

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

Aleksei Kruger Gehlen
Silvio Darcy Barcellos Werly

**APLICAÇÃO DO SISTEMA DE VARREDURA LASER TERRESTRE NO
MAPEAMENTO DA BARRAGEM ARROIO DURO**

Porto Alegre
2018

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

Aleksei Kruger Gehlen
Silvio Darcy Barcellos Werly

**APLICAÇÃO DO SISTEMA DE VARREDURA LASER TERRESTRE NO
MAPEAMENTO DA BARRAGEM ARROIO DURO**

Projeto Cartográfico do Curso de Engenharia Cartográfica apresentado na forma de monografia ao Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo.

Orientadores: Prof. Dr. Mario Luis Lopes Reiss
Prof. Dr. Gilberto Gagg

Porto Alegre
2018

**APLICAÇÃO DO SISTEMA DE VARREDURA LASER TERRESTRE NO
MAPEAMENTO DA BARRAGEM ARROIO DURO**

Trabalho de Conclusão de Engenharia Cartográfica para obtenção do título de engenheiro cartógrafo.

Monografia apresentada em 20 dez. de 2018.

Prof. Dr. Luis Felipe Nievinski (UFRGS) – Examinador

Prof. Dr. Sérgio Florêncio de Souza (UFRGS) – Examinador

Eng. Me. Rodrigo da Silva Ferraz (Engenheiro Cartógrafo) – Examinador

AGRADECIMENTOS

Aos nossos orientadores, Prof. Dr. Gilberto Gagg e Prof. Dr. Mário Luiz Lopes Reiss, por nos auxiliarem na resolução das dúvidas e por nos guiarem no desenvolvimento deste trabalho.

Aos nossos familiares, que nos acompanharam em todo o curso.

À AUD representada pelo Gerente Administrativo Rubens Ricardo Reimer Filho e pelo Engenheiro Agrônomo, Chefe de Irrigação, Everton Luis Fonseca, por disponibilizarem a Barragem do Arroio Duro e logística necessária.

Aos colegas, Régis Filipe Borges e Perla Adriany Campos de Oliveira Borges, pelos trabalhos prestados em campo.

À CAPES por meio do projeto Pró-Alertas (88887.091734/2014-01), que financiou parte da atividade de campo para a aquisição dos dados fotogramétricos.

Ao projeto REUNI do Governo Federal, que financiou a aquisição de parte dos recursos tecnológicos utilizados nesse projeto (VANT eBee SenseFly, GNSS Topcon Hiper Lite e GR3, Estações totais Topcon 7500).

Ao LAFOTO (Laboratório de Pesquisa em Fotogrametria da UFRGS), onde foram adquiridos e desenvolvidos os conhecimentos da área de Fotogrametria utilizados nesse trabalho, e que atuou diretamente na aquisição dos recursos tecnológicos mencionados anteriormente.

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é fazer um levantamento topográfico da Barragem do Arroio Duro, localizada no município de Camaquã-RS, utilizando um Sistema de Varredura a LASER Terrestre (SVLT) em conjunto com um Sistema Satelital de Navegação Global (GNSS) para criar uma base cartográfica que sirva de origem para futuras medições de monitoramento. As nuvens de pontos geradas pelo LASER foram integradas a dados de rastreios GNSS, para posicionar os resultados em um sistema de referência global. Após a criação e registros das nuvens de ponto das varreduras a LASER foram criados 3 produtos: 2 plantas topográficas em escala 1:1000 (uma contendo a estrutura principal e outra contendo o talude) e um modelo em 3 dimensões da barragem. Os resultados obtidos demonstram uma qualidade posicional com desvios-padrão de 3,3 cm e 5 cm nas componentes Norte e Leste, respectivamente, sobre a estrutura principal, e qualidade posicional com desvios padrão de 8,7 cm e 8,9 cm nas componentes Norte e Leste, respectivamente, sobre o talude.

Palavras-chave: Sistema de Varredura a LASER Terrestre (SVLT), Fotogrametria, Cartografia, Geodésia, Engenharia Cartográfica, Monitoramento de Barragens, GNSS, GPS, Barragem do Arroio Duro.

ABSTRACT

The main objective of this work is to make a topographic survey of the Arroio Duro Dam, located in the municipality of Camaquã-RS, using a Terrestrial LASER Scanning System (VLT) combined with a Global Navigation Satellite System (GNSS) to create a cartographic basis for future monitoring measurements. LASER-generated point clouds have been integrated with GNSS measurements to determine the position of the results in a global reference system. After the creation and registration of the LASER scanning point clouds, 3 products were developed: 2 topographic plans (one containing the main structure and one containing the slope) in the 1/1000 scale and a 3-dimensional dam model. The results have positional quality with standard deviations of 3,3 cm and 5 cm in the North and East components, respectively, on the main structure, and positional quality with standard deviations of 8.7 cm and 8.9 cm in the North and East components, respectively, on the slope

Key words: Terrestrial LASER Scanning System (TLS), LIDAR, Photogrammetry, Cartography, Geodesy, Cartographic Engineering, Geomatic, Dam Monitoring, GNSS, GPS, Arroio Duro Dam.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - IMAGENS DO SATÉLITE SENTINEL-2	20
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DE CAMAQUÃ \RS	24
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DA BARRAGEM DO ARROIO DURO	25
FIGURA 4 - VISTA AÉREA DA BARRAGEM DO ARROIO DURO	25
FIGURA 5 - ESTRUTURA PRINCIPAL.....	26
FIGURA 6 - IMAGENS SOBRE O TALUDE EM PONTOS OPOSTAS	26
FIGURA 7 - IMAGENS À MONTANTE	27
FIGURA 8 - CHAPA E MARCO DE CONCRETO.....	29
FIGURA 9 - PILAR DE CONCRETO COM DISPOSITIVO DE CENTRAGEM FORÇADA.....	29
FIGURA 10 - USO DE UM RECEPTOR GNSS PARA OBTER POSIÇÕES	30
FIGURA 11 - LOCALIZAÇÃO DOS SEGMENTOS DE CONTROLE	34
FIGURA 12 - ESTAÇÃO GEODÉSICA POAL, POSICIONADA NO PRÉDIO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/UFRGS.	37
FIGURA 13 - MÉTODO GNSS RELATIVO ESTÁTICO	39
FIGURA 14 - MÉTODO GNSS RELATIVO ESTÁTICO RÁPIDO.....	40
FIGURA 15 - LASER DE ESTADO SÓLIDO	48
FIGURA 16 - PRINCÍPIO TOF REFERENTE A UM “PULSO” LASER.....	50
FIGURA 17 - COMPARAÇÃO DE FASE.	51
FIGURA 18 - LASER PROFILING	52
FIGURA 19 - LASER SCANNING	53
FIGURA 20 - MECANISMOS DE RASTREIO	55
FIGURA 21 - TRIANGULAÇÃO ÓPTICA.....	58
FIGURA 22 - ELEMENTOS GEOMÉTRICOS COLETADOS EM CAMPO POR SVLT PARA CÁLCULOS DE COORDENADAS 3D.....	59
FIGURA 23 -NUVENS DE PONTOS	60
FIGURA 24 - PROCESSAMENTOS DOS DADOS GNSS E SVLT.....	60
FIGURA 25 - SVLT OPTTECH ILRIS (VARREDURA) 3D E GNSS (RASTREIO).....	62
FIGURA 26 - ETAPAS DO TRABALHO.....	67
FIGURA 27 - INSPEÇÃO NA ESTRUTURA PRINCIPAL	68
FIGURA 28 - FIXAÇÃO DAS CHAPAS DE ALUMÍNIO SOBRE O TALUDE.....	69
FIGURA 29 - DISPOSIÇÕES DAS CHAPAS SOBRE O TALUDE.....	69
FIGURA 30 - MARCO ASSENTADO NO PRÉ-CAMPO.	70

FIGURA 31 - MARCOS IMPLANTADOS NA BARRAGEM DO ARROIO DURO.....	70
FIGURA 32 - REDE DE MARCOS IMPLANTADOS, INCLUINDO O MARCO AVANÇADO.....	71
FIGURA 33 - GNSS HIPER.....	72
FIGURA 34 - TOMADA DE CENA NA ESTRUTURA PRINCIPAL.....	73
FIGURA 35 - DISPOSIÇÃO DAS TOMADAS DE CENAS.....	73
FIGURA 36 - CENA DO SVLT SOBRE O TALUDE.....	74
FIGURA 37 - GNSS GR3 SOBRE O TALUDE.....	75
FIGURA 38 - PROCESSAMENTO DOS DADOS GNSS NO TOPCON TOOLS.....	76
FIGURA 39 - SOFTWARE <i>PARSER</i> EM PROCESSAMENTO DE CENAS.....	78
FIGURA 40 - SOFTWARE <i>PARSER</i> /CENAS COM DIFERENÇA DE ILUMINAÇÃO.....	79
FIGURA 41 - SOFTWARE <i>CLOUDCOMPARE</i> /CENAS A SEREM MESCLADAS.....	80
FIGURA 42 - SOFTWARE <i>CLOUDCOMPARE</i> /CENAS MESCLADAS.....	81
FIGURA 43 - SOFTWARE <i>CLOUDCOMPARE</i> , ALINHAMENTO COM PONTOS HOMÓLOGOS...	82
FIGURA 44 - <i>CLOUDCOMPARE</i> /CENTRO DE FASE DO LASER.....	83
FIGURA 45 - EXTRAÇÃO DE FEIÇÃO NO SOFTWARE AUTOCAD MAP3D 2014.....	84
FIGURA 46 - EXTRAÇÃO DE FEIÇÃO NO SOFTWARE AUDCAD 3D 2014.....	85
FIGURA 47 - FEIÇÕES EXTRAÍDAS NO AUTOCAD 3D 2014.....	86
FIGURA 48 - EXTRAÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL NO SOFTWARE <i>CLOUDCOMPARE</i>	87
FIGURA 49 - REFINAMENTO DAS NUVENS DE PONTO SOFTWARE <i>CLOUDCOMPARE</i>	88
FIGURA 50 - PONTOS RETIRADOS MANUALMENTE NO SOFTWARE <i>CLOUDCOMPARE</i>	89
FIGURA 51 - CURVAS DE NÍVEIS GERADAS NO SOFTWARE <i>CLOUDCOMPARE</i>	90
FIGURA 52 - CURVAS DE NÍVEL EXPORTADAS PARA O SOFTWARE AUTOCAD.....	90
FIGURA 53 - PONTOS MEDIDOS PARA O CONTROLE DE QUALIDADE.....	91
FIGURA 54 - EXEMPLO DA DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE CHECAGEM POR QUADRANTE.	93
Figura 55 - Imagem do modelo 3D gerado.....	101

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DAS GERAÇÕES GPS ATUAL E FUTURA.....	34
TABELA 2 - ESTIMATIVA DE PRECISÃO PARA POSICIONAMENTO GNSS RELATIVO.....	37
TABELA 3- CLASSES DE RISCOS LASER	48
TABELA 4 -EQUIPAMENTOS E MATERIAIS UTILIZADOS	62
TABELA 5 - EQUIPAMENTOS DISPONIBILIZADOS	63
TABELA 6- VALORES EM REAIS E DÓLAR EUA.....	64
TABELA 7- SOFTWARES UTILIZADOS	65
TABELA 8 - COORDENADAS RASTREADAS POR GNSS PROCESSADAS.....	76
TABELA 9 - DISCREPÂNCIAS ENTRE AS COORDENADAS DOS PONTOS DE CHECAGEM	94
TABELA 10 - ANÁLISE DE TENDÊNCIAS/ESTRUTURA PRINCIPAL.....	97
TABELA 11- ANÁLISE DE TENDÊNCIAS/TALUDE	97
TABELA 12 - ANÁLISE DE EXATIDÃO/ESTRUTURA PRINCIPAL.	99
TABELA 13 - ANÁLISE DE EXATIDÃO/TALUDE.....	99
TABELA 14 - DESVIO PADRÃO ESPERADO PARA CADA COMPONENTE/ ESTRUTURA PRINCIPAL.....	100
TABELA 15 - DESVIO PADRÃO ESPERADO PARA CADA COMPONENTE/TALUDE.	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFB	<i>Air Force Base</i> – Base da Força Aérea
AFSCN	<i>Air Force Satellite Control Network</i> – Rede de Controle de Satélites da Força Aérea
USAF	<i>United States Air Force</i> – Força Aérea dos Estados Unidos
AUD	Associação dos Usuários do Perímetro do Arroio
BDGEx	Bando de Dados Geográficos do Exército
BRR	Barragem
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> – Desenho (projeto) computadorizado
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i> – Dispositivo de carga acoplada
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DC	Depois de Cristo
DCE	Declaração de Condição de Estabilidade
DSG	Diretoria de Serviços Geográficos
EIA	Estudo de Impactos Ambientais
ET	Estação Total
ETR	Estação Total Robotizada
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> – Sistema de Navegação Global por Satélites
GPS	Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICOLD	<i>International Commission on Large Dams</i> – Comissão Internacional sobre Grandes Barragens
IMU	Inertial Measurement Unit – Unidade Inercial de medida

SIFT Scale Invariant Feature Transform – Transformação de feição de Escala Invariante

LAFOTO Laboratório e Fotogrametria

LASER *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* – Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação

LIDAR *Light Detection and Ranging* – Detecção de Luz Alcance

LST Laser Scanner Terrestre

SVLT Sistema de Varredura Laser Terrestre

MDT Modelo Digital do Terreno

MDS Modelo Digital de Superfície

MRA Marco Referencial Auxiliar

MED Medidor Eletrônico de Distância

MEO *Mediun Earth Orbit* – Órbita Terrestre Média

NASA *National Aeronautics and Space Administration* – Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

NBR Norma Brasileira

NGA National Geospatial-Intelligence Agency – Agência Nacional de Inteligência Geoespacial

PPM Parte Por Milhão

REUNI Reestruturação e Expansão das Universidade Federais

RBMC Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

RTK *Real Time Kinematic* – Cinemático em tempo Real

RMS *Root-Mean-Square* – Erro Médio Quadrático

SIRGAS Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UHE Usina Hidrelétrica

USNO The United States Naval Observatory – Observatório Naval dos Estados Unidos

UTM *Universal Transverse Mercator* – Universal Transversa de Mercator

VANT

Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	16
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	21
1.2.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>21</i>
1.2.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>21</i>
1.2.3	<i>Justificativa</i>	<i>21</i>
1.3	ÁREA DE ESTUDO.....	22
1.3.1	<i>O Município de Camaquã</i>	<i>22</i>
1.4	BARRAGEM DO ARROIO DURO.....	23
1.4.1	<i>Formação e Fundação</i>	<i>23</i>
1.4.2	<i>Localização.....</i>	<i>23</i>
1.4.3	<i>Imagens da Barragem.....</i>	<i>24</i>
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	26
2	REVISÃO TEÓRICA	27
2.1	MARCOS GEODÉSICOS.....	27
2.1.1	<i>Materialização.....</i>	<i>27</i>
2.2	GNSS	28
2.2.1	<i>Modernização do GNSS.....</i>	<i>29</i>
2.2.2	<i>A Família GNSS.....</i>	<i>30</i>
2.2.2.1	<i>GPS</i>	<i>30</i>
2.2.2.1.1	<i>Características dos Serviços e Sinais</i>	<i>31</i>
2.2.2.1.2	<i>Segmento de Controle</i>	<i>32</i>
2.2.2.1.3	<i>Segmento Espacial.....</i>	<i>33</i>
2.2.2.1.4	<i>Segmento dos Usuários.....</i>	<i>34</i>
2.2.3	<i>Uso do GNSS.....</i>	<i>35</i>
2.2.3.1	<i>Posicionamento Relativo.....</i>	<i>36</i>
2.2.3.2	<i>Posicionamento Relativo Estático.....</i>	<i>37</i>
2.2.3.3	<i>Posicionamento Relativo Estático Rápido.....</i>	<i>38</i>
2.3	BARRAGENS	40

2.3.1	<i>Tipos de Barragens</i>	40
2.3.2	<i>Monitoramento de Barragens</i>	41
2.3.2.1	<i>Métodos de Inspeção Remota</i>	42
2.3.2.2	<i>Métodos Geodésico e Topográfico</i>	42
2.3.2.3	<i>Estação Total Robotizada no Monitoramento de Barragens</i> 43	
2.3.2.4	<i>GNSS Aplicado do Monitoramento de Barragens</i>	44
2.3.2.5	<i>SVLT Aplicado no Monitoramento de Barragens</i>	45
2.4	<i>O SVLT</i>	45
2.4.1	<i>LASER</i>	46
2.4.1.1	<i>Componentes LASER</i>	46
2.4.1.2	<i>Avaliação de Riscos LASER</i>	47
2.4.1.3	<i>Equipamentos LASER</i>	49
2.4.1.3.1	<i>LASER RANGING</i>	49
2.4.1.3.2	<i>LASER PROFILING</i>	50
2.4.1.3.3	<i>LASER SCANNER</i>	52
2.4.2	<i>Mecanismo de Projeção e Varredura</i>	52
2.4.3	<i>Características da Varredura LASER</i>	55
2.4.4	<i>Princípios Básicos de Medições da Varredura LASER</i>	56
2.5	<i>PROCESSAMENTO DE DADOS</i>	57
2.6	<i>OPTECH ILRIS 3D</i>	60
3	EQUIPAMENTOS E MATERIAIS/SOFTWARES	62
3.1	EQUIPAMENTOS E MATERIAIS	62
3.2	SOFTWARES	65
4	DESENVOLVIMENTO	66
4.1	PLANEJAMENTO	66
4.2	PRÉ-CAMPO	67
4.3	DESENVOLVIMENTO EM CAMPO	71
4.4	PROCESSAMENTO COMPUTACIONAL	74
4.4.1	<i>Dados GNSS:</i>	74
4.4.2	<i>PC CONTROLER, Aquisição e Processamento das Cenas</i> 77	
4.4.3	<i>Processamento das Cenas</i>	77
4.4.4	<i>Registro das Cenas</i>	80

4.4.5 Georreferenciamento.....	83
4.4.6 Extração de Feições.....	84
4.4.7 Extração das Curvas de Nível.....	86
4.5 CONTROLE DE QUALIDADE.....	90
4.5.1 Aquisição dos Pontos de Checagem.....	91
4.5.2 Testes Estatísticos.....	92
4.5.2.1 Tamanho da Amostra.....	92
4.5.2.2 Discrepância dos Pontos de Checagem.....	92
4.5.2.3 Análise de Tendência.....	95
4.5.2.4 Análise da Exatidão:.....	97
4.5.2.5 Desvio Padrão Esperado.....	99
5 APRESENTAÇÃO DOS PRODUTOS RESULTANTES.....	101
6 CONCLUSÃO.....	102
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	102
6.2 RECOMENDAÇÕES.....	103
REFERÊNCIAS.....	105
ANEXO 1 - MEMORIAL DESCRITIVO DOS MARCOS.....	112
ANEXO 2 - TABELA COMPLETA DO LEVANTAMENTO (DADOS GNSS)	122
ANEXO 3 – TABELA 9 COMPLETA.....	124
ANEXO 4 – TALUDE.....	126
ANEXO 5 - ESTRUTURA PRINCIPAL.....	127

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Os primeiros aglomerados humanos procuraram se estabelecer próximos a cursos d'água atendendo a necessidade absoluta desse recurso, entretanto nem sempre a demanda de água está disponível em dado local, pois em seu ciclo se distribui de forma irregular no tempo e no espaço (BAPTISTA e LARA, 2014). Nesse contexto a ação do homem através de vestígios é atestada pela arqueologia, tais como escavações que trouxeram à luz a existência de barragens há cerca de 4.000 anos; com aproximadamente 650 anos, a barragem mais antiga em funcionamento está situada no Irã *Ben-e-Golestan*, desde 1350 DC (GHEORGE ROMANESCU, A. ROMANESCU e GABRIELA ROMANESCU, 2014). SANCHES (2013) corrobora que **barragens são construídas há séculos**, contabilizando-se até então algumas centenas de casos importantes de rupturas, entretanto, baixa probabilidade de ocorrência pode significar grandes consequências, e define como risco em potencial “a possibilidade de materialização do perigo ou de um evento indesejado ocorrer”. Semelhantes estruturas, BAPTISTA E LARA (2014, p. 372), sustenta que são obras hidráulicas complexas com objetivos diversificados, destinadas a exercerem o represamento de um curso de água, e de aspecto interdisciplinar envolve as mais variadas áreas da engenharia e de profissionais, tais como engenheiros ligados à topografia, geotecnia, estruturas etc.

Segundo ICOLD (2019), estão listadas 36 mil grandes barragens no Registro Mundial de Barragens. No Brasil existem mais de 24 mil barragens cadastradas, das quais, 3% não têm o empreendedor identificado e 42% não possuem nenhum ato de autorização, outorga ou licenciamento; ocorrendo uma média de pouco mais de três acidentes e de quase seis incidentes por ano, considerando aqueles relatados, muito embora a grande maioria das barragens seja para uso múltiplos, os danos são muito significativos quando concernentes à mineração (CEXBRUMA, 2019).

Monitoramento de Barragens em primeiro plano é o objetivo deste estudo, motivado por fracasso da Barragem de Fundão em 2015, amplamente tornado a

público envolveu a Empresa Vale com sede no Brasil, líder mundial na produção e exportação de minério de ferro e BHP (*Broken Hill Proprietary*) Billiton, com sede mundial em Melbourne na Austrália; não obstante, Córrego do Feijão neste ano, implicando a Empresa Vale. (BHP, 2019; VALE, 2019). **Rupturas de barragens**, que em suas recorrências no Brasil determinaram questionamentos sobre os níveis de segurança e alerta, vinculando o risco dessas estruturas às vidas humanas, consequências diretas em seu maior grau de tragédia.

Trata-se em segundo plano, sobre a viabilidade em levantamentos geodésicos a partir da implantação de uma rede de marcos obter-se mapas plano-altimétricos integrando GNSS à varredura LASER através do LSTV, conquanto ser comum o emprego de Estações Totais. Esta por sua vez foi aproveitada em etapa posterior no propósito de disponibilizar o controle de qualidade e aferir a aceitabilidade do resultado como **método adicional ao monitoramento** de barragens em grau de adequação às especificações para que o produto atenda de forma mais eficiente ao objetivo. A aplicabilidade desse método com esta finalidade vem sendo testada nos últimos anos em outros países e inclusive no Brasil. Dessa forma emprego do GNSS associado à tecnologia do SVLT em represas ou barragens, é lhes atribuído como técnica adicional às informações de monitoramento tradicionais (LENARTOVICZ, 2013). Logo, diante das premissas: barragem, monitoramento e SVLT, procurou-se fundamentar em fontes variadas, e nesse segmento instigar leituras minuciosas.

Na prossecução aos eventos envolvendo barragens no Brasil, CEXBRUMA, (2019) observa que no ano de 1986 a **Barragem de Rejeitos Mina de Fernandinho** em Itabirito\ MG, rompeu acarretando a morte de sete pessoas. Sanches (2013) advertia que a implantação de uma barragem por si só apresenta um risco agregado, que é o produto entre probabilidade de ocorrência e a magnitude das consequências, e SILVEIRA (2014), aborda a ruptura da Barragem de Teton, Idaho, EUA, no ano de 1976 que implicou na morte de 14 pessoas, e menciona a síntese da evolução desse acidente e parecer dos consultores.

