seria possível.

Aos colegas de curso, sendo a melhor companhia para esta jornada, em especial ao Júlio Costa que me integrou a turma quando fazíamos Cartografia Geral II e eu entrava quieto e saía calado nas aulas. Aos colegas que me receberam e me ajudaram, e que tive o prazer de aprender muitas coisas como: José Cacciatore, Ramom Santa Rita, Thiago Menezes, Augusto Menegotto, Alexandre Baseggio, Guilherme Torres, Paulo Ricardo Telha, Guilherme V. Ferreira e Eduardo Pioner. Aos demais colegas que tive a oportunidade de conhecer e interagir mesmo que por pouco tempo, meu muito obrigado.

Aos meus amigos de fora da UFRGS, em especial ao Eduardo Kramm por acompanhar de perto toda minha caminhada e as dificuldades enfrentadas; e ao meu amigo e colega de trabalho e pesquisa Bijesh Kozhikkodan Veetil, por toda sua paciência comigo.

## EPÍGRAFE

*“If I have seen further than others, it is by standing upon the shoulders of giants.”* (Sir Isaac Newton, 1643-1727)

## RESUMO

As mudanças climáticas são o maior e mais complexo problema ambiental da atualidade, acarretando aumento da temperatura média global. Projeções futuras indicam que estas mudanças são inevitáveis, e ocorrerão mesmo em diferentes cenários de emissões de gases do efeito estufa. O aumento na temperatura média global, por sua vez, resulta em um incremento no nível médio do mar. Desta forma, o monitoramento do nível médio do mar é de fundamental importância no acompanhamento deste fenômeno, planejamento e tomada de ações para mitigar e/ou se adaptar aos problemas oriundos deste aumento. No Brasil, o referencial altimétrico está referido ao datum do marégrafo de Imbituba (SC), mantido pelo IBGE. No entanto, os marégrafos devem ser periodicamente aferidos, principalmente quando instalados em plataformas onde há interferências externas e deformações locais ou regionais. Outro marégrafo está instalado na plataforma de pesca de Balneário Rincão (SC), mantido pela Epagri, entidade estadual catarinense. Assim, o objetivo deste trabalho é oferecer uma rede de referência altimétrica para suporte a medição do nível do mar naquele local. Para isso foi implantada rede altimétrica local composta por uma estação GNSS (sobre o marégrafo), um marco de centragem forçada (externo à plataforma) e cinco referências de nível (RN), sendo quatro superficiais (plaquetas) e uma de profundidade, além de outros vértices já existentes no local. As altitudes destas RNs (ou RRNN, em pluralização arcaica) foram determinadas via dois métodos: nivelamento (geométrico e trigonométrico) e rastreamento GNSS. Com o rastreamento GNSS se determinaram coordenadas da linha base curta entre o pino de centragem forçada localizado na entrada da plataforma (vértice MG POR) e o topo do mastro sobre o marégrafo (vértice GNSS Geodésico). O vértice externo (MG POR) também foi levantado via posicionamento por ponto preciso (PPP) e via posicionamento relativo em linha base longa até Imbituba, o que permitiu verificar a inexistência de erros grosseiros. O vértice GNSS Geodésico foi processado no modo estático e cinemático, o que permitiu determinar a sua coordenada altimétrica média bem como a sua vibração devido a ondas e vento. O nivelamento geométrico se mostrou coerente com levantamentos anteriores realizados pela Epagri, visto que as diferenças entre as RNs próximas (UFRGS – Epagri) foi inferior a 1 cm. Além disso, a determinação da lâmina do radar teve uma diferença de 1,8 cm, o que está dentro do aceitável. Este trabalho permitiu implantar uma rede local altimétrica e servirá para aferição e monitoramento do marégrafo que está na plataforma de pesca de Balneário Rincão (SC).

## ABSTRACT

The climate changes are the biggest and most complex environmental problem today, raising the global average temperature. Future projections show that these changes are inevitable and occur even in different configurations of greenhouse gases. The increase in the average global temperature, in turn, results in an increase in the average sea level. Thus, the monitoring of the average sea level is of fundamental importance in monitoring this phenomenon, planning and taking actions to mitigate and/or adapt to the problems arising from this increase. The altimetric reference, in Brazil, is referenced to the datum of the tide gauge of Imbituba (SC), maintained by IBGE. However, the tide gauges should be checked periodically, especially when installed on platforms where there are external interferences and local, or regional, deformations. Another tide gauge is installed on the fishing platform of Balneário Rincão (SC), maintained by Epagri, a state entity of Santa Catarina state. Thus, the objective of this work is to offer an altimetric reference network to support the measurement of sea level at that location. For this purpose, a local altimetric network composed of a GNSS station (over the tide gauge), a forced centering bolt (external to the platform) and five level references (RN) were implanted, four superficial (platelets) and one depth reference level, in addition to other vertices already in place. The altitudes of these RNs (or RRNN, in archaic pluralization) were determined by two methods: optical leveling (geometric and trigonometric) and GNSS tracking. With the GNSS tracking, the coordinates of the short baseline between the forced centering bolt located at the entrance of the platform (MG POR) and the top of the pole on the tide gauge (Geodetic GNSS vertex) were determined. The external vertex (MG POR) was also determined by positioning by precise point (PPP) and by relative positioning in the long base line up to Imbituba, which allowed verify the absence of gross errors. The GNSS Geodetic vertex was processed in static and kinematic mode, which allowed determine its average altimetric coordinate as well as its vibration due to waves and wind. The geometric leveling was shown to be consistent with previous surveys carried out by Epagri, since the differences between nearby RNs (UFRGS - Epagri) was less than 1 cm. In addition, the determination of the water sheet of the tide gauge had a difference of 1,8 cm, which is within the acceptable range. This work allowed the implantation of a local altimetric network that are going to be used for gauging and monitoring the tide gauge that is on the fishing platform of Balneário Rincão (SC).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: República Federativa do Brasil e município de Santa Catarina.	25
Figura 2: Estado de Santa Catarina e município de Balneário Rincão.	26
Figura 3: Limite do município de Balneário Rincão (vermelho) e localização plataforma Norte (amarelo).	26
Figura 4: Plataforma de Pesca de Balneário Rincão.	27
Figura 5: Comunicado de Interdição da Plataforma Norte.	28
Figura 6: Radar sensor OTT RLS e suas principais partes. Adaptado de OTT (2007).	29
Figura 7: Rede altimétrica brasileira. Fonte: IBGE. Acessado em: 01 de Dezembro de 2019.	33
Figura 8: Sistema pendular de autocompensação. Adaptado de: Levelling Tutorials. Disponível em: <a href="http://www.levelling.uhi.ac.uk/tutorial1_6a.html">http://www.levelling.uhi.ac.uk/tutorial1_6a.html</a>	37
Figura 9: Modelo de plaqueta de RN IBGE. Fonte: IBGE (2008).	40
Figura 10: Modelo de plaqueta de RN UFRGS.	41
Figura 11: Exemplar de plaqueta metálica para RN.	41
Figura 12: Exemplo de um monumento de concreto para uma RN. Fonte: Adaptado de Smith (2010).	42
Figura 13: Exemplo de uma Referência de Nível de Profundidade e sua configuração. Fonte: Adaptado de Smith (2010).	43
Figura 14: Aterramento da barra de aço inox até sua recusa pelo solo.	43
Figura 15: Colocação do 1º cano de PVC com graxa.	44
Figura 16: Colocação do 2º cano de PVC preenchido com areia.	44
Figura 17: Colocação do colar de concreto.	44
Figura 18: Estações da RBMC distribuídas pelo país. Fonte: Adaptado do IBGE..	47
Figura 19: GNSS Spectra modelo Epoch 50 de dupla frequência (L1/L2).	56
Figura 20: GNSS Topcom modelo Hiper Lite+.	57
Figura 21: Par de receptores GNSS GR3 Topcon.	58
Figura 22: a) Antena GNSS Trimble Zephyr Geodetic, versão 1, no. 41249-b) receptor GNSS Trimble NetRS.	59
Figura 23: Nível óptico digital GEODETIC DL-202.	61
Figura 24: Nível óptico analógico WILD N3.	63
Figura 25: Estação total Topcon GTS-7500.	64

Figura 26: RN da CASAN (GP05). _____	67
Figura 27: Localização das RNs do IBGE (2002B e 2002C) mais próximas ao marégrafo (MG CASAN). Crédito da imagem de fundo: Mercator Technologies, disponibilizado por Google Earth. _____	67
Figura 28: Localização dos marcos geodésicos da CASAN (RN CASAN), da EPAGRI (MG EST no meio fio próximo ao portão de entrada e RN GRANITO na base do granito), municipal (MG 3A), e o Vértice GNSS Geodésico sobre o marégrafo. Crédito da imagem de fundo: Mercator Technologies, disponibilizado por Google Earth. _____	68
Figura 29: Mastro Longo do Vértice GNSS Geodésico. _____	70
Figura 30: Pedestal do Mastro. _____	70
Figura 31: Pedestal do Mastro e os 3 Parafusos para o seu Nivelamento. _____	71
Figura 32: Vista Lateral dos Parafusos de Nivelamento do Pedestal do Mastro. _____	71
Figura 33: Parafuso de centragem forçada usado no topo do mastro. _____	72
Figura 34: Chumbador mecânico PARABOLT. _____	73
Figura 35: Chumbador químico AQV. _____	73
Figura 36: Furo para o chumbador do pino de centragem forçada molhado para o arrefecimento das brocas diamantadas. _____	74
Figura 37: Pino de centragem forçada implantado no granito externo ao estacionamento da plataforma de pesca. _____	74
Figura 38: Marco Geodésico de granito (MG POR) na entrada da plataforma de pesca onde foi instalado o pino de centragem forçada. _____	75
Figura 39: Pino de centragem forçada monumentado no granito da porta de entrada da plataforma de pesca. _____	75
Figura 40: Croqui de localização aproximada das RNs; as RNs numeradas de 02 a 05 são as novas implantadas; a RN 05 é a mais próxima do marégrafo; a RN INI (M110) é a RN de partida do nivelamento geométrico; os vértices MG são os marcos geodésicos localizados no estacionamento (MG EST) e logo no portão da plataforma (MG POR). Crédito da imagem de fundo: Mercator Technologies, disponibilizado por Google Earth. _____	76
Figura 41: Plaqueta de materialização das RNs novas utilizada. _____	77
Figura 42: Haste rosqueada utilizada neste trabalho. _____	78
Figura 43: Exemplo, ilustrativo, da luva de conexão entre hastes. _____	78
Figura 44: Exemplo, ilustrativo, de conexão entre duas hastes através da luva. _____	78

Figura 45: Cano de PVC de 5” x 1,20 m de profundidade colocado no solo.	79
Figura 46: Detalhe da conexão de duas hastes rosqueadas através da luva de conexão e duas porcas de fixação (além da trava química).	79
Figura 47: Processo de estaqueamento manual da RN de profundidade via marreta de 1kg e 5kg.	80
Figura 48: (Esq.) Cabeça protetora da haste rosqueada contra as marretadas para evitar a deformação da rosca; (Dir.) Haste dentro do pvc de ½” com graxa, e preenchido exteriormente com areia.	80
Figura 49: Referência de nível de profundidade implantada.	81
Figura 50: Bate-estaca manual.	81
Figura 51: GNSS Geodésico.	82
Figura 52: Instalação dos cabos de rede, de alimentação e cabo de telemetria.	82
Figura 53: Painel de controle do GNSS Geodésico.	83
Figura 54: Configuração do GNSS Geodésico.	83
Figura 55: Cabo coaxial confeccionado.	84
Figura 56: (Esq.) GNSS Geodésico com o mastro curto sobre o marégrafo; (Dir.) Detalhes do GNSS Geodésico com o mastro longo sobre o marégrafo.	84
Figura 57: GNSS Geodésico com o mastro curto sobre o marégrafo e o rádio para a internet.	85
Figura 58: Vista superior do GNSS Geodésico.	85
Figura 59: Vista inferior do GNSS Geodésico.	86
Figura 60: Descrição da linha-base para o trabalho.	86
Figura 61: Receptor GNSS GR3 Topcon (rover) no Vértice GNSS Geodésico.	87
Figura 62: Rastreio dos pontos com GNSS Topcon Hiper Lite+ (esq.: base local no ponto MG EST; dir.: rover no ponto Vértice GNSS Geodésico).	88
Figura 63: Rastreio do ponto vértice GNSS Geodésico com receptor Spectra Epoch e mastro longo.	89
Figura 64: Localização da RN GRANITO.	89
Figura 65: Nivelamento geométrico com nível óptico digital.	90
Figura 66: Nivelamento geométrico com nível óptico analógico (WILD N3) de bolha bi-partida.	91
Figura 67: (Esq.) Bolha bi-partida; (Dir.) Nível WILD N3.	91
Figura 68: Nível WILD N3.	92

Figura 69: Pontos de interesse, no canto inferior esquerdo temos as RNs da UFRGS e EPAGRI, ao centro e a direita o marégrafo, e acima o topo do mastro. _____	93
Figura 70: Nivelamento trigonométrico, entre a RN da EPAGRI e o GNSS Experimental junto ao mastro do GNSS geodésico, utilizando prisma. _____	94
Figura 71: Nivelamento trigonométrico entre a RN da EPAGRI na entrada da plataforma e o pino de centragem forçada materializado. _____	94
Figura 72: Da esquerda para a direita, foto tipo zoom, foto de pé, e foto do horizonte. Adaptado de: National Geodetic Survey. Disponível em: <a href="https://www.ngs.noaa.gov/surveys/mark-recovery/mark-descriptions-help.shtml#photos">https://www.ngs.noaa.gov/surveys/mark-recovery/mark-descriptions-help.shtml#photos</a> _____	95
Figura 73: Linha Base Longa adotada para o trabalho. Crédito da imagem de fundo: Mercator Technologies, disponibilizado por Google Earth. _____	96
Figura 74: Gráfico do desvio da coordenada vertical no ponto Vértice GNSS Geodésico para o período de rastreamento de 8h15min. _____	99
Figura 75: Gráfico da precisão da componente vertical do ponto Vértice GNSS Geodésico para o período de rastreamento de 8h15min. _____	99
Figura 76: Gráfico do desvio da coordenada vertical do ponto Vértice GNSS Geodésico para o período de rastreamento de 1h, das 13h GMT às 14h GMT. _____	100
Figura 77: Gráfico do desvio da componente vertical do ponto Vértice GNSS Geodésico para o período de rastreamento de das 13:44 GMT às 13:54 GMT. _____	100
Figura 78: Coordenadas planimétricas, em UTM, para os vértices da rede. Crédito da imagem de fundo: Mercator Technologies, disponibilizado por Google Earth. _	103
Figura 79: Circuito de nivelamento geométrico para o nível GEODETIC DL-202. _	104
Figura 80: Circuito de nivelamento geométrico para o nível WILD N3. _____	104
Figura 81: (a) Ilustração do marégrafo no seu suporte; (b) Parafuso do marégrafo onde foi realizada a medição do nivelamento trigonométrico (ponto vermelho). ____	107
Figura 82: Esquema de medidas fornecidas pela EPAGRI e confirmadas pelo fabricante. _____	108

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Distâncias horizontais aproximadas entre os vértices abordados no trabalho (em metros). _____	69
<b>Tabela 2:</b> Resultados do processamento da LBL e PPP para o ponto MG POR. ____	97
<b>Tabela 3:</b> Resultados do processamento da LBL e PPP para o ponto MG POR (UTM). _____	97
<b>Tabela 4:</b> Coordenadas médias do Vértice GNSS Geodésico via processamento estático dos dados GNSS (em metros). _____	102
<b>Tabela 5:</b> Coordenadas planimétricas, em UTM, para os vértices da rede. _____	103
<b>Tabela 6:</b> RNs ajustadas para o nivelamento geométrico analógico (WILD N3). __	105
<b>Tabela 7:</b> RNs determinadas a partir do nivelamento geométrico digital (GEODETIC). _____	105
<b>Tabela 8:</b> Coordenada altimétrica levantada via nivelamento trigonométrico. _____	109
<b>Tabela 9:</b> Coordenadas verticais determinadas via nivelamento combinado. _____	109
<b>Tabela 10:</b> Incerteza do nivelamento combinado. _____	111

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIH	<i>Bureau International de l'Heure</i>
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CIRAN	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
CSRS	<i>Canadian Spatial Reference System</i>
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
GEE	Gases do Efeito Estufa
GLONASS	<i>GLObanaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GRS80	<i>Geodetic Reference System 1980</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IMBT	Estação GNSS da RBMC de Imbituba - SC
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
ITRS	<i>International Terrestrial Reference System</i>
LBC	Linha Base Curta
LBL	Linha Base Longa
MAPGEO	Modelo digital, para o Brasil, obtido por levantamentos geodésicos, que descreve a variação entre a superfície elipsoidal e a superfície do geoide
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
MVC	Matriz Variância Covariância
NBR	Normas Brasileiras
NGS	<i>National Geodetic Survey</i>
NMM	Nível Médio dos Mares
NRCan	<i>Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada</i>
PMBC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
RAAP	Rede Altimétrica de Alta Precisão
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RN	Referência de Nível
RNP	Referência de Nível de Profundidade
RNs	Referências de Nível
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SAD-69	Sistema Sul-Americano de 1969
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	20
<b>2. OBJETIVOS</b>	24
<b>2.1. Objetivos Geral</b>	24
<b>2.2. Objetivos Específicos</b>	24
<b>2.3. Localização da Área de Estudo</b>	24
<b>2.4. Marégrafo</b>	28
<b>3. REFERÊNCIAL TEÓRICO</b>	30
<b>3.1. Nível Médio do Mar</b>	30
<b>3.2. Sistema Geodésico Brasileiro</b>	31
3.2.1. Rede Altimétrica	32
<b>3.3. Levantamento altimétrico</b>	34
3.3.1. Referência de Nível	34
3.3.2. Métodos de Nivelamento	35
3.3.3. Nivelamento Geométrico	36
3.3.4. Nivelamento Trigonométrico	37
3.3.5. Normalização	38
<b>3.4. Materialização Geodésica</b>	38
3.4.1. Materialização Brasileira	38
3.4.2. Materialização Americana	42
<b>3.5. Sistema de Navegação Global por Satélites (GNSS)</b>	44
3.5.1. Fundamentos	45
3.5.2. Estações de Monitoramento Contínuo GNSS	46
3.5.3. Instalação de Estações de Monitoramento Contínuo GNSS	47
3.5.4. Tipos de Posicionamento GNSS	48
<b>3.6. Ajustamento de Observações</b>	50
3.6.1. Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)	50

3.6.2.	MMQ Paramétrico .....	50
3.6.3.	MMQ Paramétrico Aplicado ao Nivelamento Geométrico .....	52
<b>3.7.</b>	<b>Teste de Qualidade do Ajustamento .....</b>	<b>52</b>
3.7.1.	Resíduos das Observações .....	52
3.7.2.	Variância a posteriori das observações .....	53
3.7.3.	Teste Global .....	53
3.7.4.	Teste Paramétrico 1D e 2D .....	54
3.7.5.	Propagação das Incertezas.....	54
<b>4.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1.</b>	<b>Equipamento GNSS.....</b>	<b>56</b>
4.1.1.	SPECTRA EPOCH 50 L1/L2 .....	56
4.1.2.	TOPCON HIPER LITE+ .....	57
4.1.3.	TOPCON GR3 .....	58
4.1.4.	Antena GNSS Trimble Zephyr e receptor NetRS .....	59
4.1.5.	Software GNSS .....	60
<b>4.2.</b>	<b>Nível Óptico.....</b>	<b>61</b>
4.2.1.	Equipamentos de Nivelamento.....	61
4.2.1.1.	<i>GEODETIC</i> .....	61
4.2.1.2.	<i>WILD N3</i> .....	62
4.2.1.3.	<i>Estação Total</i> .....	63
4.2.2.	Software de Nivelamento.....	65
<b>5.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>66</b>
<b>5.1.</b>	<b>Pesquisa Acervo Rede Altimétrica .....</b>	<b>66</b>
<b>5.2.</b>	<b>Materialização.....</b>	<b>69</b>
5.2.1.	Marcos Geodésicos.....	69
5.2.1.1.	<i>Pedestal de Inox com Pino de Centragem Forçada</i> .....	69
5.2.1.2.	<i>Pino de Centragem Forçada Direto em Granito</i> .....	72

5.2.2.	Referências de Nível.....	76
5.2.2.1.	<i>Plaquetas de RN Superficiais</i> .....	76
5.2.2.2.	<i>Referência de Nível de Profundidade (RNP)</i> .....	77
<b>5.3.</b>	<b>Instalação da Estação GNSS</b> .....	<b>82</b>
<b>5.4.</b>	<b>Levantamento GNSS</b> .....	<b>86</b>
<b>5.5.</b>	<b>Nivelamento</b> .....	<b>90</b>
5.5.1.	Nivelamento Geométrico com Nível Digital .....	90
5.5.2.	Nivelamento Geométrico com Nível Analógico.....	90
5.5.3.	Nivelamento Trigonométrico .....	92
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>96</b>
<b>6.1.</b>	<b>Levantamento GNSS</b> .....	<b>96</b>
6.1.1.	Processamento da Linha Base Longa .....	96
6.1.2.	Processamento da Linha Base Curta (LBC).....	97
6.1.3.	Processamento GNSS Cinemático da LBC.....	98
6.1.4.	Processamento GNSS Estático da LBC.....	101
6.1.5.	Planimetria .....	102
<b>6.2.</b>	<b>Nivelamento</b> .....	<b>103</b>
6.2.1.	Nivelamento Geométrico .....	103
6.2.2.	Nivelamento Trigonométrico .....	106
<b>6.3.</b>	<b>Nivelamento combinado</b> .....	<b>109</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>112</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>115</b>
	<b>APÊNDICE – MEMORIAL DESCRITIVO</b> .....	<b>123</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PMBC) realizado em 2017 as mudanças climáticas são o maior e mais complexo problema ambiental da atualidade. As emissões antropogênicas de gases do efeito estufa (GEE), provavelmente, são a principal causa do aumento da temperatura média desde meados do século XX, sendo o maior responsável pelo desequilíbrio ambiental vigente (RIBEIRO; SANTOS, 2016). As projeções feitas pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), no 5º Relatório de Avaliação (CHURCH et al, 2013), indicam que as mudanças são inevitáveis ocorrendo mesmo com diferentes cenários de emissões. Para o caso em que se mantenham os níveis atuais de emissão de GEE a previsão para o final do século seria um aumento entre 2,6 e 4,8 graus Celsius na temperatura média global. Este aumento na temperatura média implicaria em um incremento de 0,45 a 0,82 metros no nível médio do mar (CHURCH et al, 2013). Desta forma, o monitoramento da temperatura média global e do nível médio do mar são de suma importância para o planejamento e tomada de ações para mitigar os problemas causados pela mudança climática.

As mudanças climáticas afetam o NMM através de 2 mecanismos que causam o aumento deste nível. O primeiro, à medida que os oceanos esquentam devido ao aumento da temperatura global, a água do mar se expande - ocupando mais espaço causando um aumento no nível da água. O segundo mecanismo é o derretimento do gelo sobre a terra, que depois adiciona água aos oceanos (NOAA, 2018).