No dia 05 de novembro de 2015, o rompimento da **Barragem de Fundão** no município de Mariana\MG, pertencente à Empresa Samarco, construída para servir de depósitos residuais gerados durante o processo de mineração, com efeito imediato à jusante, gerou uma onda de lama residual devastadora, dizimou o distrito de Bento Rodrigues, ceifou vidas humanas e causou prejuízos sociais, econômicos

e ambientais (LOPES, 2016). É recomendável a página do IBAMA (2019), que disponibiliza acompanhamento da evolução do desastre em campo desde 06/11/2015, reconhecendo a morte de 19 pessoas, reúne todos os documentos oficiais relacionados à tragédia: Auto de Infração, Laudos, Relatórios, mapas, Imagens Aéreas, Expedições e etc...Esse órgão do governo assim repercute em Laudo Técnico Preliminar: “o nível de impacto foi tão profundo e perverso”

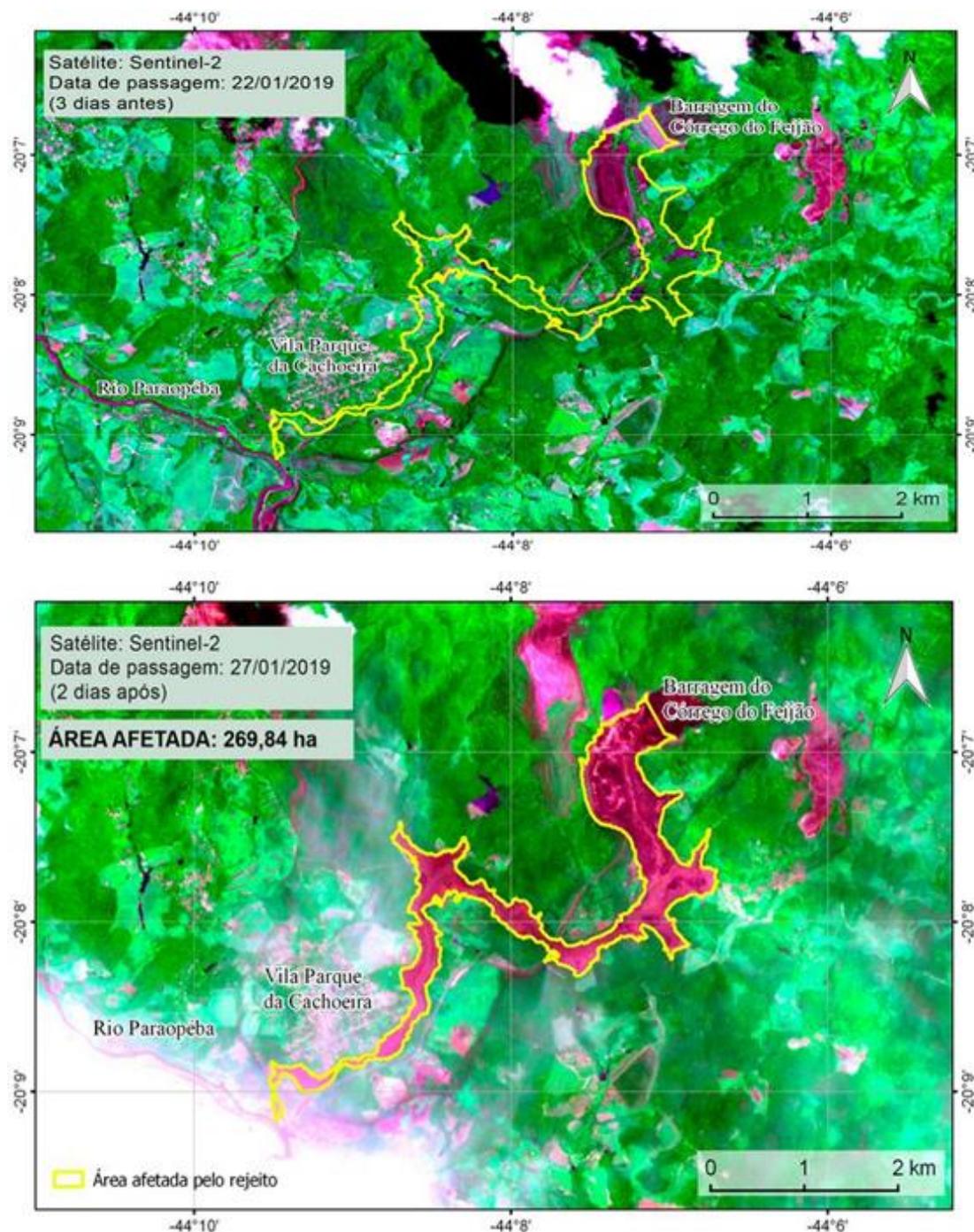
Como paradigma de protocolo de monitoramento e alerta em rupturas de barragens, como ao episódio de Córrego do Feijão, a Barragem de *Oroville*, Califórnia, EUA, em fevereiro do ano de 2017, foi classificada sob o risco iminente de entrar em colapso, como medida, mais de 180 mil pessoas receberam ordem de abandonarem a área imediatamente, as quais advertidas reiteradamente que não se tratava de uma simulação, somente seriam autorizadas a retornarem após avaliações sobre os riscos. Autoridades defenderam a decisão de evacuar os moradores em vez de arriscar milhares de vidas (BBC NEWS, 2017).

Por último, a ruptura da **Barragem de Rejeitos Córrego do Feijão**, no município de Brumadinho\ MG, em 25 de janeiro, foi descrito em noticiário pelo *THE GUARDIAN* (2019) como um cenário apocalíptico. Cita-se para informações mais detalhadas a respeito: Vale (2019), que em 10 de julho atualizou a lista para 248 pessoas mortas e 22 pessoas desaparecidas e IBAMA (2019). Sobre esse colapso de Córrego do Feijão, a Empresa de Engenharia Consultora TÜV SÜD Brasil emitiu nota de apoio ao governo brasileiro de reforçar a segurança das barragens de rejeitos a montante e, ou desativa-las até o ano de 2021 e questiona os DCEs: “[... se o sistema ainda pode ser considerado apropriado para uma proteção adequada contra riscos graves das barragens de rejeitos...”] (TÜV SÜD, 2019).

Sobre esses eventos, o Comitê Brasileiro de Barragens, fazendo parte da Comissão Internacional sobre Grandes Barragens (*International Commission on Large Dams*), assegura o reconhecimento internacional da Engenharia Brasileira de Barragens apesar dos acidentes de proporções gigantescas ocorridos nos últimos três anos com perdas de vidas e de bens, além da degradação do patrimônio natural (CDBD, 2019).

A Figura 1 apresenta imagens do Satélite Sentinel-2, três dias antes e após dois dias ao rompimento da barragem da mineradora Vale em Brumadinho.

Figura 1 - Imagens do Satélite Sentinel-2



Fonte: Ibama (2019)

Considerando estas situações, há várias formas de se monitorar a evolução de barragens conforme resumidamente exposto na subseção 3.2.3 deste estudo, desde inspeções remotas por meio de plataformas orbitais à métodos clássicos.

A opção pela integração GNSS e SVLT teve como determinantes os conceitos geodésicos oriundos da Engenharia Cartográfica aliados a tecnologia

LASER de rastreio já empregada na arquitetura, em levantamento em sítios arqueológicos, e testada em estudo de monitoramento de barragem.

Para esse propósito, inicialmente foi feito reconhecimento do campo de estudo e planejamento de execução, visto envolver estruturas não homogêneas e apresentar possíveis áreas que limitariam o rastreio GNSS, atentando-se também ao uso do LSVT próximo a massas de águas, cuja varredura a LASER estaria sob efeito físico da refração.

A próxima etapa se concentrou na implantação à jusante de oito marcos piramidal de maneira que ficassem próximos ao eixo compreendendo o Talude e Estrutura Principal, quatro marcos cercando a estrutura principal, dois a sudoeste e dois a noroeste do Talude. A rede foi concluída com um marco também à jusante afastado aproximadamente 6 km de onde a barragem fora assentada, pois em caso particular, foi levado em consideração que toda a estrutura poderia se deslocar parcialmente ou como um todo. Nessa etapa foram cravadas 28 chapas de alumínio na superfície superior do Talude. As coordenadas dos vértices foram obtidas pelo posicionamento do GNSS em rastreio através do método estático, enquanto sob as chapas foi aplicado o método estático rápido.

O SLVT utilizado em campo permite o engaste do GNSS em seu topo, possibilitando que a varredura a LASER transcorresse com o rastreio GNSS, desse modo foram posicionados à jusante ao longo da base e superfície do Talude, e após, na própria estrutura principal. A conclusão em campo deu-se com a aplicação da Estação Total na obtenção de pontos de checagem.

Com os dados do GNSS processados, a rede geodésica foi ajustada pela RBMC, e as coordenadas inseridas às cenas obtidas pelo SVLT, e por fim gerado dois mapas plano-altimétricos: **Talude e Estrutura Principal, na escala 1:1000**. A acurácia posicional no Talude atingiu 8,7 cm na componente Norte e 8,9 cm na componente Leste e na Estrutura Principal 3,3 cm na componente Norte e 5 cm na componente Leste.

Quanto à rede geodésica constituída por marcos implantados na área de estudo, foram elaborados 09 Memoriais Descritivos, cujas vértices cobriram uma área aproximadas de 641 hc (6,41 Km²) com um perímetro de 15,31 Km. Outrossim, a acerca dos marcos implantados para modelar a rede geodésica nesse estudo, é de salientar que o padrão em monitoramentos geodésicos de barragens tem como princípio a implantação de pilares de centragem forçada. Recomenda-se entre

outros, NADAL (2015), para maiores esclarecimentos sobre Monitoramento Geodésico em barragens apoiado em marcos de centragem forçada.

1.2 Objetivos do Trabalho

1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar estudo de levantamento em barragens através da aplicação do **SVLT integrado à tecnologia GNSS** para fins de monitoramento geodésico.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Implantação de uma rede de marcos na Barragem do Arroio Duro interligado com um marco avançado, de modo a possibilitar novos estudos e comparações futuras;
- Apresentar como produto uma **planta topográfica planialtimétrica** coerente ao modelo digital da Estrutura da Barragem do Arroio Duro, advindos dos dados rastreados pelo GNSS e pela varredura do SVLT.

1.2.3 Justificativa

NOVAK (*et al.*, 2007), alude padrões legislativo de políticas públicas sobre segurança de barragens para proporcionarem construções e operações seguras a longo prazo, e cita entre outros países, a França com uma legislação inicial do ano de 1898, os Estados Unidos onde as barragens federais estão sujeitas ao controle de agência governamental. No Brasil é oportuno mencionar as Diretrizes para Elaboração de Projeto de Barragens, sobre Seguranças de Barragens, Lei de Barragens e outras legislações pertinentes ao uso das águas (ANA, 2018).

Quanto ao SVLT afirma FERRAZ (2014, p.74), “[...] os dados obtidos através levantamento por meio do SVLT nos fornecem bem mais informações que o levantamento topográfico convencional. E esses dados podem ser futuramente utilizados para controle de monitoramento de estruturas”. ALBA (*et al.*, 2006),

comprova que é possível descrever a superfície externa de uma estrutura de barragem ao se processar a densa nuvem de pontos adquirida por meio do SVLT.

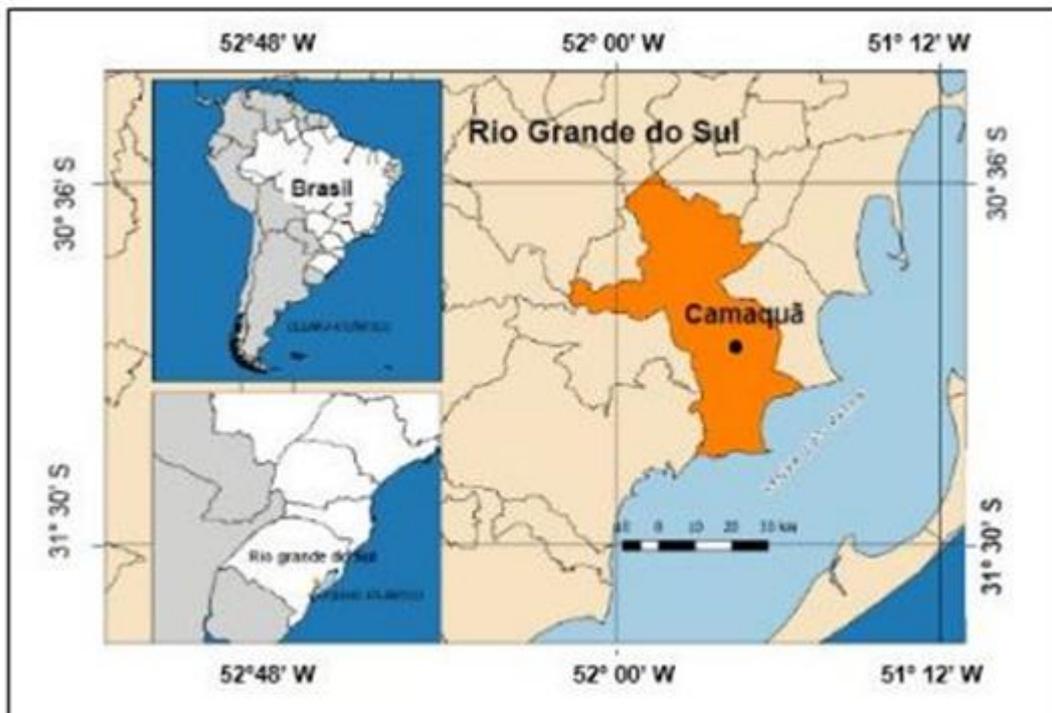
Portanto, a implantação de marcos georreferenciados possibilitará a administração da Barragem do Arroio Duro ter a disposição uma rede de marcos que possibilitará o **monitoramento geodésico** da barragem, bastando para isso comparar as novas medidas com as coordenadas geodésicas do advento do levantamento inicial. Tendo o uso do SVLT, de acordo ANTOVA (2015), a vantagem da representação de toda a superfície da estrutura explorada através de uma **nuvem de pontos** gerada por varredura sob a forma de feixes a LASER.

1.3 Área de Estudo

1.3.1 O Município de Camaquã

O Município de Camaquã está localizado na Serra do Sudeste (Encosta da Serra do Sudeste), fazendo parte da Região Centro-Sul do Estado do Rio Grande do Sul, localiza-se a 30 graus e 51 minutos de latitude Sul e 51 graus e 48 minutos de longitude Oeste, situando-se à margem direita da Laguna dos Patos e à margem esquerda do Rio Camaquã, distante 127 km da Capital do Estado - Porto Alegre, e 125 km de Pelotas (PREFEITURA DE CAMAQUÃ, 2018), conforme figura 2.

Figura 2 - Localização de Camaquã \RS



Fonte: Elaborado pelos autores

1.4 Barragem do Arroio Duro

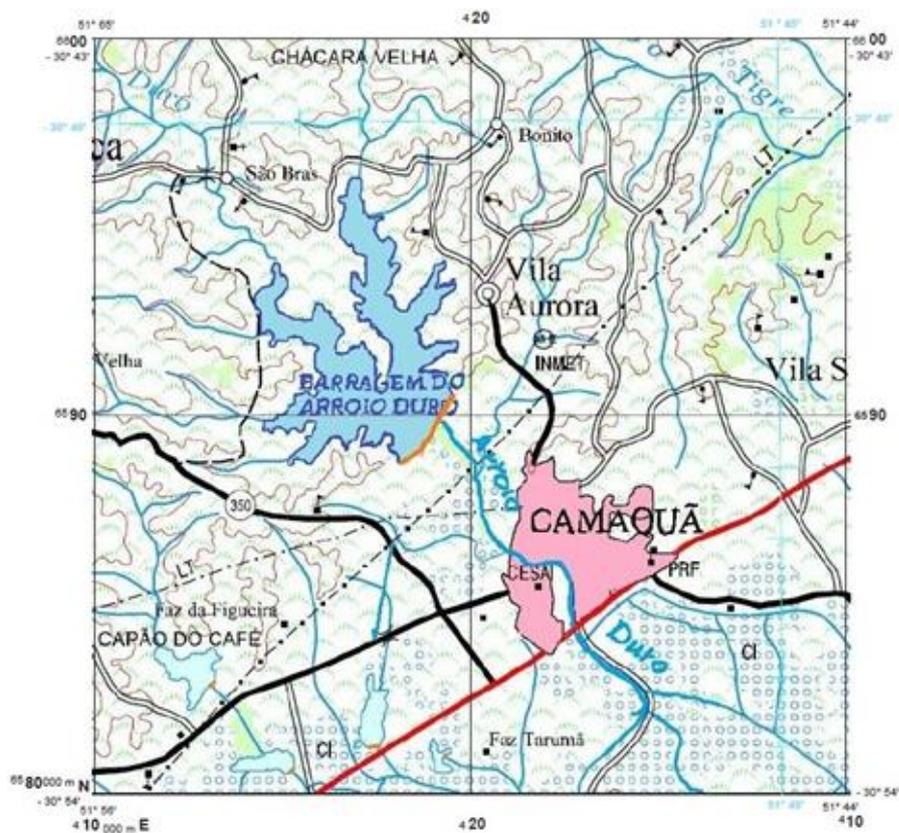
1.4.1 Formação e Fundação

Nos primeiros anos da década de 1950 foi criado pelo então governo brasileiro uma comissão especial com o objetivo de apontar em todo território áreas de maior potencial hídrico, entretanto, o único projeto levado adiante foi o que envolvia o Arroio Duro, em Camaquã \RS (AUD, 2017).

1.4.2 Localização

Na Figura 3, é apresentada a localização da Barragem do Arroio Duro a partir da Carta Topográfica Matricial, Região Sul do Brasil- 1:250000, Folha SH-22-Y-B, MIR-541. Projeção UTM.

Figura 3 - Localização da Barragem do Arroio Duro



Fonte: Adaptado pelos autores. (DSG\ BDGEx, 2019)

1.4.3 Imagens da Barragem

Figura 4 - Vista aérea da Barragem do Arroio Duro



Fonte: Hover Drones Filmagens

Figura 5 - Estrutura Principal



Fonte: AUD (2018)

Figura 6 - Imagens sobre o Talude em pontos opostas



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 7 - Imagens à montante



Fonte: Elaborado pelos autores

1.5 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho foi estruturado em seis sessões:

- **Primeira sessão:** Considerações Iniciais, apresentação de tópicos relacionando a palavra-chave barragem, Risco Monitoramento, GNSS e SVLT;
- **Segunda sessão:** Estrutura do trabalho;
- **Terceira sessão:** Revisão Teórica, Marcos Geodésicos e abordagens mais amplas sobre monitoramento de Barragens, GNSS e o SVLT;
- **Quarta sessão:** Equipamentos e Softwares utilizados;
- **Quinta sessão:** Desenvolvimento em Campo e processamento em laboratório dos dados levantados, controle de qualidade;
- **Sexta sessão:** Produto Final e Custo Mensurado;
- **Setima sessão:** Conclusão.

2 REVISÃO TEÓRICA

Um sistema de referência descreve posições de objetos. Utiliza-se o Sistema de Referência Terrestre ou Geodésico para identificar posicionamento de determinada informação na superfície da terra, associando a esta uma superfície mais próxima possível da forma da terra. Os cálculos das respectivas coordenadas são efetuados tendo como base essa superfície de referência, as quais podem ser apresentadas entre outras, como geodésicas, a partir de uma superfície esférica, e ou coordenadas planas UTM, em conformidade com a projeção a que se refere. O SIRGAS 2000 é o único sistema geodésico de referência adotado no Brasil respaldado em lei (IBGE, 2018).

2.1 Marcos Geodésicos

As estações geodésicas se caracterizam por um pequeno monumento denominado marco, identificado por uma chapa metálica em seu topo, ou somente incrustada em uma base (IBGE, 2018). Conforme BEUNARD (*et al.*, 2012) os pilares geodésicos determinam as posições de uma rede caracterizando-as como de primeira ordem.

2.1.1 Materialização

A **materialização padrão** de estações pode ser feita de três formas (IBGE, 2018):

- 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 incrustada no topo e chapa cravada na lateral.
-

Na Figura 8, são apresentadas amostras de estações materializadas no levantamento da Barragem do Arroio Duro. Chapa cravada no talude da Barragem em rastreo estático rápido e chapa vértice MRA_BRR02 incrustada em marco.

Figura 8 - Chapa e marco de concreto



Fonte: Os autores

A Figura 9 , mostra um marco de centragem forçada.

Figura 9 - Pilar de concreto com dispositivo de centragem forçada



Fonte: Os autores

2.2 GNSS

A possibilidade de determinar a posição a partir de um dispositivo portátil é um dos elementos-chave no desenvolvimento de serviços de localização, cuja maneira mundialmente reconhecida é usar um sistema de navegação global. Como sistema, o GNSS possibilita um posicionamento acessível em qualquer lugar da terra, ou acima, em princípio sem a necessidade de qualquer infraestrutura local ou

regional (TIBERIUS e VERBREE, 2004). Entretanto, em áreas de restrição, como por exemplo, uma floresta densa, a precisão do receptor será afetada em virtude da atenuação da intensidade dos sinais (SCHMIDT, 2013).

Dessa forma, a tecnologia GNSS, de uma ferramenta militar de guerra, tornou-se rapidamente em uma ferramenta útil a diversos setores civis, cuja utilização possibilita medições através da **condição posicional**, altamente precisa e continuamente atualizável (AWANGE, 2012).

Figura 10 - Uso de um receptor GNSS para obter posições



Fonte: Imagem adaptada pelos Autores (AWANGE, 2018).

2.2.1 Modernização do GNSS

Com quatro sistemas globais de navegação por satélite totalmente operacionais até o final da década: GLONASS, GPS, Galileo e Beidou, os usuários poderão desfrutar de sinais em múltiplas frequências na banda L do espectro eletromagnético, de 1,1 a 1,6 GHz, envolvendo mais de 110 satélites em uma média de 30 satélites à vista acima de uma elevação de 10 graus em qualquer lugar da Terra (TIBERIUS, 2011, apud AWANGE, 2018).

2.2.2 A Família GNSS

Neste tópico se discorrera mais densamente sobre o GPS, considerando que a família GNSS compreende todos os sistemas referidos e a todos que vierem a integrar, os quais **similares** entre si apresentam diferenças pontuais (AWANGE, 2018).

O Governo da China apresenta como projeto um sistema de navegação por satélite prestando por volta do ano de 2020 serviços em todo o mundo. (Beidou, 2018). De acordo com AWANGE (2018), o sistema BeiDou (BDS-*BeiDou Navigation Satellite System*), em janeiro de 2017, contava com 21 satélites fornecendo serviços regionais para a região Ásia-Pacífico, com uma precisão de 0, 2 m /s.

Segundo ESA (2018), o sistema GALILEO tem previsão para tornar-se operacional até 2020, que compatível com GPS e GLONASS permitirá Busca e Resgate (SAR - *Search And Rescue*) em âmbito global, cujos satélites equipados com um transponder serão capazes de transferir os sinais de socorro dos transmissores do usuário para os centros regionais de coordenação de resgate. Este último recurso é considerado uma grande atualização em comparação com os sistemas existentes, que não fornecem *feedback* aos usuários.

Conforme GLONASS (2018), estão operacionais 24 satélites, e 02 em comissionamento e teste, totalizando 26 satélites em órbita. Conforme AWANGE (2018), a partir de 2025, o governo russo planeja o lançamento de satélites GLONASS-KM, com frequências e formatos comparáveis como os sinais L5 e L1c do GPS, e correspondentes aos sinais e1, e5a e e5b do GALILEO/BEIDOU. O GLONASS, como o GPS, reserva sinais mais precisos para uso militar, enquanto fornece sinais padrão gratuitos para uso civil. GIELOW (2018) menciona que uma quinta estação GLONASS será instalada no Brasil com o objetivo de enviar dados de monitoramentos à Rússia, e que atualmente *smartphones* e celulares já aceitam sinais tanto do GPS como do GLONASS.

2.2.2.1 GPS

O GPS é um sistema de rádio - navegação de multiuso baseado no espaço, de propriedade do governo dos EUA e operado pela Força Aérea dos Estados Unidos, tendo suas origens na era do **satélite Sputnik**, quando cientistas conseguiram rastreá-lo com mudanças no sinal de rádio conhecido como "Efeito Doppler".

Em meados da década de 1960, a Marinha dos Estados Unidos realizou experimentos de navegação por satélite para rastrear submarinos americanos transportando mísseis nucleares, obtendo êxito com seis satélites em órbita polares e pela detecção mediante o efeito Doppler.

No início dos anos 70, o Departamento de Defesa (DoD - *Department of Defense*) dos Estados Unidos, para garantir a disponibilidade de um sistema de navegação por satélite, empregou as ideias anteriores dos cientistas da Marinha e lançou seu primeiro sistema de navegação com satélite de sincronismo (NAVSTAR-Navigation Satellite with Time and Ranging) em 1978. Este sistema composto por 24 satélites tornou-se totalmente operacional em 1993(NASA, 2019).

2.2.2.1.1 Características dos Serviços e Sinais

O GPS oferece dois **níveis de serviço**: o SPS (*Standart Positioning Service* - Serviço de Posicionamento Padrão) que usa o código C/A (*Coarse Acquisition* - "aquisição grosseira") na frequência L1, disponível mundialmente a todos os usuários, livre de qualquer cobrança direta; mais informações, são publicadas nas Normas e Especificações de Desempenho do Sistema de Posicionamento Global, e o PPS (*Precise Positioning Service* - Serviço de Posicionamento Preciso), que usa o código P (y) (*Precise or Protected*- Preciso ou Protegido) nas frequências L1 e L2.

O L2C é o segundo sinal de GPS para uso civil, projetado para atender às necessidades comerciais. Quando combinado com L1 C/A em um receptor de frequência dupla, permite a correção ionosférica, técnica que aumenta a precisão, de modo que um receptor de GPS de dupla frequência desfruta da mesma precisão que os militares (ou melhor), logo, possibilitará aos usuários profissionais uma rápida aquisição de sinal, permitindo maior confiabilidade e maior faixa de operação.

No entanto, o L2C permanece pré-operacional e deve ser empregado por conta e risco do usuário até que seja declarado operacional.