Conforme Church et al. (2013), estudos sobre mudanças climáticas apontam para um inequívoco aumento do nível médio dos mares (NMM) globalmente. Porém, regionalmente a variação do NMM pode ser maior ou menor do que o valor global. Estas variações são ainda mais nocivas em conjunto com o fenômeno das ressacas que chegam à costa e fazem com que a água do mar sofra um empilhamento e invadam a beira-mar. Este fenômeno é muito comum no sul do Brasil e ocorre devido à passagem das frentes frias, sendo cada vez mais frequente, e estando associado ao aumento do nível dos mares. Além disso, podemos citar os efeitos causados pelas marés de sizígia, onde a amplitude da maré depende da fase da lua, que ocorre quando estamos em Lua Cheia (Lua Nova) e a força gravitacional da Lua combinada com a do Sol cria amplitudes maiores (menores) que a média para a maré. Não podendo esquecer ainda da espiral e Ekman que ocorre devido aos ventos atuantes sobre a superfície do oceano gerando vórtices que podem aumentar/diminuir o nível médio local do mar (OPDP, 2017).

Conforme Yamawaki e Nievinski (2018) e Yamawaki (2018), a determinação do NMM é um dos maiores desafios para as Geociências. Na Geodésia, medições maregráficas servem como datum vertical para todo o território nacional, enquanto para a oceanografia estas informações servem como parâmetros para diversos estudos. No Brasil, ao longo de toda sua costa, há um déficit de longas séries temporais de dados observacionais sobre o NMM (ANDRADE et al., 2016). Isto torna o estudo envolvendo maregrafia um problema, visto a necessidade de trabalhar com informações históricas.

A definição e materialização da rede altimétrica nacional, conforme o IBGE, é dada como:

*“A Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) é a estrutura de referência vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), com mais de 65 mil estações altimétricas (denominadas RN = Referências de Nível) implantadas em todo o país”*

Atualmente, grande parte da RAAP está referida, majoritariamente, ao Datum do marégrafo de Imbituba, isto é, ao nível médio do mar no Porto de Imbituba (SC) (IBGE, 2019), sendo este o principal referencial altimétrico oficial brasileiro. No entanto, uma pequena porção está referida ao datum do marégrafo de Santana (AP), o que ocorre devido a problemas no transporte da coordenada altimétrica advinda do marégrafo de Imbituba através do Rio Amazonas.

No estado de Santa Catarina (SC), o litoral é de suma importância pois quase 40% dos catarinenses moram na região litorânea, esta que ocupa apenas 10% do território do estado. A zona costeira concentra cinco dos dez municípios mais populosos de Santa Catarina, e os 38 municípios localizados no litoral respondem por 39% do produto interno bruto do Estado. Devido a relevância destes números e o seu impacto na economia do estado a Epagri está sempre atenta ao litoral. Além disso, esta região tem fundamental importância para a navegação comercial, o que implica em ter conhecimento sempre atualizado da área, principalmente com relação a batimetria, o que requer um NMM confiável.

Assim, em menos de dez anos, implantou a maior rede de monitoramento costeiro do Brasil. Constituído por onze equipamentos instalados ao longo de toda a linha litorânea, sendo o processamento dos dados de responsabilidade do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de SC (Ciram) da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), que gerencia a maior rede de monitoramento ambiental do Brasil, à qual as estações maregráficas se somam.

O início da implantação da rede altimétrica catarinense ocorreu em 2012, com a instalação do primeiro marégrafo, na Caieira da Barra do Sul, no extremo sul da ilha de Florianópolis. Em 2014 foram instaladas estações maregráficas em Itapoá, Laguna e Porto de São Francisco do Sul. No ano seguinte foi a vez de Balneário Camboriú, Imbituba e Balneário Rincão ganharem seus equipamentos (EPAGRI, 2019). Em 2017 os extremos do litoral catarinense se beneficiaram do projeto, com a instalação de marégrafos na Ilha da Paz, ao Norte do Estado, e em Passo de Torres, último município do litoral Sul de Santa Catarina. Em 2018, um equipamento que já existia em Barra Velha foi readequado para passar a integrar a rede de monitoramento costeiro (EPAGRI, 2019).

Por outro lado, no estado do Rio Grande do Sul (RS), principalmente devido ao formato litorâneo peculiar, a implantação de marégrafos é comprometida. Isto ocorre devido à falta de locais adequados para implantação dos marégrafos, que seriam em baías ou portos, locais protegidos das ondas do mar; na falta destes acidentes geográficos, plataformas de pesca marítima oferecem uma alternativa para evitar a zona de arrebenção das ondas.

Os marégrafos que existem atualmente devem ser constantemente aferidos, porém, muitos estão instalados em plataformas e neste caso devem ser consideradas também aferições sobre os efeitos das interferências externas e deformações locais ou regionais (como soerguimento ou rebaixamento da crosta terrestre, recalque do píer etc...). Assim percebe-se a necessidade de preservar o referencial altimétrico utilizado nas medições através de aferições periódicas e de análise da movimentação destas plataformas.

No estado de SC, mais especificamente no município Balneário Rincão, há duas plataformas de pesca. A Plataforma Sul e a Plataforma Norte com, respectivamente, 400 m e 440 m. Ambas plataformas possuem problemas estruturais, sendo que a Plataforma Sul, inclusive, já foi interditada pela defesa civil do município em 2015 pelo risco de queda (GLOBO, 2018). Esta plataforma está em processo de demolição, visto o seu risco iminente. Esta plataforma encontra-se muito deteriorada, com pilares e ferragens à mostra, estrutura torta e comprometida. A circulação na plataforma foi impedida há três ou quatro anos. A antiga administração do município de Balneário Rincão chegou a derrubar a rampa de acesso, mas uma escada de madeira foi improvisada pelos habitantes locais (GLOBO, 2018).

A Plataforma Norte foi construída partir de 1974, com um T ao seu final, medindo 160 metros, e sendo responsável pela obra o Eng. Carlos Alberto Barata (4OITO, 2018a).

Durante sua revitalização em 2018, parte da plataforma desabou, mas não comprometeu toda a estrutura (4OITO, 2018b). Apesar dos problemas na plataforma, ela ainda não foi interdita totalmente, apenas parcialmente, onde sob condições específicas para a velocidade do vento e altura das ondas a evacuação do T da estrutura é exigida.

Apesar dos problemas supracitados a plataforma norte de pesca de Balneário Rincão (SC) foi escolhida para este trabalho por possuir uma estação maregráfica automatizada, instalado em dezembro de 2015 pela EPAGRI (EPAGRI, 2019). Estas informações todas necessitam estar interligadas por um mesmo referencial altimétrico de precisão. Assim, este trabalho visa analisar o deslocamento vertical local da plataforma excetuando a vibração natural da Plataforma Marítima construída para pesca no município de Balneário Rincão (SC).

Entre as dificuldades enfrentadas neste trabalho podemos citar a vibração da plataforma e das RNs fixadas sobre a plataforma devido a ação das ondas e ventos, o que insere erros nas observações (podendo ter componentes periódicas e/ou aleatórias, a ser analisado); a estabilidade da estrutura, ou seja, soerguimento ou rebaixamento da crosta terrestre, recalque do píer, e outros fatores que podem alterar sistematicamente as observações; e por último, mas não menos importante, a distância à rede altimétrica de precisão do IBGE até a plataforma de pesca Norte, que é de aproximadamente 10 km, o que pode inserir um erro significativo no transporte da coordenada altimétrica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos Geral**

Criar/estabelecer uma rede de referência altimétrica para suporte a medição do nível do mar na plataforma marítima de Balneário Rincão (SC).

### **2.2. Objetivos Específicos**

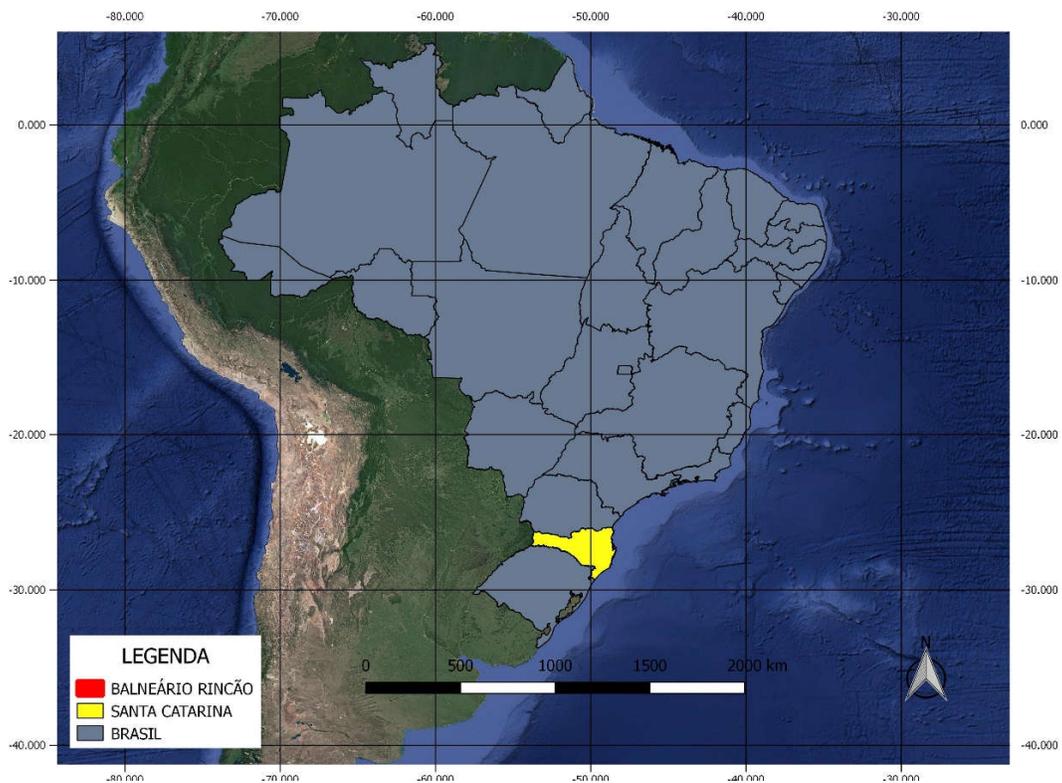
- Instalar equipamento GNSS para monitoramento contínuo da posição do marégrafo;
- Instalar vértices de referência altimétrico e planialtimétrico no exterior próximo à plataforma (referência de nível de profundidade e marco de centragem forçada);
- Fazer o levantamento altimétrico (nivelamento geométrico e trigonométrico) do marégrafo e do equipamento GNSS adjacente até os vértices de referência externos;
- Fazer o levantamento planialtimétrico geodésico estático do equipamento GNSS adjacente ao marégrafo até o referencial geodésico brasileiro;
- Fazer o levantamento planialtimétrico geodésico cinemático do equipamento GNSS adjacente ao marégrafo até a rede de referência local;
- Realizar análise preliminar da estabilidade do marégrafo;

### **2.3. Localização da Área de Estudo**

Balneário Rincão está localizado na região sul do Brasil, no estado de Santa Catarina, a 186 km de Florianópolis, capital do estado e está a 25 km do município de Criciúma. Possui 13 quilômetros de orla marítima, com duas plataformas de pesca e seis lagoas de água doce. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sua população estimada em 2018 era de 12 570 habitantes. Na alta temporada, a população chega a 150 mil pessoas. O município era anteriormente distrito do município de Içara em 15 de julho de 1999. Em primeiro de janeiro de 2013 foi oficialmente emancipado (PMBR, 2019).

O Balneário Rincão apresenta um clima classificado como subtropical Cfa. A temperatura média anual da cidade é de 19.5 °C. A pluviosidade média anual é 1341 mm.

O mês com maior precipitação é fevereiro com 151 mm. O mês com menor precipitação é julho com 81 mm. Nas Figuras 1 a 4, a seguir, se localiza a área de estudo.



*Figura 1: República Federativa do Brasil e município de Santa Catarina.*

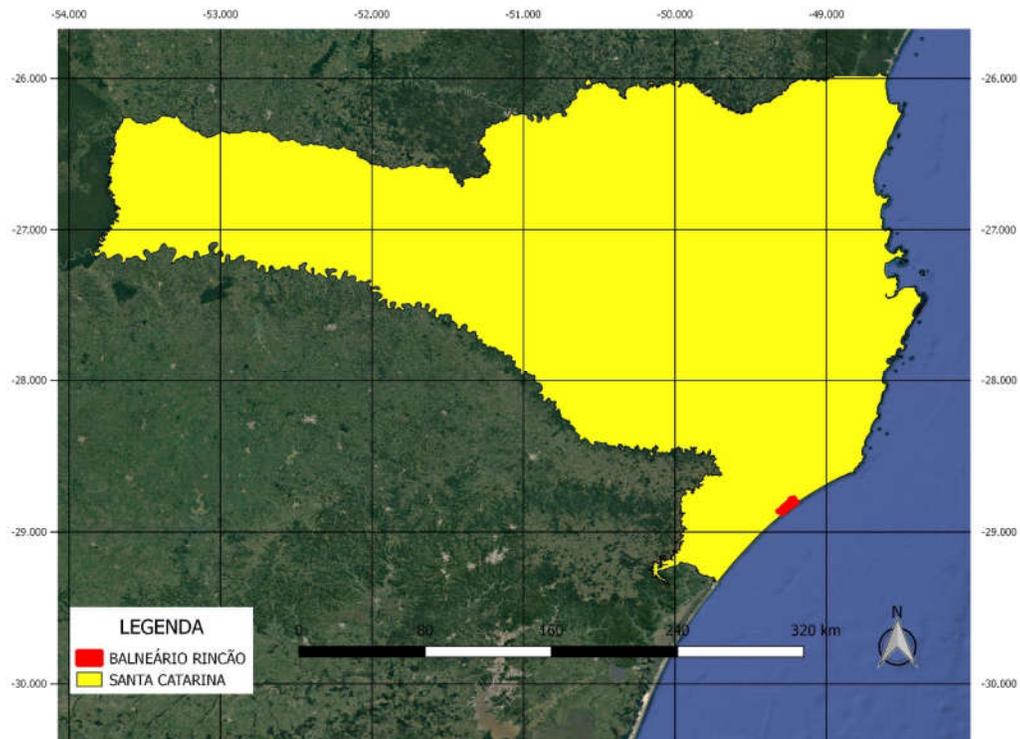


Figura 2: Estado de Santa Catarina e município de Balneário Rincão.

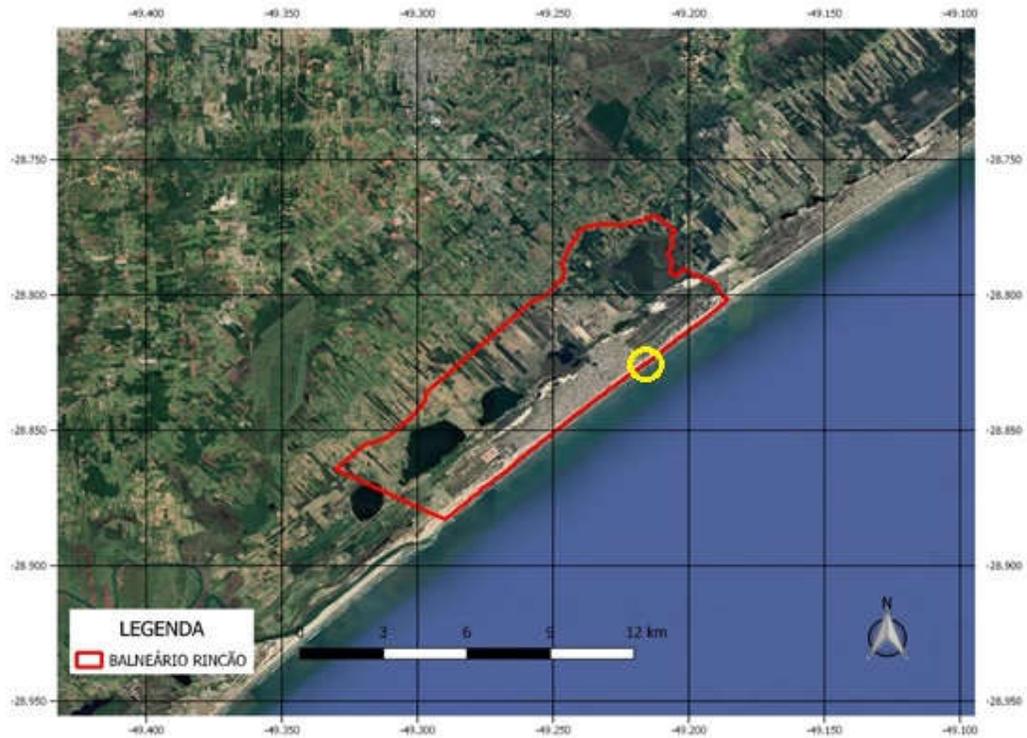


Figura 3: Limite do município de Balneário Rincão (vermelho) e localização plataforma Norte (amarelo).



*Figura 4: Plataforma de Pesca de Balneário Rincão.*

Esta plataforma (Plataforma Norte) conta com aproximadamente 110 referências de nível (RN) que são utilizadas, entre outras coisas, para laudo técnico exigido pela Defesa Civil para o monitoramento da mesma, e elaborado pelos Engenheiros Civis Sérgio Augusto Becke (CREA/SC nº 26.569-0) e Sérgio Aravena Garrido (CREA/SC nº 27.107-4) via nivelamento trigonométrico. Este monitoramento ocorre devido a interdição parcial da plataforma, onde o T fica interditado na ocorrência de ventos com velocidades superiores a 30 km/h e ondas maiores que 1 m. Esta interdição fica registrada em um livro com a hora, velocidade do vento (medida com anemômetro). Esta interdição se estende a toda a plataforma em dias com velocidade do vento superior a 40 km/h e ondas acima de 1 m (Figura 5).

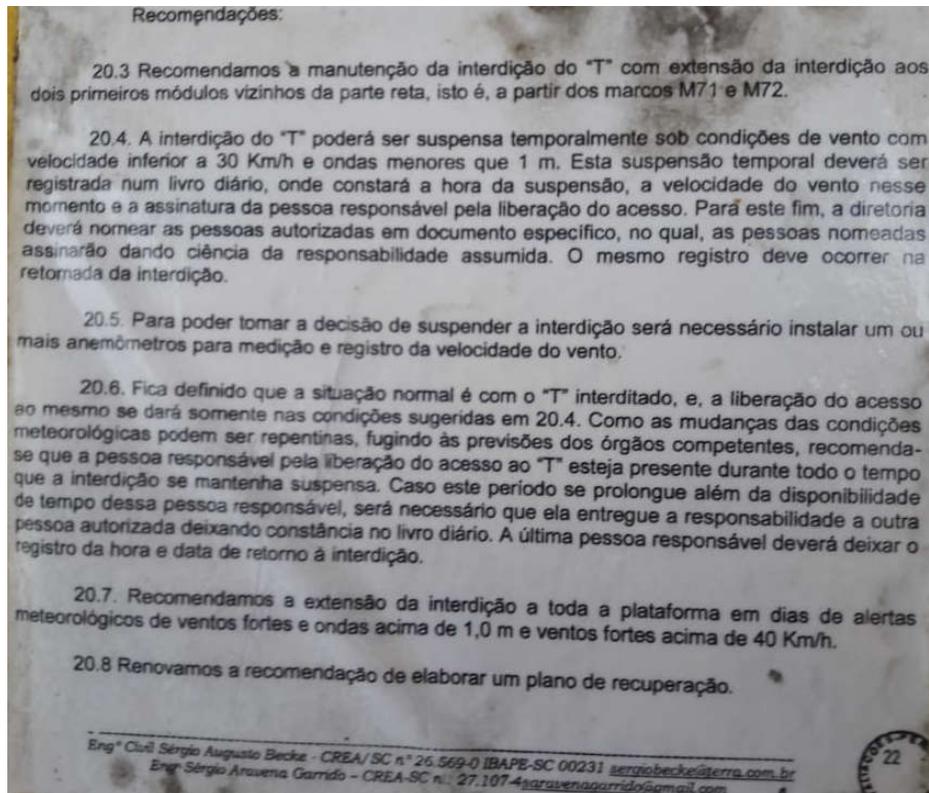


Figura 5: Comunicado de Interdição da Plataforma Norte.

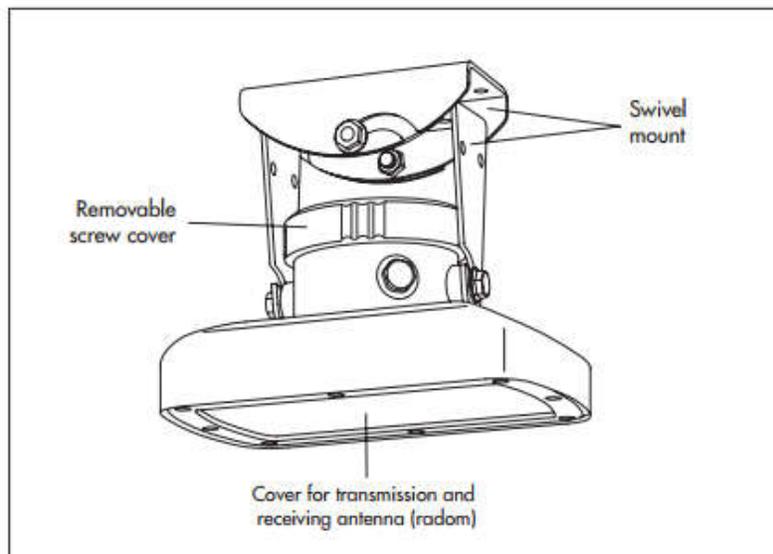
## 2.4. Marégrafo

O radar sensor OTT RLS (OTT, 2007) é usado para medição sem contato dos níveis da superfície de água e é baseado na tecnologia de pulso de radar. A antena transmite pulsos curtos de 24 GHz na banda ISM. A mesma antena recebe os pulsos refletidos na água e os utiliza para determinar a distância entre o sensor e a superfície da água. Isto é realizado através da relação existente entre a distância do sensor até a superfície da água e o tempo gasto pelo pulso do radar entre a sua transmissão e a recepção. O nível da água é então calculado, porém, para isso uma referência de nível deve ser inserida ao iniciar o equipamento.

A transmissão possui uma largura de feixe de aprox. 12°, além disso o equipamento inclui um suporte giratório que permite que o feixe seja montado perpendicularmente com a superfície da água, mesmo quando o sensor é montado em uma superfície inclinada.

Desde que a unidade tenha sido montada corretamente, de acordo com as instruções, o sensor é à prova d'água. A Figura 6 mostra o radar sensor e suas principais

partes. Maiores informações e detalhes técnicos podem ser acessados no manual de instruções de operação do equipamento (OTT, 2007).



*Figura 6: Radar sensor OTT RLS e suas principais partes. Adaptado de OTT (2007).*

### **3. REFERÊNCIAL TEÓRICO**

A seguir serão apresentadas os conceitos que dão sustentação ao trabalho aqui desenvolvido. Se tentou realizar um apanhado de estudos que refletissem o atual estado da arte em cada uma das áreas analisadas.

#### **3.1. Nível Médio do Mar**

O nível do mar é continuamente modificado pela atmosfera, a diferença entre a maré observada e a maré astronômica para determinado local quantifica a influência desse tipo de fenômeno (CAMPOS et al., 2010). A diferença entre esses dois tipos de marés recebe o nome de maré meteorológica, com períodos da ordem de alguns dias, e em casos mais extremos de sobre-elevação alcançam extensões da ordem de centenas de quilômetros (CAMPOS et al., 2010).

A oscilação dessas marés depende da época do ano e da batimetria local, e com isso o nível instantâneo do mar pode se elevar extraordinariamente causando problemas de todos os tipos devido as inundações. Da mesma forma, grandes oscilações negativas do nível instantâneo do mar são altamente indesejáveis para a navegação de grande porte, por vezes impossibilitando as operações (CAMPOS et al., 2010).