L5 é o terceiro sinal de uso civil do GPS, para aplicações de alto desempenho exclusivas para serviços de segurança da aviação, sendo capaz de fornecer aos usuários o sinal GPS de uso civil mais avançado, que quando combinado com L1 C/A e L2C, fornecerá um serviço com alta qualidade pelo uso das três frequências, por meio de uma técnica chamada *trilaning*. No entanto, o L5 permanece pré-operacional e deve ser empregado por conta e risco do usuário até que seja declarado operacional.

O L1C é o quarto sinal de uso civil, projetado para a interoperabilidade entre todos os sistemas de navegação, permitindo uma cooperação internacional enquanto protege os interesses de segurança nacional dos EUA. Este sinal melhorará a recepção do GPS móvel em cidades e outros ambientes desafiadores (GPS, 2019).

2.2.2.1.2 Segmento de Controle

O Segmento de Controle GPS consiste em uma rede global de instalações terrestres que rastreiam os satélites GPS, monitoram suas transmissões, realizam análises e enviam comandos e dados para a constelação.

Como parte do programa de modernização do GPS, a USAF atualiza continuamente o segmento de controle, onde os *upgrades* em terra são necessários para comandar e controlar os novos satélites e aumentar a segurança cibernética (GPS, 2019).

Upgrades em andamento:

- OCX (*Next Generation Operational Control System* -Sistema de Controle Operacional da Próxima GeraçãoNext ;
- Cops (*GPS III Contingency Operations*- Operações de Contigência do GPS III).

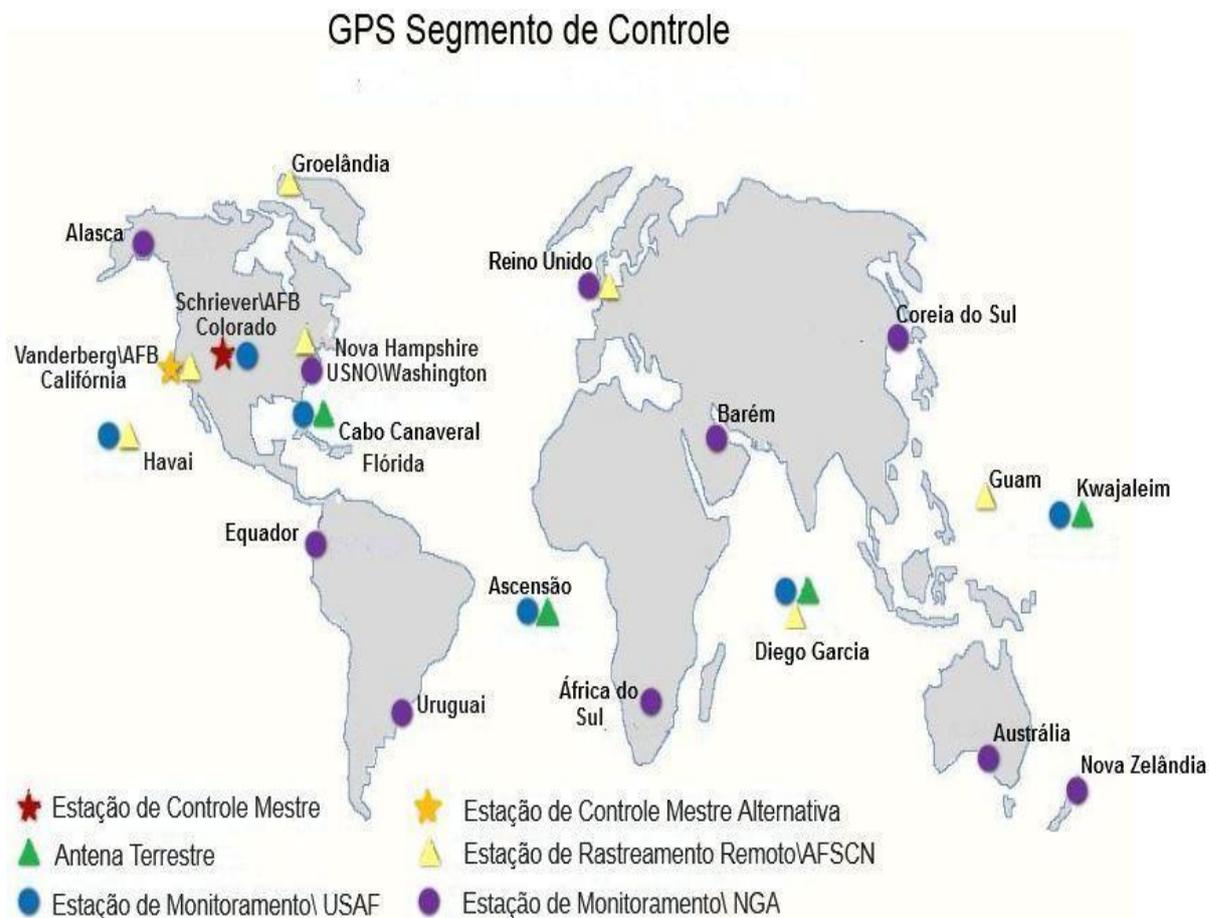
O atual Segmento de Controle inclui:

- 01 estação de controle mestre;
- 01 estação de controle mestre alternativa;
- 11 antenas de comando e controle;

- 16 locais de monitoramento (GPS, 2019).

A Figura 11 mostra localização dos componentes do Segmentos de Controle.

Figura 11 - Localização dos Segmentos de Controle



Fonte: Imagem adaptada pelos Autores (GPS 2019).

2.2.2.1.3 Segmento Espacial

Os satélites GPS ocupam uma órbita terrestre média (MEO) a uma altitude de aproximadamente 20.200 km, dispostos em seis planos orbitais igualmente espaçados em que cada um circula a Terra duas vezes por dia. Esse arranjo em 24 “slots” garante que os usuários possam visualizar (rastrear) pelo menos quatro satélites de praticamente qualquer ponto do planeta (GPS, 2019).

A tabela 1 mostra as características dos sinais GPS

Tabela 1 - Características das gerações GPS atual e futura

BLOCO II A	BLOCO IIR	BLOCO IIR-M	BLOCO IIF	GPS III/ IIIIF
1 operacional	11 operacional	7 operacional	12 operacional	1 em "checkout"
Código de Aquisição Grosseiro (C/A) na frequência L1 para usuários civis	Código C/A em L1 Código P(y) em L1 e L2	todos os sinais: "legacy signals" 2º sinal civil em L2 (L2C)	Todos os sinais do bloco IIR-M 3º sinal civil na frequência L5(L5)	Todos os sinais do bloco IIF 4º sinal civil na frequência L1(L1C)
Código P(Y) preciso nas frequências L1 e L2 para usuários militares	Monitoramento de relógio "on-board"	Novos sinais militares de código M	Relógios atômicos avançados	Maior pressão, confiabilidade e integridade do sinal
Tempo de vida do projeto de 7,5 anos	Tempo de vida do projeto de 7,5 anos	Níveis de potência flexíveis para sinais militares	Maior precisão, intensidade do sinal e qualidade	Nenhuma disponibilidade seletiva
Lançando em 1990-1997	Lançando em 1997-2004	Tempo de vida do projeto de 7,5 anos	Tempo de vida do projeto de 12 anos	Tempo de vida do projeto de 15 anos
		Lançando em 2005-2009	Lançando em 2010-2016	IIIIF:refletores de laser,busca e salvamento ("payload") 1º lançamento em 2018

Fonte: Tabela adaptada pelos autores, GPS (2019)

2.2.2.1.4 Segmento dos Usuários

Este segmento consiste em variados tipos de **receptores**, podendo ser de mão (disponíveis em relógios de pulso, e celulares) em veículos ou receptores estáticos utilizados para levantamentos geodésicos. Para fins militares e civil, abrange uma ampla gama de aplicações, como em mineração, onde é usado para guiar máquinas pesadas, ou na agricultura de precisão. O GPS, desempenha um papel fundamental no monitoramento de terremotos, e é útil para a mitigação de desastres ambientais, e mapeamento de áreas de pós-desastre. (AWANGE, 2018).

Para alcançar o mais alto nível de precisão, a maioria dos receptores no nível de pesquisa (para fins científicos), usam duas frequências de rádio GPS: L1 e L2, embora atualmente, não exista sinal civil totalmente funcional em L2. Em 2008,

o governo dos EUA se comprometeu em permitir o acesso sem código (*codeless/semi-codeless*) aos sinais GPS P (Y) até 31 de dezembro de 2020, e aconselhou os usuários de receptores GPS “sem código” a fazerem a transição para novos equipamentos de usuários utilizando o GPS modernizado, sinais (L2C, L5) (GPS, 2019).

2.2.3 Uso do GNSS

Tendo como parâmetro NIEVINSKI (2012), segue tópico resumido sobre o uso do GPS, parâmetro de rastreamento aos demais sistemas que compõem o GNSS, atentando conforme se observará no Capítulo 5 deste trabalho aos **métodos** de posicionamento relativo estático e estático rápido, os quais foram aplicados na investigação deste estudo.

Quanto à ocupação de um ponto:

- Permanente;
- Materializado;
- Temporária.

Quanto ao modo de posicionamento:

- Relativo, a partir de uma estação como base real, ou base virtual;
- Por ponto, simples, preciso e, ou corrigido;
- Corrigido, de forma diferencial e complementada.

Quanto ao processamento:

- Em gabinete, pós-coleta ou pós-processado;
- Em tempo real (RTK) embarcado.

As opções de combinações estão relacionadas ao propósito do uso, citando como exemplo, o monitoramento contínuo de uma rede geodésica de referência através de uma ocupação permanente modo relativo com os rastreios processados em gabinete, e o monitoramento permanente de atividades geofísicas, sísmicas e tectônicas, pelo modo relativo processado com baixa latência em gabinete.

A Figura 12, apresenta a estação geodésica POAL (seta em vermelho) pertencente à RBMC, localizada no campus da UFRGS, equipada com receptor

GNSS de alto desempenho, proporcionando em tempo real observações para determinação de coordenadas (IBGE, 2018).

Figura 12 - Estação Geodésica POAL, posicionada no prédio do instituto de geociências/UFRGS.



Fonte: Elaborado pelos autores

2.2.3.1 Posicionamento Relativo

No posicionamento relativo, dois satélites ou mais são rastreados simultaneamente por no mínimo dois receptores GNSS por um período de tempo que pode variar de 20 minutos a algumas horas (MÔNICO, 2008). Entretanto, caso o usuário dispôr de apenas um receptor, é possível ainda utilizar estações da RMBC para o posicionamento relativo (ALBARICI, 2011).

Quando um equipamento GNSS é posicionado, a precisão das coordenadas estimadas está diretamente relacionada com tempo de duração de cada sessão de observação (IBGE, 2017).

A tabela 2 apresenta a estimativa de precisão para o posicionamento relativo em função do tempo de observação e tipo de equipamento utilizado:

Tabela 2 - Estimativa de Precisão para Posicionamento GNSS Relativo

Linha de Base	Tempo de Observação	Equipamento Utilizado	Precisão
00-05 Km	05 - 10 min	L1 ou L1\L2	5 - 10 + 1 ppm
05-10 Km	10 - 15 min	L1 ou L1\L2	5 - 10 + 1 ppm
10-20 Km	10 - 30 min	L1 ou L1\L2	5 - 10 + 1 ppm
20-50 Km	02 - 03 horas	L1\L2	5 mm + 1 ppm
50-100 Km	Mínimo: 03 horas	L1\L2	5 mm + 1 ppm
> 100 Km	Mínimo: 04 horas	L1\L2	5 mm + 1 ppm

Fonte: IBGE (2017).

2.2.3.2 Posicionamento Relativo Estático

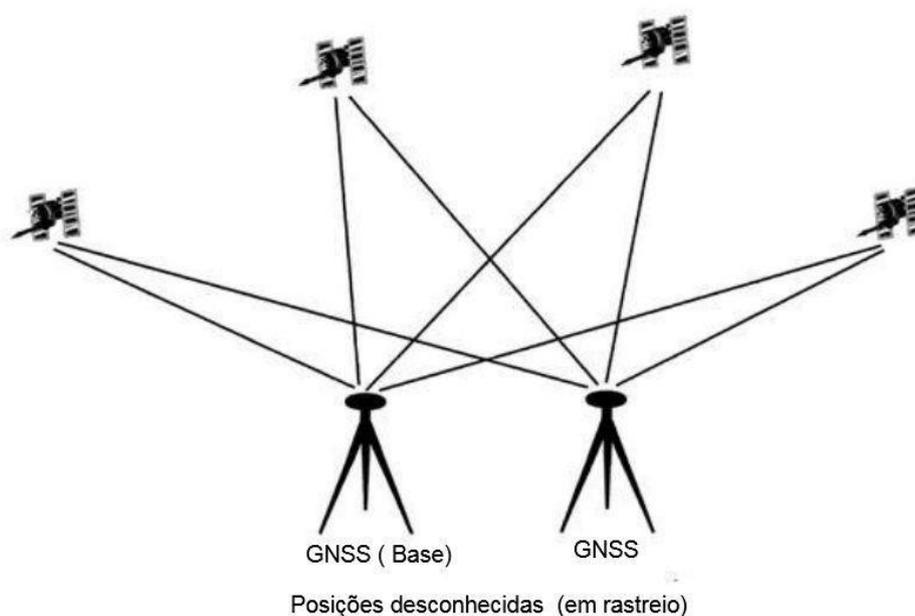
O levantamento estático com as medições de fase de portadora é a técnica de posicionamento mais precisa, isso se deve principalmente à mudança significativa na geometria do satélite ao longo do longo período de observação. Embora ambos os receptores de frequências simples e dupla possam ser usados para posicionamento estático, o último é usado de maneira especial, especialmente para linhas de base que excedam 20 km.

Em relação a precisão de um receptor de qualidade geodésica, espera-se aproximadamente 5 mm + 1 ppm (rms); em uma linha de base de 10 Km por exemplo, a precisão presumida é de 1,5 cm (rms). Para uma linha base relativamente longa, o usuário pode optar por combinação linear livre de ionosfera para remover seus erros, isso ocorre, porque os parâmetros de ambiguidade podem não ser fixados de forma fidedigna. Para linha de base muito longa, por exemplo, acima de 1.000 km, recomenda-se que o usuário os processe com softwares

científicos disponíveis, e neste caso, as efemérides precisas devem ser usadas, já que os efeitos dos erros orbitais serão consideravelmente diferentes nos dois extremos da linha de base (EL-RABBANY, pag. 73, 2002).

Os *Softwares* comerciais de processamento de dados fazem primeiramente o cálculo de linhas de base e, no segundo momento, o ajustamento da rede (SILVA e ROMÃO, 2009).

Figura 13 - Método GNSS Relativo Estático



Fonte: Imagem adaptada pelos autores (EL-RABBANY, pag. 73, 2002).

2.2.3.3 Posicionamento Relativo Estático Rápido

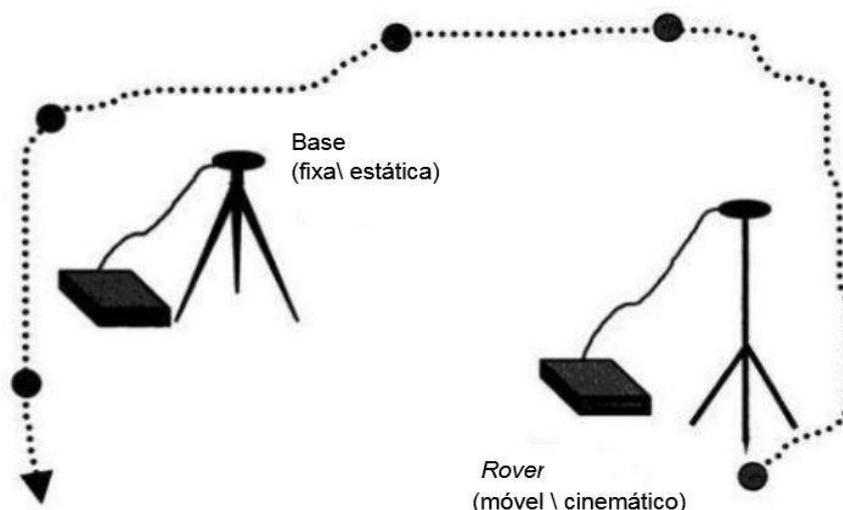
Emprega simultaneamente dois ou mais receptores rastreando os mesmos satélites, no entanto, somente o receptor da base permanece estacionado durante toda a sessão de observação; um receptor *rover* é estacionado sobre o ponto desconhecido por um curto período de tempo, e as seguir é posicionado para outro ponto cujas coordenadas são procuradas. Similar ao estático, o receptor da base pode suportar qualquer número de *rovers*.

Este método é adequado para o levantamento que envolve um conjunto de pontos desconhecidos. O levantamento começa configurando o receptor no marco base, enquanto se configura o receptor móvel sobre o primeiro ponto

desconhecido. O receptor da base permanece estacionado em rastreamento contínuo enquanto o *rover* coleta dados por um período variando de 2 até 10 minutos, dependendo da distância da base e da geometria dos satélites. Uma vez que o receptor tenha coletado os dados, o usuário se move para o ponto seguinte de coordenadas desconhecidas. Deve ser salientado que enquanto se move, o **receptor rover** pode ser desligado, e devido ao tempo relativamente curto de ocupação para o mesmo, o intervalo de gravação é reduzido para 5 segundos.

Após coletar e baixar os dados de campo de ambos os receptores, um *software* é usado para processamento de dados. Dependendo se os dados foram coletados suficientemente, o software pode gerar uma solução fixa, o que indica que os parâmetros ambíguos foram ajustados em valores inteiros, se uma solução flutuante (*float*) é obtida, significa que o *software* não conseguiu corrigir os parâmetros de ambiguidade. Este problema ocorre principalmente quando os dados coletados são insuficientes. Uma solução fixa significa que a precisão de posicionamento está no nível centimétrico, enquanto a solução de flutuação significa que a precisão de posicionamento está no decímetro ou em níveis baixos. Embora ambos os receptores de frequência simples e dupla possam ser usados para levantamentos estáticos rápidos, a probabilidade de obter uma solução fixa é maior com o último (EL-RABBANY, pag. 74, 2002).

Figura 14 - Método GNSS Relativo Estático Rápido



Fonte: Imagem adaptada pelos autores (EL-RABBANY, 2002)

2.3 Barragens

As considerações sobre barragens ou represas não serão perscrutadas neste estudo, sendo aludido apenas tópicos julgados necessários em proposições ao levantamento geodésicos.

Barragens ou represas são estruturas únicas, e independente de suas características, demonstram grande complexidade em sua resposta de carga quanto à hidrologia e geologia do local (NOVAK et al, 20017, p. 3).

ICOLD (2018) define como barragem de grande porte (*large dam*), uma barragem com altura de 15 metros ou mais, desde a fundação mais baixa até a crista, ou barragens entre 5 metros a 15 que retenham mais de 3 milhões de metros cúbicos.

2.3.1 Tipos de Barragens

Tomou-se como literatura para classificações de barragens SIDDIQUI (2009), a quem sugerimos para esclarecimentos sobre a matéria.

Classificações quanto à função:

- Barragens de Armazenamento;
- Barragens de Desvio;
- Barragens de Detenção.

Classificação quanto ao material de construção:

- Barragens de Gravidade;
- Barragens de Aterro;
- Barragem de Enrocamento.

Classificação quanto ao desenho estrutural:

- Barragens em Arco;
- Barragens de Contra- forte.

Face aos projetos de mineração, e dos volumes de rejeitos gerados a serem armazenados, surgiu a necessidade de estruturas de barramento denominadas de Barragens de Contenção de Rejeitos (MACHADO, 2007).

Ainda, conforme SAMARCO (2016), barragens de rejeitos são construídas para depósitos oriundos da mineração funcionando como uma barreira, onde à

medida que o rejeito é depositado, a parte sólida se acomoda ao fundo. A água decantada é então drenada, onde parte é reutilizada no processo de mineração e o restante devolvido ao meio ambiente após tratamento. A barragem, com o passar do tempo vai secando até deixar de receber rejeitos.

2.3.2 Monitoramento de Barragens

De acordo com SIDDIQUI (2009), por ser uma estrutura diferenciada, falhas em uma barragem podem originar **desastres à jusante**, portanto, para garantir a segurança deve ser monitorada levando em conta ações de forças hidráulicas, estruturais, do meio ambiente e geotécnicas.

Forças atuantes em barragens rígidas (arco, contraforte e de gravidade), enrocamento e de aterro:

- Pressão de armazenamento;
- Tensão no corpo da barragem;
- Sismológicas;
- Pressão de armazenamento; entre outras.

Entretanto, em relação a **cenários sísmicos**, com certeza os tremores de terras são imprevisíveis e podem ocorrer a qualquer momento e em qualquer lugar, e regiões como o Brasil podem ser atingidas por um sismo devastador com magnitude maior que 7 Mw. Em contrapartida, é quase impossível que nessa região intraplaca possa ter um sismo maior do que 8 Mw, em escala de intensidade Mercalli Modificada (LOPES e NUNES, 2011).

É indicado MACHADO (2007), para maiores esclarecimentos sobre **instrumentação de auscultação**, processo de observação, detecção e caracterização do desempenho e tendência de comportamento de uma barragem e suas estruturas auxiliares. Ressalta o mesmo ainda, que semelhantemente em barragens, as deformações dos materiais ocorrem ao longo de um período, e que monitoramento em algumas barragens pode ser inclusive através de levantamentos topográficos, e cita como técnica para um monitoramento rigoroso e preciso para determinar deslocamentos horizontais de estruturas: o GPS, triangulação e nivelamento geométrico.

2.3.2.1 Métodos de Inspeção Remota

Aparecendo de forma furtiva no Brasil, tais tecnologias com inspeção remota aplicadas em barragens estão sendo implantadas rotineiramente em outros países, onde entre as vantagens está o **acesso virtual** aos elementos estudados (SILVEIRA e OLIVEIRA, 2019).

Abaixo citaremos os métodos a título de conhecimento e pesquisa, sugerindo as referências mencionadas por SILVEIRA e OLIVEIRA (2019):

–Câmeras Digitais – com telemetria *Ethernet*;

–SONAR - *Sound Navigation and Ranging* (Alcance e Navegação através do Som)-

formando uma imagem bidimensional pode ser usado para detectar falhas mesmo em áreas com baixa visibilidade;

–LASER - LIDAR - mencionados no tópico 2.4 (SVLT);

–InSAR -Interferometric Synthetic Aperture Radar (Interferometria por Radar de Abertura Sintética) - a peculiaridades dessa técnica por satélites permite a sua utilização para avaliações de taludes e monitoramentos de estruturas e infraestruturas de barragens. É recomendável mais detalhes sobre a interferometria por Radar em NIEVINSKI (2004);

–Refletômetros - equipamento muito utilizado em minas, sendo ainda possível em lugares com elevado risco geomecânico;

–SAM (Sistemas Ativos de Monitoramento) - projetado para suportar equipamentos eletrônicos utilizando os conceitos da internet.

2.3.2.2 Métodos Geodésico e Topográfico

O monitoramento geodésico (convencional ou moderno) e fotogramétrico buscam detectar variações de coordenadas a partir de pontos observados em um intervalo de tempo.

Pelo método da triangulação é utilizado a intersecção à vante, efetuando as medidas em direção a uma base geodésica localizada à jusante, onde as variações de coordenadas podem indicar alterações planimétricas e altimétricas. O nivelamento geométrico é realizado em marcos superficiais da barragem para

determinar as diferenças altimétricas, os quais correspondem a pontos de referência para o controle de possível deslocamento do maciço, de modo que as condições da fundação impeçam qualquer movimento. As características e necessidades de cada estrutura determinarão a locação e densidade das estações topográficas, de modo que o deslocamento absoluto seja medido em pontos fixos fora da estrutura do maciço. MACHADO (2007), ainda esclarece que as informações fornecidas por meio dos marcos superficiais se referem à superfície, e que a deformabilidade da fundação é em parte devido ao deslocamento da estrutura, sendo imprescindíveis medições diretas no interior do maciço, entre outras, por meio de piezometria.

As leituras geodésicas devem ser feitas sistematicamente e periodicamente através de levantamento topográfico eletrônico de precisão utilizando estação total. O método consiste em se estabelecer uma rede de estações de observações de forma a verificar os deslocamentos diferenciais dos marcos visados, requerendo para as estações pilares de concreto armado com **centragem forçada**, com altura de 5,0 metros para evitar a perda de rigidez.

Recomenda-se um isolamento térmico ou pintá-los de branco para redução do aquecimento face aos raios solares.