Devido a estas oscilações, se faz necessário estabelecer uma referência, esta referência é denominada Nível Médio do Mar (NMM). O NMM é a altitude média da superfície do mar medida em relação a uma superfície terrestre de referência, que corresponde ao geóide. Assim, o NMM é utilizado como ponto de referência a partir do qual muitos estudos são realizados, sendo praticamente estático mudando instantaneamente.

Vários trabalhos foram realizados para analisar este fenômeno, dentre eles podemos citar: Marone e Camargo (1994) analisaram um evento de sobre-elevação do nível médio do mar em Paranaguá, com a identificação de um intenso sistema frontal sobre o oceano, porém com pouca influência sobre o continente; Oliveira et. al. (2006) estudaram a variabilidade do nível do mar observado na Baía de Paranaguá-PR, e fizeram previsões dessas influências, inerente às condições atmosféricas, utilizando um modelo de Rede Neural; Peng et. al. (2006) estudaram as grandes marés meteorológicas e inundações geradas por furacões nos Estados Unidos; Dong et. al. (2006) estudaram os eventos negativos de maré meteorológica na costa de Qingdao – China; Ullmann et. al.

(2007) pesquisaram as variações temporais do nível do mar e sua elevação associada ao vento em superfície em Camargue-França; Fiore et. al. (2009) estudaram os efeitos costeiros das marés meteorológicas em Mar Del Plata – Argentina de 1956 a 2005; Wahl et al. (2011) foram analisadas as alterações médias do nível do mar na baía alemã através do uso de 13 marégrafos cobrindo toda a costa alemã do Mar do Norte e o período de 1843 a 2008; Cazenave et al. (2014) estudaram e apresentam uma análise, com base nos dados do nível do mar de registros de altimetria dos últimos 20 anos, e tentaram separar a variabilidade natural interanual do NMM da sua mudança a longo prazo, provavelmente relacionada ao aquecimento global antropogênico; Chen, et al. (2017) mostraram que o aumento, da soma de todas as contribuições observadas para o NMM, é de  $2,2 \pm 0,3$  mm/ano em 1993 para  $3,3 \pm 0,3$  mm/ano em 2014 se segue a aumentar.

### 3.2. Sistema Geodésico Brasileiro

Conforme resolução PR nº 01/2015 do IBGE (2015), no artigo 1º, define que a partir do dia 25 de fevereiro de 2015 o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) passa a ser exclusivamente o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização de 2000,4 (SIRGAS2000).

O SGB inicialmente integrava o sistema Sul-Americano de 1969 (SAD-69), mas atualmente integra o SIRGAS2000, que possui a seguinte caracterização (IBGE, 2005):

- Sistema Geodésico de Referência: Sistema de Referência Terrestre Internacional - ITRS (*International Terrestrial Reference System*);
- Figura geométrica para a Terra: Elipsóide do Sistema Geodésico de Referência de 1980 (*Geodetic Reference System 1980 – GRS80*);
- Semi-eixo maior  $a = 6.378.137$  m;
- Achatamento  $f = 1/298,257222101$ ;
- Origem: Centro de massa da Terra;
- Orientação: Pólos e meridiano de referência consistentes em  $\pm 0,005''$  com as direções definidas pelo BIH (*Bureau International de l'Heure*), em 1984,0;
- Estações de Referência: As 21 estações da rede continental SIRGAS2000, estabelecidas no Brasil constituem a estrutura de referência a partir da qual o sistema SIRGAS2000 é materializado em território nacional
- Época de Referência das coordenadas: 2000,4;

- Materialização: Estabelecida por intermédio de todas as estações que compõem a Rede Geodésica Brasileira, implantadas a partir das estações de referência;

Como a distância entre as estações da RBMC ainda são grandes pode haver a necessidade de densificar esta rede, assim surgem as redes geodésicas de referência estaduais ou municipais, essenciais para todos os levantamentos relacionados com o gerenciamento territorial.

### 3.2.1. Rede Altimétrica

Segundo Severo (2013), a realização de uma rede altimétrica consistente constitui uma importante necessidade dentro da modernização do sistema geodésico, seja no contexto brasileiro como no sul-americano. Isso se estende à rede vertical do SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), que será futuramente estabelecida com a acrônimo SVSIRGAS (Sistema Vertical SIRGAS).

Conforme Santos e Amaro (2011), a Rede Altimétrica Fundamental do Brasil, implantadas pelo IBGE, fornece as RNs para o país, sendo referida ao NMM, dado pelo marégrafo de Imbituba (SC). As RNs, implantadas com espaçamento médio de 5 km, totalizando 70424 pontos, são materializadas por marcos de concreto e identificadas com chapas de bronze, com sua altimetria determinada a partir de medições de nivelamento geométrico de alta precisão. Também são usadas chapas metálicas, chumbadas em monumentos, soleiras de igrejas, plataformas de estações ferroviárias, pontes, etc. A localização e os dados das estações são obtidos em suas monografias, no Banco de Dados Geodésicos do IBGE, disponível no site do mesmo (IBGE, 2010). Abaixo, na Figura 7, pode ser vista a rede altimétrica brasileira e todos os seus marcos.



*Figura 7: Rede altimétrica brasileira. Fonte: IBGE. Acessado em: 01 de Dezembro de 2019.*

A rede altimétrica é de tal importância que diversos trabalhos para sua validação e monitoramento foram e são realizados. Dalazoana et al. (2005) realizaram várias estudos, onde o último teve como principais objetivos efetuar a calibração de dois marégrafos e realizar observações periódicas de GPS em uma estação SIRGAS, sendo isto usado posteriormente para materializar a posição geocêntrica do marégrafo. Luz et al. (2009a) que em seu trabalho estudaram, e definiram, procedimento de inserção da gravimetria na

rede altimétrica brasileira. Luz et al. (2009b) estudaram a integração da rede altimétrica brasileira com a altimetria por satélite e dados de marégrafos, permitindo avaliar/validar a rede altimétrica brasileira e realizar algumas correções.

### **3.3. Levantamento altimétrico**

A altimetria tem por finalidade a medida da diferença de nível (distância vertical) entre dois ou mais pontos no terreno, e a operação realizada para determinar essas diferenças de nível recebe o nome de nivelamento (DANTAS, 2013). Quando as distâncias verticais são referidas a superfície média dos mares, tomam o nome de altitudes; recebem o nome de cotas quando se referem a uma superfície de nível fictícia, situada acima ou abaixo da superfície dos mares.

Para se conhecer os métodos de levantamento altimétrico, é importante que se tenha o conhecimento do que se trata tal prática. Para Coelho (2003), dá-se o nome de levantamento altimétrico ou nivelamento a determinação das cotas de um terreno, obtendo-se por meio de processos específicos, as altitudes, as cotas ou as diferenças de altitudes ou de cotas, dos diversos pontos desse terreno.

Conforme Dantas (2013) nos levantamentos de precisão define-se altitude ou cota ortométrica de um ponto como sendo a distância vertical desse ponto ao NMM; e cota de um ponto, a distância vertical entre esse ponto e uma equipotencial diferente da superfície de nível zero, tomada como referência.

As técnicas de aquisição de dados altimétrico mais utilizados na topografia tradicional são os nivelamentos topográficos através dos métodos geométrico e trigonométrico (DIAS et al., 2010); existe também o nivelamento barométrico porém em desuso devido a baixíssima acurácia e precisão. Além disso, os levantamentos com finalidade de implantar ou estender o controle altimétrico através de técnicas convencionais dividem-se basicamente em: nivelamento trigonométrico; nivelamento geométrico e nivelamento diferencial com GNSS (COELHO, 2003). Sendo o nivelamento geométrico o mais acurado entre todos, principalmente se realizado com um equipamento de alta precisão onde é possível chegar ao centésimo do milímetro. Também é possível a realização da altimetria via sensoriamento remoto (p.ex., LIDAR e RADAR), porém estes métodos estão fora do escopo deste trabalho.

#### **3.3.1. Referência de Nível**

Uma Referência de Nível (RN) é um ponto de controle vertical, estabelecido num marco de caráter permanente, cuja altitude foi determinada em relação a um datum vertical. A RN é de fundamental importância para a Altimetria e a Hipsometria. Na primeira a preocupação é a medição de alturas/elevações/cotas, enquanto a segunda tem a mesma preocupação, porém referido ao nível médio dos mares. Conforme Guimarães (2010), a origem da altitude é estabelecida através de uma superfície de referência associado a um valor do potencial de gravidade sobre a mesma, isso caracteriza o datum vertical. Além disso, ainda é imprescindível escolher um sistema de altitude, ou seja, uma maneira de associar um número com uma unidade à separação entre superfícies. No Brasil, a “altitude zero” também denominada de “ponto origem” está referida ao NMM no Porto de Imbituba (SC).

### 3.3.2. Métodos de Nivelamento

A determinação da cota/altitude de um ponto é uma atividade fundamental em engenharia, principalmente em projetos de redes de esgoto, de estradas, planejamento urbano, entre outros.

A determinação do valor da cota/altitude está baseada em métodos que permitem obter o desnível entre pontos. Assim, ao se conhecer um valor de referência inicial é possível calcular as demais cotas ou altitudes. Estes métodos são denominados de nivelamento, e existem diferentes métodos, com precisões que variam de alguns centímetros até submilímetro (VEIGA et al., 2012). Existem quatro tipos principais de nivelamento, sendo:

- a) Geométrico: mais preciso dos métodos de nivelamento, utiliza miras verticais graduadas e níveis topográficos para medir o desnível por meio de visadas horizontais. As altitudes (cotas) são determinadas com grande rigor;
- b) Trigonométrico: menos preciso do que o método geométrico, é realizado com o uso de teodolitos e estações com visadas independentes da inclinação, e as cotas são obtidas por meio da leitura de ângulos e distâncias;
- c) Taqueométrico: nivelamento trigonométrico em que as distâncias e a diferença de nível são obtidas com o uso de uma luneta taqueométrica;

d) Barométrico: por último, este método se baseia na relação entre a pressão atmosférica e a altitude, possui precisão menor que os outros métodos e exige que sejam feitas correções devido à chamada Maré Barométrica.

### 3.3.3. Nivelamento Geométrico

Conforme Veiga et al. (2012), o nivelamento geométrico é a operação que visa a determinação do desnível entre dois pontos a partir da leitura em miras, podendo ser estádias ou miras com código de barras, efetuadas com níveis ópticos topográficos, cujas principais partes são:

- luneta;
- nível de bolha;
- sistemas de compensação (para equipamentos automáticos);
- dispositivos de calagem.

Quanto ao funcionamento da leitura, os equipamentos podem ser classificados em convencionais e digitais, sendo que para este último a leitura na mira é efetuada empregando código de barra. Os níveis ópticos podem ser classificados também em mecânicos e automáticos. No primeiro caso, o nivelamento fino do equipamento é realizado pelo operador com o auxílio de níveis de bolha bi-partida. Nos modelos automáticos este nivelamento é realizado pelo próprio equipamento, dentro de um certo limite, utilizando-se um sistema compensador (pendular).

O compensador pendular é um conjunto de 3 prismas (Figura 8), ou espelhos fixos e um prisma móvel suspenso em um pêndulo, para fornecer uma referência horizontal. Quando configurado corretamente, o compensador garantirá que o raio de luz que atravessa o centro do retículo esteja exatamente na horizontal, dentro de um limite máximo de não verticalidade da linha normal que passa pelo prisma pendular.

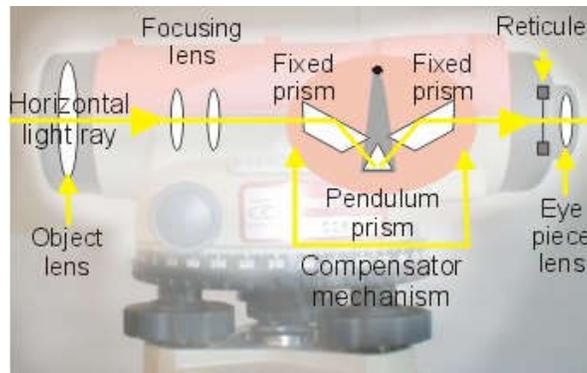


Figura 8: Sistema pendular de autocompensão. Adaptado de: Levelling Tutorials. Disponível em: [http://www.levelling.uhi.ac.uk/tutorial1\\_6a.html](http://www.levelling.uhi.ac.uk/tutorial1_6a.html)

O nível automático costuma ser o modelo mais recomendado para a maioria das aplicações, pois pode corrigir pequenos erros causados no ajuste fino do estacionamento do equipamento. Porém, em ambientes com vibrações (como a plataforma marítima), o compensador não estabiliza, assim estas vibrações tendem a ampliar o erro no lugar de minimizá-lo (GHILANI e WOLF, 2012).

Cabe salientar que, independentemente do tipo de nível, a acurácia é maior desde que as visadas de ré e de vante sejam equilibradas, de forma que erros sistemáticos (como refração atmosférica) sejam iguais e, portanto, se cancelem durante a operação de cálculo da diferença de nível. Dentre todos os métodos de nivelamento este é o mais preciso, porém o mais trabalhoso.

Uma das formas para que seja possível determinar o erro de fechamento do nivelamento é realizar o nivelamento e o contra-nivelamento. Isto pode ser realizado da forma tradicional, fazendo-se o circuito de nivelamento na ida e o circuito de contra-nivelamento na volta, saindo de um ponto conhecido e voltando ao mesmo ponto. Ou ainda pode ser realizado fazendo-se, simultaneamente, o nivelamento e o contra-nivelamento a cada estacionamento do nível. Neste último caso, se estaciona o nível e se levanta a ré e a vante, logo o nível é deslocado alguns metros para o lado do ponto onde estava estacionado e se realizavam novas leituras de ré e vante, efetuando assim o contra-nivelamento. Desta forma o duplo nivelamento (nivelamento e contra-nivelamento) é simultâneo. Neste trabalho se optou por realizar o duplo nivelamento simultâneo.

#### 3.3.4. Nivelamento Trigonométrico

Conforme Veigas et al. (2012), o nivelamento trigonométrico baseia-se na resolução de um triângulo retângulo. Para tanto, é necessário coletar em campo, informações relativas à distância (horizontal ou inclinada), ângulos (verticais, zenitais ou nadirais), além da altura do instrumento e do refletor. Este método de determinação de desnível pode ser dividido em nivelamento trigonométrico de lances curtos e lances longos, e pode ser realizado com uma estação total (ET) ou com um teodolito e trena. Este método é menos acurado que o nivelamento geométrico. Entretanto, a ET permite realizar as medidas com ou sem o prisma, sendo a segunda forma útil em pontos inacessíveis, bastando para isso configurá-la adequadamente.

### 3.3.5. Normalização

O nivelamento está normalizado no Brasil pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) através da NBR 13333, seção 6.6. Esta norma promove a regulamentação, diretrizes e orientações para o nivelamento assegurando uma padronização na execução do serviço, e assim a sua repetibilidade. Além disso, confere ao serviço um amparo legal quanto ao seu procedimento de realização (ABNT, 1994), quando assim se deseja.

Além da NBR, levantamentos geodésicos que venham a ser submetidos para homologação pelo IBGE devem seguir as Especificação e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro (IBGE, 1983). Esta norma destina-se a regularizar a execução destes levantamentos, estabelecendo tolerâncias e critérios segundo os quais deverão ser conduzidos de maneira a serem aceitos como contribuição ao Sistema Geodésico Brasileiro. Neste documento se encontram as especificações e normas gerais referentes a levantamentos geodésicos, gravimétricos, planimétricos e altimétricos.

## 3.4. Materialização Geodésica

### 3.4.1. Materialização Brasileira

Conforme o IBGE (2008), todas as estações, sejam elas altimétrica (ou planimétrica e gravimétrica) que fazem parte do SGB devem ser materializadas no terreno

através de chapas cravadas, marcos ou pilares, de forma a garantir sua estabilidade e durabilidade.

A materialização das estações geodésicas pode ser feita de três formas:

- chapa cravada em superfície estável já existente no local;
- marco ou pilar de concreto com chapa incrustada no seu topo;
- pilar de concreto com dispositivo de centragem forçada incrustado no topo e chapa cravada na lateral;

Nos três casos, a estação geodésica será identificada através de legendas estampadas na chapa.

A seleção do local para materialização da estação (marco, pilar ou chapa cravada) deve atender, sempre que possível, os seguintes critérios:

- O horizonte deve estar desobstruído acima de 15°;
- Evitar locais próximos a estações de transmissão de microondas, radares, antenas de rádio, repetidoras e linhas de transmissão de alta voltagem, por representarem fontes de interferência para os sinais GNSS;
- A área situada a 100 m da estação deve estar livre de estruturas artificiais;
- O local de implantação deve ser estável, sem qualquer influência de vibrações ou trepidações;
- Evitar localidades próximas a espelhos d'água, árvores e vegetação densa.

Os marcos de concreto construídos à margem das estradas devem ficar, sempre que possível, fora da faixa de domínio estabelecida pelo órgão responsável pela rodovia, recomenda-se, sempre que possível, escolher locais afastados da estrada.

Mais detalhes referentes a monumentações são encontrados em IBGE (2008), no entanto, esta norma não aborda em nenhum momento normas para implantação de referência de nível em terrenos macios, como em solos arenosos.

Uma RN deve ser estável, sofrendo o mínimo (se possível nenhum) deslocamento vertical, uma vez que a sua monumentação e levantamento representa um grande investimento de recursos.

Geralmente as RNs são materializadas utilizando plaquetas circulares de alumínio, latão ou bronze, conforme o padrão do IBGE (Figura 9), medindo cerca de 6 centímetros de diâmetro e com uma haste de aproximadamente 7 cm de comprimento por 1 cm de

diâmetro (LEIPELT e NIEVINSKI, 2018). As Figuras 10 e 11 mostram as plaquetas produzidas pela UFRGS para este trabalho, onde a superfície deve ser abaulada ou ter uma saliência esférica com uma marca central permitindo um único ponto de contato entre a plaqueta e o pé de uma mira/haste niveladora. As informações são impressas em sua superfície para identificar o monumento e ajudar o usuário a obter dados sobre esta RN.

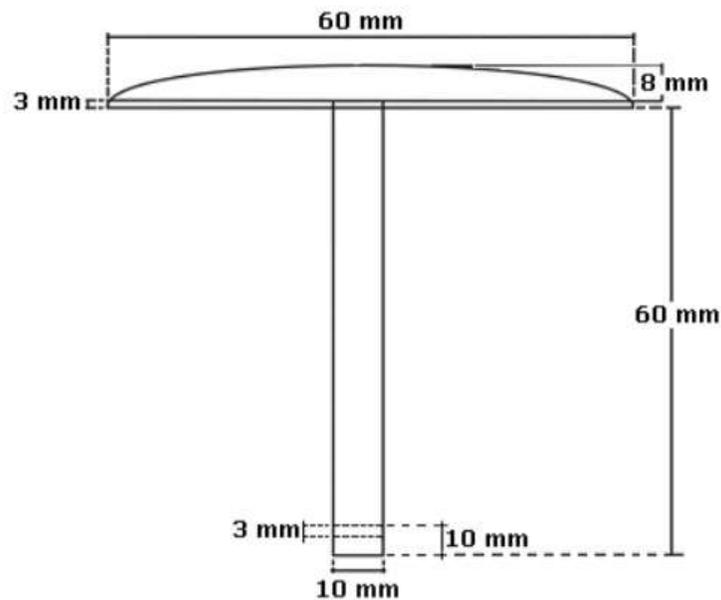


Figura 9: Modelo de plaqueta de RN IBGE. Fonte: IBGE (2008).



*Figura 10: Modelo de plaqueta de RN UFRGS.*



*Figura 11: Exemplar de plaqueta metálica para RN.*

Para sua devida fixação no solo, e minimização dos deslocamentos, as plaquetas são materializadas em um monumento de concreto no chão. Este monumento deve ser cilíndrico ou quadrado, e ligeiramente "em forma de sino" ou mais largo o fundo, tendo aproximadamente 1,3 m de profundidade e 0,3 m de diâmetro (Figura 12). Condições locais do solo (solo duro ou rochas) podem ser um problema na implantação deste monumento, assim como solos arenoso e mais macios podem exigir que estes monumentos sejam mais profundos para garantir sua estabilidade. A fixação também

pode ser feita diretamente sobre concreto ou rochas, quando disponível, dispensando o monumento.

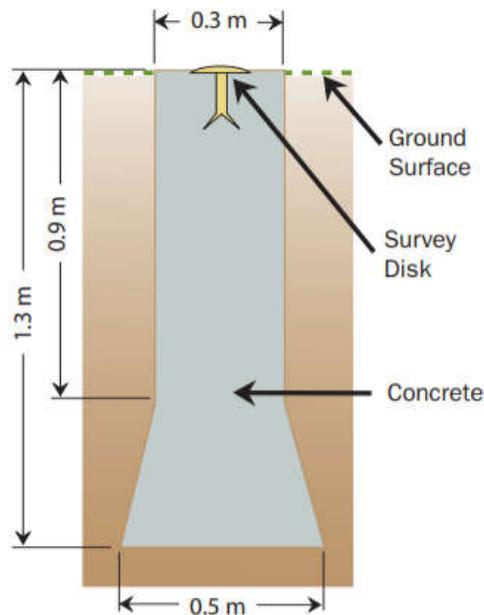


Figura 12: Exemplo de um monumento de concreto para uma RN. Fonte: Adaptado de Smith (2010).

#### 3.4.2. Materialização Americana

A depender do tipo de solo, o monumento de concreto não é a melhor opção para uma RN. Desta forma, se opta por usar uma Referência de Nível de Profundidade (RNP) conforme a National Geodetic Survey (NGS) em deep driven rod mark (SMITH, 2010 e FLOYD, 1978) dos Estados Unidos. Trata-se de uma barra de aço inox com diâmetro de 17 mm ( $\approx 9/16''$ ) cravada no solo, usando equipamento adequado, até a recusa ou até que a taxa de aterramento reduzida seja alcançada. O centro superior arredondado da haste é o ponto de referência da RNP. A extremidade superior da haste é envolto, respectivamente, por um cano PVC de 2,5 cm de diâmetro preenchido de graxa, seguido por um cano de PVC de 60 cm de comprimento por 12,7 cm ou 15,2 cm ( $\approx 5''$  ou  $6''$ ) de diâmetro cheio de areia, e finalizando com um colar de concreto de aproximadamente 50 cm de comprimento (Figura 13). Esta configuração é importante pois a graxa e a areia permitem que a superfície circundante sofra variações planimétricas sem que a barra de aço inox seja afetada. A parte altimétrica se mantém estável devido a barra ter sido aterrada até a recusa do material.

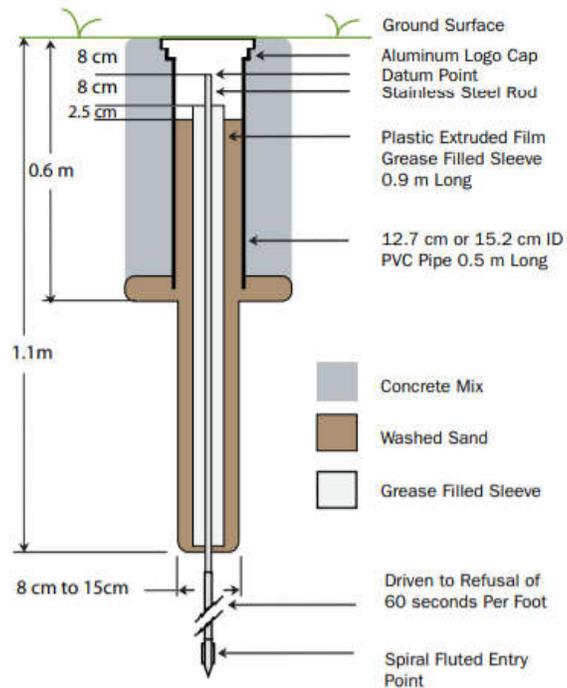


Figura 13: Exemplo de uma Referência de Nível de Profundidade e sua configuração.  
 Fonte: Adaptado de Smith (2010).