MACHADO (2007, p. 128) conclui acerca de implantação de redes geodésicas para auxiliar no monitoramento de estruturas:

O monitoramento de barragens aplicando conceitos de geodesia geométrica, fornece dados acurados e confiáveis sobre a real condição estrutural de uma obra. Desta forma é perfeitamente viável e justificável a implantação de uma rede de monitoramento geodésico para controle de deslocamentos estruturais, como um referencial para garantir resultados precisos e de confiáveis.

2.3.2.3 Estação Total Robotizada no Monitoramento de Barragens

A Estação Total Robotizada, **superando as tradicionais**, apresenta o reconhecimento automático de alvos e medições eletrônicas de distâncias sem a necessidade de primas de reflexão total. Esta por sua vez, pode também enviar os dados para uma interface de modo que em um terminal remoto as medições sejam gravadas e avaliadas. Além disso, existe a possibilidade da operação remota se

posicionada no local de medição, necessita-se apenas um operador, e ou mesmo programando a estação para fazer as medições automaticamente de alvos pré-escolhidos. A estação total robotizada pode ser aplicada em monitoramento de grandes estruturas, tais como barragens (CORREA, 2013).

Sobre a utilização da estação total robotizada no monitoramento geodésico de Barragens, diz NADAL(*et al.*, 2015), através do método de irradiação tridimensional com visadas dos prismas instalados à jusante as medições são feitas de forma ágil e eficiente, servindo de referência ao monitoramento de outros empreendimentos a partir de uma rede geodésica materializada.

A forma como são aplicadas é uma das principais diferenças entre a estação total tradicional e a ETR, a última tem a vantagem de rastrear automaticamente os prismas a serem visados. No Brasil essa técnica de monitoramento já vem sendo utilizada em algumas barragens hidrelétricas e de rejeitos, as quais necessitam de um monitoramento sistemático e de precisão (SARAIVA, *et al.*, 2016).

2.3.2.4 GNSS Aplicado do Monitoramento de Barragens

Nos últimos anos, o rastreamento GNSS para fins de monitoramento tem sido objeto de estudos, proporcionando precisão milimétrica e alta resolução temporal, com vantagens sobre os métodos tradicionais (SEEBER, 2003, MONICO, 2007, BOND, 2007, HOFMANN - WELLENHOF *et al.*, 2008, *apud* MARQUES, PACHECO e TANAJURA, 2016). Considerando:

- Não é requerido visadas entre estações;
- O SRG (sistema de referência geodésico) é geocêntrico;
- Obtenção tridimensional da posição do ponto;
- Necessidade de menor número de operadores.
- Estimativas com precisão milimétrica, independente de linhas de bases curtas ou longas.

Em aplicação do GNSS pelo método de posicionamento relativo em barragem hidrelétrica, obteve-se uma estimativa de coordenadas com precisões variando aproximadamente de 8 mm à 1 cm no ajustamento da rede (MARQUES, PACHECO e TANAJURA 2016).

2.3.2.5 SVLT Aplicado no Monitoramento de Barragens

A grande redundância nas observações é a principal característica do SVLT, tendo ocorrido nos últimos anos vários estudos sobre esta tecnologia para o monitoramento de deformações, incluindo barragens e pontes (VEZOCNIK, *et al.*, 2009).

LENARTOVICS (2013), observou que uma quantidade maior de instalações em campo permite que áreas maiores sejam levantadas com grande densidade de pontos, garantindo uma maior qualidade na representação da estrutura.

Em seu estudo sobre monitoramento de deformações em barragens, ANTOVA (2015), comenta que a extração de deformações por meio do SVLT não ocorre com pontos separados, mas comparando uma modelagem de superfície para diferentes épocas. A **vantagem principal** desta tecnologia é a representação de toda a estrutura, ressaltando que a limitação deste método está relacionada a um modelo de superfície que requer análise.

Esta tecnologia fornece alta precisão, amostragem espacial densa, grande cobertura e possibilidade de vincular as medidas às coordenadas externas estáveis. Portanto, pode ser adequado para o monitoramento estrutural de barragens quando combinada com outros sensores (SERANTONI, 2018).

2.4 O SVLT

Nos últimos 50 anos os avanços dos componentes eletrônicos, fotônica e de sistemas computacionais entre outros, tornaram possível uma modelagem confiável em alta resolução, e, por conseguinte de LASER *scanners* precisos, permitindo uma infinidade de aplicações na área da topografia, ambiental e industrial, bem como na aquisição dos dados 3D de patrimônios culturais. Dessa forma os LASER aéreos e terrestres capturam e registram a geometria, e às vezes informação textual de superfícies visíveis de objetos e locais (VOSSELMAN e MASS, 2010).

Segundo WUTKE (2006), a varredura LASER é na verdade o resultado do **aperfeiçoamento das estações totais robotizadas**, e quando em operação na coleta de dados sob a forma de varredura a laser, podem estar fixados em uma

posição estática ou em uma base móvel. Neste estudo é empregado como monograma SVLT, ao contrário de autores que utilizam LST, considerando-se esse como um sistema de elementos e processos internos, sendo dada ênfase aos sistemas LASER estáticos, embora sejam mencionados sistemas móveis embarcados, tais como em aeronaves.

2.4.1 LASER

Segundo ALLEN (1969, apud REISS, 2007), LASER é acrônimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, uma luz coerente resultante da amplificação por emissão que estimulada por radiação, apresenta uma largura estreita em que os fótons mantém uma relação constante de fase de maneira que um feixe não altera a direção de propagação do outro.

2.4.1.1 Componentes LASER

De acordo com PETRIE e TOTH (2009, apud SHAN e TOTH,2009), todo LASER compreende **três elementos principais**:

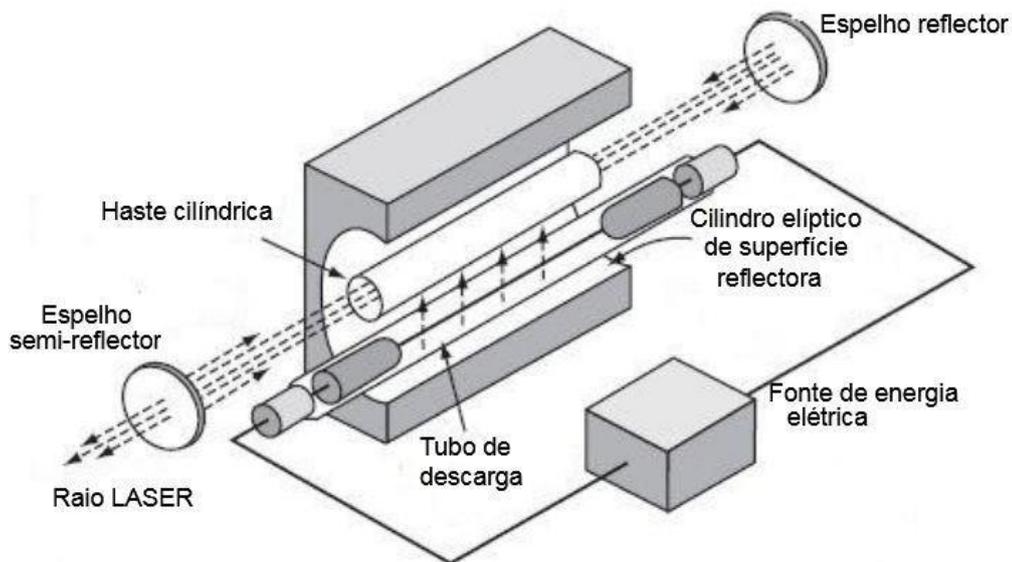
- O primeiro desses elementos compreende o material ativo do LASER que contém átomos, cujos elétrons por meio de uma fonte podem ser excitados e elevados a um nível muito maior de energia. Como exemplo dos materiais que estão sendo usados extensivamente em instrumentos, inclui um material cristalino de estado sólido, tal como o Nd:YAG – *Neodymium-doped Yttrium aluminum Garnetumínio* e um material semiconductor como o arsenieto de galio (GaAs);
- O segundo elemento presente em todo LASER é uma fonte que fornece a energia para iniciar e continuar a ação de LASER. A provisão contínua de energia para o laser é geralmente descrito como "bombeamento" do LASER. Exemplos de fontes adequadas incluem fontes ópticas, lâmpada de descarga ou um diodo LASER, ambos usados com lasers de estado sólido. Alternativamente, uma unidade de energia elétrica produzindo uma corrente que passa diretamente através do material

ativo pode ser usado como fonte de energia no caso de semicondutores LASERS;

- O terceiro elemento é a provisão de dois espelhos: um que é totalmente reflexivo, refletindo 100% da radiação incidente do laser; e o outro que é semi-reflexivo (isto é, parcialmente transmissivo). Mais uma vez, estes são componentes integrais ou característicos de todo LASER.

A Figura 15, ilustra a construção de um laser de estado sólido com a haste cilíndrica de Nd Nd (*Neodymium-doped*) colocada em um ponto focal de uma cavidade cilindro de metal com secção transversal elíptica, cuja superfície interior é altamente polida; A fonte fornece a energia necessária para iniciar e manter o ação de laser.

Figura 15 - LASER de estado sólido



Fonte: adaptado pelos autores (PETRIE e TOTH, 2009, apud SHAN E TOTH 2009).

2.4.1.2 Avaliação de Riscos LASER

Os padrões internacionais dividem os LASERS em classes baseadas nos riscos, especialmente no que diz respeito a danos aos olhos humanos ou pele.

Tabela 3- Classes de Riscos LASER

classe	potência\ características	exemplo
I	até 4.0 m W não são visualizados	leitores de código de barras em supermercados
IA	superior a 4.0 mW não são visualizados emissão de 1000 s	idem
II	inferior a 1 mW Luz visível limites especificados	
IIIA	1 a 5 mW perigosos para visualizações limites especificados	
IIIB	5 a 500 mW LASER pulsado controle específicos recomendados	
IV	potência superior à classe IIIA perigosos para visualização e pele risco de incêndio medidas de segurança	série ALTM da Optech

Fonte: Elaborado pelos autores (PETRIE e TOTH, 2009, apud SHAN E TOTH, 2009).

Certos LASERS que emitem radiação no infravermelho de ondas curtas do espectro eletromagnético, em comprimentos de onda superiores a 1400 nm, são rotulados como seguro aos olhos. Um exemplo é o scanner a LASER terrestre Optech ILRIS-3D, que usa um LASER *rangefinder* que emite radiação com comprimento de $\lambda = 1550$ nm. Esta designação surge do fato de que o conteúdo de água da córnea do olho humano absorve radiação nesses comprimentos de onda, no entanto, esse rótulo pode ser enganoso, já que realmente se aplica apenas a feixes de ondas contínuas. Qualquer LASER de alta potência operando nesses comprimentos de onda ainda pode causar **graves danos** ao olho de um observador (PETRIE e TOTH, 2009, apud SHAN E TOTH 2009).

2.4.1.3 Equipamentos LASER

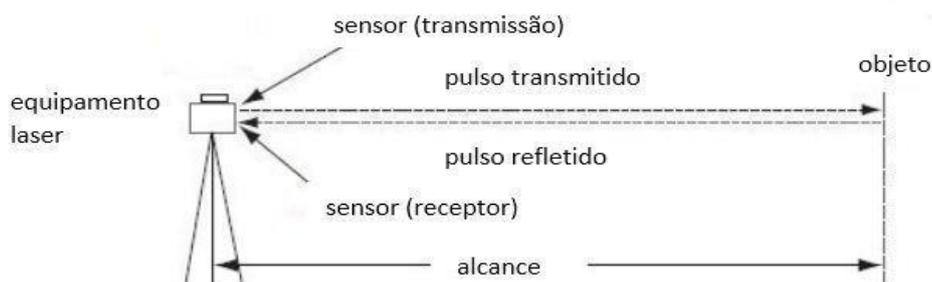
Optou-se em manter os termos *ranging* e *profile* tendo em vista seus amplos sentidos, dessa forma é apresentada uma breve introdução dos equipamentos LASER *Ranging*, LASER *Profile* e LASER *Scanner*. Pesquisa completa pode ser feita em (PETRIE e TOTH, 2009, apud SHAN E TOTH 2009).

2.4.1.3.1 LASER RANGING

Todas as operações a LASER estão baseadas em algum instrumento similar ao LASER *RANGING*, os quais podem medir distâncias com alto grau de acurácia. Esta medida de distância ou alcance está baseada na mensuração precisa do tempo a partir do emprego de um dos dois métodos principais.

O primeiro método envolve a medição precisa do tempo de percurso (*TOF-time of flight*) em um período muito curto, onde um pulso de radiação é emitido pelo LASER *ranger* ao objeto alvo e retorna ao instrumento após ser refletido, assim a variação do LASER, onda eletromagnética, no instrumento ao retornar, mede o intervalo de tempo que transcorreu entre a emissão e retorno.

Figura 16 - Princípio TOF referente a um "pulso" LASER

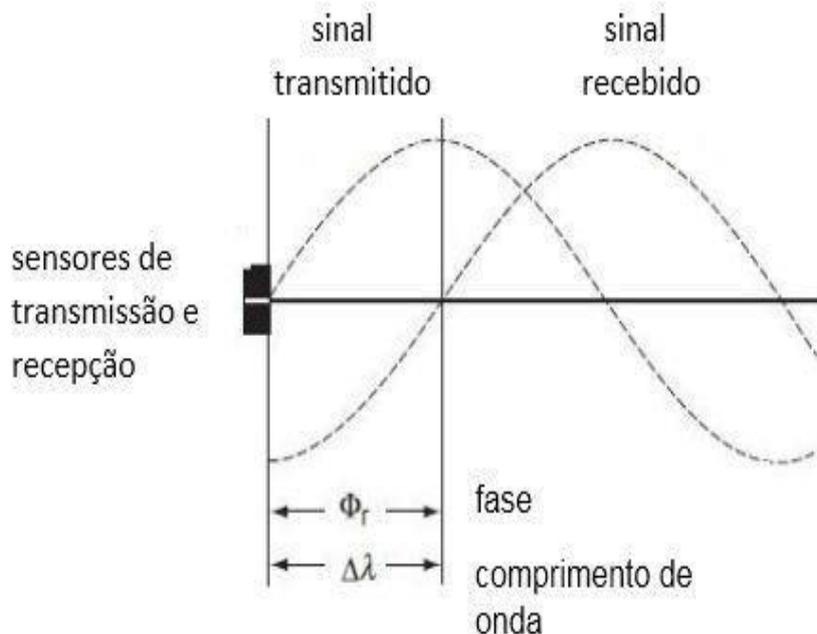


Fonte: adaptado pelos autores (PETRIE e TOTH, 2009, apud SHAN E TOTH 2009).

No segundo método (alternativo), é transmitido um feixe contínuo de radiação LASER em vez de um pulso. Nesse caso, o valor do intervalo é derivado comparando as ondas transmitidas e recebidas do padrão de onda sinusoidal deste feixe e assim medir a diferença de fase entre elas.

A Figura 17 ilustra duas ondas eletromagnéticas, onde a comparação de fase é realizada entre os sinais LASER transmitidos e recebidos.

Figura 17 - comparação de fase.



Fonte: adaptado pelos autores (PETRIE e TOTH, 2009, apud SHAN E TOTH 2009).

2.4.1.3.2 LASER PROFILING

O uso de LASER sem refletores para medir as distâncias até uma série de pontos localizados adjacentes uns aos outros ao longo de uma linha no terreno, resulta em um perfil (vertical) bidimensional ou corte transversal vertical do solo, mostrando as elevações do chão ao longo dessa linha.

Quando adaptado em aeronaves ou espaçonaves é chamado de LASER *altimeter* (altímetro), no caso baseado em terra ou terrestre, a medição do perfil do terreno é executado em uma série de etapas com as medidas sucessivas.

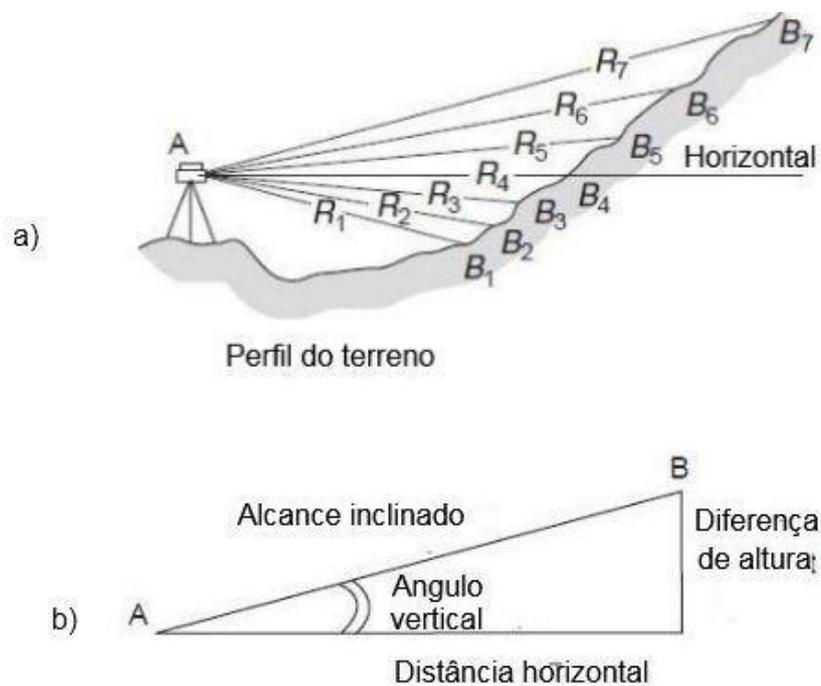
A figura 18:

- Ilustra medição de faixas oblíquas e ângulos verticais por um rangefinder localizado em A e uma série de

pontos sucessivos localizados ao longo de uma linha no solo formando um perfil.

- b) Ilustra os intervalos inclinados medidos e os ângulos verticais são usados para calcular as distâncias horizontais e as diferenças de altura entre o *rangefinder* em A e cada um dos objetos do solo em B.

Figura 18 - LASER profiling



Fonte: adaptado pelos autores (PETRIE e TOTH, 2009, apud SHAN E TOTH 2009).

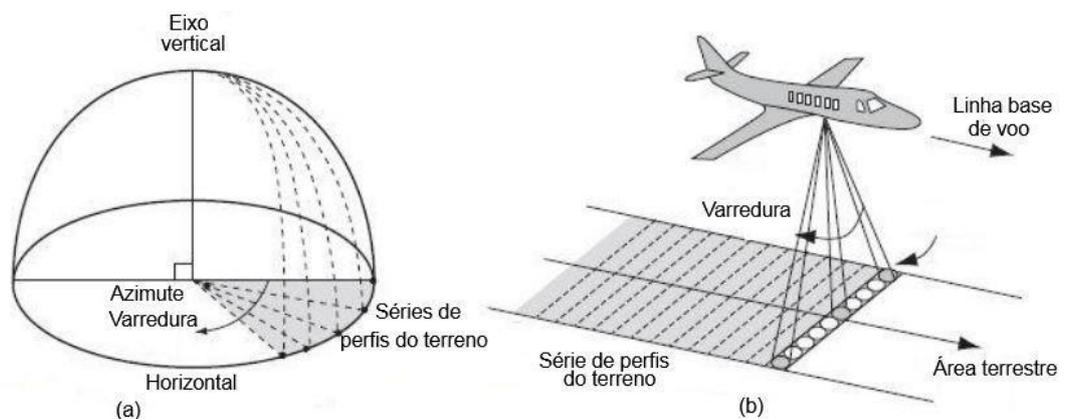
2.4.1.3.3 LASER SCANNER

Com a adição de um **mecanismo de varredura**, como por exemplo, utilizando um espelho prisma, o instrumento *ranging* é melhorado para se tornar um *scanner* que pode medir e mapear em detalhes os recursos topográficos de uma área ao invés de simplesmente determinar valores de elevação ao longo de uma linha no terreno, como é feito com o *profiling*.

No que diz respeito ao instrumento ao SVLT, a despeito dos embarcados em aeronaves, movimento em duas direções é necessário para escanear área do terreno. Assim, além do movimento vertical dado pelo espelho rotativo ou prisma, a adição de um movimento controlado (e medido) na direção do azimute, geralmente implementada através do uso de um acionamento motorizado, permite medição de uma série de perfis em torno do eixo vertical do LASER *ranger*. Isso fornece os dados de posição e elevação que permitirão um modelo 3D do terreno.

A Figura 19, ilustra o SVLT em “a” ,e “b” embarcado em aeronaves.

Figura 19 - LASER scanning



Fonte: adaptado pelos autores (PETRIE e TOTH, 2009, apud SHAN E TOTH 2009).

2.4.2 Mecanismo de Projeção e Varredura

A aquisição de uma superfície 3D densamente amostrada com único LASER requer mecanismo de varredura para mover o feixe de LASER.

Exemplos de modos de rastreamento::

-
- Realizado por dois espelhos montados ortogonalmente, típico de *scanners* terrestres com um campo de visão semelhante a uma janela;
 - O feixe de LASER é escaneado em uma direção com um espelho e o conjunto do dispositivo girado mecanicamente, típico de *scanner* terrestres com um campo de visão panorâmico ou hemisférico. Uma montagem semelhante pode ser usado onde o movimento de rotação é substituído por translação (LANGER et al., 2000, apud VOSSSELMAN e MAAS, 2010);
 - O raio LASER é escaneado em uma direção, mas montado em uma aeronave ou em um veículo, neste caso, a segunda direção de varredura é dada pela aeronave ou veículo em movimento, e um GNSS/IMU (unidade de medição inercial) são combinados para medir a posição e orientação da plataforma;
 - Nos de *scanners* de triangulação, uma linha pode ser projetada em vez de um único ponto limitado a uma direção, possibilitando linhas múltiplas ou padrões em tiras;
 - Técnicas de flash, onde sensores de tempo de vô são organizado como uma matriz de fotosensores ao processamento de sinal em um pixel por base (HOSTICKA et al., 2006, apud VOSSSELMAN e MASS, 2010). Eles são freqüentemente relatados como flash LIDAR (sistemas de tempo de voo do plano focal.

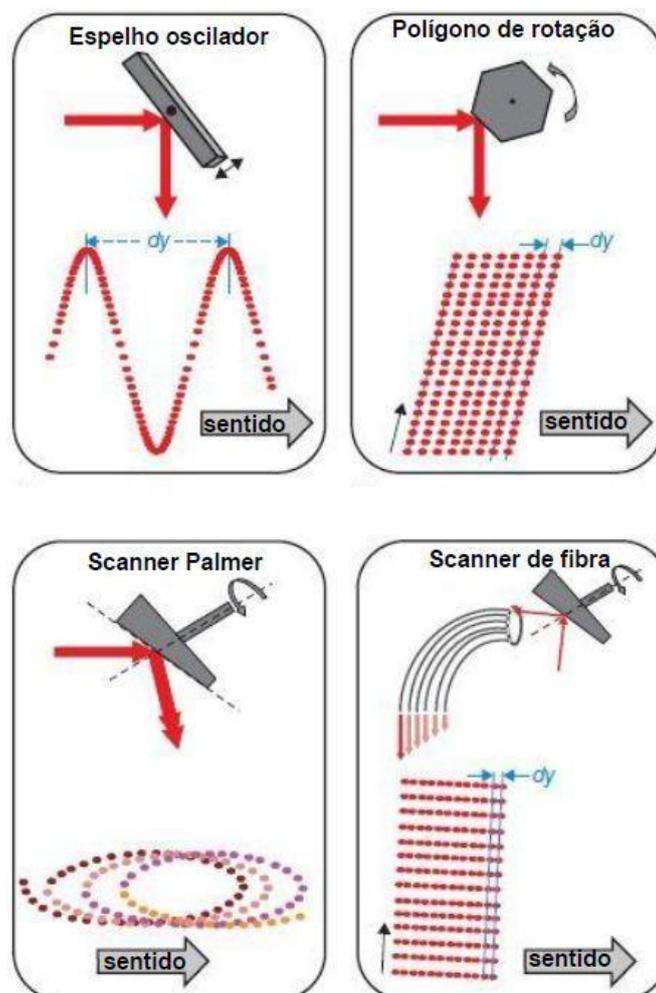
Diferentes mecanismos de rastreo:

- Espelho oscilante: Muitos sistemas aéreos utilizam o espelho oscilante como técnica, na qual um espelho giratório direciona o pulso do laser. Os pontos de dados são gerados em ambas as direções da varredura, resultando em um padrão de ziguezague no solo;
- Espelho poligonal rotativo: Nestes sistemas um espelho poligonal rotativo é usado para deflexão do feixe. Os pontos de dados são gerados em apenas uma direção de varredura, formando linhas de varredura paralelas. Sistemas com técnicas de espelho rotativo fornecem ângulos de 30 ° e 60 °;
- Palmer scanner: O dispositivo de espelho desvia o feixe LASER é construído de maneira que a superfície do espelho e o eixo de rotação formam um ângulo diferente de 90 °. Os sistemas baseados em varredura Palmer são usados principalmente em SVLT. Conforme VOSSSELMAN e MAAS (2010),

detalhes desta tecnologia podem ser encontrados em BALTSAVIAS (1999) e WEHR e LOHR.(1999);

- Scanner de fibra de vidro: Nesse caso, pulsos de LASER individuais são alimentados subseqüentemente em fibras de vidro próximas a um espelho de exploração. A varredura é obtida por um número de fibras de vidro arranjadas em uma disposição linear (LOHR e EIBERT, 1995, apud LOSSELMAN];
- Lidar Flash possível projetar luz modulada com um conjunto de LEDs (diodos emissores de luz) ou diodos. Desvantagens das técnicas de manuseio de flash são a limitação da resolução espacial e do alcance causada pela propagação do pulso energia em um campo de visão maior.

Figura 20 - Mecanismos de Rastreo



Fonte: Adaptado pelos autores (VOSSELMAN e MAAS, 2010)

2.4.3 Características da Varredura LASER

Segundo TOMMASELLI (2009), que a varredura laser tem como fonte sensores ativos que possibilitam operações a noite, emitindo um feixe de pulsos laser normalmente no espectro da onda do infravermelho. Nesse sistema, não há a necessidade de refletores, como os prismas utilizados em ETs, pois as medidas são efetuadas tendo como alvo uma feição ou objeto escaneado, gerando automaticamente uma densa nuvem de pontos com coordenadas 3 D, que pode ser chamada de **Modelo Numérico** de Superfície devido ao valor da reflectância associado, as quais devem ser coletadas a partir de outros pontos de vista para eliminar as oclusões.

Principais características:

- Não Depende da luz visível;
- Operação remota, o objeto ou feição não precisam ser tocados;
- O princípio da irradiação para o cálculo de coordenadas, o que requer uma estação por visada;
- Ao término da varredura o operador já tem à disposição resposta da operação executada, possibilitando o controle de qualidade;
- Alta densidade de pontos coletado, e altíssima redundância na descrição discreta dos objetos;
- A qualidade dos pontos depende somente da distância do laser ao objeto ou feição, pois existe homogeneidade na exatidão das coordenadas;
- Operação “*stand-alone*,” basta um operador por equipamento;
- Permite cobrir quase toda a superfície visível o objeto, combinando diferentes posicionamentos da varredura laser;
- Softwares que permitem um refinamento das nuvens de pontos.

ZAZZEK-PEPLINSKA (et al.2014), ressalta que as condições difíceis do terreno que acompanham os levantamentos de barragens, determinam a seleção dos equipamentos, bem como as técnicas apropriadas de medição geodésica. A utilização do SVLT em proximidade de ambiente aquático deve ser levada em conta, pois afeta as condições locais do microclima, o que nem sempre leva à observação da precisão esperada.

Fatores de influencia que definem a acurácia do SVLT:

- Distância entre o objeto escaneado e o sensor;
- Condições metereológicas;
- Precisão na determinação de pontos de apoio para diferentes varreduras;
- Precisão referencial em relação ao sistema de coordenadas externas;
- Incidência angular do raio laser;
- Tipo e cor da superfície de reflectância; comprimento da onda eletromagnética;
- Geometria do objeto, pois pode causar o efeito “*multi-way*” (multi-caminho);
- “Surrounding light” (luz ao redor);
- Erros de instrumentos.

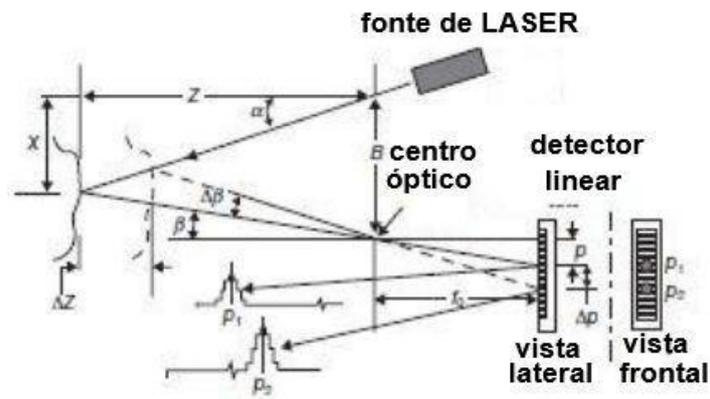
2.4.4 Princípios Básicos de Medições da Varredura LASER

VOSELMAN e MAAS (2010), cita dois métodos ativos básicos para medidas 3D de superfícies: estimativa de tempo de luz (LASER) transmitida e triangulação. O primeiro, princípio TOF, já foi mencionado ao tratar-se de LASER. Outro método com medições de forma indireta é a diferença de fase do raio LASER (LEITZ, 2007, apud VOSELMAN e MAAS, 2010), também referida.

O princípio da **triangulação** é empregado para sistemas projetados para medirem distâncias com de cerca de 5 metros, onde os primeiros artigos sobre medições para dados 3D foram publicados por Forsen em 1968.

A triangulação óptica para um unico feixe laser estático é baseado no princípio geométrico : uma fonte de LASER projeta um feixe de luz em uma superfície de interesse, a luz espalhada nessa superfície é coletada distitadamente do feixe projetado. Essa luz é focada (imageada). O conhecimento dos ângulos de projeção e coleta (α e β) em relação a um linha de base (B) determina as dimensões de um triângulo (lei do cosseno) e, portanto, o (X, Z) coordenar de um ponto em uma superfície.

Figura 21 - Triangulação óptica



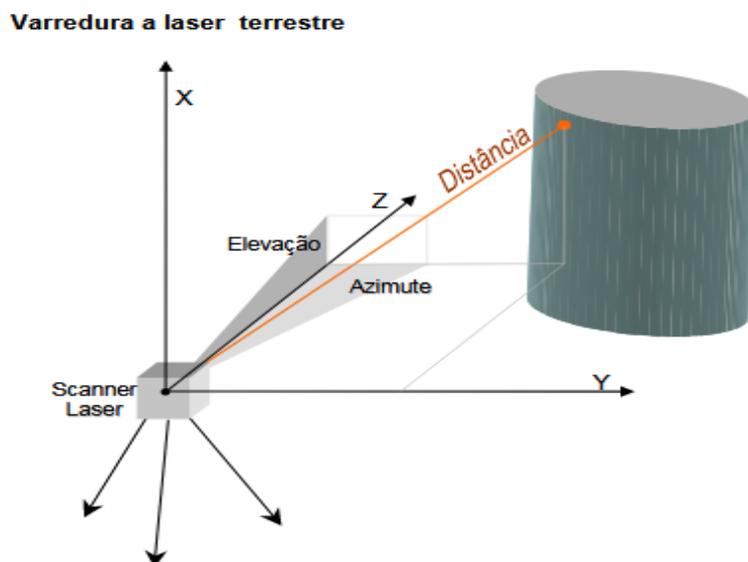
Fonte: Adaptado pelos autores (NRC CROWN COPYRIGHT, apud VOSELMAN e MAAS, 2010).

2.5 Processamento de dados

Segundo GONÇALES (2007), o processo de escaneamento é feito por meios digitais desde a captura de imagens (CDD), até produto final, cuja modelagem não é feita por interpolação a partir de poucos pontos. O SVLT permite a construção de modelos em três dimensões, visualização e análise de estruturas com alta complexidade, com precisão, velocidade e segurança, onde os objetos escaneados podem ser observados por meio de softwares específicos que possibilitam a manipulação das nuvens de pontos. A partir destas nuvens de pontos, o objeto pode ser modelado e exportado para um sistema CAD (*Computer Aided Draw*). Atualmente, a maioria dos sistemas utiliza *laser* pulsado para medições de distâncias, de modo que as posições dos pontos são determinadas por coordenadas.

As coordenadas coletadas dos pontos de cada nuvem requerem somente um posicionamento do equipamento, e por estarem no referencial do mesmo, para se referenciar a um sistema relacionado a feição ou objeto, é preciso pontos (apoio) bem definido que podem ser medidos inclusive por ETs, identificáveis ou inseridos na cena a ser varrida pelo laser. Estes alvos possibilitam mesclar várias nuvens gerando um só modelo.

Figura 22 - Elementos geométricos coletados em campo por SVLT para cálculos de coordenadas 3D



Fonte: TOMMASELLI, (2009)

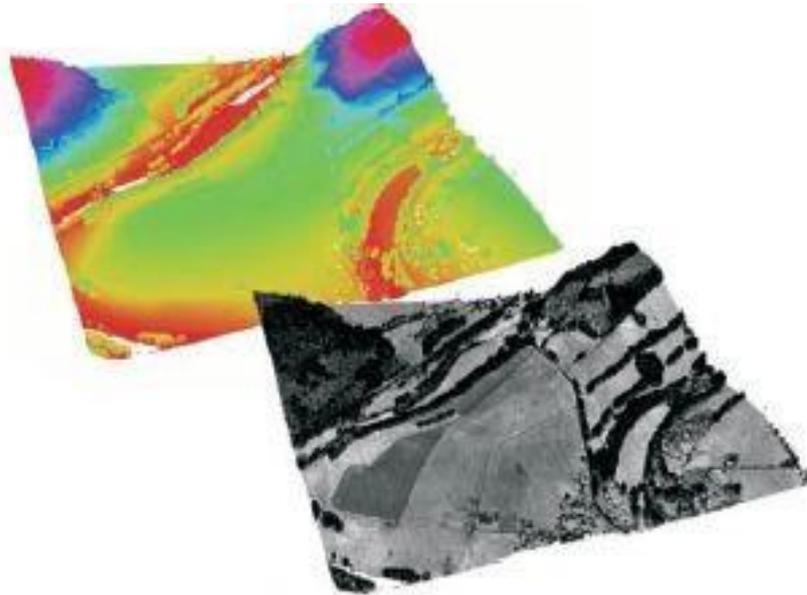
O processamento dos dados, nos diferentes sistemas (estático e ou em movimento) pode ser dividido em duas partes (VOSSSELMAN e MASS, 2010):

- Primeiro, o processamento de GNSS (e dados GPS / IMU no caso de aerotransportados);
- Segundo, processamento comum destes dados com os do SVLT obtidos. Para ambas as partes do processo existem vários pacotes de software disponíveis no mercado.

Nesta fase do processamento, todos os tipos de dados de correção (dados de calibração, parâmetros de montagem, correção atmosférica) são levados em conta. Geralmente, esta fase também inclui a transformação das coordenadas x, y, z do WG84 (SIRGAS 2000) para o sistema de coordenadas final. x, y, z , com o processamento denominado de nuvem de pontos 3D, e os dados em formato padrão, de modo que a distribuição das medições refletem a geometria de varredura. Com um primeiro controle de qualidade, o conjunto de dados pode ser verificado quanto à integridade e densidade das medições alcançadas.

Os dados da **nuvem de pontos** contêm varias informações, como exemplo, a Figura 23 ilustrando um rastreo aerotransportado, onde as cores diferentes significam elevações diferentes.

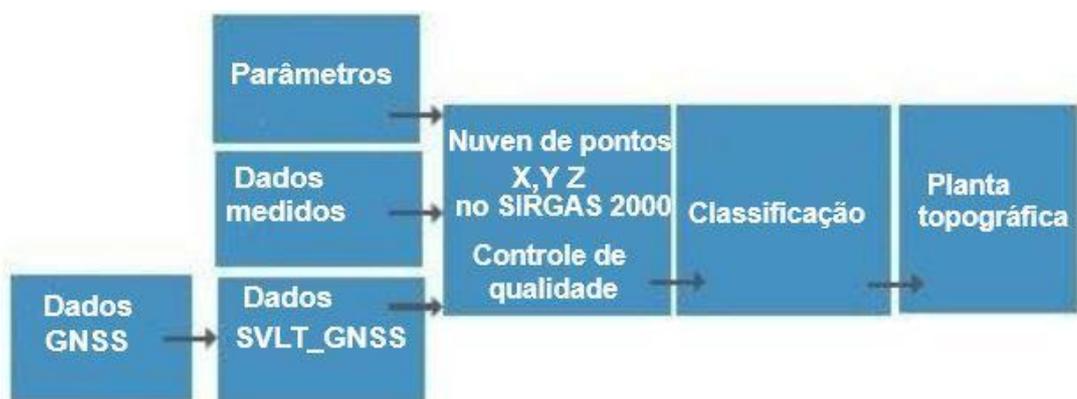
Figura 23 -Nuvens de Pontos



Fonte: Adaptado pelos autores (VOSELMAN e MASS, 2010).

As informações ajudam distinguir detalhes em áreas com apenas pequenas diferenças na elevação. No processamento adicional, serão escolhidas um MDT, MDS ou algum outro produto a ser gerado. A Figura 24, adaptada ao propósito deste estudo apresenta as etapas dos dados processados ao produto final.

Figura 24 - Processamentos dos Dados GNSS e SVLT



Fonte: adaptado pelos autores de VOSELMAN e MASS (2010).

2.6 OPTECH ILRIS 3D

Nesta seção são apresentadas informações básicas sobre o SVLT Optech Ilris 3D utilizado durante a realização da etapa de campo no presente estudo. Maior informações podem ser encontradas em OPTECH (2018). Para outros equipamentos sugere-se PETRIE e TOTH (2009, apud SHAN e TOTH, pag. 87-126, 2009).

Especificações quanto à potencialidade do uso do SVLT Optech Ilris 3D, equipamento utilizado neste trabalho, possibilita dimensionar a viabilidade da aplicação do SVLT (OPTECH, 2018):

- Alcance variável entre 400 metros, para objetos com refletância de 10% e 1200 metros, para objetos com 80% de refletância;
- Possui uma precisão linear de 7 milímetros e uma precisão angular de 8 milímetros, ambos a uma distância de 100 metros do equipamento;
- A divergência de seu laser, 0.00974° , faz com que, em uma distância de 100 m do equipamento, o diâmetro do raio do laser emitido seja de 2, 2 centímetros;
- Laser classe 1, seguro para o olho humano, opera em uma frequência de 1535 nm, ou seja, na faixa do infravermelho médio.

A figura 25, apresenta o SVLT Optech Ilris 3D e GNSS integrados na etapa de campo, aplicados em varredura e rastreamento respectivamente a jusante da estrutura principal da Barragem do Arroio Duro.

Os dados do SVLT foram registrados através de *software* específico, com um notebook interligado ao aparelho OPTECH ILRIS 3D.

Figura 25 - SVLT Optech Iris (varredura) 3D e GNSS (rastreo).



Fonte: Elaborado pelos autores

3 EQUIPAMENTOS E MATERIAIS/SOFTWARES

3.1 Equipamentos e Materiais

A tabela 4 lista os equipamentos utilizados em campo para obtenção dos dados no levantamento da Barragem do Arroio Duro.

Tabela 4 -Equipamentos e Materiais utilizados

Quantidade	Descrição dos Equipamentos Utilizados em Campo
2	Pares de Receptores GNSS HYPER
1	Par de Receptores GNSS_GR3
1	Coletora GNSS
1	Estação Total Topcon
28	Piquetes
4	Bases Nivelantes
2	Trena para medição de altura do GNSS/Estação Total
1	Trena para medição no terreno
1	Mira a Laser/Distanciômetro
2	Pranchetas
2	Primas com Bastão
2	Marretas
1	Facão
4	Tripés
1	Notebook Samsung
1	SVLT OPTECH ILRIS
28	Chapas de alumínio
6	Marcos de cimento
3	Marcos de polietileno

Fonte: Elaborado pelos autores

A tabela 5 demonstra os equipamentos disponibilizados pela UFRGS no estudo, a maioria adquiridos pelo projeto REUNI, do Governo Federal.

Tabela 5 - Equipamentos disponibilizados

Descrição do Material e Aquisição	Valor de aquisição e depreciado relativo ao projeto(em R\$)
2 Câmaras Canon Fotográficas Rebel Xsi	7617,36
Recursos CNPq	761,74
1 Sistema Terrestre de Varredura a LASER Optech ILRIS 3D HD versão academica	296219,00
Recursos REUNI	7405,48
1 VANT de pequeno porte Sensefly	33921,00
Recursos REUNI	989,36
2 Receptores GNSS Topcon GR3	180000,00
Recursos REUNI	7250,00
2 Receptores GNSS Topcon Hiper Lite	36000,00
Recursos REUNI	4200,00
1 Estação Total Topocon 7500	46000,00
Recursos REUNI	3260,00
2 Estações de Trabalho fotogramétricas de Alta performance e Placa de Vídeo Dedicada	30200,00
Recursos REUNI	
2 Prismas e Balizas	3000,00
Prismas e Balizas	90,00
Recursos REUNI	
Pacote de licenças dos Softwares de Modelagem 3D Polyworks	60200,00
Recursos REUNI	3200,00
Total	693157,40
	27156,58

Fonte: UFRGS

Tendo como fonte Receita Federal (2018) para para conversão de Reais para o dólar dos EUA, a tabela 6 exibe os valores monetários totais finais apontados. É de salientar trata-se de uma estimativa como referência de custos em dólar relativo à média do mês de dezembro de 2018.

Tabela 6- Valores em Reais e Dólar EUA

	Total em Reais	Total em Dólar(EUA): cotação de compra	Total em Dólar(EUA): cotação de venda
Valor de aquisição	693157,40	182804,30	182775,40
Valor depreciado dos objetos	27156,58	7162,01	7160,88

Fonte: Elaborado pelos autores (RF, 2018)

3.2 Softwares

A tabela 7 apresenta os softwares utilizados durante o processamento dos dados.

Tabela 7- Softwares utilizados

Parser
Cloudcompare
Autodesk Recap
Autodesk AutoCad Map2014
Qgis
Google Sketch Up
PC Controler
Topcon Tools

Fonte: Elaborado pelos autores. 2018

4 DESENVOLVIMENTO

O objetivo é de apresentar de forma sucinta as etapas empreendidas na investigação das potencialidades do uso da tecnologia do SVLT integrada ao GNSS para fins de monitoramento de barragens.

A Figura 26 ilustra as etapas que envolveram o Levantamento da Barragem do Arroio Duro.



Fonte :Elaborado pelos autores

4.1 Planejamento

Anterior ao levantamento em campo, foi feita uma **avaliação no local** a ser objeto de estudo em um cenário mais real da barragem, identificando possíveis restrições, tais como: área de matas, estradas próximas a pontos selecionados para implantação de marcos entre outros, tendo em conta uma melhor recepção do sinal GNSS possível.

Nessa ocasião foram verificadas as melhores posições para tomadas de cenas do SVLT, tanto na estrutura principal como no barramento (Talude), e definido que todo o levantamento transcorreria à jusante da Barragem do Arroio Duro devido ao fato que a montante só seria possível em áreas limitadas a épocas do ano em que o reservatório estivesse em nível mais baixo.

A Figura 27, ilustra a inspeção preparatória para os trabalhos em campo.

Figura 27 - Inspeção na Estrutura Principal



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 Pré-Campo

Transcorreu na área de estudo como **preparação para o levantamento** propriamente dito, assim, no decorrer de dois dias foram implantados 28 chapas de alumínio no Talude e 8 marcos tipo piramidal a nordeste e a sudoeste, bem como um marco avançado instalado junto à sede da AUD.

A figura 28 mostra a implantação das chapas metálicas sobre o Talude.

Figura 28 - Fixação das chapas de alumínio sobre o talude.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Já a figura 29 expões a disposição final das mesmas chapas instaladas.

Figura 29 - disposições das chapas sobre o talude



Fonte: editada pelos autores a partir Google Earth 2018.

Os Tipos de marcos escolhidos não correspondem ao padrão IBGE, devido ao trabalho como experimento e custos necessários para empregá-los. Desta maneira, os marcos que foram utilizados são de blocos de concretos e sintéticos em formato piramidal.

A Figura 30 apresenta uns dos marcos implantados na Barragem do Arroio Duro com uma chapa metálica incrustada em seu topo.

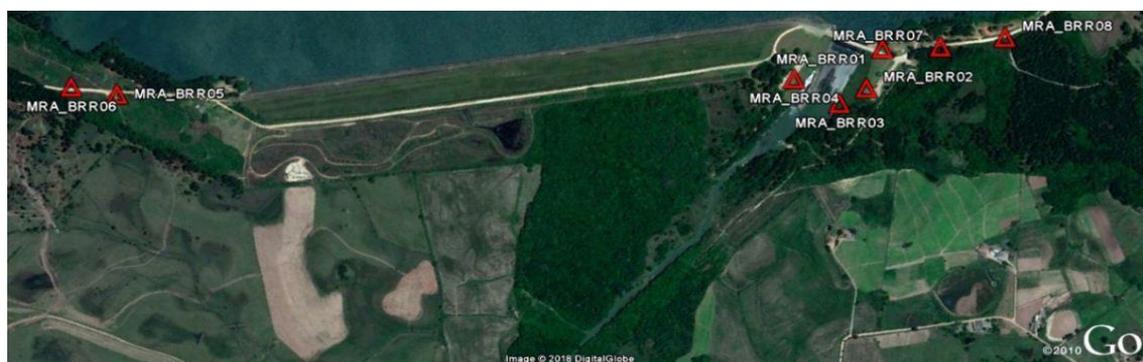
Figura 30 - Marco assentado no pré-campo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A figura 31 demonstra as localizações dos 8 marcos assentados na Barragem do Arroio Duro

Figura 31 - Marcos Implantados na Barragem do arroio Duro



Fonte: Google Earth(2018).

A figura 32 demonstra a **rede final de marcos** interligada ao marco avançado implantado junto a respectiva sede administrativa da barragem, a qual dista aproximadamente 6 Km da Barragem do Arroio Duro.

Figura 32 - Rede de marcos implantados, incluindo o marco avançado



Fonte: Google Earth (2018).

Deste modo como a rede foi implantada, percebe-se na figura acima que a cidade de Camaquã\RS, estando à jusante, ficou inserida entre os marcos da Barragem do Arroio Duro e o marco avançado.

4.3 Desenvolvimento em Campo

Após a implantação da rede de marcos e chapas metálicas, passou-se a proceder ao levantamento, procurando-se manter ativas duas bases GNSS à medida que eram instalados receptores GNSS sucessivamente junto aos marcos pelo método estático. Sobre as 2 bases ativas, o objetivo foi de não haver perda de sinal ou outro fator associado por parte de um dos receptores. Desta forma não se perderia o levantamento em campo, pois se teria sempre um receptor a mais por segurança.

O levantamento em campo com aplicação do **SVLT integrado ao GNSS** desenvolveu-se por mais 10 dias (7 para o levantamento inicial e mais 3 para obtenção de pontos de checagem e medidas adicionais), distribuídos entre as atividades mencionadas no decorrer deste capítulo.

A figura a seguir é uma fotografia do marco MRA_BRR02 implantado próximo à estrutura principal, sendo utilizado como base receptora do sinal GNSS pelo **método estático**.

Figura 33 - GNSS HIPER



Fonte: Elaborado pelos autores

Na sequência do trabalho na área da Barragem foram a tomadaa cenas com o equipamento SVLT Optech Iiris 3D, com ocupações rastreadas pelo receptor GNSS GR3 e Hyper da Topcon.

Figura 34 - Tomada de cena na estrutura principal



Fonte: Elaborado pelos autores.

A figura 35 mostra a disposição das tomadas de cenas sobre a estrutura principal e talude em seu barramento superior e inferior, totalizando 19 tomadas de cenas.

Figura 35 - Disposição das tomadas de cenas



Fonte: Imagem adaptada do Google Earth (2018).

A Figura 36 apresenta os preparativos para uma **tomada de cena** empregando o SVLT associado ao GNSS em uma posição situada a sudoeste do Talude.

Figura 36 - Cena do SVLT sobre o talude



Fonte: Elaborado pelos autores.

A etapa seguinte se concentrou no rastreamento do sinal GNSS sobre as chapas metálicas fixadas sobre o talude, através do método estático rápido.

A etapa final se concentrou em adquirir pontos de apoio por meio de receptores GNSS e por irradiação utilizando Estação Total, os quais foram facilmente adquiridos junto à estrutura principal em face de ser de concreto e apresentar muitos pontos identificáveis. A dificuldade se apresentou junto ao talude devido ao fato deste ter feições muito homogêneas e de difícil identificação nas nuvens de ponto geradas.

A Figura 37 mostra o levantamento pelo **método estático rápido** sobre as chapas incrustadas no topo do Talude.

Figura 37 - GNSS GR3 sobre o talude



Fonte: Elaborado pelos autores.