As Figuras 14 a 17, a seguir, exemplificam uma RNP materializada pela *Federal Aviation Administration Airport Surveys* dos Estados Unidos (SMITH e MASON, 1988). Conforme comunicação pessoal com técnicos do IBGE (Salomão Soares, 2019), é provável que a próxima edição da publicação IBGE (2008) incorpore o modelo de RNP.



Figura 14: Aterramento da barra de aço inox até sua recusa pelo solo.



*Figura 15: Colocação do 1º cano de PVC com graxa.*



*Figura 16: Colocação do 2º cano de PVC preenchido com areia.*



*Figura 17: Colocação do colar de concreto.*

### **3.5. Sistema de Navegação Global por Satélites (GNSS)**

Conforme Monico (2008), os sistemas de navegação e posicionamento baseado na medição de pseudodistâncias a partir de constelações de satélites artificiais foram iniciados pelos Estados Unidos através do sistemas GPS (Global Positioning System) em 1970, seguido pelo GLONASS (GLObanaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) em 1990 pela União Soviética (atual Rússia). Posteriormente, foram desenvolvidos outros sistemas de navegação por satélite como BEIDOU/COMPASS desenvolvido e operada

pela China, e mais atualmente o GALILEO, este último europeu. Ainda de acordo com Monico (2008), de forma geral, esses sistemas têm sido chamados de GNSS (Global Navigation Satellite System).

### 3.5.1. Fundamentos

O princípio de posicionamento básico para posicionamento GNSS através do uso da pseudodistância da antena do receptor até cada satélite rastreado (MONICO, 2008). Como se conhece a posição de cada satélite no espaço, calcula-se a posição do receptor através de trilateração 3D. A distância calculada para um dado satélite impõe que o receptor esteja em qualquer ponto na superfície de uma esfera, cujo centro é o satélite e cujo raio é a distância. A partir do momento em que há dois satélites sendo observados, haverá duas esferas que se encontrarão no espaço. A intersecção dessas duas esferas cria uma circunferência que acompanha a superfície desta intersecção. O receptor pode então estar em qualquer ponto desta circunferência. Quando adicionado um terceiro satélite, a circunferência criada pela intersecção dos dois outros satélites é cruzada em dois pontos pela superfície da esfera oriunda do terceiro satélite. Um destes pontos estará no espaço e será eliminado e outro na superfície da Terra, determinando assim, qual o ponto em que se encontra o receptor. A necessidade de um quarto satélite se dá para eliminar a incógnita resultante do não sincronismo dos relógios dos satélites e receptores. Entretanto, o que se mede em GNSS não são distâncias, mas pseudodistâncias, eivadas de um erro de sincronia do relógio interno ao receptor GNSS. Assim, é necessário um 4º satélite, para resolver as quatro incógnitas.

O sistema GNSS é dividido em três segmentos principais, sendo eles: o segmento espacial, o segmento de controle e o segmento de usuários (MONICO, 2008). Cada um tem suas características e funcionalidades específicas. De forma resumida temos:

- a) Segmento espacial: é composto pela constelação dos satélites do sistema GNSS (GPS), e estão distribuídos em 6 planos orbitais, os quais estão inclinados 55° em relação ao plano do equador, e orbitam a uma altitude de cerca de 20.200 km a partir da superfície terrestre, realizando um período de revolução de aproximadamente 12 horas siderais, onde a posição de cada satélite se repete em relação ao dia anterior 4 minutos mais cedo;
- b) Segmento de controle: é composto pelos centros de controle em terra que têm a função de monitorar a órbita e sincronia dos satélites e manter seus almanaques

- acurados, qualquer instabilidade detectada é corrigida pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos baseada em sistemas de processamento automáticos;
- c) Segmento de usuários: é formado por toda comunidade usuária através de seus receptores GNSS e os diversos serviços para os quais eles são empregados, podem ser usuários de diferentes categorias, como militares e civis.

No GNSS existem duas formas principais de mensuração de distância satélite-receptor que podem ser feitas, sendo através da observação da fase da onda portadora ou ainda pela pseudodistância. A observação da fase da onda portadora é uma forma de mensuração de distância mais precisa, mas que introduz mais uma incógnita denominada “ambigüidade” diferentemente do que ocorre com o uso da observação da pseudodistância (MONICO, 2008).

Em resumo, a pseudodistância é medida através da correlação entre o código que é transmitido pelo satélite e sua réplica, que é gerada no receptor. O receptor conhece precisamente as características do sinal transmitido em um dado momento pelo satélite e então gera uma réplica deste sinal, em sincronia com seu próprio relógio. Essa réplica é comparada ao sinal recebido. Uma vez que o sinal gerado pelo satélite foi criado em um momento anterior, a réplica criada pelo receptor deverá estar atrasada para que coincida com o sinal do satélite. Este atraso é justamente o que o receptor deseja calcular, pois representa o tempo que o sinal levou para percorrer a distância entre o satélite e o receptor, o qual, multiplicado pela velocidade de propagação do sinal (velocidade da luz) resulta da pseudodistância (MONICO, 2008).

A obtenção da distância através da fase da onda portadora é uma técnica que oferece precisão muito maior que a pseudodistância. Para tanto, faz uso da fase de batimento da onda portadora e não do código de sincronia, para a obtenção desta grandeza. A fase da onda portadora é igual à diferença entre a fase do sinal do satélite, recebido no receptor, e a fase do sinal gerado no receptor, ambas no instante de recepção. A partir daí se determina a fase em ciclos inteiros (ambigüidade), posteriormente a parte fracionária da fase é medida com precisão da ordem de até 1/100 do ciclo.

### 3.5.2. Estações de Monitoramento Contínuo GNSS

A RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS), ilustrada na Figura 18, trata-se do conjunto de estações geodésicas, equipadas com

receptores GNSS de alto desempenho, que proporcionam, uma vez por dia ou em tempo real, observações para a determinação de coordenadas (IBGE, 2017).



Figura 18: Estações da RBMC distribuídas pelo país. Fonte: Adaptado do IBGE..

### 3.5.3. Instalação de Estações de Monitoramento Contínuo GNSS

O IBGE (2013), no seu Manual de Orientações para Instalação de Estações de Monitoramento Contínuo GNSS Compatíveis com a RBMC, apresenta os requisitos mínimos necessários para orientar as instituições que possuem interesse em instalar uma estação GNSS de operação contínua, compatível com a RBMC. Também são descritas as principais diretrizes para integração de uma nova estação GNSS permanente à RBMC.

Dentro deste manual se encontram especificações para:

- Procedimentos para a instalação de uma estação de monitoramento contínuo GNSS compatível com a RBMC:

- Reconhecimento e escolha do local;
- Orientações para aquisição do receptor e antena GNSS;
- Construção do marco;
- Instalação dos equipamentos (receptor/antena GNSS);
- Configurações para estações em tempo real;
- Avaliação dos dados de rastreamento;
- Procedimentos para a integração de uma estação de monitoramento contínuo GNSS na RBMC:
  - Centros Operacionais;
  - Centro de Controle da RBMC;
  - Integração de uma estação GNSS permanente à RBMC;

#### 3.5.4. Tipos de Posicionamento GNSS

Conforme Nievinski (2012), basicamente oito combinações para o posicionamento via GNSS podem ser definidas.

Quanto ao tempo de ocupação, temos:

- Método estático: é o método de posicionamento que permite obter maior precisão, sendo geralmente utilizado para medição de bases longas, redes geodésicas, tectónica de placas etc...; neste método os receptores permanecem fixos durante um certo período de tempo (nunca menos de 1 hora para bases cujo comprimento sejam maiores que 20 km);
- Método cinemático: usado na medição de vários pontos sucessivamente, é um método bastante eficaz de medir vários pontos próximos entre si, tendo como grande vantagem a obtenção de dados com uma grande velocidade e com uma acurácia melhor do que 50 cm, sendo o tempo de rastreamento de cada ponto normalmente menor do que 1 minuto;

Quanto ao momento de cálculo da posição, temos:

- Método pós-processado: para muitas aplicações as coordenadas não são necessárias em tempo real, assim as medições brutas dos satélites GNSS são coletadas e armazenadas para processamento pós-missão, o pós-

processamento geralmente resulta em uma solução mais precisa e abrangente devido a utilização de efemérides mais confiáveis;

- Método tempo real: trata-se do cálculo da posição em campo ao invés do escritório. Pode ter precisão métrica, no caso dos receptores de navegação, ou centimétrica no caso dos receptores topográficos.

Finalmente, quanto ao uso ou não de uma estação base, temos:

- Posicionamento Relativo: Técnica de levantamento geodésico em que é utilizado um par de receptores GNSS, que de acordo com as Recomendações para Levantamento Relativo Estático (IBGE, 2008), para aplicação de levantamento relativo:

*“(...) as coordenadas são determinadas em relação a um referencial materializado através de uma ou mais estações com coordenadas conhecidas. Neste caso, é necessário que pelo menos dois receptores (...), onde um dos receptores deve ocupar a estação com coordenadas conhecidas, denominada de estação de referência ou estação base. No caso do método relativo estático, os dois receptores devem permanecer imóveis por um tempo que varia de 20 minutos até muitas horas.”*

- O PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) é uma forma de posicionamento que dispensa estação base. É implementado pelo IBGE através de um serviço online gratuito para o pós-processamento de dados GNSS, que faz uso do programa CSRS-PPP (*GPS Precise Point Positioning*) desenvolvido pelo NRCan (*Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada*). Ele permite aos usuários com receptores GPS e/ou GLONASS, obterem coordenadas referenciadas ao SIRGAS2000 e ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) através de um processamento preciso. O IBGE-PPP processa dados GNSS que foram coletados por receptores de uma ou duas frequências no modo estático ou cinemático.

Entre as oito combinações possíveis, uma das mais comuns está o método de posicionamento relativo cinemático em tempo real, conhecido pela sigla RTK. Conforme o manual do INCRA (2013) o conceito de posicionamento pelo RTK (*Real Time*

*Kinematic*) baseia-se na transmissão instantânea de dados de correções dos sinais de satélites, do(s) receptor(es) instalado(s) no(s) vértice(s) de referência ao(s) receptor(es) que percorre(m) os vértices de interesse. Desta forma, proporciona o conhecimento instantâneo (tempo real) de coordenadas precisas dos vértices levantados. No modo convencional os dados de correção são transmitidos por meio de um link de rádio do receptor instalado no vértice de referência ao(s) receptor(es) que percorre(m) os vértices de interesse. Um fator que limita a área de abrangência para a realização de levantamentos por RTK convencional é o alcance de transmissão das ondas de rádio. Basicamente, o alcance máximo é definido em função da potência do rádio e das condições locais em termos de obstáculos físicos. A utilização deste método, para determinação de limites artificiais, está condicionada a solução do vetor das ambiguidades como inteiro (solução fixa).

### **3.6. Ajustamento de Observações**

De acordo com Gemael (2015),

*“(...) as observações conduzidas pelo homem se caracterizam pela inevitável presença de erros de medida. (...) A desconfiança no resultado de uma medida isolada, fruto da certeza da falibilidade humana, leva naturalmente à multiplicação das observações”*

assim surgindo o problema da superabundância de observações. O ajustamento de observações determina solução única para este conjunto de observações (uma amostra) e estima sua precisão.

#### **3.6.1. Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)**

Considerando um simples caso de se obter uma grandeza  $X$ , e na impossibilidade de obtermos um verdadeiro valor de  $X$ , nos contentamos com uma estimativa na qual possamos confiar (GEMAEL, 2015; GHILANI e WOLF, 2010). Comparando as medidas ajustadas com as medidas originais, tem-se resíduos, que no ajustamento de observações devem ser distribuídos uniformemente. O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) estima o valor de  $X$  que resulta no menor somatório dos quadrados dos resíduos.

#### **3.6.2. MMQ Paramétrico**

Método de ajustamento de observações paramétrico é aquele que, de acordo com Gemael (1994), é válido quando “(...) os valores observados ajustados podem ser expressos explicitamente como uma função de parâmetros ajustados”. Quando o seguinte modelo matemático é verdadeiro, pode-se dizer que o ajustamento pode ser realizado por método paramétrico.

$$F(X_a) = L_a$$

Sendo:

$F(X_a)$ : Modelo matemático em função dos parâmetros ajustados.

$X_a$ : Parâmetros ajustados.

$L_a$ : Observações ajustadas.

Para solução do MMQ pelo método paramétrico, deve ser calculado a seguinte fórmula:

$$X = C_X U$$

Sendo que os valores de  $C_X$  e  $U$  podem ser obtidos pelas funções:

$$C_X = (A^T P A)^{-1}$$

$$U = A^T P L$$

onde:

$C_X$ : Matriz variância covariância dos parâmetros;

$U$ : Vetor normal;

$X$ : Vetor de parâmetros calculados;

$A$ : Matriz jacobiana;

$P$ : Matriz peso das observações;

$L$ : Vetor de observações;

Salienta-se que  $C_X$ , calculada durante o ajustamento, equivale à matriz variância covariância (MVC) dos parâmetros obtidos, assim sendo possível, com a raiz quadrada das variâncias determinar a precisão destes parâmetros.

Para obtenção da matriz jacobiana  $A$ , deve-se aplicar a derivada parcial de todas as equações do sistema linear em função de cada parâmetro, resultando em uma matriz retangular do seguinte formato:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_{a1}} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_{au}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_{a1}} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_{au}} \end{bmatrix}$$

### 3.6.3. MMQ Paramétrico Aplicado ao Nivelamento Geométrico

Para ajustamentos realizados em nivelamentos geométricos pelo menos uma altitude precisa ser fixada ou injuncionada, e o seguinte modelo matemático usado:

$$H_V - H_R = L_i$$

Onde:

$H_V$ : altitude do vértice de chegada

$H_R$ : altitude do vértice de partida

$L_i$ : desnível medido entre vértices de chegada e partida

Para determinação do vetor de observações, basta organizar as medidas de desnível das sessões de nivelamento na mesma ordem utilizada para o conjunto de equações do sistema linear. Já que as observações em nivelamento geométrico são independentes entre si, para construção da matriz peso das observações ( $P = C_L^{-1}$ ), deve ser formada a MVC das leituras ( $C_L$ ), calculando o desvio-padrão esperado em cada desnível, considerando as variáveis que afetam a precisão de cada seção de nivelamento.

## 3.7. Teste de Qualidade do Ajustamento

### 3.7.1. Resíduos das Observações

O resíduo de uma observação se trata da discrepância observada entre observações medidas e observações ajustadas após realizar o ajustamento de observações. Para determinação do vetor de resíduos  $V$ , deve ser calculado o vetor de observações ajustadas:

$$L_a = AX$$

O que possibilita obter o vetor de resíduos, dado por:

$$V = L - L_a$$

Onde:

$V$ : vetor dos resíduos;

$L_a$ : vetor de observações ajustadas.

Obter o vetor dos resíduos possibilita analisar a existência de observações discrepantes e a realização de outras análises descritas a seguir.

### 3.7.2. Variância a posteriori das observações

Com o vetor dos resíduos determinado, é possível determinar a variância *a posteriori* das observações:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{n - u}$$

Onde:

$\hat{\sigma}_0^2$ : Variância posteriori das observações;

$n$ : Número de observações;

$u$ : Número de parâmetros;

### 3.7.3. Teste Global

Teste estatístico do ajustamento de observações em que é realizada a análise de relação entre variância priori ( $\sigma_0^2$ ) e variância posteriori ( $\hat{\sigma}_0^2$ ). A comparação entre estes valores pode ser um indicador da qualidade do ajustamento (Matsuoka, 2008). Para análise da discrepância entre as variâncias, é aplicado teste de hipótese baseado na distribuição  $X^2$  (qui – quadrado) para verificar a significância do ajustamento em um certo nível de confiança.

Portando, deve-se trabalhar com duas hipóteses:

1. Variância posteriori e variância priori estatisticamente iguais;

$$H_0: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$$

2. Variância posteriori e variância priori diferentes;

$$H_0: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2$$

Para testar se a hipótese nula é rejeitada ou não, a um nível de significância  $\alpha$ , compara-se o valor calculado por:

$$T = \left( \frac{\sigma_0^2}{\hat{\sigma}_0^2} \right) (n - u) = \frac{V^T P V}{\sigma_0^2}$$

com o valor teórico da distribuição  $X_{n-u,a}^2$ .

A hipótese nula é rejeitada se:

$$T < X_{n-u,a}^2$$

### 3.7.4. Teste Paramétrico 1D e 2D

Para o teste paramétrico 1D e 2D foi utilizada a diferença absoluta entre o valor esperado e o medido dividido por 3 vezes o desvio-padrão da média, ou seja:

$$T_p = \frac{|V - \bar{V}|}{3\sigma_{\bar{V}}}$$

onde:

$V$ : medida observada (1D – altimetria, 2D Planimetria);

$\bar{V}$ : medida esperada da componente;

$\sigma$ : desvio-padrão da média;

### 3.7.5. Propagação das Incertezas

No caso da altimetria a fórmula para propagação da incerteza para a irradiação vertical (nivelamento trigonométrico) é dada por (GHILANI E WOLF, 2010):

$$\sigma_{DV} = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial DI} * \sigma_{DI}\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial AZ} * \sigma_{AZ}\right)^2}$$

ou

$$\sigma_{DV} = \sqrt{\sigma_{DI} * \cos(AZ)^2 + (-DI * \sin(AZ) * \sigma_{AZ})^2}$$

com

$$DV = DI * \sin(AZ)$$

onde:

$DV$ : é a distância vertical;

$DI$ : é a distância inclinada;

$AZ$ : é o azimute;

$\sigma_{DI}$ : é a precisão linear da estação total;

$\sigma_{AZ}$ : é a precisão angular da estação total;

## 4. MATERIAIS E MÉTODO

Esta seção apresenta os equipamentos utilizados no trabalho de campo, e posteriormente, no escritório para o processamento dos dados. Foram utilizados três modelos diferentes de GNSS para o rastreamento dos pontos e dois modelos de níveis ópticos para o nivelamento geométrico. No processamento dos dados, dois softwares foram usados, um para o tratamento dos dados GNSS e outro para o ajustamento dos dados do nivelamento geométrico.

### 4.1. Equipamento GNSS

#### 4.1.1. SPECTRA EPOCH 50 L1/L2

O sistema GPS Spectra Precision EPOCH 50 L1 / L2 RTK (Figura 19) trata-se de um receptor GPS de alta precisão e baixo consumo de energia, ideal para levantamento topográfico e piquetagem. O sistema inclui antena, receptor GPS e base EPOCH 50 L1/L2, além de um modem de rádio Pacific Crest. Para manuseio é necessário uma coletora (Spectra Precision Nomad ou Recon), e o software Spectra Precision Field Surveyor.



*Figura 19: GNSS Spectra modelo Epoch 50 de dupla frequência (L1/L2).*

#### **Especificações**

- Medição de pseudo-distância não filtrados
- Medições da fase da portadora GPS L1 e L2
- Precisão para levantamento estático e estático rápido

H:  $\pm 5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$

V:  $\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$

- Precisão para levantamento RTK

H:  $\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$

V:  $\pm 20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$

- Dimensões (cm) do receptor  $14,5 \times 8,1 \times 14,5$
- Dimensões (cm) da antena  $\text{Ø } 16,1 \times 5,8$
- Peso do receptor 1,18 kg
- Peso da antena 0,55 kg

#### 4.1.2. TOPCON HIPER LITE+

Trata-se de um sistema GPS RTK sem cabos (Figura 20) que incorpora um rádio Spread Spectrum de 915 MHz possibilitando comunicação base-rover de até 2,4 km.



Figura 20: GNSS Topcom modelo Hiper Lite+.

#### Especificações

- Canais de rastreamento GPS/GLONAS L1/ L2
- Precisão para levantamento estático e estático rápido  
H:  $\pm 3 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$   
V:  $\pm 5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$
- Precisão para levantamento RTK  
H:  $\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$   
V:  $\pm 15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$
- Bateria Interna de lítio-íon ( $\approx 14$  horas)

- Comunicação Bluetooth
- Memória interna de 128MB
- Temperatura de operação entre -30 ° C a 55 ° C
- Dimensões (cm) do receptor 159 x 172 x 8,8
- Peso do receptor 1,65 kg

#### 4.1.3. TOPCON GR3

O receptor GNSS GR3 da TOPCON (Figura 21) suporta todos os sinais de posicionamento via satélite atuais e planejados. Este receptor possui um sistema de comunicação com tecnologia de celular e rádio. Além disso, este foi o primeiro receptor GNSS com capacidade de comunicação com GPS, GLONASS e GALILEO.



*Figura 21: Par de receptores GNSS GR3 Topcon.*

#### **Especificações**

- Recepção de sinal GPS, GLONASS e GALILEO
- Antena Microcentrada Integrada
- Precisão para levantamento estático e estático rápido

H:  $\pm 3\text{mm} + 0,5\text{ppm}$

V:  $\pm 5\text{mm} + 0,5\text{ppm}$

- Precisão para levantamento RTK e cinemático

H:  $\pm 10\text{mm} + 1\text{ppm}$

V:  $\pm 15\text{mm} + 1\text{ppm}$

- Comunicação via SIM, GSM/GPRS, e Bluetooth
- Memória interna (SD removível)
- Temperatura de trabalho  $-40$  a  $60$  °C
- Blindado, resistente à água e poeira
- Resistente a quedas de até 2 metros
- Dimensões (cm) do receptor  $15,8 \times 15,8 \times 23,4$
- Peso do receptor  $1,78$  kg

#### 4.1.4. Antena GNSS Trimble Zephyr e receptor NetRS

A antena GNSS Trimble Zephyr Geodetic, versão 1, no. 41249-00 (Figura 22a) tem suporte a GPS, GLONASS, e Galileo. A Figura 22b mostra o receptor NetRS, o mesmo foi descontinuado pela Trimble mas continua a ter assistência pela UNAVCO.



(a)



(b)

Figura 22: a) Antena GNSS Trimble Zephyr Geodetic, versão 1, no. 41249-00 b) receptor GNSS Trimble NetRS.

#### Especificações da antena GNSS Trimble Zephyr Geodetic

- Dimensões (cm) de  $\text{Ø}34,3 \times 7,6$

- Peso 1,3 kg;
- Temperatura de operação entre  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Blindado, a prova de umidade;

#### **Especificações do receptor NetRS**

- Memória interna de 150 MB;
- Precisão  
H:  $\pm 5\text{ mm} + 0,5\text{ ppm}$   
V:  $\pm 5\text{ mm} + 1\text{ ppm}$
- Dimensões (cm) 22,8 x 6,5 x 14;
- Peso 1,6 kg;
- Temperatura de operação entre  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

#### 4.1.5. Software GNSS

O Topcon Tools (V.7.5.1) é um poderoso software de processamento e análise de dados GNSS que conta com uma interface amigável ao usuário, sendo de fácil aprendizado e manuseio. Além disso, é facilmente personalizável para corresponder ao seu fluxo de trabalho.