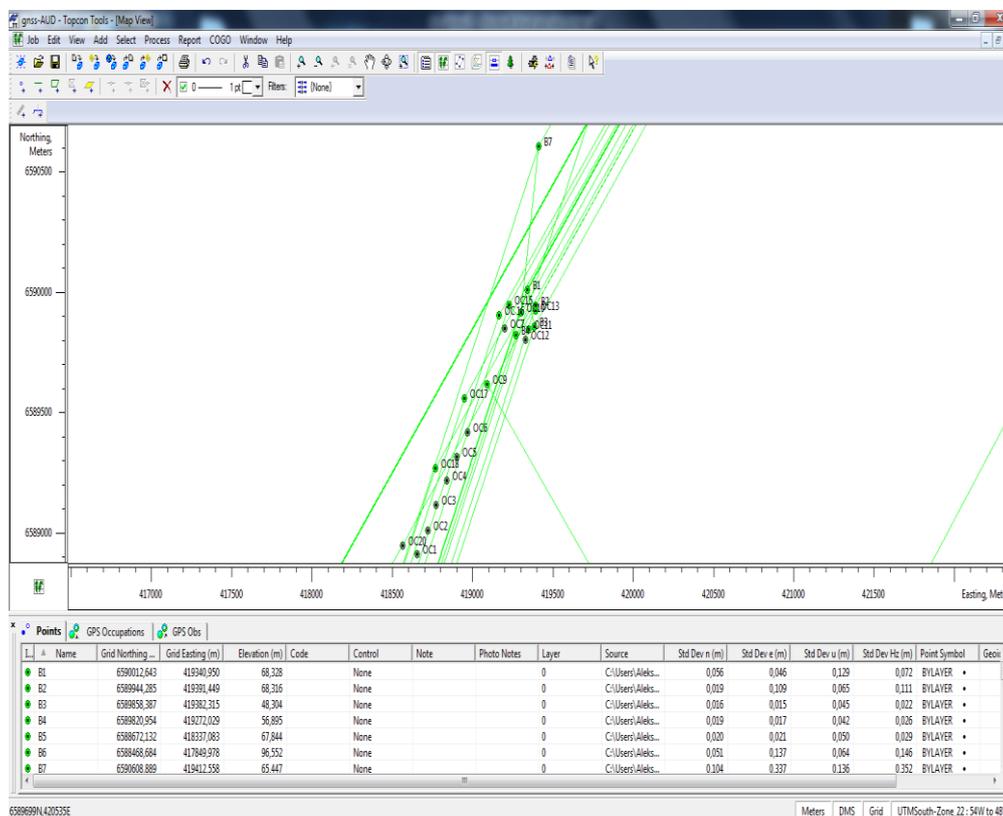
4.4 Processamento Computacional

4.4.1 Dados GNSS:

O primeiro passo no processamento dos dados foi a obtenção de coordenadas rastreadas por GNSS durante a etapa do levantamento em campo. Nessa etapa foram rastreadas as posições das cenas do SVLT (posição do centro de fase), bem como as posições dos marcos e das chapas instaladas na estrutura da barragem. A técnica de rastreamento utilizada foi o método de posicionamento relativo estático junto aos marcos, e relativo estático rápido junto aos demais objetos rastreados. Este método consiste em fazer um rastreamento longo em uma base, a

najustados por esta mesma base. Os **dados GNSS foram ajustados** utilizando o programa “*topcon tools*”, conforme exibido a seguir.

Figura 38 - Processamento dos dados GNSS no Topcon Tools.



Fonte: Elaborado pelos autores.

No caso do presente projeto, foram utilizados os 9 marcos como base, predominantemente o MRA_BRR1 (com maior tempo de rastreamento). Conforme já mencionado, a equipe dispunha de mais de um par de aparelhos GNSS, e sempre se trabalhou com no mínimo duas bases ativas. O rastreamento total nesta etapa resultou em um total de 47 posições rastreadas (entre chapas e cenas, além dos marcos). As bases tiveram um rastreamento superior a 4 horas cada, sendo as tomadas de cenas e chapas metálicas rastreadas por 20 minutos.

Como resultado do **ajustamento** tem-se a tabela resumida 8, contendo as coordenadas observadas e seus desvios-padrão:

Tabela 8 - Coordenadas rastreadas por GNSS processadas

NOME	N	E	h				
MRA_AUD0 1	64,931	422502,188	42,126	CHA PA 1	6589947,603	419229,768	64,931
MRA_BRR0 1	65,146	419341,257	66,721	CHA PA 2	6589922,522	419186,281	65,146
MRA_BRR0 2	65,072	419391,716	66,125	CHA PA 3	6589886,18	419152,166	65,072
MRA_BRR0 3	65,027	419382,633	46,331	CHA PA 4	6589843,725	419125,544	65,027
MRA_BRR0 4	65,067	419272,498	54,938	CHA PA 5	6589801,291	419098,969	65,067
MRA_BRR0 5	65,077	418337,397	67,341	CHA PA 6	6589758,909	419072,493	65,077
MRA_BRR0 6	65,136	418259,44	69,16	CHA PA 7	6589716,748	419046,09	65,136
MRA_BRR0 7	65,147	419419,981	66,376	CHA PA 8	6589673,96	419019,325	65,147
MRA_BRR0 8	65,144	419494,248	68,384	CHA PA 9	6589631,403	418992,68	65,144
OC1	65,109	418854,665	51,257	CHA PA 10	6589588,977	418966,041	65,109
OC2	65,19	418718,327	47,434	CHA PA 11	6589546,461	418939,485	65,19
OC3	65,21	418773,116	46,225	CHA PA 12	6589503,731	418912,785	65,21
OC4	65,247	418838,474	45,804	CHA PA 13	6589460,698	418885,85	65,247
OC5	65,234	418902,094	46,185	CHA PA 14	6589417,797	418858,959	65,234
OC6	65,196	418965,166	45,504	CHA PA 15	6589374,786	418832,092	65,196
OC7	65,191	419195,516	57,32	CHA PA 16	6589331,999	418805,333	65,191
OC8	65,146	419027,506	44,933	CHA PA 17	6589288,949	418778,397	65,146
OC9	65,104	419091,817	45,167	CHA PA 18	6589246,342	418751,733	65,104
OC10	65,106	419303,715	51,155	CHA PA 19	6589203,918	418725,147	65,106
OC11	65,053	419349,208	42,27	CHA PA 20	6589161,35	418698,586	65,053
OC12	65,065	419331,042	45,788	CHA PA 21	6589118,962	418672,04	65,065
OC13	65,02	419391,752	67,207	CHA PA 22	6589076,118	418645,218	65,02
OC14	65,007	419267,691	54,953	CHA PA 23	6589033,607	418618,643	65,007
OC15	64,963	419213,753	65,108	CHA PA 24	6588991,114	418592,045	64,963
OC16	64,936	419213,753	65,505	CHA PA 25	6588948,37	418565,205	64,936
OC17	64,794	418918,53	65,605	CHA PA 26	6588905,838	418538,731	64,794
OC18	65,073	418750,995	65,52	CHA PA 27	6588872,674	418517,965	65,073
OC19	66,161	418812,987	65,479	CHA PA 28	6588850,332	418504,015	66,161

Coordenadas rastreadas por GNSS processadas

As chapas instaladas não tiveram um impacto direto junto a obtenção dos escaneamentos por laser terrestre, porém sua implementação é importante para

futuros levantamentos e comparações de coordenadas obtidas, com objetivo de monitoramento. Esta parte, porém, não será abordada no presente trabalho. Já as posições escolhidas para as tomadas das varreduras por laser terrestre tiveram como critério de escolha alguns fatores:

- Visadas entre as cenas (importante para realizar o registro das nuvens de ponto):
- Locais com maior abrangência de detalhes;
- Locais que com a junção das nuvens de ponto ocorresse a menor oclusão de terreno possível.

4.4.2 PC CONTROLLER, Aquisição e Processamento das Cenas

Para a **aquisição dos dados** foi utilizado um notebook acoplado ao laser, notebook este dotado do programa *ControllerPC 5.1.0.1*. Com o mesmo, é possível escolher as configurações do escaneamento por laser terrestre, e gravar as nuvens de pontos no computador. Deste modo as cenas obtidas são gravadas em tempo real no notebook. As configurações que podem ser alteradas são o espaçamento das nuvens de ponto em no eixo X e no eixo Y, medição do primeiro ou último pulso do laser, distância média entre o laser e o objeto medido, e ainda a opção de individualizar o espaçamento no eixo x e y, escolhendo um espaçamento para cada eixo.

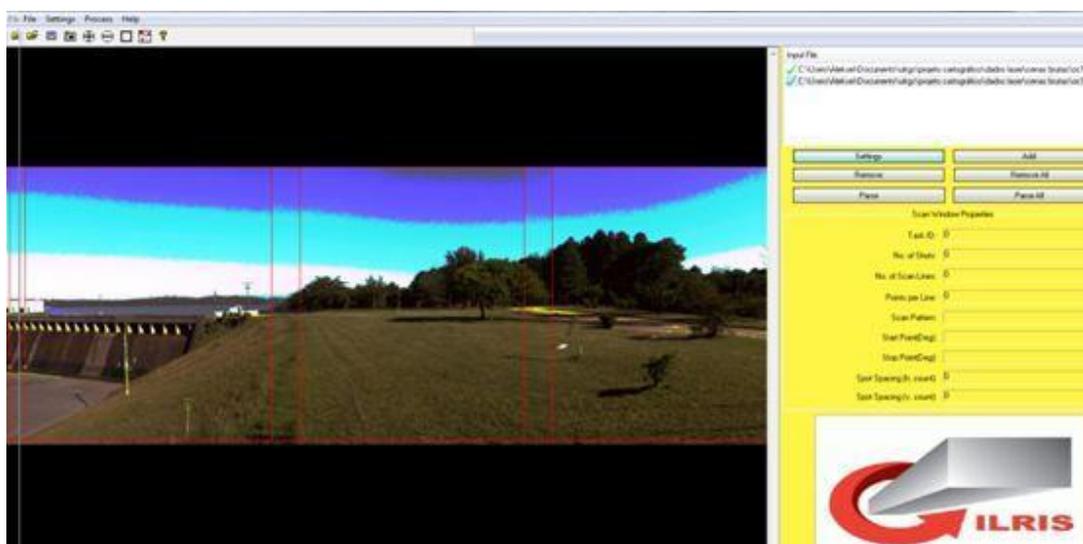
Durante o levantamento foi utilizado um espaçamento igual para os eixos x e y, de 40 mm. A distância média até o objeto era obtida pelo próprio equipamento, que fazia um rápido rastreamento a fim de averiguar a distância média até as feições no terreno. Após a aquisição dos dados, é gerado um **arquivo bruto** que fica gravado no *notebook* acoplado ao SVLT.

4.4.3 Processamento das Cenas

Para manipular os arquivos brutos, foi utilizado o software *Parser 5.0.3.1*. Este software converte os arquivos brutos e as imagens obtidas pela câmera interna acoplada ao laser (item que fornece os dados de textura à nuvem de pontos) em

uma extensão de arquivo que possa ser trabalhada em softwares de manipulação de nuvens de pontos. As **nuvens de pontos** foram exportadas utilizando a extensão “.bin”.

Figura 39 - Software *Parser* em processamento de cenas



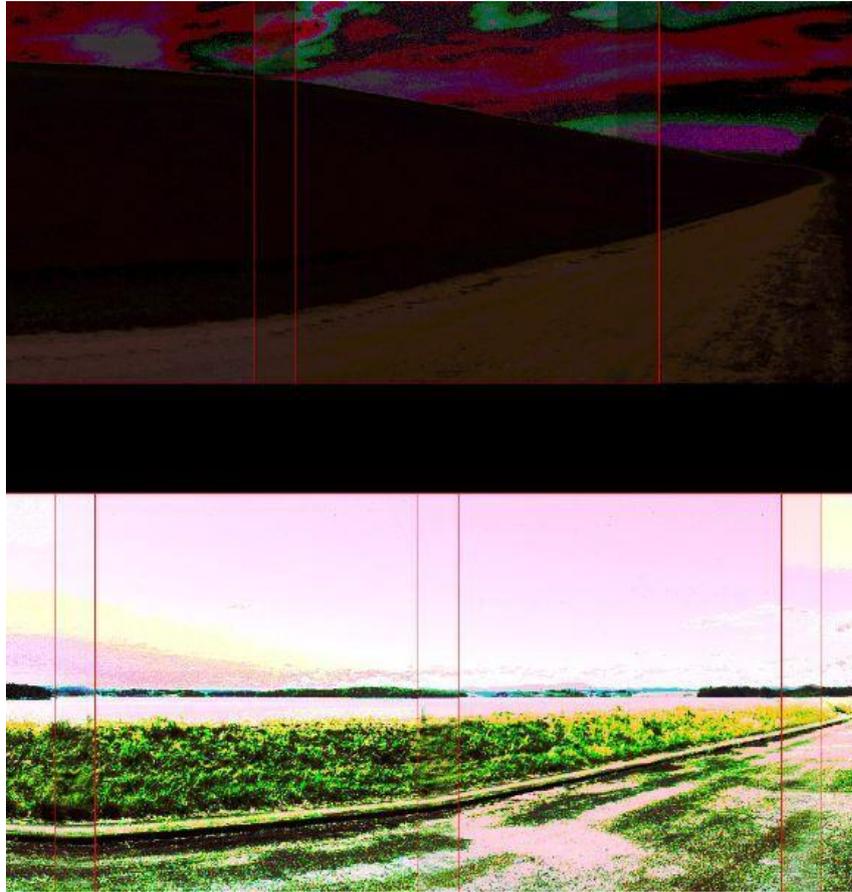
Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme a figura 39, em uma tela capturada durante manipulação de dados, é possível verificar as características do escaneamento, bem como configurar as os parâmetros a serem exportados. No caso foram exportadas as posições dos pontos nas nuvens, bem como para cada ponto de acordo com a imagem obtida pela câmera durante o escaneamento.

Em algumas cenas, houve uma desconfiguração da câmera que texturiza os pontos da nuvem, o que gerou uma grande variação na coloração das cenas. Porém, os dados de posição não são afetados, visto que o escaneamento por laser terrestre é um processo ativo de aquisição de dados.

Podemos verificar as diferenças de coloração na figura 40.

Figura 40 - Software Parser/cenas com diferença de iluminação



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o posterior processamento das cenas, as mesmas foram convertidas em **formato".xyz"**, compatível com o software *Cloucompare*. A textura utilizada foi obtida através das fotografias de cada cena, conforme já mencionado, e 24 bits para cada ponto na nuvem (8 bits para cada cor, vermelho, verde e azul). Cada escaneamento gerava 10 nuvens de pontos, com a mesma origem (centro de fase do laser) num total de aproximadamente 6,5 milhões de ponto. O ângulo de varredura de cada cena é de 40 graus, com as 10 cenas fechando a volta completa do escaneamento. Na conversão também é adicionado o arquivo para calibração da base robótica *Pantilt*, mecanismo que faz as rotações e efetua as varreduras em 360 graus. Este arquivo contém a distância entre a mesma e o centro de fase do laser, fato importante, pois dispensa a medida da altura do instrumento. A partir do arquivo de calibração, é calculada por semelhanças de triângulos a posição do

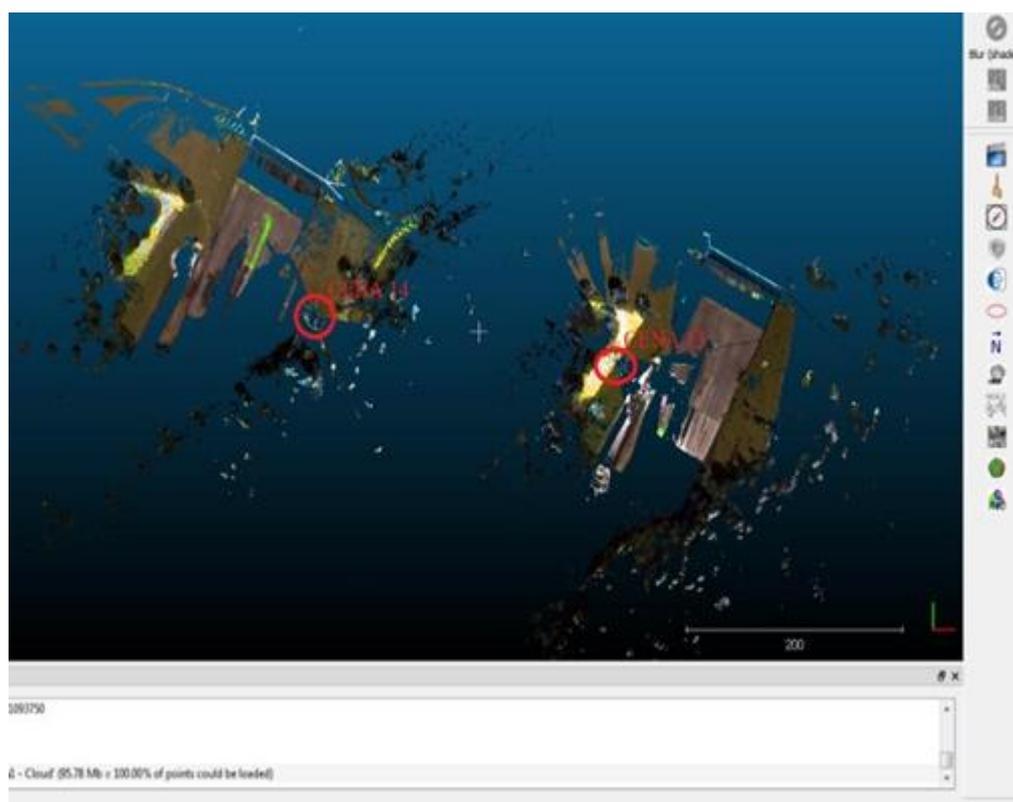
centro de fase do equipamento, conforme descrito no manual do SVLT OPTECH ILRIS.

4.4.4 Registro das Cenas

Registro é o nome dado ao processo de **junção das cenas**. Nesta etapa do trabalho, foram conectadas todas as cenas escaneadas, num processo semelhante à fotogrametria por modelos independentes com orientação relativa, ou seja, fixando uma cena num plano topográfico local, e as outras nuvens de pontos sendo conectada relativamente a esta primeira cena fixa.

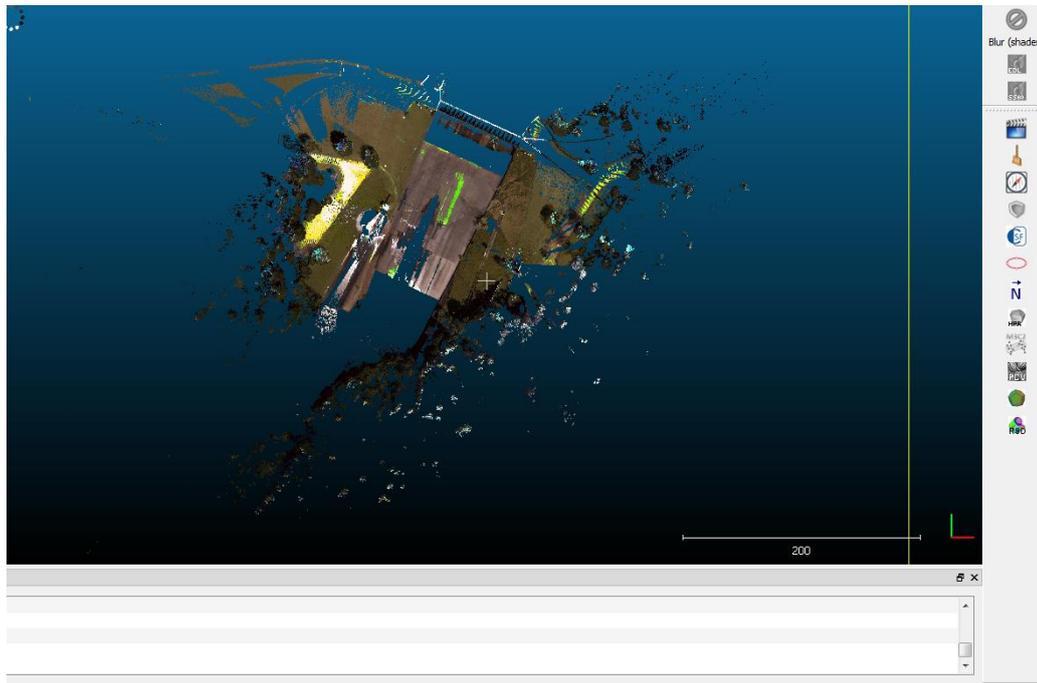
As figuras 41 e 42 em sequência mostram um exemplo deste processo.

Figura 41 - Software CloudCompare/cenas a serem mescladas



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 42 - Software CloudCompare/cenas mescladas

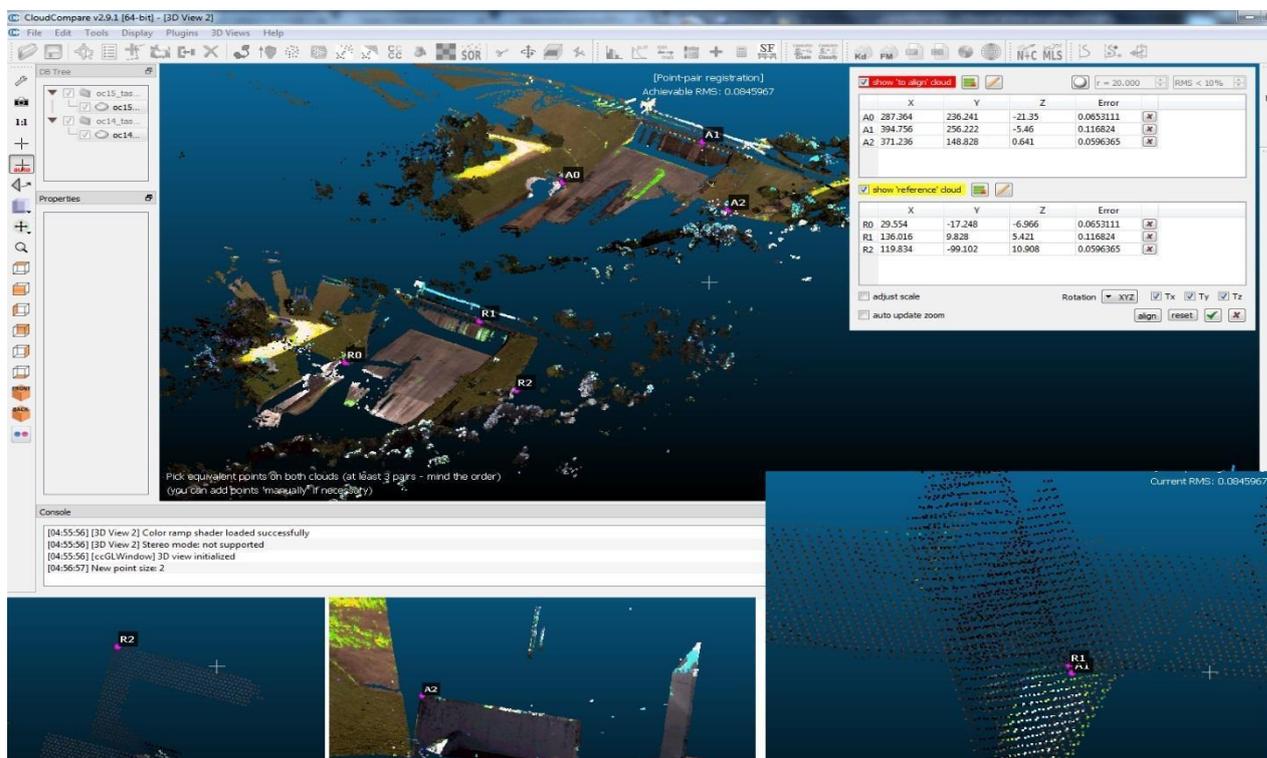


Fonte: Elaborado pelos autores.

Neste caso, devido à grande distância entre a estrutura principal e o fim do talude da barragem, escolheu-se a cena 1 e a cena 13 como as referências iniciais, sendo as outras varreduras conectadas a estas, até que as duas grandes nuvens pudessem ser conectadas.

Todo este processo de registro foi realizado dentro do software *CloudCompare*. O mesmo se dividiu em duas etapas. Primeiro, eram escolhidos pontos homólogos entre as nuvens através do comando “*align*” (alinhar), e as cenas eram conectadas grosseiramente por meio destes pontos. Era necessário escolher no mínimo 3 pontos homólogos para satisfazer a equação de transformação de corpo rígido utilizada pelo programa com graus de liberdade. Na Figura 43 é possível ver um exemplo de pontos homólogos utilizados (A0, R0, A1, R1, A2, R2). Depois deste processo era mostrada a matriz de transformação utilizada para fazer o alinhamento.

Figura 43 - Software CloudCompare, alinhamento com pontos homólogos



Fonte: Elaborado pelos autores.

A **matriz de transformação** utilizada neste trabalho é uma matriz rígida composta pela rotação de uma matriz 3×3 e pela translação de um vetor $3D$. Por conveniência pode ser escrita como uma matriz 4×4 , onde a matriz de rotação corresponde às três linhas e colunas superiores e o vetor de translação corresponde a parte superior da quarta coluna, sendo a linha quatro preenchida pelos valores $0, 0, 0$ e 1 . Significa, então, que a transformação é de corpo rígido (não há torções nos eixos), com 3 rotações e 3 translações, mais um fator de escala igual a 1 . Isto faz com que as propriedades geométricas entre os eixos de cada cena sejam mantidas (CLOUDCOMPARE, 2018).

Fazendo este ajuste preliminar, as cenas ficam próximas o suficiente para que se possa fazer um ajuste fino. O programa possui uma ferramenta de ajuste fino ICP (Iterative closest point – ponto iterativo mais próximo) para nuvens grosseiramente alinhadas, similar ao método SIFT para fotogrametria. A transformação geométrica é a mesma utilizada no ajuste preliminar.

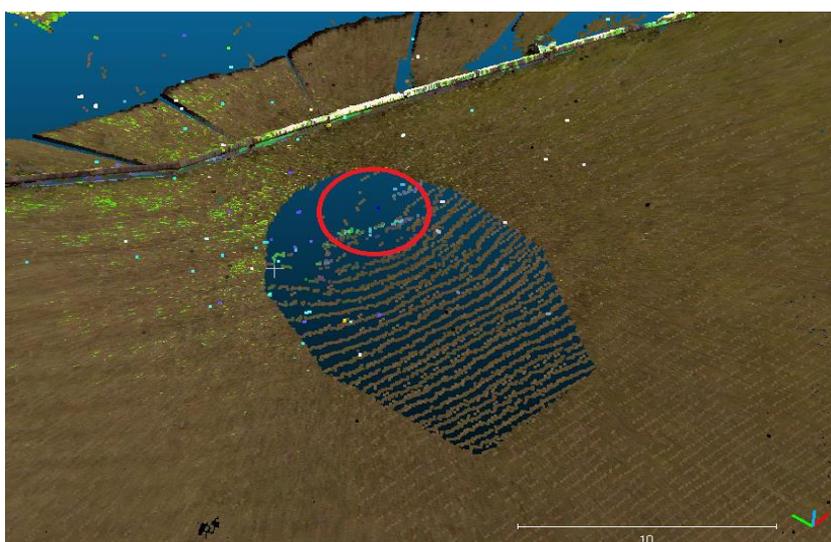
O **erro médio quadrático** (discrepância entre as nuvens) máximo pretendido foi de 10^{-4} metros, e a quantidade de amostras utilizadas variou. Cada

vez que era adicionada uma nova nuvem de pontos, o número de pontos total aumentava, e conseqüentemente o número de pontos amostrados para fazer o registro também foi sendo gradativamente aumentado. Nesta etapa se percebeu a necessidade da divisão das nuvens de pontos, devido a maior dificuldade da junção das nuvens na parte correspondente ao talude. A junção da nuvem de pontos sobre o talude e da nuvem de pontos sobre a estrutura principal poderia acabar acarretando erros maiores sobre a estrutura principal.

4.4.5 Georreferenciamento

Com cenas devidamente injuncionadas pode-se referenciar as cenas a um sistema de coordenadas do espaço objeto. Neste caso, foram rastreadas via GNSS as coordenadas de todos os centros de fase das varreduras, e com as mesmas, os centros de fase da varredura foram referenciados a um sistema de coordenadas UTM. Na figura 44 é exibido a representação de um centro de fase de uma varredura a LASER (pixel azul).

Figura 44 - CloudCompare/centro de fase do LASER



Fonte: Elaborado pelos autores.

Não foram utilizadas todas as coordenadas das cenas rastreadas por GNSS para fazer o referenciamento ao espaço objeto, pois alguns rastreios GNSS

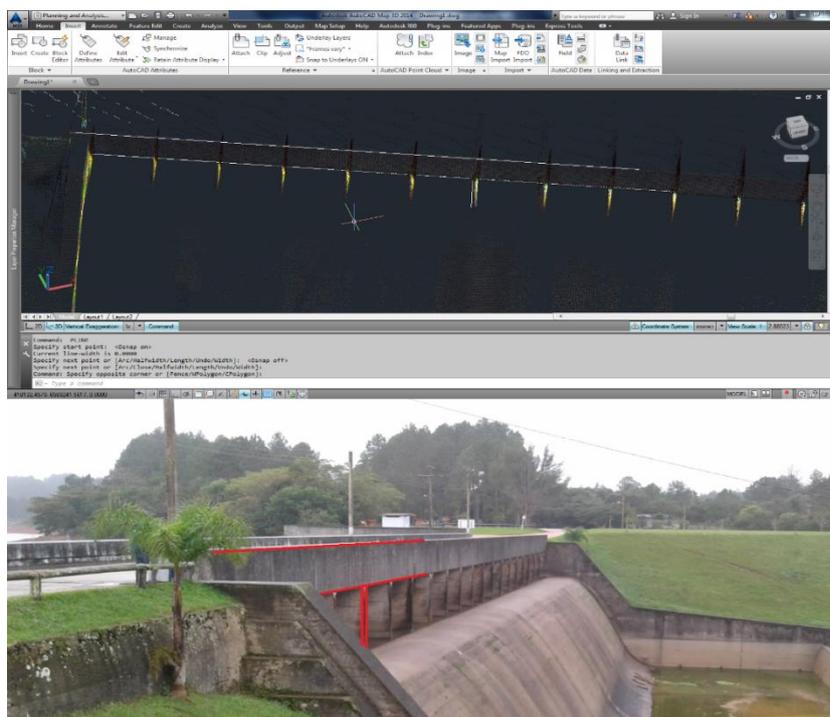
apresentaram desvios padrão muito altos, e inclusive houve uma cena em que o arquivo do rastreo GNSS veio corrompido e não pôde ser utilizado.

4.4.6 Extração de Feições

Com todas as **cenas referenciadas** ao espaço objeto, pode-se dar o início da fase de extração de feições, etapa que foi feita no software *Autocad map 3D 2014*, em conjunto com o software *Autodesk Recap*, que possibilitou a importação das nuvens de ponto registradas para o software de desenho assistido por computação.

Por meio deste software então, foram sendo criados objetos do tipo linha das feições de interesse, como a estrutura principal da barragem, meio fio, postes edificações entre outras como mostram as figuras 45 e 46.

Figura 45 - Extração de feição no Software Autocad Map3D 2014



Fonte: Elaborado pelos autores.

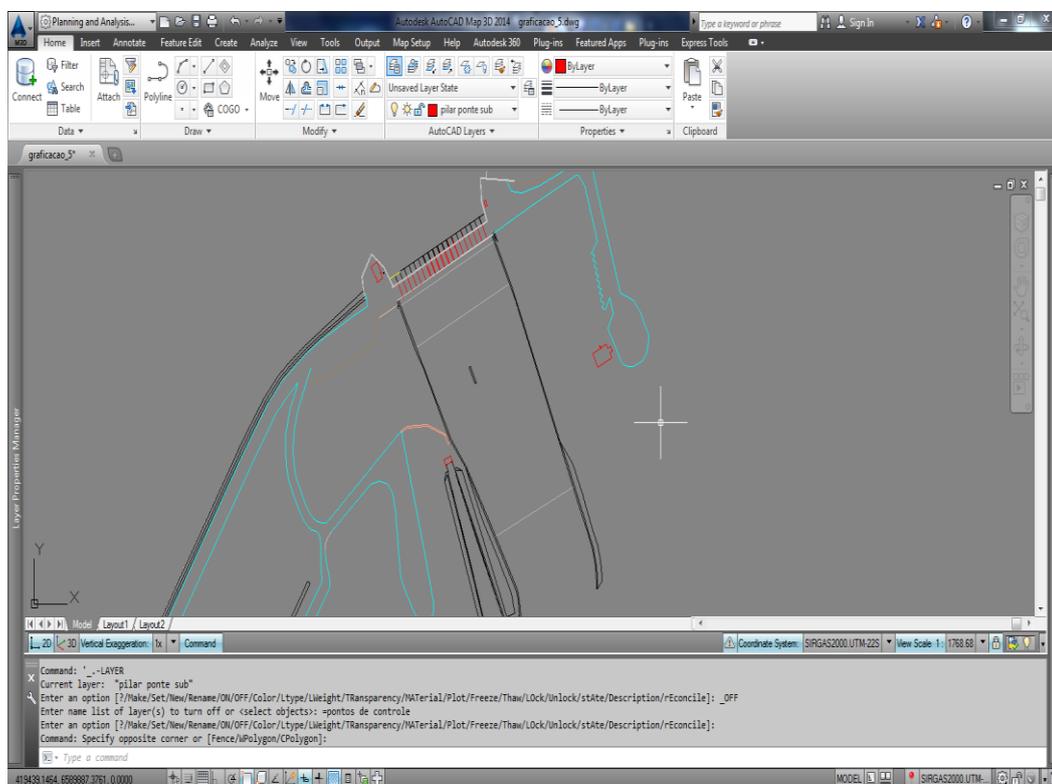
Figura 46 - Extração de feição no Software Audcad 3D 2014



Fonte: Elaborado pelos autores.

Durante esta etapa foi necessário atenção aos detalhes, visto que o SVLT obtém uma grande quantidade de informações. Todas as informações de interesse devem ser representadas no produto gerado. Terminada a parte de extração de feições, pode-se conferir o resultado parcial na figura 47.

Figura 47 - Feições extraídas no Autocad 3D 2014



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.4.7 Extração das Curvas de Nível

Após as feições de interesse terem sido extraídas no software *AutoCAD*, seguiu-se a etapa da **extração das curvas de nível**. A extração foi feita por meio do software *CloudCompare*, com a ferramenta “rasterize”. Esta ferramenta cria um *grid* de cálculo com as características definidas pelo usuário, o qual possibilita que sejam gerados alguns tipos de produtos:

- Gerar um arquivo raster MDT (modelo digital de terreno);
- Extração das curvas de nível;
- Modelo de sombreamento;
- Cálculo de volumes.

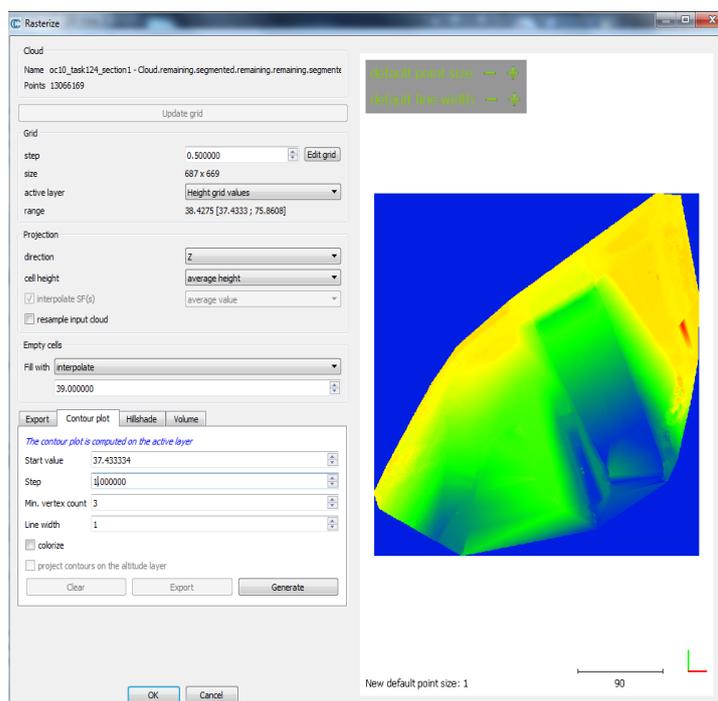
As curvas de nível foram extraídas com os seguintes parâmetros:

- Intervalo de cálculo do *grid*: 0,5m;
- Informação para cálculo: eixo Z;

- Tipo de cálculo: valor médio do *grid*;
- *Grid* sem valores de Z: interpolar valor;
- Valor mínimo 39 m;
- Equidistância: 1 m;
- Contagem mínima de vértices: 3.

Não há na literatura nada que indique parâmetros ideais para obtenção de curvas de nível melhores, sendo aconselhado no site oficial do programa verificar os resultados individualmente para cada caso. Isto ocorre, pois as nuvens de pontos podem ter diferentes características. Estas características podem mudar o resultado gerado drasticamente. Portanto, por tentativa e erro, foram escolhidos os parâmetros acima citados. A figura abaixo a tela para extração das curvas de nível.

Figura 48 - Extração das curvas de nível no Software CloudCompare

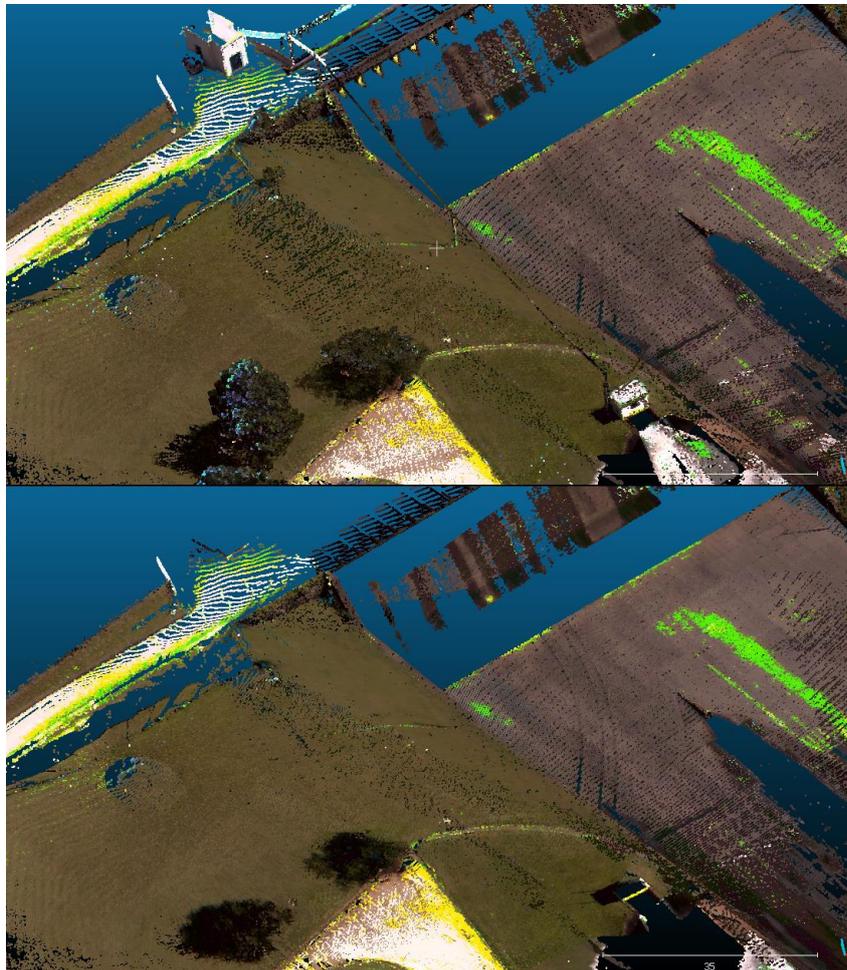


Fonte: Elaborado pelos autores.

Foi necessário também fazer um refinamento das cenas, pois algumas feições acabaram atrapalhando e gerando curvas de nível desnecessárias, que não representam o terreno, e sim as próprias feições, como postes, fios ou árvores (em alguns casos até a grama, que estava com tamanho superior a 1 metro durante a

fase de campo). Primeiramente foi aplicado um filtro de ruídos (noise filter), para que fossem retirados pontos coletados que não representam o terreno medido. Este filtro tem o seguinte funcionamento: Um algoritmo cria um plano local em volta de todos os pontos da nuvem, e depois remove os pontos que estão muito distantes do plano criado. Seguindo então para a etapa de refinamento propriamente dita, sendo exibido na figura 49 um exemplo do processo de refinamento. Este processo foi realizado manualmente.

Figura 49 - Refinamento das nuvens de ponto Software CloudCompare



Fonte: Elaborado pelos autores.

Foram também retirados manualmente pontos não detectados na filtragem de ruídos, exemplificados na Figura 50.

Figura 50 - Pontos retirados manualmente no software *CloudCompare*



Fonte: Elaborado pelos autores.

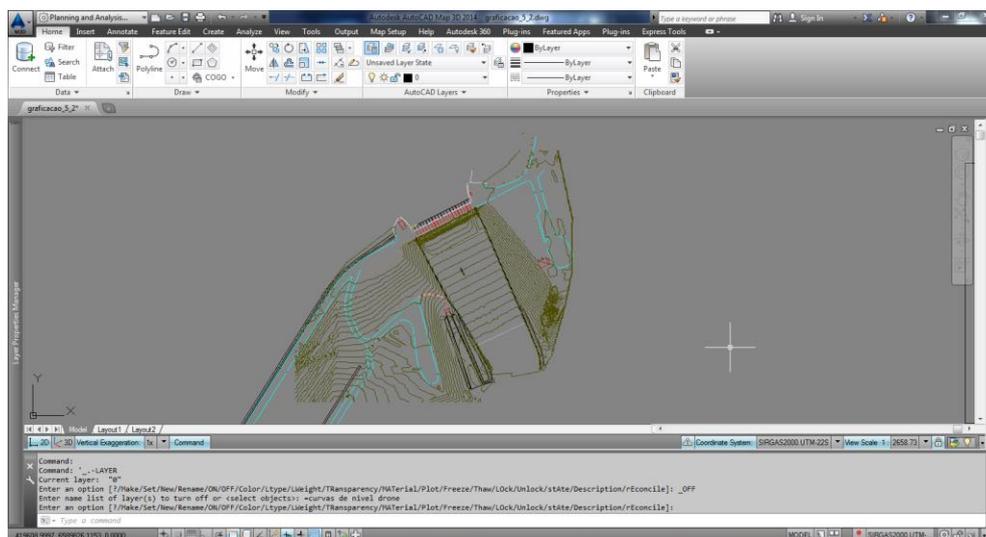
Depois de feito o **refinamento das cenas**, as curvas de nível foram extraídas das nuvens de pontos, que foram exportadas no formato “*dxf*”. Este formato pode ser manipulado no software *Autocad*. Nas figuras 51 e 52 pode-se observar as curvas de nível geradas no *CloudCompare* e também sobrepostas às feições obtidas na etapa anterior no software *Autocad*.

Figura 51 - Curvas de Níveis geradas no Software CloudCompare.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 52 - Curvas de nível exportadas para o Software Autocad.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.5 Controle de Qualidade

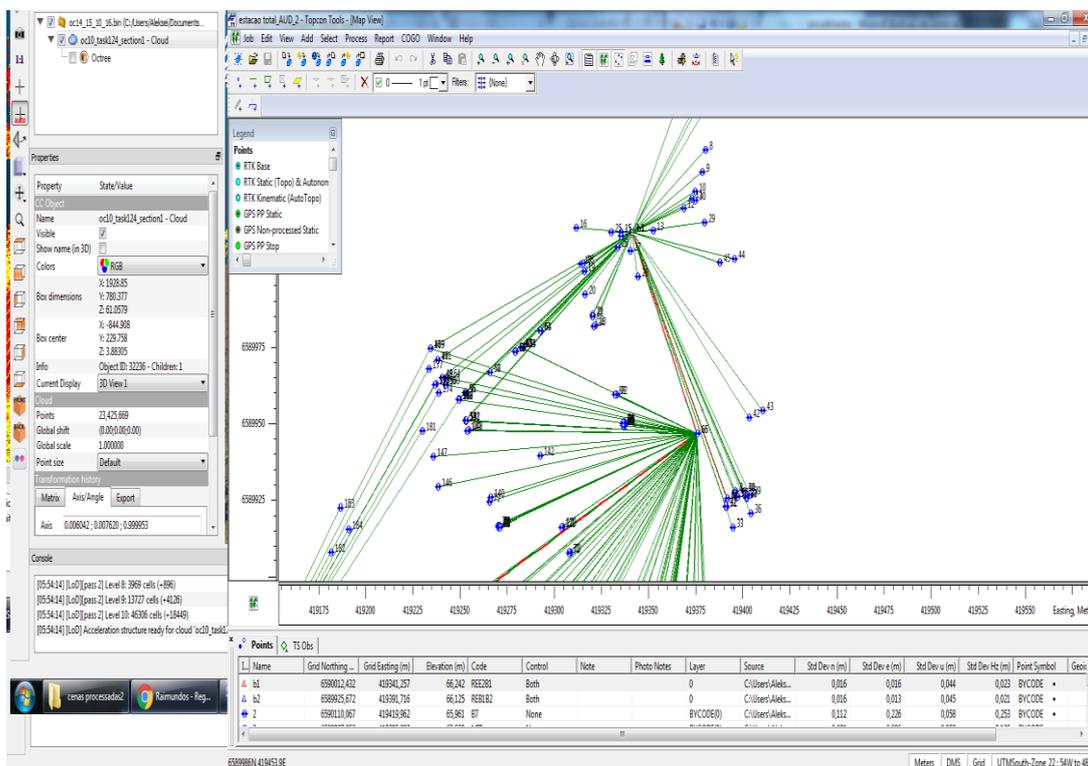
O controle de qualidade posicional de produtos cartográficos, mais convencional, testa as coordenadas extraídas do produto contra coordenadas extraídas diretamente do terreno, ou de um sistema adotado como referência. Neste caso, o controle de qualidade foi realizado através da extração de coordenadas de

feições das diversas cenas, comparando-as com coordenadas obtidas a partir da combinação de irradiações de estação total e rastreios GNSS.

4.5.1 Aquisição dos Pontos de Checagem

Um par de posições era rastreado via GNSS, e após eram ocupados por uma estação total (ré numa posição e ocupação na outra), de maneira que fossem feitas irradiações em pontos de fácil identificação na nuvem de pontos, como quinas e vértices de edificações. Foram coletados diversos pontos com potencial para serem pontos de checagem, de modo que não se viesse a ter problema com a falta dos mesmos. A figura 53 apresenta dados coletados via par de estação total e GNSS.

Figura 53 - Pontos medidos para o controle de qualidade



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.5.2 Testes Estatísticos

Os testes de controle de **qualidade posicional** foram realizados analisando as discrepâncias entre as coordenadas obtidas nas nuvens de pontos e as coordenadas obtidas via GNSS/estação total. De posse das discrepâncias, é necessário fazer testes estatísticos para verificar a acurácia e precisão das coordenadas mapeadas (via sistema de varredura a laser terrestre)

. Após a obtenção das discrepâncias foi aplicado um teste t-Student, e após um teste qui-quadrado. As altitudes analisadas foram todas altitudes elipsoidais.

4.5.2.1 Tamanho da Amostra

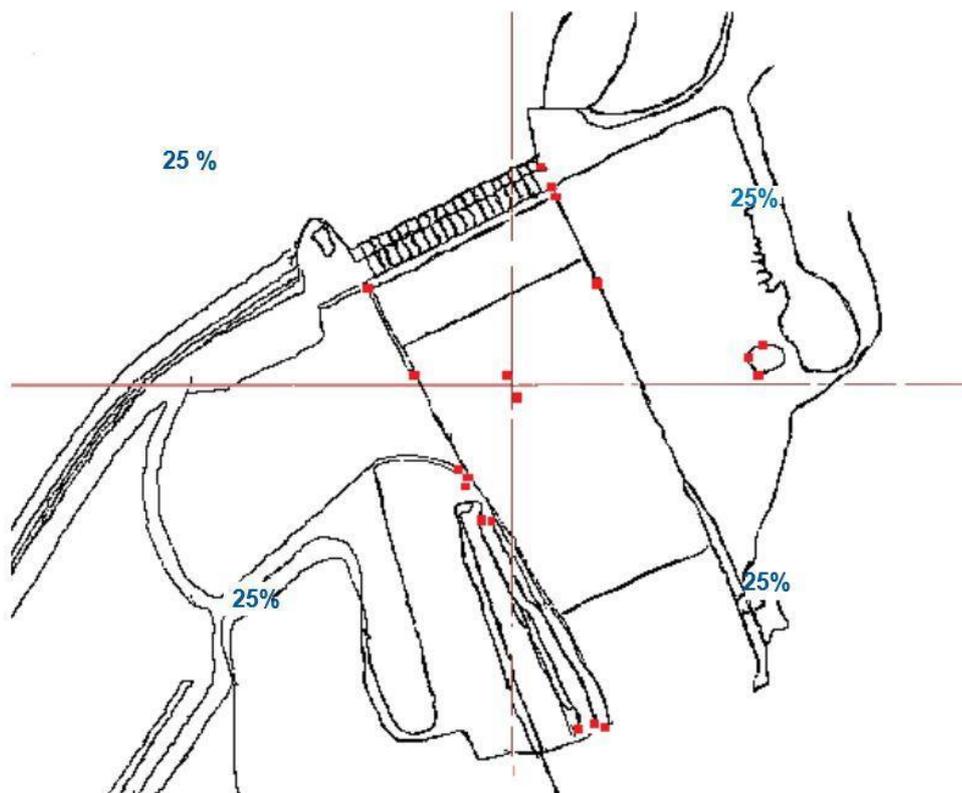
Para o tamanho da amostra, foi estipulado um total de 30 pontos de checagem, lembrando que após o registro as nuvens foram divididas em 2, totalizando, então, 60 pontos de checagem.