O Topcon Tools suporta todos os instrumentos de pesquisa e coletores de dados da Topcon. Trata-se de um software modular, incluindo os módulos Estação Total, RTK, Pós-processamento, GIS, Design e Imagem, suportando várias formas de visualização do seu trabalho, incluindo Mapa, Ocupação, Google Earth, Tabular, CAD e 3D.

O software Topcon Link (V.7.5.1) suporta todos os formatos de arquivo de propriedade da Topcon e Sokkia, bem como vários outros formatos do setor. Qualquer formato pode ser convertido no formato Topcon e Sokkia desejado para outros, bem como muitos arquivos também podem ser convertidos entre formatos de terceiros.

O Topcon Link é um software gratuito de importação / exportação e conversão de dados completo. Permite: importar / exportar dados para o PC-GPS (pós-processo e RTK), estações totais, coletoras, etc; conversão de formato; transformação e cálculo de coordenadas e edição-visualização de observações; geração de relatórios

## 4.2. Nível Óptico

O nível topográfico, também chamado nível óptico, é um instrumento que tem a finalidade de medir desníveis entre pontos que estão a distintas alturas, ou trasladar a cota de um ponto conhecido a outro desconhecido. O nível é utilizado junto com a baliza/mira.

### 4.2.1. Equipamentos de Nivelamento

#### 4.2.1.1. *GEODETIC*

O Nível Digital GEODETIC DL-202 (Figura 23) é um nível eletrônico digital com leitura em código de barras da mira, determinando automaticamente a diferença de cota e a distância. Para realizar a leitura basta verticalizar a mina, focar e pressionar o botão de medição que o resultado será mostrado na tela.



Figura 23: Nível óptico digital *GEODETIC DL-202*.

### Especificações

Ampliação da luneta	32x
Armazenamento	16 MB (aprox. 100.000 pontos)
Auto desligamento	5 minutos/Off
Bateria	lítio-íon (Autonomia de 15 horas)
Display mínimo distância	0.1/1mm
Display mínimo VD	0.1/1mm
Distância de medição de precisão	0,2% x DD é o valor da distância
Exatidão	0.5"
Faixa de medição	1.5 a 100 m
Intervalo de compensação	±15'

Leitura digital	1.5mm
Leitura óptica	2.0mm
Peso	2Kg
Potência	4.8 V
Relação stadia	100
Resistente à água	IP55
Resolução	3"
Saída de dados	porta USB
Sensibilidade bolha circular	8'/2mm
Temperatura	-20 ~ 50
Tipo	pêndulo amortecido magnético
Valor da escala	1°

#### 4.2.1.2. *WILD N3*

O nível de precisão Wild N3 (Figura 24) é um excelente instrumento para todo tipo de trabalho de nivelamento de primeira ordem. Projetado originalmente para redes geodésicas, foi adotado universalmente como o nível ideal para a medição precisa exigida em pesquisas de deformação de barragens, instalações industriais, montagens de fuselagem de aeronaves e deslocamento vertical. O micrômetro de placa paralela plana é montado na frente da lente objetiva como um recurso interno do N3 e está disponível em modelos métricos e não métricos, fornecendo uma estimativa confiável e simples de 0,01 mm e 0,0005 polegadas, respectivamente. O retículo possui parte de sua linha horizontal na forma de duas linhas em forma de cunha, convergindo para o centro, permitindo que a graduação da equipe seja dividida ou montada, dependendo das circunstâncias e da parte em que a mira é usada são corrigidos por meio de uma rotação do vidro da tampa da lente objetiva que permite um ajuste excepcionalmente sensível, mas simples. Oculares intercambiáveis oferecem a possibilidade de observar com uma imagem invertida ou na vertical.



Figura 24: Nível óptico analógico WILD N3.

### Especificações

Desvio padrão médio em mm por km - corrida dupla	±0.2
Ampliação do telescópio	42x
Constante de multiplicação da estadia	100
Menor distância focal	2 m
Sensibilidade do nível de bolha por 2 mm	10"
Precisão do nivelamento da linha de visada	0.25"
Campo de visão a 100 pés	1.8
Comprimento do telescópio em mm	295
Peso do instrumento	3.5 kg
Peso do recipiente	2.5 kg
Wild Heerbrugg Ltd. Folheto No.	N145

#### 4.2.1.3. Estação Total

Apesar das estações totais serem utilizadas normalmente para levantamentos planialtimétricos, a utilizaremos apenas para altimetria. Neste trabalho se usou a estação

total Topcon GTS-7500 (Figura 25), sendo a estação sem prisma mais avançada da categoria, com um computador de bordo, permitindo gerenciar em campo seus projetos. Possui medição sem prisma de até 2.000 m, equipada com prumo óptico, e duplo compensador, tendo precisão na medição com prisma de 2mm+2ppm.



*Figura 25: Estação total Topcon GTS-7500.*

### **Especificações**

- Teclado alfanumérico expandido e com iluminação
- Leitura direta de 1" (0,5" no modelo GPT-7501)
- Precisão angular de 1", 3" e 5"
- Mira a laser
- Guia luminoso para locação
- Display colorido de cristal líquido (320 x 240 pixels), sensível ao toque
- Sistema operacional Microsoft® Windows® CE.NET 4.2
- Memória 64Mb RAM (expansível)

#### 4.2.2. Software de Nivelamento

O software utilizado neste trabalho é gratuito, mas destina-se apenas a uso educacional, e tem o intuito de auxiliar o professor nos cursos de ajustamento de observações em que o livro *Adjustment Computations, Spatial Data Analysis*, de Charles D. Ghilani, é utilizado. Este software pode ser executado em qualquer plataforma compatível com PC que tenha um sistema operacional Windows. Além disso, possui uma interface gráfica amigável ao usuário e os comandos são bem intuitivos. O ADJUST pode ser baixado no site < <http://www.personal.psu.edu/cdg3/free.htm> >.

## 5. DESENVOLVIMENTO

Para este trabalho foram realizadas três saídas de campo no ano de 2019, a 1ª ocorrendo entre os dias 17 e 19 de junho, a 2ª entre 18 e 20 de setembro, e a 3ª e última entre 28 e 30 de outubro. As duas primeiras saídas de campo serviram para reconhecer a área, preparar e planejar os trabalhos futuros.

Nesta seção será apresentado o desenvolvimento das atividades, de forma detalhada, bem como os resultados obtidos e uma discussão dos mesmos.

### 5.1. Pesquisa Acervo Rede Altimétrica

Para a realização deste trabalho é de fundamental importância obter o máximo de informações possíveis sobre as RNs e os marcos geodésicos já existentes. Estas informações, geralmente, se apresentam na forma de memoriais descritivos, sendo estes espalhados pelos diversos órgãos responsáveis pela materialização e levantamento destes pontos. Assim, se faz necessário realizar uma pesquisa no acervo dos possíveis órgãos responsáveis. O problema é que não é incomum o acervo disponível ao público não conter as informações necessárias ao usuário. Desta forma, deve-se contatar o setor técnico responsável e solicitar os dados necessários. Cabe salientar que este processo muitas vezes é moroso e cansativo.

Neste trabalho a pesquisa realizada foi nos seguintes acervos:

- Prefeitura municipal de Balneário Rincão, referente ao marco geodésico 3A, disponível em: <https://www.balneariorincao.sc.gov.br/cms/pagina/ver/codMapaItem/56102>
- Na Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN pelo link <https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/marcos-geodesicos#0> o qual não retornou os resultados desejados. Desta forma, foi necessário entrar em contato via e-mail com o setor técnico responsável, o qual forneceu (comunicação pessoal em 30/10/2019) os seguintes valores para a referência de nível GP05, denominada neste trabalho de RN CASAN:  $N = 6.810.254,902$  m,  $E = 674.030,521$  m e  $H = 3,277$  m (Figura 26). As coordenadas planimétricas estão na projeção UTM (em SIRGAS2000 com zona 22S e MC 51°) e a coordenada altimétrica é altitude ortométrica, obtida por conversão de altitude elipsoidal (GNSS) via modelo geoidal (MAPGEO); as precisões das coordenadas da CASAN, bem como a versão do MAPGEO usado, não foram informados;



Figura 26: RN da CASAN (GP05).

- No IBGE, pelo link <http://www.bdg.ibge.gov.br/appbdg/>, para buscar as RNs mais próximas ao marégrafo. Através deste link foram encontradas 2 RNs, a 2002B e 2002C (Figura 27), ambas com distâncias similares ( $\approx 10,1$  km);

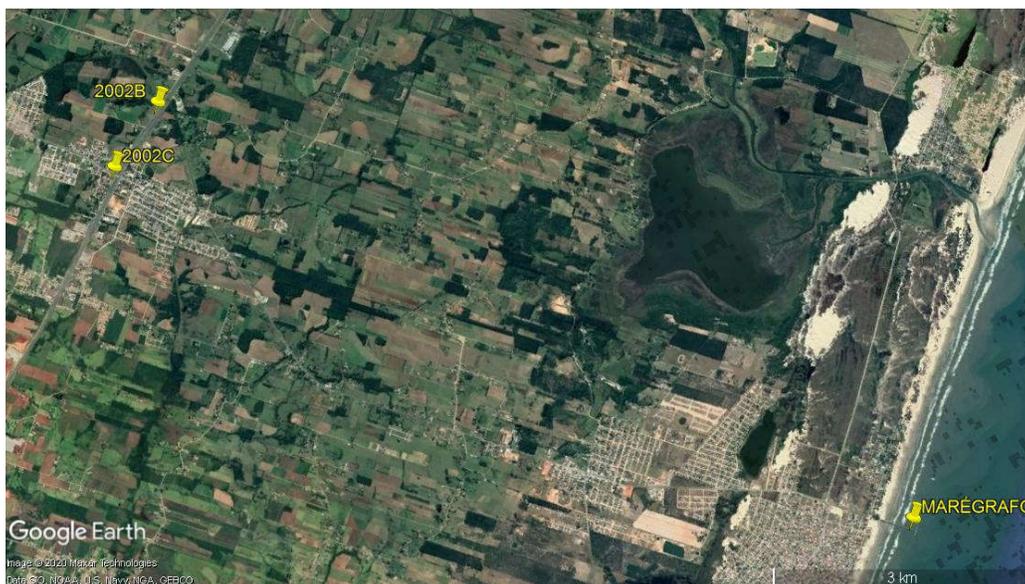
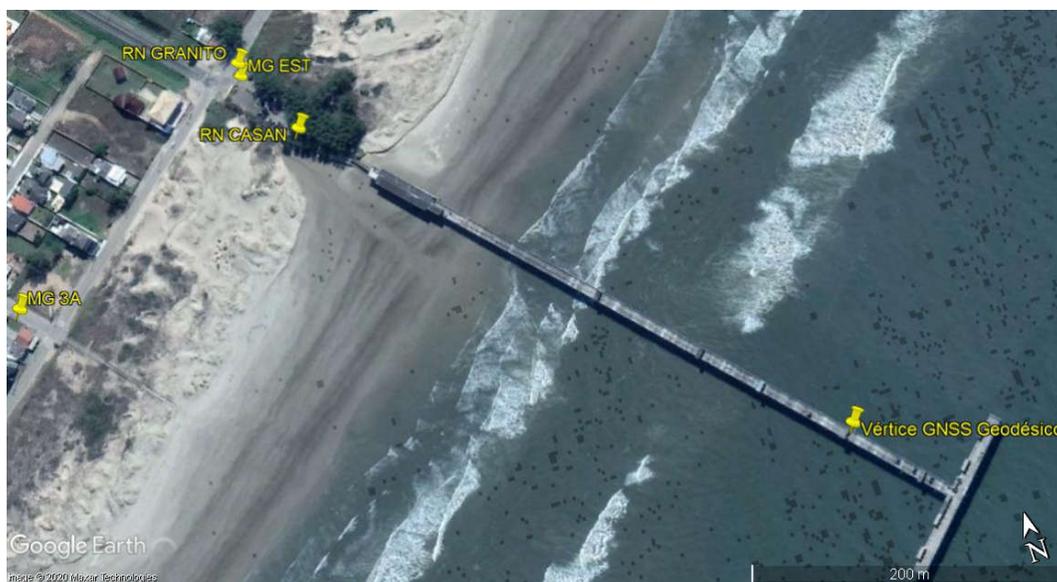


Figura 27: Localização das RNs do IBGE (2002B e 2002C) mais próximas ao marégrafo (MG CASAN). Crédito da imagem de fundo: Mercator Technologies, disponibilizado por Google Earth.

- Na EPAGRI via contato por e-mail, referente as informações do marégrafo e de duas RNs fora da plataforma; em resposta ao e-mail, nos foi informado que a EPAGRI realizou o levantamento com nivelamento geométrico partindo do marco da CASAN até a RN13, a RN44 da inspeção predial e até o corpo do marégrafo; as RNs do granito e do portão do estacionamento não foram levantadas pela própria EPAGRI;
- Além disso, no ano de 2015 (14 a 21 de setembro de 2015) foi realizado um levantamento planialtimétrico cadastral pelos engenheiros Sérgio Becke e Sérgio Garrido, a pedido da defesa civil, para inspeção predial. Para o levantamento foi utilizada uma Estação Total Leica TS02 com precisão de 7". Cabe ressaltar que neste trabalho, de nivelamento trigonométrico para inspeção predial, a precisão é centimétrica ou pior;

A Figura 28 apresentam os pontos, aproximados, acima descritos e a Tabela 1 suas respectivas distâncias horizontais.



*Figura 28: Localização dos marcos geodésicos da CASAN (RN CASAN), da EPAGRI (MG EST no meio fio próximo ao portão de entrada e RN GRANITO na base do granito), municipal (MG 3A), e o Vértice GNSS Geodésico sobre o marégrafo. Crédito da imagem de fundo: Mercator Technologies, disponibilizado por Google Earth.*

**Tabela 1:** Distâncias horizontais aproximadas entre os vértices abordados no trabalho (em metros).

	RN CASAN (GP05)	MG EST	RN GRANITO	MG 3A	2002B	2002C
Vértice GNSS Geodésico	370	470	475	550	10050	10150
RN CASAN (GP05)		96	103	240	9660	9760
MG EST			12	210	9570	9665
RN GRANITO				220	9560	9655
MG 3A					9570	9645
2002B						900
2002C						

## 5.2. Materialização

### 5.2.1. Marcos Geodésicos

#### 5.2.1.1. Pedestal de Inox com Pino de Centragem Forçada

Em meados de julho de 2019, durante o 1º campo, foi realizada a monumentação da estação GNSS Geodésica (Figura 29 a 32), seguindo modelo de pedestal proposto no trabalho de Leipelt e Nievinski (2018). As Figuras 30 a 32 mostram detalhes deste suporte.



*Figura 29: Mastro Longo do Vértice GNSS Geodésico.*



*Figura 30: Pedestal do Mastro.*



*Figura 31: Pedestal do Mastro e os 3 Parafusos para o seu Nivelamento.*

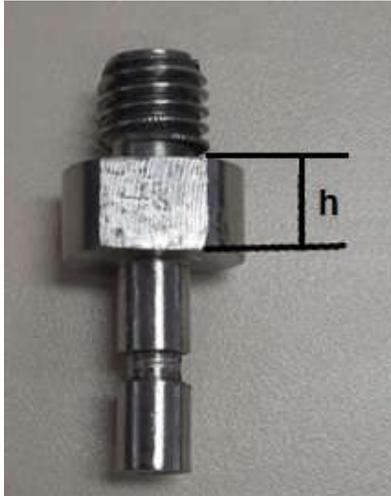


*Figura 32: Vista Lateral dos Parafusos de Nivelamento do Pedestal do Mastro.*

Deve-se ressaltar que o nivelamento do pedestal foi realizado utilizando três pontos de contato. Estes pontos de contato são os 3 parafusos da base e podem ser vistos nas Figuras 30 e 32. Além disso, o mastro (Figura 29) é intercambiável, sendo que possuíamos a disposição dois modelos com comprimentos diferentes. O mastro mais longo evitaria obstruções no entorno da antena, porém o mais curto é mais estável as vibrações.

Inicialmente foi instalado o mastro longo, porém no 1º dia do último campo (28/10/2019) o mesmo foi substituído pelo mastro curto, pois constatou-se haver vibrações do mastro durante uma tempestade que ocorreu.

Na Figura 29, deve-se enfatizar, que foi utilizada uma cabeça de metal com rosca, empregada entre a antena e o mastro (parafuso de centragem forçada desatarraxável) para fixação do equipamento (GNSS, prisma, etc....) (Figura 33) de altura  $h = 1/2''$  (~12,7 mm).



*Figura 33: Parafuso de centragem forçada usado no topo do mastro.*

#### *5.2.1.2. Pino de Centragem Forçada Direto em Granito*

Foi realizada a monumentação do pino de centragem forçada em uma pedra de granito. Infelizmente não foi possível nivelar perfeitamente o pino de ter um único ponto de contato com a superfície. O ideal seria que fosse algo similar a base da Figura 31, permitindo um nivelamento mais refinado.

Para a implantação do pino foi necessário utilizar um conjunto de brocas do tipo serra-copo com revestimento tipo diamante, de diferentes diâmetros, começando pelas menores e furando até a profundidade necessária para que coubesse o chumbador mecânico parabolt de 5/8'' (Figura 34), padrão para a topografia, e o selante químico (Figura 35).



*Figura 34: Chumbador mecânico PARABOLT.*



*Figura 35: Chumbador químico AQV.*

Todo o processo teve que ser refrigerado constantemente para que as brocas não aquecessem e danificassem. Com o furo realizado, o mesmo foi limpo e seco dos resíduos da furação. O próximo passo foi colocar o selante químico e o chumbador, verticalizando o mesmo, e apertando as porcas para que, além do selante químico, seja ativada a trava mecânica do chumbador. Finalmente, colocou-se cola de rosca (LOCTITE) para travar as

porcas. As Figuras 36 a 39 ilustram o processo de materialização do pino de centragem forçada.



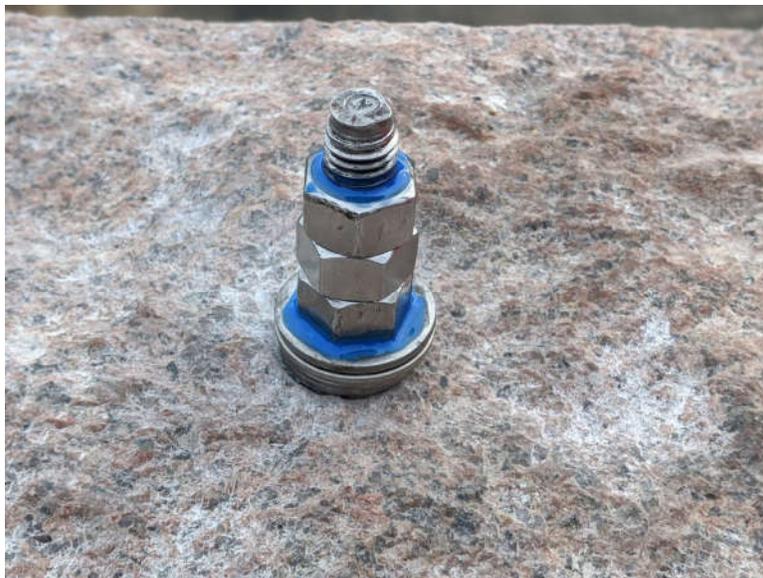
*Figura 36: Furo para o chumbador do pino de centragem forçada molhado para o arrefecimento das brocas diamantadas.*



*Figura 37: Pino de centragem forçada implantado no granito externo ao estacionamento da plataforma de pesca.*



*Figura 38: Marco Geodésico de granito (MG POR) na entrada da plataforma de pesca onde foi instalado o pino de centragem forçada.*



*Figura 39: Pino de centragem forçada monumentado no granito da porta de entrada da plataforma de pesca.*

## 5.2.2. Referências de Nível

### 5.2.2.1. Plaquetas de RN Superficiais

Foram implantadas 4 RNs novas sobre a plataforma compreendidas entre a parte interna da recepção da plataforma e o vértice do GNSS Geodésico. Estas plaquetas foram projetadas por nós e confeccionadas pela empresa RDJ Placas, de Curitiba (PR), constituídas de chapas metálicas circulares com pino para fixação na parte inferior e uma saliência abaulada na parte superior. Esta saliência foi concebida para permitir um único ponto de contato com a régua nivelamento. O custo de confecção das plaquetas foi de R\$300 pela matriz (Figura 9) e de R\$5,50 a unidade (Figura 10). Novas unidades destas plaquetas podem ser adquiridas diretamente com a EDJ Placas.

A implantação das plaquetas para a referência de nível (RNs) foi realizada através de furação do concreto armado, com furadeira de alto impacto e broca adequada ao pino de fixação, e colagem da plaqueta (pino de fixação) no furo com cola PU (selante de Poliuretano), e sua localização aproximada pode ser vista na Figura 40, enquanto a Figura 41 mostra as 4 plaquetas implantadas.



*Figura 40: Croqui de localização aproximada das RNs; as RNs numeradas de 02 a 05 são as novas implantadas; a RN 05 é a mais próxima do marégrafo; a RN INI (M110) é a RN de partida do nivelamento geométrico; os vértices MG são os marcos geodésicos localizados no estacionamento (MG EST) e logo no portão da plataforma (MG POR).*

*Crédito da imagem de fundo: Mercator Technologies, disponibilizado por Google Earth.*



Figura 41: Plaqueta de materialização das RNs novas utilizada.

#### 5.2.2.2. Referência de Nível de Profundidade (RNP)

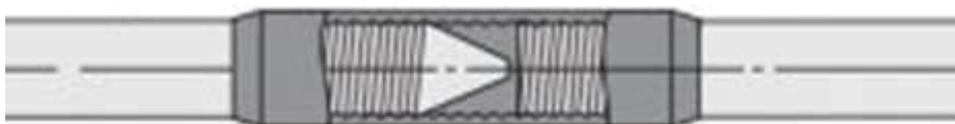
Para este trabalho a RNP foi adaptada para a nossa realidade, com isso, dizemos que a barra de aço inox foi substituída por uma barra rosqueada de 1m de comprimento por 17 mm de diâmetro. A conexão entre as barras rosqueadas foi feita com uma luva, e assim, teremos tantas emendas quanto as necessárias até que se atinjam a rejeição da barra pelo solo ou se minimize a taxa de aterramento. As Figuras 42 a 44 ilustram a adaptação. Esta adaptação ocorreu devido aos custos envolvidos, sendo a barra rosqueada significativamente mais barata que a barra de aço inox.



*Figura 42: Haste rosqueada utilizada neste trabalho.*



*Figura 43: Exemplo, ilustrativo, da luva de conexão entre hastes.*



*Figura 44: Exemplo, ilustrativo, de conexão entre duas hastes através da luva.*

A materialização da Referência de Nível de Profundidade (RNP), identificada como RN PRO na Figura 40 seguiu as especificações supracitadas. Para o nosso caso, foram marretadas as hastes rosqueadas, totalizando 4 metros de profundidade, até que foi rejeitada pelo solo. Deve-se ressaltar que foram utilizadas marretas de 1kg e 5kg para trabalho. As emendas entre as hastes foram realizadas com 1 luva rosqueada para unir as hastes, 2 porcas (uma em cada extremidade da luva rosqueada) para reforçar a fixação, e trava química para a rosca (LOCTITE). A ponta da haste marretada recebeu uma cabeça rosqueada para receber os impactos e não estragar a rosca. As Figuras 45 a 49

exemplificam o descrito. Finalmente, foi colocado o tubo cheio de graxa seguido por areia (Figura 48 e 49).



*Figura 45: Cano de PVC de 5" x 1,20 m de profundidade colocado no solo.*



*Figura 46: Detalhe da conexão de duas hastas rosqueadas através da luva de conexão e duas porcas de fixação (além da trava química).*



*Figura 47: Processo de estaqueamento manual da RN de profundidade via marreta de 1kg e 5kg.*



*Figura 48: (Esq.) Cabeça protetora da haste rosqueada contra as marretadas para evitar a deformação da rosca; (Dir.) Haste dentro do pvc de ½” com graxa, e preenchido exteriormente com areia.*



*Figura 49: Referência de nível de profundidade implantada.*

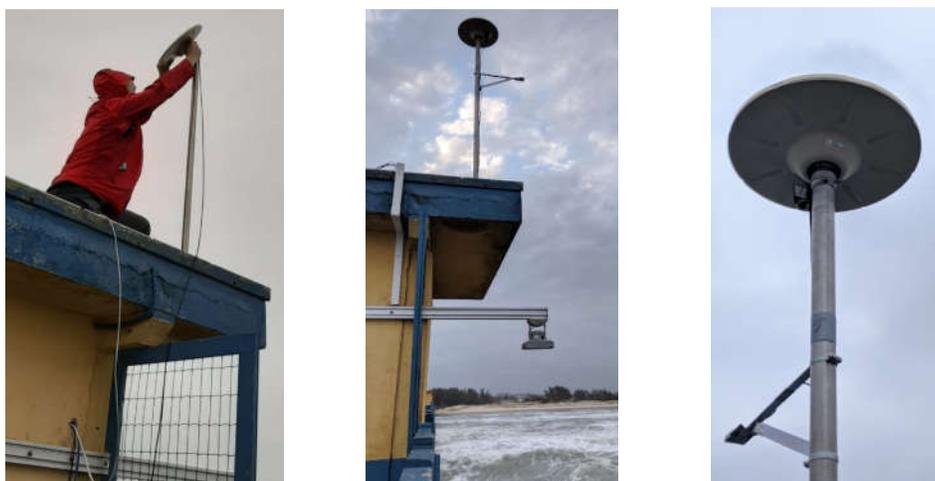
Se sugere que para trabalhos futuros sejam empregadas barras mais grossas, pois estas tendiam a envergar, e que além disso se use um bate-estaca manual (ou batedor de haste/estaca/mourão) de metal (Figura 50).



*Figura 50: Bate-estaca manual.*

### 5.3. Instalação da Estação GNSS

Na 2ª saída de campo, foi realizada a instalação da antena GNSS Trimble Zephyr Geodetic, versão 1, no. 41249-00 (Figura 51) no ponto Vértice GNSS Geodésico, o receptor NetRS e seu Software. Além disso foi realizado o seu cabeamento (cabo de rede, cabos de alimentação e cabo de telemetria – Figura 52) até o painel de controle (Figura 53), bem como a configuração do receptor GNSS Trimble NetRS (Figura 54). Cabe ressaltar que o cabo coaxial foi confeccionado especificamente para a instalação do equipamento (Figura 55).



*Figura 51: GNSS Geodésico.*



*Figura 52: Instalação dos cabos de rede, de alimentação e cabo de telemetria.*



*Figura 53: Painel de controle do GNSS Geodésico.*



*Figura 54: Configuração do GNSS Geodésico.*



*Figura 55: Cabo coaxial confeccionado.*

As figuras a seguir (Figura 56 e 57) são para ilustrar a instalação do GNSS geodésico com mais detalhes do equipamento, suporte, cabeamento e etc.



*Figura 56: (Esq.) GNSS Geodésico com o mastro curto sobre o marégrafo; (Dir.)  
Detalhes do GNSS Geodésico com o mastro longo sobre o marégrafo.*

Atualmente o GNSS Geodésico está instalado conforme a Figura 57 com o mastro curto e com internet via rádio para transmissão dos dados.



*Figura 57: GNSS Geodésico com o mastro curto sobre o marégrafo e o rádio para a internet.*

As Figuras 58 e 59 mostram detalhes do receptor GNSS Geodésico, em vista superior e inferior, respectivamente.



*Figura 58: Vista superior do GNSS Geodésico.*



*Figura 59: Vista inferior do GNSS Geodésico.*

#### **5.4. Levantamento GNSS**

A linha-base curta do trabalho, que é a linha formada pelo ponto onde se encontra o pino de centragem forçada externa à plataforma (MG POR – Figura 60) e o vértice GNSS Geodésico sobre a plataforma (Vértice GNSS Geodésico - Figura 60), foi levantada via rastreo GNSS.



*Figura 60: Descrição da linha-base para o trabalho.*

Para o levantamento foi utilizado um par de receptores GNSS de dupla frequência GR3 Topcon (Figura 61), coletando dados no modo cinemático com taxa de rastreo de

0,2 Hz (5 vezes por segundo), durante aproximadamente 8h (das 8h até às 16h). Para esta linha-base o receptor no ponto MG POR foi configurado como a base e o receptor no ponto Vértice GNSS Geodésico configurado como rover.



*Figura 61: Receptor GNSS GR3 Topcon (rover) no Vértice GNSS Geodésico.*

Cabe ressaltar que houveram outros levantamentos GNSS realizados para este trabalho durante saídas de campo anteriores. Porém, o levantamento da base não foi realizado no ponto com o pino de centragem forçada (MG POR – Figura 49) visto que ele ainda não havia sido materializado. Desta forma o levantamento foi realizado com a base sobre uma RN próxima (MG EST – Figura 40) e simultaneamente com o Vértice GNSS Geodésico (Figura 60).

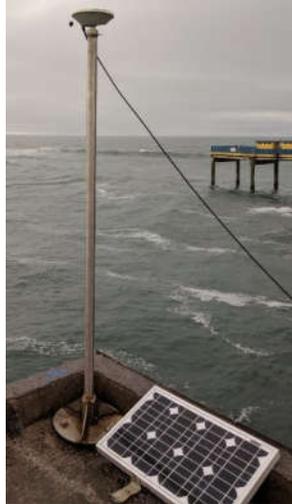
No primeiro dia da primeira saída de campo foi realizado o rastreamento dos pontos MG EST e Vértice GNSS Geodésico com o GNSS Spectra. O modelo deste GNSS é o Epoch 50 de dupla frequência, coletando dados no modo cinemático com taxa de rastreamento de 0,2 Hz, durante aproximadamente 8h, das 10h até as 18h. Para esta linha-base o receptor no ponto MG EST foi configurado como a base (temporária) e o receptor no ponto Vértice GNSS Geodésico configurado como rover. Além disso, a antena foi

desatarraxada do receptor para permitir que o GNSS ficasse mais próximo da rede elétrica para alimentação do equipamento.

No segundo dia um novo rastreo dos mesmos pontos foi realizado, desta vez utilizando o par de receptores GNSS Topcom, modelo Hiper Lite+ (Figura 20). Neste caso o tempo de rastreo foi menor, sendo de aproximadamente 4h. A reocupação destes pontos foi feita para verificar o levantamento da linha-base de forma independente do equipamento empregado (Spectra ou Topcon), com a finalidade de verificar erros grosseiros. A Figura 62 mostra os pontos da LBC ocupados com o par de receptores GNSS Topcom, modelo Hiper Lite+, enquanto a Figura 63 mostra detalhes do ponto vértice GNSS Geodésico com o mastro longo ocupado com o receptor Spectra Epoch.



*Figura 62: Rastreo dos pontos com GNSS Topcon Hiper Lite+ (esq.: base local no ponto MG EST; dir.: rover no ponto Vértice GNSS Geodésico).*



*Figura 63: Rastreamento do ponto vértice GNSS Geodésico com receptor Spectra Epoch e mastro longo.*

Com este par GNSS também se realizou o levantamento planialtimétrico das RNs via posicionamento relativo Cinemático em Tempo Real (RTK) (Figura 64). Cabe ressaltar que devido a posição das plaquetas de materialização das RNs da UFRGS, logo abaixo das casas sobre as plataformas, houve um problema de obstrução do receptor GNSS durante o levantamento dos pontos via RTK. Esta obstrução ocorreu devido ao teto da estrutura, em um dos casos (RN 04 – Figura 49) o bastão com o GNSS não coube abaixo do teto. Assim, se conclui que a escolha do local de instalação das RNs deve considerar não apenas a proximidade ao marégrafo mas também requisitos de desobstrução para posteriores levantamentos.



*Figura 64: Localização da RN GRANITO.*

## 5.5. Nivelamento

### 5.5.1. Nivelamento Geométrico com Nível Digital

O nivelamento geométrico com nível digital foi realizado desde uma RN da defesa civil já existente no T da plataforma, a M110, denominada neste trabalho de RN INI (Figura 49) até o marco geodésico já existente na base do granito no portão (RN GRANITO – Figura 38) fora do estacionamento da Plataforma Norte; neste caso não houve contranivelamento. Para isso se utilizou um nível de leitura digital configurado para calcular a média de 6 leituras em cada visada. Abaixo temos algumas fotos do trabalho (Figuras 65).



*Figura 65: Nivelamento geométrico com nível óptico digital.*

### 5.5.2. Nivelamento Geométrico com Nível Analógico

Foram estacionados os 2 equipamentos sobre a plataforma lado a lado, sendo o nível digital (GEODETIC) e o nível analógico (WILD N3), ambos com lances de aproximadamente 25m, e se confirmou que o nível digital amplifica a vibração da plataforma devido ao seu compensador (oscilando em até 2 cm de amplitude); enquanto o nível analógico de bolha bi-partida tem vibração inferior a 1 mm de amplitude. Por tal motivo se optou por realizar o nivelamento geométrico com o nível óptico analógico no lugar do digital.

O circuito de nivelamento geométrico iniciou da RN INI (M110), já existente no T da plataforma e foi até a RN 04 (Figura 49), onde se encerrou o trabalho neste dia. No dia seguinte, o nivelamento geométrico foi concluído e se iniciou o nivelamento no MG POR, indo até a RN 04 do dia anterior (Figura 49). Neste levantamento o

contranivelamento foi realizado simultaneamente ao nivelamento. As Figuras 66 a 68 mostram alguns momentos do levantamento com o nível WILD N3.



*Figura 66: Nivelamento geométrico com nível óptico analógico (WILD N3) de bolha bi-partida.*



*Figura 67: (Esq.) Bolha bi-partida; (Dir.) Nível WILD N3.*



*Figura 68: Nível WILD N3.*

### 5.5.3. Nivelamento Trigonométrico

Após o nivelamento geométrico foi realizado o nivelamento trigonométrico com estação total dos seguintes pares de pontos: entre a RN 05 e o Vértice do GNSS Geodésico usando o mastro curto; entre a RN 05 e o parafuso lateral do marégrafo; entre a RN 05 e o GNSS experimental instalado no mastro do GNSS Geodésico (Figura 69 e 70); e entre a RN da EPAGRI na entrada da plataforma e o pino de centragem forçada materializado (Figura 71). Também foi realizado o nivelamento trigonométrico entre a RN INI (M110 da defesa civil) e o GNSS experimental instalado no T da plataforma.



*Figura 69: Pontos de interesse, no canto inferior esquerdo temos as RNs da UFRGS e EPAGRI, ao centro e a direita o marégrafo, e acima o topo do mastro.*



*Figura 70: Nivelamento trigonométrico, entre a RN da EPAGRI e o GNSS Experimental junto ao mastro do GNSS geodésico, utilizando prisma.*



*Figura 71: Nivelamento trigonométrico entre a RN da EPAGRI na entrada da plataforma e o pino de centragem forçada materializado.*

Cabe comentar, para trabalhos futuros, que se deve tomar 3 fotos para cada vértice conforme as orientações do *Requirements for Digital Photographs of Survey Control* (NOAA, 2011), sendo as mesmas do tipo: zoom (*close-up*), de pé (*eye-level*) e do horizonte (*horizon*) (Figura 72).



Figura 72: Da esquerda para a direita, foto tipo zoom, foto de pé, e foto do horizonte.  
Adaptado de: National Geodetic Survey. Disponível em:  
<https://www.ngs.noaa.gov/surveys/mark-recovery/mark-descriptions-help.shtml#photos>



**Tabela 2:** Resultados do processamento da LBL e PPP para o ponto MG POR.

PONTO	COORDENADAS CURVILÍNEAS			DESVIO-PADRÃO		
	LATITUDE	LONGITUDE	ALT.	N (m)	E (m)	V (m)
MG POR (PPP)	28°49'24.5892"S	49°13'01.9235"W	7,310	0,001	0,001	0,002
MG POR (TT)	28°49'24.5886"S	49°13'01.9219"W	7,365	0,017	0,019	0,036

**Tabela 3:** Resultados do processamento da LBL e PPP para o ponto MG POR (UTM).

PONTO	COORDENADAS UTM			DESVIO-PADRÃO		
	N (m)	E (m)	h (m)	N (m)	E (m)	V (m)
MG POR (PPP)	6810264.112	673953.804	7,31	0,001	0,001	0,002
MG POR (TT)	6810264.128	673953.848	7,365	0,017	0,019	0,036

A partir dos dados da Tabela 3, os pontos MG POR (PPP) e MG POR (TT) foram testados estatisticamente, ao nível de confiança de 95% para verificar sua igualdade estatística. A princípio, os dois conjuntos de coordenadas são estatisticamente diferentes. No entanto, percebe-se que as diferenças das coordenadas ( $\Delta N = 1,6$  cm,  $\Delta E = 4,4$  cm,  $\Delta h = 5,5$  cm) estão dentro da ordem de grandeza esperada (centimétrica). Por outro lado, deve-se salientar que a incerteza do PPP é otimista, ou seja, estão sendo subestimadas, pois a precisão milimétrica é irrealista; isto ocorre, pois, a taxa de rastreamento é muito alta (0,2 Hz) e faz com que os resíduos não sejam independentes, isto é, apesar de aleatórios, são auto-correlacionados. Para se obter precisões mais realistas no PPP, o ideal é que os dados de rastreamento tenham sido decimados para um intervalo maior entre observações (por exemplo, 10 segundos). Além disso, o modelo da antena TOPCON GR3 usada foi conferido e devidamente reconhecido pelo software online PPP do IBGE, descartando erros sistemáticos. Dessa forma, foi possível concluir que não há erros grosseiros de processamento para a LBL. Subsequentemente, foram adotados os resultados provenientes do Topcon Tools.

### 6.1.2. Processamento da Linha Base Curta (LBC)

A linha base curta (LBC), composta pelo vértice situada no pino de centragem forçada do granito (MG POR) e pelo Vértice GNSS Geodésico sobre o marégrafo (Figura 56), também foi levantada via rastreamento GNSS. Para isto, se optou o rastreamento RTK (Real Time Kinematic) com a base GNSS no ponto MG POR e o rover no ponto Vértice GNSS Geodésico. Entretanto, as coordenadas da base local no topo do granito (MG POR) foram obtidas inicialmente em campo por posicionamento por ponto simples e posteriormente corrigidas em pós-processamento no escritório. As coordenadas dos pontos rover foram

então re-computadas atualizando os vetores com relação à base local, sem reprocessar os dados brutos GNSS.

A partir destes dados, dois tipos de processamentos foram realizadas para a determinação da coordenada do Vértice GNSS geodésico, a saber: em modo cinemático e em modo estático.

### 6.1.3. Processamento GNSS Cinemático da LBC

O método de coleta dos dados foi no modo de posicionamento relativo cinemático (RTK) com taxa de rastreamento de 0,2 Hz, durante aproximadamente 8h. Desta forma os erros relativos entre a base e o rover são automaticamente corrigidos durante o rastreamento, restando realizar a correção para os erros próprios da coordenada da base.

Após os processamentos dos dados GNSS, os mesmos foram filtrados para remover informações espúrias; foram removidos todos os registros em que: a solução da portadora não se manteve fixa, as variações nas coordenadas planimétricas excederam  $\pm 15$  cm e dados cujo a coordenada altimétrica excedeu  $\pm 10$  cm. Assim, a partir desses dados foi possível analisar o comportamento do ponto ao longo do dia (durante o rastreamento) e o seu comportamento com relação a vibração da plataforma devido as ondas, ventos e demais fatores. Nos gráficos a seguir pode ser visto o comportamento da componente vertical do ponto Vértice GNSS Geodésico ao longo do tempo.

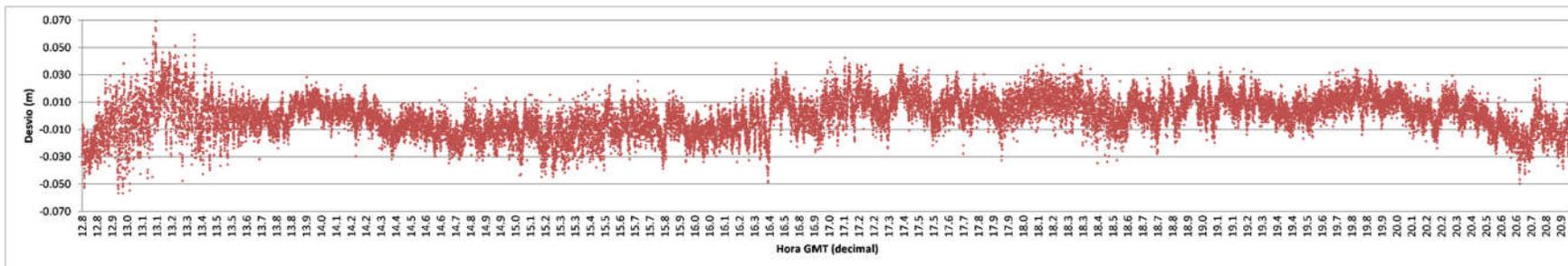


Figura 74: Gráfico do desvio da coordenada vertical no ponto Vértice GNSS Geodésico para o período de rastreamento de 8h15min.

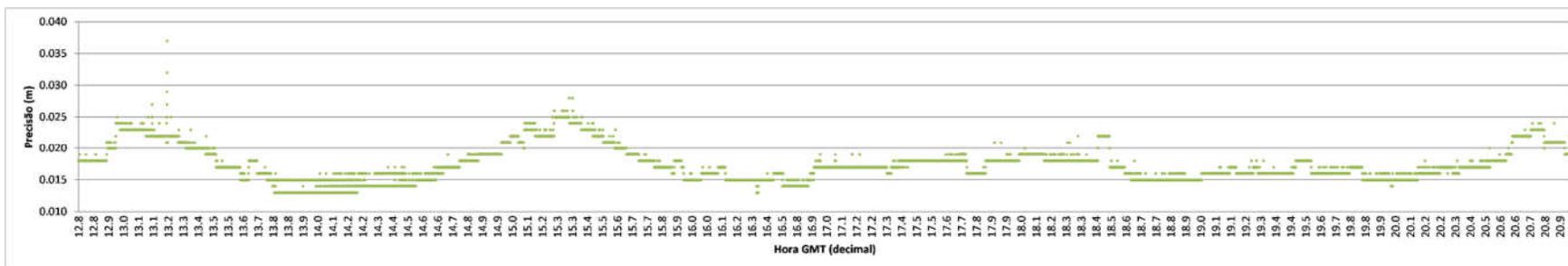


Figura 75: Gráfico da precisão da componente vertical do ponto Vértice GNSS Geodésico para o período de rastreamento de 8h15min.

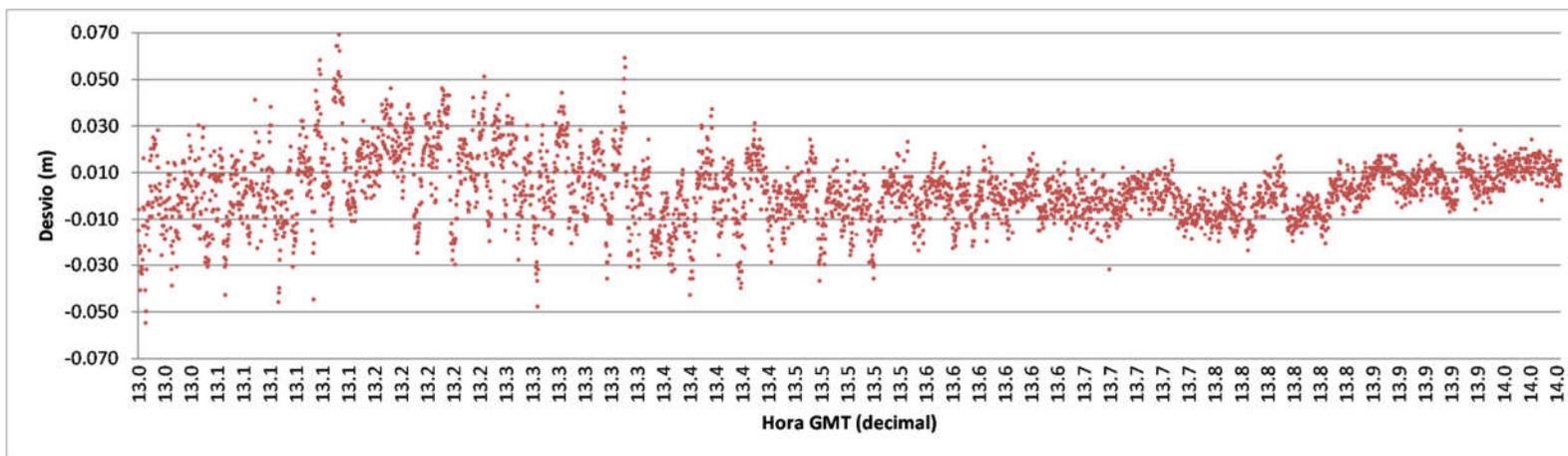


Figura 76: Gráfico do desvio da coordenada vertical do ponto Vértice GNSS Geodésico para o período de rastreamento de 1h, das 13h GMT às 14h GMT.

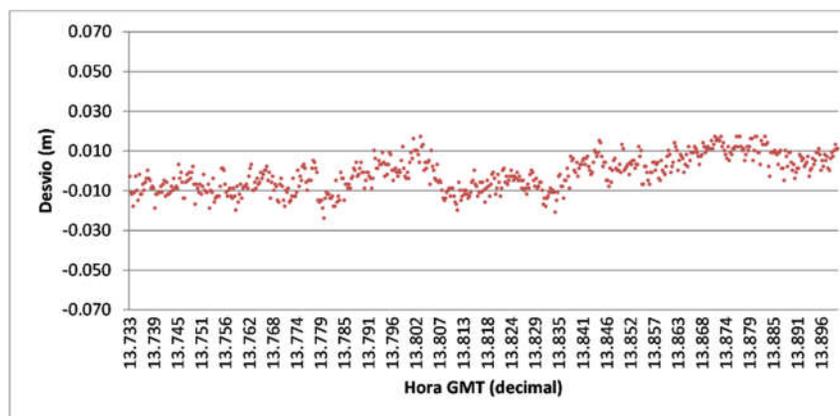


Figura 77: Gráfico do desvio da componente vertical do ponto Vértice GNSS Geodésico para o período de rastreamento de das 13:44 GMT às 13:54 GMT.

Para o rastreamento completo, temos que a componente vertical do Vértice GNSS Geodésico possui uma variação entre 10,93 m e 11,06 m, ou seja, um intervalo de 13 cm (Figura 74). Pela Figura 75 se vê que a precisão instantânea, de forma geral, oscila entre 1,2 cm e 2,5 cm, com discretos pontos caindo fora deste intervalo. Além disso, se observa no comportamento vibratório destes dados a existência de um possível padrão, talvez correlacionado com os ventos.

A Figura 76 é uma visão mais restrita, para dados sobre 1h de rastreamento, selecionados entre as 13h GMT e as 14h GMT, no momento de interesse similar a anteriormente descrita. A possibilidade de um padrão de repetição parece se tornar mais clara neste caso. Seriam necessários mais estudos para este padrão em um maior conjunto de dados para determinar tal existência.

Por último, a Figura 77 apresenta as variações para 10 min de rastreamento do ponto de interesse, entre as 13:44 GMT e as 13:54 GMT. Aqui temos uma redução no intervalo da componente vertical, sendo de apenas 3 cm. Obviamente, com um menor tempo de rastreamento menos propício a vibrações anômalas está a coordenada, fazendo com que sua amplitude de vibração seja menor e sua precisão da média maior.

Cabe salientar aqui que até às 14h GMT, as condições climáticas estavam favoráveis, com pouco vento e ondas baixas; porém, a partir deste horário, houve uma mudança climática repentina e a plataforma foi atingida por uma forte tempestade, fazendo com que houvesse uma vibração mais acentuada. Portanto, os dados levantados devem refletir esta mudança repentina no tempo através de oscilações acentuadas nas coordenadas do Vértice GNSS Geodésico a partir das 14h GMT.

#### 6.1.4. Processamento GNSS Estático da LBC

Para o processamento GNSS estático, os dados GNSS corrigidos para todo o período de rastreamento foram usados para extrair uma coordenada média do ponto Vértice GNSS Geodésico, que pode ser visto na Tabela 4. Observa-se também uma diferença de nível ao longo da LBC, entre a base (MG POR) e o rover (Vértice GNSS Geodésico), via rastreamento GNSS de 3,628 m (10,993 m - 7,365 m).

Percebe-se que a precisão é otimista, pois é irrealisticamente pequena, sendo apenas um décimo de milímetro na componente vertical e menor ainda nas componentes horizontais. Novamente, isto decorre da auto-correlação dos resíduos, que não são tão independentes quanto se supõe no cálculo da média. Da Figura 74 observa-se que as

variações apresentam um comportamento pseudo-aleatório, pois devido à alta taxa de rastreamento há uma certa correlação entre as observações, o que acaba por superestimar as precisões. Cabe salientar que neste trabalho não foi abordada nenhuma técnica para decorrelação dos dados, e se assumiu que são independentes. Na falta de métodos mais rigorosos, recomenda-se adotar como precisão final o desvio padrão das observações, que são cerca de 0,5 cm na planimetria e 1,3 cm na altimetria.

**Tabela 4:** Coordenadas médias do Vértice GNSS Geodésico via processamento estático dos dados GNSS (em metros).

	AJUSTAMENTO PONDERADO		
	N	E	U
<b>MÉDIA</b>	6809902,318	674268,023	10,993
<b>FATOR DE PRECISÃO</b>	0,928	0,815	0,757
<b>ERRO PADRÃO</b>	0,00004	0,00004	0,00010
	AJUSTAMENTO NÃO PONDERADO		
	N	E	U
<b>MÉDIA</b>	6809902,318	674268,023	10,993
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,0063	0,0052	0,0135
<b>ERRO PADRÃO</b>	0,00004	0,00003	0,00008

#### 6.1.5. Planimetria

Foi realizado um levantamento planimétrico via rastreamento GNSS RTK para a elaboração de um croqui com o posicionamento dos principais pontos de interesse deste trabalho. Estes pontos são: as plaquetas das RNs implantadas pela UFRGS, as principais RNs já existentes da CASAN (RN CASAN ou GP05), da EPAGRI (MG EST) e defesa Civil (RN INI ou M110), a RN de profundidade (RN PRO) materializada pela UFRGS, o marco geodésico externo com o pino de centragem forçada (MG POR) materializado pela UFRGS, e o Vértice GNSS geodésico sobre o marégrafo. A Figura 78 ilustra esses pontos, enquanto a Tabela 5 apresenta as coordenadas UTM (em SIRGAS2000 com zona 22S e MC 51°) destes pontos. Deve-se salientar que as coordenadas da planialtimetria não tem precisão para monitoramento de deformações, servindo apenas para mapeamento e visualização cartográfica.

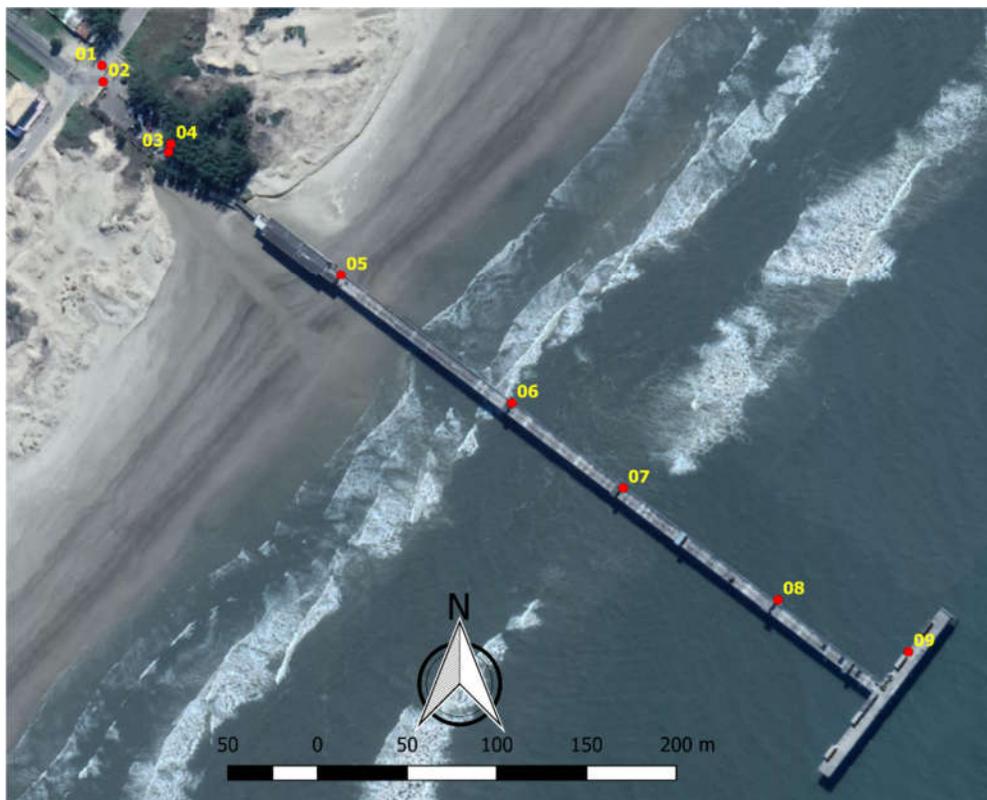


Figura 78: Coordenadas planimétricas, em UTM, para os vértices da rede. Crédito da imagem de fundo: Mercator Technologies, disponibilizado por Google Earth.

**Tabela 5:** Coordenadas planimétricas, em UTM, para os vértices da rede.

PONTO	NOME	N	E
01	MG POR	6810264,00	673953,00
02	MG EST	6810255,00	673952,00
03	RN CASAN (GP05)	6810210,06	673980,52
04	RN PRO	6810214,13	673982,53
05	RN 02	6810125,00	674062,00
06	RN 03	6810037,00	674142,00
07	RN 04	6809979,00	674194,00
08	RN 05	6809902,00	674267,00
09	RN INI (M110)	6809860,00	674333,00

## 6.2. Nivelamento

### 6.2.1. Nivelamento Geométrico

Durante as duas saídas de campo foram realizados dois nivelamentos geométricos, um com o nível analógico WILD N3 e outro com o nível digital GEODETIC DL-202; em ambos os casos, os dados foram processados com o software ADJUST (GHILANI,

2010), obtendo desta forma a coordenada e sua precisão associada conforme seção 4.2.2. No primeiro levantamento foi feito contra-nivelamento simultâneo, permitindo assim o ajustamento de leituras redundantes e o cálculo da precisão. As Figuras 79 e 80 apresentam, respectivamente, os circuitos de nivelamento geométrico para o GEODETIC DL-202 e WILD N3.



Figura 79: Circuito de nivelamento geométrico para o nível GEODETIC DL-202.



Figura 80: Circuito de nivelamento geométrico para o nível WILD N3.

Primeiramente foram ajustadas as observações provenientes do nível WILD N3, onde a RN de origem foi a RN CASAN (GP05).

Para o ajustamento das observações provenientes do nível digital GEODETIC DL-202 a RN de referência usada foi a RN GRANITO, materializada na base do granito fora do estacionamento. A sua altitude foi calculada a partir do ajustamento anteriormente descrito, e cujo valor é  $H = 3,503$  m.

Nas Tabelas 6 e 7, é possível ver um resumo dos resultados para, respectivamente, o nivelamento geométrico com o WILD N3 e o GEODETIC DL-202. Cabe salientar que as coordenadas altimétrica calculadas a partir dos dados levantados com o WILD N3 possuem a precisão associada devido à realização do nivelamento e contra-nivelamento, enquanto as coordenadas altimétrica calculadas a partir dos dados levantados com o GEODETIC DL-202 não possuem a precisão pois não houve o contra-nivelamento, e desta forma não há redundância nos dados para poder determinar a precisão associada.

**Tabela 6:** RNs ajustadas para o nivelamento geométrico analógico (WILD N3).

ESTAÇÃO	ELEVAÇÃO (m)	PRECISÃO (mm)
RN CASAN (GP05)	3,2770	
RN GRANITO	3,5032	0,4
RN EST	3,4874	0,3
RN PRO	3,2271	0,4
RN 02	5,0321	0,6
RN 03	5,9893	0,8
RN 04	6,1261	0,9
RN 05	5,5587	1,0
RN INI (M110)	6,3083	1,1

**Tabela 7:** RNs determinadas a partir do nivelamento geométrico digital (GEODETIC).

ESTAÇÃO	ELEVAÇÃO (m)
RN GRANITO	3,5030
RN 02	5,0340
RN 04	6,1320
RN 05	5,5630
RN INI (M110)	6,3190

Nas tabelas acima temos a RN CASAN, também denominada de GP05; a RN da EPAGRI (RN GRANITO) materializada na base do granito; uma 2ª RN da EPAGRI (RN EST) materializada dentro do estacionamento ao lado do portão de entrada; a RN de profundidade (RN PRO) e RNs de superfície (RN 02, RN 03, RN 04 e RN 05)

materializadas pela UFRGS; e a RN INI da defesa civil materializada no T da plataforma também denominada de (M110). Infelizmente, não foi levantada a RN da EPAGRI mais próxima ao marégrafo.

Verificamos uma diferença de 11 mm entre os nossos dois levantamentos para o mesmo ponto RN INI (M110), o que excede demasiadamente a precisão esperada. Como o nível digital foi utilizado sem controle (sem contranivelamento), rejeitamos a sua solução, atribuindo o erro à inexperiência e imperícia. A RN INI (M110), da defesa civil, tem altimetria  $H = 6,313$  m, tendo como origem de referência a RN CASAN (GP05). Assim, o nosso levantamento via nivelamento analógico (WILD N3) apresentou 5 mm de diferença com relação à RN INI (M110). Desta forma, os dados provenientes do nivelamento analógico, desconsiderando erros aleatórios, apontam um possível afundamento da plataforma de 1,7 mm/ano, visto que se passaram aproximadamente três anos entre o levantamento realizado pela EPAGRI e o nosso levantamento em 2019.

#### 6.2.2. Nivelamento Trigonométrico

O nivelamento trigonométrico foi usado neste trabalho para transportar a coordenada altimétrica de uma RN no solo, ou superfície da plataforma, para um ponto acima da superfície que está inacessível via nivelamento geométrico convencional. Isto ocorreu em cinco pontos, a saber: o pino de centragem forçada implantado no topo do granito (MG POR); o topo do mastro no Vértice GNSS Geodésico; o corpo do marégrafo em si; no GNSS experimental II junto ao mastro do Vértice GNSS Geodésico e no GNSS experimental I no T da plataforma próxima a RN INI (M110).

O nivelamento trigonométrico foi realizado com três estacionamentos da ET. O primeiro estacionamento foi junto ao marégrafo, utilizando prisma apoiado sobre a saliência da plaqueta na RN 05 (ré) e se anotou a distância vertical (negativa) entre a RN e o plano horizontal perpendicular à vertical criado pela ET; na sequência se apontou para o prisma no topo do mastro, atarraxado no parafuso de centragem forçada (Figura 33), e se mediu a distância vertical (agora positiva) entre o prisma no topo do mastro e o plano de referência. O mesmo procedimento foi repetido para o GNSS experimental no mastro (Figura 70) com o uso do prisma, e para o parafuso no marégrafo (Figura 81) sem o uso do prisma.



(a)



(b)

*Figura 81: (a) Ilustração do marégrafo no seu suporte; (b) Parafuso do marégrafo onde foi realizada a medição do nivelamento trigonométrico (ponto vermelho).*

O 2º estacionamento da ET foi no T da plataforma, onde se repetiu o processo supracitado, sendo agora a ré na RN INI (M110) com o prisma, e a vante no GNSS Experimental I (sem o prisma).

Por último, o 3º estacionamento foi próximo ao portão de entrada da plataforma, agora sendo a ré na RN GRANITO, com prisma repousando sobre a saliência da plaqueta, e a vante no parafuso de centragem forçada no alto do granito MG POR (também com prisma).

Por último, foi preciso rebater a posição do parafuso do marégrafo até a lâmina inferior do mesmo. Para tal, foi consultado o fabricante, o qual informou o valor de 6,5 cm. Este valor foi confirmado e detalhado pela EPAGRI (comunicação pessoal), indicando que na verdade podem ser identificadas três lâminas inferiores (Figura 82), com as seguintes profundidades: 70 mm até a borda cinza na parte mais exterior, 68 mm até a borda preta intermediária, e 65 mm até a placa de cor branca mais interior do marégrafo. Foi adotado a lâmina correspondente à placa de cor branca.



*Figura 82: Esquema de medidas fornecidas pela EPAGRI e confirmadas pelo fabricante.*

Na Tabela 8 é possível ver a coordenada altimétrica levantada via nivelamento trigonométrico para cada um dos pontos supracitados.

**Tabela 8:** Coordenada altimétrica levantada via nivelamento trigonométrico.

PONTO	DESNÍVEL (m)
RN INI	0,000
MARÉGRAFO (parafuso)	2,335
MARÉGRAFO (lâmina inferior)	1,685
MASTRO CURTO (Vértice GNSS Geodésico)	3,347
GNSS EXPERIMENTAL II MASTRO CURTO	3,262
GNSS EXPERIMENTAL I	2,706
MG POR	2,407

### 6.3. Nivelamento combinado

Na Tabela 9 se apresenta um resumo das coordenadas verticais determinadas combinando o nivelamento geométrico e trigonométrico para os pontos mais importantes dentro e fora da plataforma. Todas as colunas derivam do mesmo nivelamento combinado, variando apenas na origem altimétrica.

**Tabela 9:** Coordenadas verticais determinadas via nivelamento combinado.

	<i>H</i> (m) - CASAN	<i>h</i> (m) - GNSS	<i>C</i> (m) - RNP
<b>MARÉGRAFO (LÂMINA)</b>	7,179	8,734	4,053
<b>MARÉGRAFO (PARAFUSO)</b>	7,244	8,799	4,118
<b>RN 05</b>	5,559	7,013	2,332
<b>Vértice GNSS Geodésico (MASTRO CURTO)</b>	8,905	10,360	5,678
<b>RN GRANITO</b>	3,503	4,958	0,276
<b>MG POR</b>	5,911	7,365	2,684
<b>RN CASAN (GP05)</b>	3,277	4,731	0,050
<b>RN PRO</b>	3,227	4,682	0,000

A primeira coluna (*H* - CASAN) refere-se as altitudes ortométricas calculadas tendo como referência a RN CASAN; a segunda coluna (*h* - GNSS) é a altitude geométrica tendo como referência o rastreo GNSS do ponto MG POR (parafuso de centragem forçada no topo do granito); a última coluna (*C* - RNP) refere-se às cotas tendo a RN PRO como referência.

Cabe aqui salientar que se encontrou uma diferença de 1,454 m entre as altitudes geométrica (*h*) e ortométrica (*H*), que advém principalmente da ondulação geoidal que

relaciona estes dois tipos de altitude no local. Adicionalmente, há possíveis erros na determinação da altitude ortométrica pela CASAN, a qual não informou a precisão do seu levantamento.

A EPAGRI (comunicação pessoal) levantou o marégrafo duas vezes, uma em outubro e outra em dezembro de 2016. Em outubro foi feito o nivelamento desde a RN CASAN até o marégrafo, obtendo-se 7,558 m para a lâmina do mesmo. Já em dezembro, foi feito o nivelamento desde a RN 13 da EPAGRI até o marégrafo, reutilizando parte do levantamento de outubro, obtendo-se 7,161 m para a lâmina do mesmo. Para ambos os casos foi feito contra-nivelamento não simultâneo, com erro de fechamento de 6 mm e de 2 mm em outubro e dezembro, respectivamente. Entretanto, houve um aparente viés de -39,6 cm entre os dois levantamentos; cabe salientar que houve uma mudança na localização do marégrafo entre os 2 levantamentos realizados pela EPAGRI. O radar foi acessado indiretamente, medindo-se a face superior do braço de suporte e então subtraindo a dimensão vertical do braço e do corpo do marégrafo, sendo respectivamente 8 cm e 19,5 cm. Esta última parece superestimada em 0,5 cm em comparação com o manual do fabricante do marégrafo, que especifica dimensão vertical de 19,0 cm. Assim, a altura corrigida seria então 7,563 m e 7,166 m para os levantamentos da EPAGRI de outubro e de dezembro, respectivamente.

Neste trabalho, determinou-se a altitude para a lâmina do radar de 7,179 m. Há, portanto, uma discrepância de 1,8 cm com relação ao nivelamento de dezembro de 2016 realizado pela EPAGRI. Deve-se destacar que houve uma correção de um erro de transcrição nosso encontrado na caderneta de campo para o nivelamento trigonométrico realizado entre a RN 05 (na base do marégrafo) e o parafuso do marégrafo.

Além disso, a altimetria do Vértice GNSS Geodésico determinada via rastreamento GNSS com o mastro longo foi de 10,993 m. Subtraindo 0,65 cm, que é a diferença de comprimento entre o mastro longo e o mastro curto temos a altimetria do Vértice GNSS Geodésico dada por 10,343 m. Desta forma temos uma diferença de nível para a linha base curta de  $2,978 \text{ m} = 10,343 \text{ m} - 7,365 \text{ m}$ . Já para o nivelamento combinado (geométrico e trigonométrico) tendo como referência o parafuso de centragem forçada (MG POR) foi obtido a altitude de 10,360 m (mastro curto), com uma diferença de nível de 2,995 m. A discrepância entre as duas determinações é de 1,7 cm, sendo a segunda menor. Cabe lembrar que houve troca no mastro instalado no pedestal da estação GNSS sobre o marégrafo, e que ao realizar a compatibilização dos dados temos as medidas da altimetria, via diferentes métodos, consistente. A linha base curta foi levantada por GNSS

quando havia o mastro longo, enquanto o levantamento foi realizado quando havia o mastro curto. Recomenda-se refazer o levantamento GNSS da linha base curta com o mastro curto, para uma devida comparação com o nivelamento.

A Tabela 10 apresenta as precisões finais das altimetrias para o nivelamento combinado, determinadas através da equação de propagação de incertezas simplificada descrita na seção 3.7.5 deste trabalho. Para a altimetria utilizamos  $AZ \approx \frac{\pi}{4} rad$ ,  $DI \approx 5m$ , a precisão da ET dada por  $2mm \pm 2ppm$  ou  $\sigma_{DI} = \sqrt{(2 * 10^{-3})^2 + (DI * 2 * 10^{-6})}$ , a precisão angular da ET que é  $3''$  convertidos em radianos, obtendo assim uma incerteza propagada para a altimetria de 0,0026m no nivelamento trigonométrico. Desta forma, para um determinado ponto, se combinou a incerteza do nivelamento geométrico calculado pelo ajustamento com a incerteza do nivelamento trigonométrico.

**Tabela 10:** Incerteza do nivelamento combinado.

<b>PONTO</b>	<b>INCERTEZA (mm)</b>
MARÉGRAFO (parafuso)	2,79
MARÉGRAFO (lâmina inferior)	2,79
MASTRO CURTO (Vértice GNSS Geodésico)	2,79
GNSS EXPERIMENTAL II MASTRO CURTO	2,82
GNSS EXPERIMENTAL I	2,82
RN GRANITO	2,63

## 7. CONCLUSÕES

As mudanças climáticas são o maior e mais complexo problema ambiental da atualidade, acarretando aumento da temperatura média terrestre desde meados do século XX. Projeções futuras indicam que as mudanças são inevitáveis ocorrendo mesmo em diferentes cenários de emissões de gases do efeito estufa. Na melhor das hipóteses, caso se mantenham os níveis atuais de emissão, ao final do século se espera um aumento entre 2,6 e 4,8 graus Celsius na temperatura média global, o que resultaria em um incremento de 0,45 a 0,82 metros no nível médio do mar. Desta forma, o monitoramento do nível médio do mar é de fundamental importância no acompanhamento deste fenômeno, bem como para o planejamento e tomada de ações para mitigar os problemas oriundos deste aumento.

Atualmente, o referencial altimétrico oficial brasileiro está referida ao Datum do marégrafo de Imbituba – SC. No entanto, os marégrafos devem ser constantemente aferidos, principalmente quando instalados em plataformas onde há interferências externas e deformações locais ou regionais (como soerguimento ou rebaixamento da crosta terrestre, recalque do píer etc...). Desta forma, há a necessidade de preservar o referencial altimétrico através de aferições periódicas e de análise da movimentação destas plataformas.

Desta forma este trabalho se propôs a implantar e oferecer uma rede de referência altimétrica para suporte a medição do nível do mar na plataforma marítima de Balneário Rincão (SC). Para tal finalidade foram implantadas 5 RNs, sendo 4 superficiais (plaquetas) e 1 de profundidade. As altitudes destas RNs foram determinadas via 2 métodos, nivelamento (geométrico e trigonométrico) e via rastreamento GNSS dos pontos de interesse. Os dados do rastreamento GNSS foram pós-processados no modo estático para a determinação das coordenadas e suas precisões. Os pontos determinados foram o Marco Geodésico da Portaria (MG POR) e o Vértice GNSS Geodésico, cujas coordenadas verticais são, respectivamente,  $h = 7,365 \pm 0,036$  m e  $h = 10,993 \pm 0,014$  m. O Vértice GNSS Geodésico foi processado no modo cinemático para analisar a vibração da coordenada vertical devido a fatores externos (vibração da plataforma, ondas, ventos, entre outros), onde se verificou a existência de uma vibração pseudo-aleatória, pois devido à alta taxa de rastreamento há uma pequena correlação entre as observações, o que superestima as precisões. Para todo o período de rastreamento se observou 0,13 m de amplitude para a variação da coordenada vertical, com precisão entre 0,012 m e 0,025 m. Para o

período de 1h de rastreo os valores da amplitude de oscilação e precisão se mantiveram iguais, porém a existência de um padrão parece se tornar mais clara neste caso. Ao analisar um período de rastreo de 10min a amplitude de vibração se reduz significativamente, passando a ser de 0,03 m, o padrão de oscilação se torna ainda mais evidente. Não foi realizado nenhum tipo de análise deste padrão visto que fugia ao escopo do trabalho e pela necessidade de uma série histórica para tal análise.

No nivelamento foram combinados dados de levantamento via nivelamento geométrico e trigonométrico para a determinação das cotas, enquanto as altitudes foram determinadas via ajustamento de observações através do software Adjust. Assim foram determinadas as coordenadas para uma série de RNs já conhecidas, além das coordenadas das RNs implantadas neste trabalho, usando como referência a altimetria da RN CASAN ( $H = 3,277$  m). De modo geral as RNs já conhecidas se mostraram de acordo com levantamentos prévios realizados pela EPAGRI, o que permitiu conferir a qualidade do trabalho realizado com relação a existência de erros grosseiros, visto que a diferença absoluta entre o levantamento realizado neste trabalho e o levantamento realizado anteriormente foi inferior a 1cm. Para as RNs implantadas neste trabalho podemos destacar a referência de nível de profundidade (RN PRO) com  $H = 3,227$  m, a MG POR com  $H = 5,911$  m, o topo do mastro no Vértice GNSS Geodésico com  $H = 8,905$  m e a lâmina do radar com  $H = 7,179$  m, todos tendo como referência inicial a RN CASAN. A diferença entre a lâmina do radar determinada neste trabalho e a calculada pela EPAGRI foi de 0,018 m, o que está dentro do esperado. As mesmas RNs, porém usando como referência inicial o ponto MG POR ( $h = 7,365$  m) determinada via rastreo GNSS, tiveram como altimetria, respectivamente,  $h = 4,682$  m (RN PRO),  $h = 7,365$  m (MG POR),  $h = 10,360$  m (Vértice GNSS Geodésico) e lâmina do radar  $h = 8,734$  m.

Deve-se destacar uma diferença entre as coordenadas para a componente vertical dos pontos via rastreo GNSS e via nivelamento. Porém, ao se compatilizar os dados subtraindo 0,65 cm da coordenada altimétrica determinada via rastreo GNSS com o mastro longo, se obtém uma discrepância de 1,7 cm com relação ao nivelamento, o que sugere não haver erros grosseiros no trabalho realizado.

Este trabalho permitiu colocar em prática uma série de conhecimento e técnicas desenvolvidas ao longo do curso, bem como possibilitou implantar uma rede local de referência altimétrica para o monitoramento do marégrafo que está instalado na plataforma de pesca de Balneário Rincão (SC). Com esta rede implantada, e suas coordenadas devidamente determinadas, agora é possível aferir o marégrafo

periodicamente, monitorar sua vibração ao longo do tempo e até determinar possíveis movimentações da plataforma. Além disso, este trabalho implantou, se não a 1ª referência de nível de profundidade, uma das primeiras do Brasil. Técnica esta que começa a ser cada vez mais usada no exterior devido a maior estabilidade vertical do ponto.

Para trabalhos futuros se sugere que seja realizada a conexão da rede de referência local à rede altimétrica brasileira, seja por rastreamento GNSS e/ou por instrumentos ópticos para que se tenha uma única rede padronizada. Além disso, é necessário realizar uma análise da estabilidade, a médio e longo prazo, do marégrafo, com a finalidade de manter um registro histórico e realização da aferição dos equipamentos instalados. Também se faz necessário para trabalhos futuros realizar as medições das RNs 13, 44 e 63 da EPAGRI, e finalmente se sugere que uma nova determinação das coordenadas da RN da CASAN via rastreamento GNSS seja realizada.

## REFERÊNCIAS

4OITO. 2018a. **Desabamento na plataforma Norte (Atualizada)**. Disponível em: <<https://www.4oito.com.br/noticia/desabamento-na-plataforma-norte-atualizada-2750>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2020.

4OITO. 2018b. **Beto Barata fala sobre as plataformas do Balneário Rincão**. Disponível em: <<https://www.4oito.com.br/noticia/beto-barata-fala-sobre-as-plataformas-do-balneario-rincao-2369>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2020.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13133 – Norma de Execução de Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro: 1994. 35 p.

ANDRADE, M., M., TOLDO JR, E., NUNES, J., C., Variabilidade das correntes na plataforma interna ao largo de Tramandai, RS durante o verão de 2016. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 43, n. 3, p. 289-298, fev. 2018. ISSN 1807-9806.

CAMPOS, R. M.; CAMARGO, R.; HARARI, J. Caracterização de eventos extremos do nível do mar em Santos e sua correspondência com as reanálises do modelo do NCEP no sudoeste do Atlântico Sul. *Rev. bras. meteorol.* São Paulo, v. 25, n. 2, p. 175-184, Junho 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862010000200003>.

CAZENAVE, A.; DIENG, H.; MEYSSIGNAC, B. The rate of sea-level rise. *Nature Clim Change*, v. 4, pp. 358–361, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2159>

CHEN, X.; ZHANG, X.; CHURCH, J. The increasing rate of global mean sea-level rise during 1993–2014. *Nature Clim Change*, v. 7, pp. 492–495, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate3325>

CHURCH, J., A., CLARK, P., U., CAZENAVE, A., GREGORY, J., M., JEVREJEVA, S., LEVERMANN, A., MERRIFIELD, M., A., MILNE, G., A., NEREM, R., S., NUNN, P., D., PAYNE, A., J., PFEFFER, W., T., STAMMER, D., UNNIKRISHNAN, A., S., Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013: Climate

Change 2013: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

COELHO, A. C. S. *Avaliação do desempenho de receptores GPS em levantamentos altimétricos, para fim de sistematização de terras*. 2003. 128 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) –Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003

DALAZOANA, R.; DE FREITAS, S. R. C.; BAEZ, J. C.; LUZ, R. T. Brazilian Vertical Datum Monitoring - Vertical Land Movements and Sea Level Variations. *Dynamic Planet: Monitoring and Understanding a Dynamic Planet with Geodetic and Oceanographic Tools IAG Symposium Cairns*, Australia 22–26 August, 2005. DOI: 10.1007/978-3-540-49350-1\_12

DANTAS, W. D. *Avaliação de Metodologias de Levantamento Planialtimétrico para Trabalhos de Terraplenagem*. 2013. 55f. Trabalho de conclusão de curso (Ciência e Tecnologia) - Departamento de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, 2013.

DIAS, A. L.; SARAIVA, A. G. S.; GADELHA, A. G.; SOUZA, R. F.; GUIMARÃES, C. L. Utilização de estação total para a execução de levantamentos altimétricos compatíveis com a classe IIN da NBR 13133. In: *Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, 3. 2010. Anais...Recife, p.1-6.

DONG, S.; FU, X.; SANG, S. Extreme Negative Storm Surge Analysis in Shallow Water Area. *Proceedings of The Seventh ISOPE Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium*. Dalian, China, September 17-21, 2006.

EPAGRI. 2019. **EPAGRI instala maior rede estadual de monitoramento do nível do mar do Brasil**. Disponível em: <<https://www.Epagri.sc.gov.br/index.php/2019/03/11/Epagri-instala-maior-rede-estadual-de-monitoramento-do-nivel-do-mar-do-brasil/>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2020.

FIORE, M. M. E.; D'ONOFRIO, E. E.; POUSA, J. L. Storm surges and coastal impacts at Mar del Plata, Argentina. *Continental Shelf Research*, ISSN 02784343, 2009.

FLOYD, Lt. R. P. **Geodetic Bench Marks - NOAA Manual NOS NGS 1**, September 1978.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Curitiba: 2ª Ed. UFPR, 2015

GHILANI, C., D. **Geomática**. 13a Edição. São Paulo: Editora PEARSON, 2013.

GHILANI, C. D.; WOLF, R. **Adjustment Computations: Spatial Data Analysis** - 6th Ed. John Wiley & Sons, pp. 672, 2010.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Elementary Surveying: an Introduction to Geomatics**. 13<sup>th</sup> ed. Upper Saddle River, NJ :Prentice Hall, 2012.

GLOBO. 2018. **Por Risco de queda, duas plataformas de pesca de praias do Sul de SC são interditadas**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/duas-plataformas-de-pesca-de-praias-do-sul-de-sc-estao-interditadas.ghtml>>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2020.

GUIMARÃES, G. N. *A Altimetria e o Modelo Geoidal no Estado de São Paulo*. 2010.121 f. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2010.

IBGE, 2010. **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Home Page. <<http://www.ibge.org.br>>. Acesso em 21 jun. 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. RESOLUÇÃO – PR nº 22, de 21 de julho de 1983 – **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em território brasileiro**. Rio de Janeiro, 1983.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Padronização de Marcos Geodésicos**, 2008. Disponível em: <[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiUibrGuLbnAhUcK7kGHbAGMQFjAAegQIAxAB&url=ftp%3A%2F%2Fgeofftp.ibge.gov.br%2Fmetodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia%2Fnormas%2Fpadronizacao\\_marcos\\_geodesicos.pdf&usg=AOvVaw0LOuz9IE3jYwIsD-tX1C3S](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiUibrGuLbnAhUcK7kGHbAGMQFjAAegQIAxAB&url=ftp%3A%2F%2Fgeofftp.ibge.gov.br%2Fmetodos_e_outros_documentos_de_referencia%2Fnormas%2Fpadronizacao_marcos_geodesicos.pdf&usg=AOvVaw0LOuz9IE3jYwIsD-tX1C3S)>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2017. **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS - RBM**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16258-rede-brasileira-de-monitoramento-cont?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Orientações para instalação de estações de monitoramento contínuo GNSS compatíveis com a RBMC, 2013. 32p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos - GPS. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, abr. 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. RESOLUÇÃO – **PR nº 01/2015, de 24 de fevereiro de 2015**. Disponível em: <[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiKub-F5vLnAhUOHbkGHYTiD8gQFjAAegQIFxAB&url=ftp%3A%2F%2Fgeofftp.ibge.gov.br%2Fmetodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia%2Fnormas%2Frpr\\_01\\_2015\\_sirgas2000.pdf&usg=AOvVaw0QL44rhD77vlkXtBHXsCn4](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiKub-F5vLnAhUOHbkGHYTiD8gQFjAAegQIFxAB&url=ftp%3A%2F%2Fgeofftp.ibge.gov.br%2Fmetodos_e_outros_documentos_de_referencia%2Fnormas%2Frpr_01_2015_sirgas2000.pdf&usg=AOvVaw0QL44rhD77vlkXtBHXsCn4)>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. RESOLUÇÃO – **PR nº 01/2005, de 25 de fevereiro de 2005**. Disponível em: <[http://geofftp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/normas/rpr\\_01\\_25fev2005.pdf](http://geofftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_25fev2005.pdf)>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2020.

INCRA - INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. Manual Técnico de Posicionamento: Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 1 ed. pp. 34, Brasília, 2013.

LEIPELT, D. B.; NIEVINSKI, N. G.; Alternativas de Monumentação Geodésica para Controle Vertical de Marégrafos. In. *VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

LUZ, R. T.; de FREITAS, S. R. C.; HECK, B.; BOSCH, W. Challenges and First Results Towards the Realization of a Consistent Height System in Brazil. H. Drewes (ed.), Geodetic Reference Frames, International Association of Geodesy Symposia 134, 2009a. DOI: 10.1007/978-3-642-00860-3\_45.

LUZ, R. T.; BOSCH, W.; de FREITAS, S. R. C.; HECK, B.; DALAZOANA, R. Evaluating the Brazilian Vertical Datum Through Improved Coastal Satellite Altimetry Data. *Observing our Changing Earth*, 735 – 741, Springer Berlin Heidelberg, 2009b. DOI: 10.1007/978-3-540-85426-5\_84.

MARONE, E.; CAMARGO, R. Marés meteorológicas no litoral do estado do Paraná: o evento de 18 de Agosto de 1993, *Nerítica*, Curitiba, v.8(1-2), Editora da UFPR, p.73-85, 1994.

MATSUOKA, M., T., MONICO, J., F., G., **Confiabilidade Interna e Externa Durante a Etapa de Planejamento do Levantamento: Exemplo em uma Rede de Nivelamento.** II SIMGEO p. 10, 2008, disponível em: [https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII\\_CD/Organizado/geo/145.pdf](https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII_CD/Organizado/geo/145.pdf)

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

NIEVINSKI, F. G. 2012. **Posicionamento por GPS para Geofísica.** Disponível em: <[https://www.iag.usp.br/geofisica/sites/default/files/GPS\\_para\\_Geofisica.pdf](https://www.iag.usp.br/geofisica/sites/default/files/GPS_para_Geofisica.pdf)>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2020.

NOAA - COASTAL MAPPING PROGRAM. 2011. **Attachment R - Requirements for Digital Photographs of Survey Control**. Disponível em: <<https://www.ngs.noaa.gov/ContractingOpportunities/Attach-R-Photos-Surv-Control.pdf>>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2020.

NOAA - **How is sea level rise related to climate change?** 2018. Disponível em: < <https://oceanservice.noaa.gov/facts/sealevelclimate.html>>. Acesso em: 17 de mar. 2019.

OLIVEIRA, M. M. F.; EBECKEN, N. F. F.; SANTOS, I. A.; NEVES, C. F.; CALOBA, L. P.; OLIVEIRA, J. L. F. Modelagem da Maré Meteorológica Utilizando Redes Neurais Artificiais: Uma Aplicação para a Baía de Paranaguá – PR, Parte1: Dados Meteorológicos da Estação de Superfície. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.2, p. 220-231, 2006.

OPDP, 2017. O PRATICANTE DE PRÁTICO - Em fenômeno raro, mar recua e surpreende moradores de Santos. <<https://opraticantedepratico.com/2017/08/em-fenomeno-raro-mar-recua-e-surpreende-moradores-de-santos.html>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

OTT. 2007. Operating Instructions Radar Level Sensor OTT RLS. Disponível em: <<https://www.ott.com/en-us/products/download/ott-rls-manual-us/>>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2020.

PENG, M.; XIE, L.; PIETRAFESA, L. J. A numerical study on hurricane-induced storm surge and inundation in Charleston Harbor, South Carolina. *Journal of Geophysical Research*, v. 111, 2006.

PMBR - **PREFEITURA MUNICIPAL DE BALNEÁRIO RINÇÃO**. Disponível em: <<https://www.balneariorincao.sc.gov.br/municipio/index/codMapaItem/4334>>. Acesso em: 21 jun. 2019.

RIBEIRO, S. K.; SANTOS, A. S. PMBC, 2016. Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/Relatorio\\_UM\\_v10-2017-1.pdf](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/Relatorio_UM_v10-2017-1.pdf)>.

SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E. Rede Geodésica para o Monitoramento Costeiro do Litoral Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 17, no 4, pp.571-585, Curitiba, 2011.

SEVERO, T. C. *Estudo das Altitudes Físicas Aplicado à Rede Altimétrica Fundamental do Brasil no Estado do Rio Grande do Sul*. 2013. 96 f. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2013.

SILVA, I., SEGANTINE, P., C., L., **Topografia para Engenharia: Teoria e Prática de Geomática**. Elsevier. 2016.

SMITH, C.L. **Bench Mark Reset Procedures**, NGS, September 2010

SMITH C.; MASON A. **FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION AIRPORT SURVEYS (Attachment 10) Photographic Documentation of Setting an NGS 3-D Geodetic Control Monument**. NGS, New York, 1988.

ULLMANN, A.; PIRAZZOLI, P.A.; TOMASIN, A. Sea surges in Camargue: Trends over the 20th century. *Continental Shelf Research*, v. 27, p. 922–934, 2007.

VEIGA, L.A.K; ZANETTI, M.A; FAGGION P.L. **Fundamentos de Topografia**, 2012.

YAMAWAKI, M., K., *Controle Vertical de Marégrafo em Tramandaí (RS) - Rede Altimétrica Local para Apoio ao Monitoramento do Nível do Mar*. 2018, pp. 79, Trabalho de Conclusão de Curso – UFRGS, Porto Alegre - RS, 2018

YAMAWAKI, M. K.; NIEVINSKI, N. G.; Controle Vertical de Marégrafo em Tramandaí (RS) - Rede Altimétrica Local para Apoio ao Monitoramento do Nível do Mar. In. *VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

WAHL, T.; JENSEN, J.; FRANK, T. Improved estimates of mean sea level changes in the German Bight over the last 166 years. *Ocean Dynamics*, v. 61, pp. 701–715, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10236-011-0383-x>

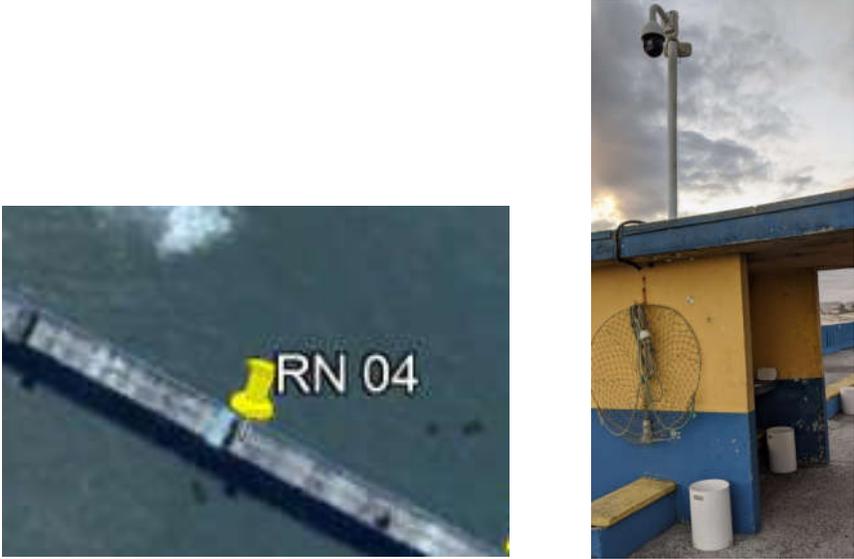
## APÊNDICE – MEMORIAL DESCRITIVO

RELATÓRIO DESCRITIVO DE REFERÊNCIA DE NÍVEL	
Identificação	RN GRANITO
Objetivo	Parte de rede altimétrica local determinada em trabalho acadêmico
Status	Bom estado de conservação
Endereço do vértice	Plataforma Norte, interseção entre Rodovia Deputado Paulino Búrigo s/n com a Rua Rita Dal Bó Benedet s/n-Centro, Balneário Rincão - SC
Detalhe da localização	No topo do granito logo na entrada do estacionamento da plataforma
Contato	<a href="mailto:atilio.grondona@ufrgs.br">atilio.grondona@ufrgs.br</a>
Croqui de localização	
	
Foto do vértice	
	
Coordenadas planimétricas SIRGAS 2000 – UTM (22S – MC 51°)	
E: 673953,00 m	N: 6810264,00 m
Coordenada altimétrica (ortométrica)	5,895 m
Precisão altimétrica	2,63 mm

RELATÓRIO DESCRITIVO DE REFERÊNCIA DE NÍVEL	
Identificação	RN PRO
Objetivo	Parte de rede altimétrica local determinada em trabalho acadêmico
Status	Bom estado de conservação
Endereço do vértice	Plataforma de pesca Norte, interseção entre Rodovia Deputado Paulino Búrigo s/n com a Rua Rita Dal Bó Benedet s/n- Centro, Balneário Rincão - SC
Detalhe da localização	Ao fundo do estacionamento, oposto a guarita de segurança e abaixo das árvores
Contato	<a href="mailto:atilio.grondona@ufrgs.br">atilio.grondona@ufrgs.br</a>
Croqui de localização	
	
Foto do vértice	
	
Coordenadas planimétricas SIRGAS 2000 – UTM (22S – MC 51°)	
E: 673982,53 m	N: 6810214,13m
Coordenada altimétrica (ortométrica)	3,2271 m
Precisão altimétrica	0,4 mm

<b>RELATÓRIO DESCRITIVO DE REFERÊNCIA DE NÍVEL</b>	
Identificação	RN 02
Objetivo	Parte de rede altimétrica local determinada em trabalho acadêmico
Status	Bom estado de conservação
Endereço do vértice	Plataforma de pesca Norte, interseção entre Rodovia Deputado Paulino Búrigo s/n com a Rua Rita Dal Bó Benedet s/n- Centro, Balneário Rincão - SC
Detalhe da localização	Após o prédio da recepção, a direita, no canto próximo a porta do almoxarifado
Responsável	Departamento de Geociências - UFRGS
Contato	<a href="mailto:atilio.grondona@ufrgs.br">atilio.grondona@ufrgs.br</a>
Instituição conveniada	IGEO-UFRGS
Croqui de localização	
	
Foto do vértice	
	
Coordenadas planimétricas SIRGAS 2000 – UTM (22S – MC 51°)	
E: 674062,00 m	N: 6810125,00m
Coordenada altimétrica (ortométrica)	5,0321 m
Precisão altimétrica	0,6 mm

<b>RELATÓRIO DESCRITIVO DE REFERÊNCIA DE NÍVEL</b>	
Identificação	RN 03
Objetivo	Parte de rede altimétrica local determinada em trabalho acadêmico
Status	Bom estado de conservação
Endereço do vértice	Plataforma de pesca Norte, interseção entre Rodovia Deputado Paulino Búrigo s/n com a Rua Rita Dal Bó Benedet s/n- Centro, Balneário Rincão - SC
Detalhe da localização	Pelo centro da plataforma, logo após a 1ª casa de refúgio
Responsável	Departamento de Geociências - UFRGS
Contato	<a href="mailto:atilio.grondona@ufrgs.br">atilio.grondona@ufrgs.br</a>
Instituição conveniada	IGEO-UFRGS
Croqui de localização	
	
Foto do vértice	
	
Coordenadas planimétricas SIRGAS 2000 – UTM (22S – MC 51°)	
E: 674142,00 m	N: 6810037,00 m
Coordenada altimétrica (ortométrica)	5,9893 m
Precisão altimétrica	0,8 mm

<b>RELATÓRIO DESCRITIVO DE REFERÊNCIA DE NÍVEL</b>	
Identificação	RN 04
Objetivo	Parte de rede altimétrica local determinada em trabalho acadêmico
Status	Bom estado de conservação
Endereço do vértice	Pataforma de pesca Norte, interseção entre Rodovia Deputado Paulino Búrigo s/n com a Rua Rita Dal Bó Benedet s/n- Centro, Balneário Rincão - SC
Detalhe da localização	Pelo centro da plataforma, logo após a 3ª casa de refúgio
Responsável	Departamento de Geociências - UFRGS
Contato	<a href="mailto:atilio.grondona@ufrgs.br">atilio.grondona@ufrgs.br</a>
Instituição conveniada	IGEO-UFRGS
Croqui de localização	
	
Foto do vértice	
	
Coordenadas planimétricas SIRGAS 2000 – UTM (22S – MC 51°)	
E: 674194,00 m	N: 6809979,00 m
Coordenada altimétrica (ortométrica)	6,1261 m
Precisão altimétrica	0,8 mm

<b>RELATÓRIO DESCRITIVO DE REFERÊNCIA DE NÍVEL</b>	
Identificação	RN 05
Objetivo	Parte de rede altimétrica local determinada em trabalho acadêmico
Status	Bom estado de conservação
Endereço do vértice	Pataforma de pesca Norte, interseção entre Rodovia Deputado Paulino Búrigo s/n com a Rua Rita Dal Bó Benedet s/n- Centro, Balneário Rincão - SC
Detalhe da localização	Pelo lado esquerdo da plataforma, logo após a 4ª casa de refúgio (onde está o marégrafo)
Responsável	Departamento de Geociências - UFRGS
Contato	<a href="mailto:atilio.grondona@ufrgs.br">atilio.grondona@ufrgs.br</a>
Instituição conveniada	IGEO-UFRGS
Croqui de localização	
	
Foto do vértice	
	
Coordenadas planimétricas SIRGAS 2000 – UTM (22S – MC 51°)	
E: 674267,00 m	N: 6809902,00 m
Coordenada altimétrica (ortométrica)	5,5587 m
Precisão altimétrica	1,0 mm