4.5.2.2 Discrepância dos Pontos de Checagem

Obtidas as coordenadas dos pontos de checagem, foi verificado se os mesmos estavam corretamente distribuídos no terreno. Além da divisão dos pontos de checagem em quatro quadrantes, foi privilegiada a escolha dos pontos de checagem onde havia mais feições extraídas das nuvens de pontos.

A figura 54 mostra um exemplo da distribuição dos pontos de checagem sobre a estrutura principal da barragem.

Figura 54 - Exemplo da distribuição dos pontos de checagem por quadrante.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Além da divisão dos pontos de checagem em quatro quadrantes, foi privilegiada a escolha dos pontos de checagem onde havia mais feições extraídas das nuvens de pontos.

Foi gerada também a tabela 9 mostrando o valor das discrepâncias entre os pontos medidos em campo (pontos de checagem) e os dados extraídos das nuvens de ponto.

Tabela 9 - Discrepâncias entre as coordenadas dos pontos de checagem

P O N T O	N	E	h				
				Estrutura principal			talude
1	0,037	-0,027	-0,189	1	-0,118	0,175	-0,269
2	0,062	-0,032	-0,214	2	-0,115	-0,11	-0,287
3	-0,01	0,063	0,132	3	-0,105	0,155	-0,257
4	-0,077	0,043	-0,303	4	0,152	0,164	-0,185
5	-0,042	0,065	0,146	5	0,123	0,153	-0,231
6	-0,04	0,012	-0,168	6	0,147	0,152	-0,156
7	0,012	0,093	-0,354	7	0,129	0,141	-0,238
8	-0,023	0,047	-0,258	8	-0,119	-0,113	-0,209
9	-0,033	0,059	-0,166	9	0,134	0,144	-0,401
10	-0,016	0,057	-0,135	10	0,141	0,162	-0,355
11	-0,013	-0,04	-0,172	11	0,126	-0,102	-0,365
12	-0,022	-0,02	-0,179	12	0,149	-0,116	-0,283
13	-0,12	-0,034	-0,253	13	0,132	0,132	-0,31
14	0,018	0,054	-0,17	14	0,145	0,158	-0,436
15	0,048	0,044	-0,305	15	-0,1	0,134	-0,41
16	-0,097	-0,031	-0,243	16	-0,103	-0,106	-0,273
17	-0,043	-0,054	-0,193	17	-0,104	0,141	-0,274
18	0,03	0,006	-0,098	18	-0,121	-0,102	-0,4
19	-0,073	-0,054	-0,154	19	0,134	-0,105	-0,147
20	0,094	0,034	-0,217	20	0,124	-0,106	-0,354
21	-0,031	-0,039	-0,161	21	-0,108	0,125	-0,321
22	-0,08	-0,012	-0,312	22	-0,055	-0,034	-0,433
23	-0,024	-0,088	-0,147	23	-0,115	-0,119	-0,28
24	-0,017	-0,093	-0,158	24	-0,102	0,144	-0,433
25	-0,025	-0,084	-0,022	25	0,144	0,154	-0,235
26	0,021	-0,052	-0,222	26	0,123	-0,102	-0,26
27	-0,009	-0,069	-0,125	27	0,125	-0,104	-0,403
28	0,04	-0,249	-0,375	28	0,155	0,149	-0,31
29	-0,019	-0,093	-0,406	29	-0,109	0,124	-0,402
30	-0,019	0,043	0,283	30	0,156	-0,113	-0,417

4.5.2.3 Análise de Tendência

A análise de tendência é realizada para verificar a existência de componentes sistemáticas nas coordenadas obtidas durante os levantamentos. Para obtê-la, se analisa os valores das discrepâncias, para cada componente individualmente, ou seja: Componente Norte (N), componente Este (E) e a altitude (h). Calcula-se a média, fórmula 1, desvio padrão, fórmula 2, e o número de graus de liberdade (v), fórmula 3:

$$\Delta M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta M_i \quad 1)$$

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta M_i - \Delta M)^2} \quad 2)$$

$$v = n - 1 \quad 3)$$

Avaliam-se então as seguintes hipóteses:

$$\begin{aligned} H_0: \Delta M = 0, \text{ favorável} \\ H_1: \Delta M \neq 0, \end{aligned} \quad 4)$$

Isto significa que: H_0 é a hipótese que indica a não existência de tendências, ou seja, que o produto cartográfico não possui um deslocamento tendencioso, e H_1 indica que há tendências no produto. Para este teste foi então calculado a estimativa T-Student por meio da equação 5 (Reiss, 2011).

$$t_m = \frac{\Delta M}{\sigma_{\Delta M}} \cdot \sqrt{n} \quad 5)$$

Onde t_m é a estimativa T-Student da amostra.

Uma vez calculado t_m , ele é comparado com o valor estatístico da função de probabilidade teórica T-Student, calculado por meio do número dos graus de liberdade ν e pelo nível de significância α esperado dividido por 2 ($\alpha/2$).

A significância de um teste é a probabilidade máxima de rejeitar acidentalmente uma hipótese nula H_0 , quando na realidade ela é verdadeira (Reiss, 2011). No presente trabalho, se quer garantir que a amostra não tenha tendência a uma probabilidade p de 95%, o nível de significância α do teste deverá ser de 5%, ou seja, $\alpha = 1 - p$, e $p = 1 - \alpha$. A comparação consiste em verificar se o valor t_m amostral está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula, e é feita utilizando-se a expressão 6.

$$|t_m| < t_{(\nu, \frac{\alpha}{2})} \quad 6)$$

Onde: m é obtido da tabela T-Student, com nível de significância de α e ν graus de liberdade.

O valor teórico obtido da tabela T-Student é de 2,045

Conforme as tabelas 10 e 11, pode-se observar que a hipótese que indica a não existência de componentes tendenciosos no levantamento - valor calculado para t_m amostral é menor que o valor tabelado - é a correta para as componentes horizontais N e E, porém a componente de altitude não. Logo não se dará o prosseguimento na determinação da precisão da mesma.

Tabela 10 - Análise de tendências/Estrutura principal

COMPONENTE	N	E	h
MÉDIA DISCREPÂNCIAS	-0,015	-0,015	-0,171
DESVIO PADRÃO	0,047	0,070	0,149
VALOR TM CALCULADO	-1,822	-1,165	-6,300
VALOR TEÓRICO	2,045	2,045	2,045
H1 DESCARTADO?	SIM	SIM	NAO

Tabela 11- Análise de tendências/Talude

COMPONENTE	N	E	h
MÉDIA DISCREPÂNCIAS	0,032	0,039	-0,311
DESVIO PADRÃO	0,123	0,127	0,085
VALOR TM CALCULADO	1,427	1,687	- 19,879
VALOR TEÓRICO	2,045	2,045	2,045
H1 DESCARTADO?	SIM	SIM	NAO

4.5.2.4 Análise da Exatidão:

Uma vez não rejeitada a hipótese H_0 da análise de tendências, a amostra poderá ser considerada livre de erros sistemáticos, e por consequência, esta conclusão pode ser extrapolada para a população, ou seja, todo o produto analisado (Reiss,2011).

A exatidão pode ser analisada como a comparação da variância das discrepâncias com a variância esperada, de acordo com a expressão 7:

$$\begin{aligned}
H_0: \sigma_{\Delta M}^2 &= \sigma_m^2, \text{ contra} \\
H_1: \sigma_{\Delta M}^2 &> \sigma_m^2
\end{aligned}
\tag{7}$$

onde σ_m^2 é a variância esperada para a análise, de acordo com a especificação do produto.

A análise é feita por meio da distribuição Qui-quadrado, sendo o Qui-quadrado da amostra definido pela expressão 8:

$$\chi_{\Delta M}^2 = v \cdot \frac{\sigma_{\Delta M}^2}{\sigma_m^2},
\tag{8}$$

onde v são os graus de liberdade. A verificação da exatidão é dada por 9:

$$\chi_{(v, \frac{\alpha}{2})}^2 < \chi_{\Delta M}^2 \leq \chi_{(v, 1 - \frac{\alpha}{2})}^2
\tag{9}$$

onde $\chi_{(v, \frac{\alpha}{2})}^2$ e $\chi_{(v, 1 - \frac{\alpha}{2})}^2$ são valores teórico da distribuição Qui-quadrado, calculados por meio dos graus de liberdade (v) da amostra e pela significância do teste (α). No caso do presente trabalho os valores teóricos tabelados são 14,611 e 37,652 respectivamente.

Uma vez que a expressão 10 é satisfeita, se aceita a hipótese nula, ou seja, o produto é aceito como atendendo a exatidão analisada, correspondente à especificação do produto (Reiss, 2011). Conforme pode ser observado nas tabelas 12 e 13, todas as componentes atendem a aceitação da hipótese nula:

Tabela 12 - Análise de exatidão/Estrutura Principal.

COMPONENTE	N	E
QUI-QUADRADO AMOSTRA	18,045	40,42286
$\chi^2_{(24, \frac{0,95}{2})}$	17,78	17,78
$\chi^2_{(24, \frac{1-0,95}{2})}$	42,557	42,557
VARIÂNCIA ESPERADA PELO PRODUTO	0,06	0,06
VALOR CONTIDO DENTRO DO INTERVALO?	SIM	SIM

Tabela 13 - Análise de exatidão/Talude.

COMPONENTE	N	E
QUI-QUADRADO AMOSTRA	30,6658	32,54959
$\chi^2_{(24, \frac{0,95}{2})}$	17,78	17,78
$\chi^2_{(24, \frac{1-0,95}{2})}$	42,557	42,557
VARIÂNCIA ESPERADA PELO PRODUTO	0,12	0,12
VALOR CONTIDO DENTRO DO INTERVALO?	SIM	SIM

4.5.2.5 Desvio Padrão Esperado

O desvio padrão esperado foi calculado de acordo com a expressão 10:

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sqrt{2}} \quad 10)$$

Este valor representa o desvio padrão esperado para os pontos medidos na carta, em cada componente das coordenadas, conforme as tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Desvio padrão esperado para cada componente/ Estrutura Principal

DESVIO PADRÃO ESPERADO	
N	E
0,033m	0,050m

Tabela 15 - Desvio padrão esperado para cada componente/Talude.

DESVIO PADRÃO ESPERADO	
N	E
0,087m	0,089m

5 APRESENTAÇÃO DOS PRODUTOS RESULTANTES

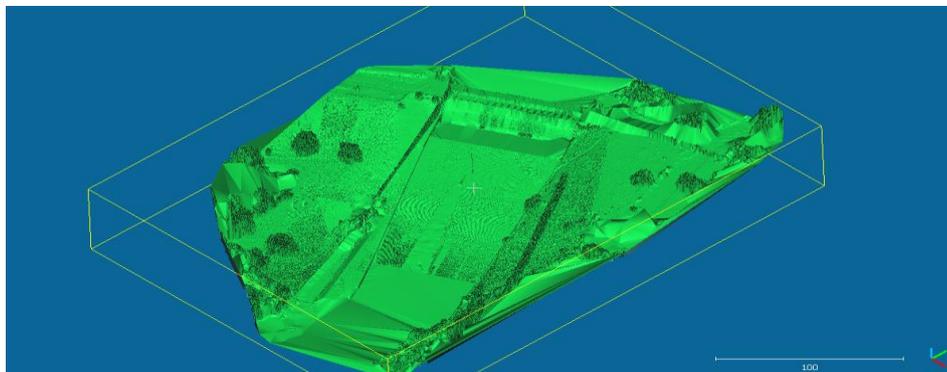
Depois de realizados todas as etapas de processamento dos dados, pode-se seguir para a criação dos produtos cartográficos finais. Neste trabalho foram gerados dois produtos:

- Planta em escala 1:1000 da estrutura principal da barragem com curvas de nível de 1 metro de equidistância com um PEC classe A;
- Planta em escala 1:1000 do talude da barragem com curvas de nível de 1 metro de equidistância com um PEC classe A;
- Um modelo 3D completo da barragem.

Para a **confeção da planta**, se utilizou os dados provenientes da extração das feições das nuvens de pontos e as curvas de nível. Os dados foram manipulados no software *AutoCad*. A representação da estrutura foi dividida em 2 partes: estrutura principal e talude, para gerar uma melhor visualização destas duas partes da barragem.

Para a confecção do modelo 3D, se utilizou o software *Agisoft Photoscan*, software que também trabalha com nuvens de pontos, e tem uma interface gráfica de fácil utilização. Os dados de entrada neste software foram as próprias nuvens de pontos depois de registradas. O modelo 3D foi gerado com a utilização da ferramenta “*Mesh*”, que cria uma superfície de triângulos a partir das nuvens de pontos. A figura 55 ilustra o modelo 3D gerado.

Figura 55 - Imagem do modelo 3D gerado.



Fonte: Elaborado pelos autores.

6 CONCLUSÃO

6.1 Considerações Finais

O presente estudo, conforme se procurou expor sistematicamente neste trabalho, têm origem nas questões de segurança de barragens, estruturas bem presentes no Brasil quer como geradoras de energia, abastecimento e/ou irrigação para agricultura, quer como para acumulação de resíduos.

Os objetivos propostos neste trabalho foram cumpridos. A execução da integração dos dados GNSS com SVLT para o levantamento de uma barragem alcançou uma acurácia posicional de 0,087m na componente Norte e 0,089m na componente Este no talude e 0,033m na componente Norte e 0,05m na componente Este na estrutura principal. Na componente vertical foi verificado um erro sistemático, visto que as discrepâncias nesta componente foram em sua maioria negativas. A investigação destes erros pode ser motivo de estudo em próximos trabalhos.

Quanto à área de estudo, a barragem do Arroio Duro em Camaquã, a escolha da mesma, em face de sua envergadura e importância econômica para a região, atendeu como campo de estudo uma modalidade diferenciada de levantamento tendo como fim um monitoramento que possa ser aplicado sistematicamente, instigando-se novas ideias neste tema a demais estruturas assemelhadas existentes no Brasil.

Como já se afirmou neste trabalho, uma estrutura de barragem por mais estável e consolidada, está acompanhada a um risco agregado cujo potencial está associado às variáveis particulares de cada estrutura, como povoados e cidades em seu entorno. Assim, esses empreendimentos acercando-se não só de se ter uma estrutura com o melhor nível de confiança, mas de monitoramento contínuo tendo em vista que o risco nunca poderá ser excluído.

O levantamento com tecnologia LIDAR tem potencial para se tornar mais ágil que os levantamentos tradicionais, além da obtenção de um maior número de detalhes dos objetos levantados. Isto permite, por exemplo, que sejam feitas

análises sobre toda uma estrutura levantada, enquanto os métodos tradicionais necessitam de muito mais tempo para obtenção de tais detalhes.

Uma grande desvantagem na aplicação de levantamentos com SVLT é a dificuldade de transporte. Por ser um equipamento pesado, e sua caixa de armazenamento possuir rodas pequenas, a situação complica-se quando há grandes distâncias a serem percorridas durante o levantamento, ou que o terreno levantado seja muito acidentado. O fato de o equipamento também necessitar de equipamentos “auxiliares” - tripé, base robótica Pantilt, e um notebook - também complica deslocamentos.

Em relação ao processamento dos dados, procurou utilizar-se apenas softwares livres, como o *CloudCompare* e *QGIS*. Mesmo assim, foi necessário o uso do software *AutoCad map 3D 2014* para manipulação dos dados (este software foi utilizado sob a licença estudantil distribuída pelo desenvolvedor).

A instalação dos marcos e chapas, bem como o marco avançado podem servir também para futuras comparações entre dados obtidos, sendo uma grande fonte de dados para pesquisa científica, tendo também a aplicação prática de monitorar deslocamentos na estrutura da barragem.

6.2 Recomendações

Com o projeto em execução logo se percebeu tratar-se de uma “grande operação de levantamento”, sendo a mesma conduzida por um total de 12 dias em campo, mais em torno de 3 semanas para processamento, surgindo dificuldades e limitações conforme comentários a seguir que servem de recomendações técnicas julgadas necessárias ao levantamento de uma área e aplicação do SVLT Optech integrado ao GNSS:

Mesmo com um bom planejamento, que já inclui o cronograma, deve o mesmo ser revisto, checando conjuntamente as condições meteorológicas da localidade a ser levantada, bem como uma investigação do campo a ser levantado, e se possível *in loco*.

Como toda obra de engenharia, deve ser dada atenção aos equipamentos pessoais de proteção e logística, podendo citar como exemplo que no talude foram

incrustadas chapas através de cola especial numa temperatura ambiente alta, sendo recomendados óculos e luvas de proteção, além do cuidado de não posicionar o laser onde ele possa atrapalhar a circulação de veículos, podendo o laser ofuscar a visão de algum motorista.

A tabela 3 demonstra a grande quantidade de equipamentos e a sessão 4.3 demonstra duração do tempo de levantamento. Estes itens expõe a complexidade do levantamento realizado na Barragem do Arroio Duro. Desta maneira, recomenda-se fazer o controle de desembarque e embarque de equipamentos.

O SVLT, bem como qualquer outro equipamento que emite ondas eletromagnéticas, tem seu desempenho ligado às condições meteorológicas, sendo melhor empregado à baixa umidade e tempo seco. Percebe-se que na barragem, algumas cenas foram afetadas pela umidade, principalmente na estrutura principal junto ao vertedouro principal.

Como foi verificado, a estrutura do talude da barragem não possui muitas feições que são facilmente identificadas na nuvem de pontos, portanto é recomendado a utilização de alvos pré-definidos e construídos que possam ser medidos via GNSS ou estação total (ou qualquer outro método de levantamento que se utilize) e que tenha boa refletância para o laser.

Recomenda-se nesse tipo de levantamento em barragens para fins de monitoramento que sejam empregados marcos de centragem forçada padrão IBGE, devido à facilidade de identificação em campo e instalação de aparelhos para rastreios e levantamentos. Estes marcos possuem também grande resistência e durabilidade.

A instalação de alvos junto à estrutura da barragem de modo permanente também poderia auxiliar em futuras aquisições de dados.

REFERÊNCIAS

- Outubro de 2018. <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/index.php>.
- 01 de julho de 2019. <https://www.gps.gov/systems/gps>.
- 01 de Julho de 2019. https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/GPS_History.html.
- TÜV SÜD. 19 de fevereiro de 2019. <https://www.tuv-sud.com.br/br-pt/noticias-centro-de-midia/sala-de-noticias/acidente-no-brasil-colapso-de-barragem-de-reservatorio-de-retenca> (acesso em 2019).
- “1º Relatório da Comissão Externa do Desastre de Brumadinho e Proposições anexa.” 1º Relatório da Comissão Externa do Desastre de Brumadinho e Proposições anexa, CEXBRUMA, Camara dos Deputados, abril de 2019.
- ALBA, M; FREGONSE, L; PRAND, F; SCAIONI, M; VALGOI, P. “STRUCTURAL MONITORING OF A LARGE DAM BY TERRESTRIAL LASER (2006).” <https://www.researchgate.net/publication/228653597>. 03 de dezembro de 2018. https://www.researchgate.net/publication/228653597_Structural_monitoring_of_a_large_dam_by_terrestrial_laser_scanning.
- ALBARICI, Fabio Luiz. “Posicionamento Relativo: Análise dos Resultados Combinados as Observáveis L1 dos Satélites GPS e SBAS.” São Paulo, 2011.
- ANA Agência Nacional de Águas, art 12,III Res.91 de 02/042012. 02 de dezembro de 2018. www.ana.gov.br.
- ANTOVA, Gergana (2015). “Terrestrial Laser Scanning for Dam Deformation Monitoring - Case Study.” <https://www.researchgate.net/publication>. 04 de dezembro de 2018. https://www.researchgate.net/publication/329184096_Terrestrial_Laser_Scanning_for_Dam_Deformation_Monitoring-Case_Study.
- AUD. “Barragem do Arroio Duro, 50 anos de História.” 2017.
- AWANGE, Joseph. “Environmental Monitoring using GNSS.” 2012.
- . GNSS Environmental Sensing Revolutionizing Environmental Monitoring 2nd ed. 2018. Springer, 2018.

BAPTISTA, Marcio e LARA, Márcia. *Fundamentos da Engenharia Hidráulica*. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

BBC. "Oroville Dam Risk." 13 de fevereiro de 2017.

BEIDOU Navigation Satellite System (BDS). 03 de agosto de 2018.
<http://www.beidou.gov.cn/>.

BEUNARD, Rémy. LEFEVRE, Alexis. LEGRUEL, François. LEWANDOWSKI, Arnaud. "<https://www.researchgate.net>." 10-14 de Setembro de 2012.

https://www.researchgate.net/publication/279405512_Overview_on_the_preliminary_geodetic_network_for_SPIRAL2_process_installations_at_GANIL (acesso em 2018).

BHP Billiton. 2019. <https://www.bhp.com/> (acesso em 2019).

CBDB. "Tragédias em Barragens." Edição: Comitê Brasileiro de Barragens. *Revista Brasileira de Engenharia de Barragens*, nº num 07 (fevereiro 2019): pg 62.

CORRÊA, Felipe Kunz. "O Uso de Tecnologias Modernas em Levantamentos." Edição: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA. São José dos Campos, 2013.

DALGE, Julio Cesar Lima. *Comissionamento do satélite CBERS-4*. seis de agosto de 2018.

"DSG\Banco de Dados Geográficos do Exército." Exército Brasileiro\Geoportal do Exército Brasileiro. s.d.
<https://bdgex.eb.mil.br/mediador/index.php?modulo=login&acao=entrar> (acesso em 20 de Janeiro de 2019).

DUNNICLIFF, J. "Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance." Wiley, New York, 1988.

EGSA-European Global Navigation Satellite Systems Agency. 03 de julho de 2019. <https://www.gsa.europa.eu/egnos/what-egnos>.

EL-RABBANY, Ahmed. "Introduction to GPS -The Global Positioning System. Fast (rapid) Static." Artech House, 2002.

ESA, European Space Agency. 03 de agosto de 2018.
https://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/Steps_so_far.

EVANGELISTA, Luís Carlos da Rosa. Porto Alegre, RS: UFRGS, 2005.

FERRAZ, Rodrigo da Silva. “Levantamento Topográfico do Parque Arqueológico São Miguel Arcanjo por Varredura a Laser Terrestre.” Porto Alegre, Rio Grande do Sul: UFRGS, 2014.

FERRAZ, Rodrigo da Silva; SOUZA, Sérgio Florêncio e REISS, Mário Luiz Lopes. “Laser Scanner Terrestre: teoria, aplicações e prática.” Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

GIELOW, Igor. “Rússia expande rede do seu GPS com nova base no Brasil.” *Folha de São Paulo*, 10 de agosto de 2018.

GONÇALES, Rodrigo. “Dispositivo de Varredura Laser 3D terrestre e suas aplicações na Engenharia, com ênfase em túneis.” 2007.

GPS. “Performance Standards & Specifications .” 2018.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; Walker Jearl. *Fundamentos de Física*. Vol. vol. 04 . LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2012.

HILLBRAND, Fernando Luis. PRECISÃO DE COORDENADAS PLANIMÉTRICAS OBTIDAS COM RECEPTORES GNSS DE PONTOS SITUADOS SOB REDES ELÉTRICAS DE ALTA TENSÃO. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 05 de AGOSTO de 2012.

“Hover Drones Filmagens\Barragem do Arroio Duro\2016.” Camaquã, 2019. IBAMA. 2019. <http://www.ibama.gov.br/busca?searchword=brumadinho&searchphrase=all> (acesso em 15 de julho de 2019).

IBGE. “Padronização de Marcos Geodésicos.” s.d.

—. “Sistema de Referência.” s.d.

ICOLD, *International Commission on Large Dams*. s.d. https://www.icold-cigb.org/userfiles/files/CIGB/INSTITUTIONAL_FILES/Constitution2011.pdf (acesso em 07 de Dezembro de 2018).

Information and Analyses Center for Positioning ,Navegation and Timing. 02 de agosto de 2018. <https://www.glonass-iac.ru/en/>.

J. M. Silva, Robert G. Olsen. “Use_of_Global_Positioning_System_GPS_Receivers_under_Power_Line_Condu ctors.” oito de agosto de 2018. <https://www.researchgate.net/publication>.

LENARTOVICZ, Igor Ribeiro. AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DO LASER SCANNER TERRESTRE NO MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS:

ESTUDO DE CASO UHE MAUÁ. Curitiba, Paraná: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 28 de junho de 2013.

LOPES, Afonso Emidio de Vasconvelos e NUNES, Luciana Cabral. "Intensidades Sísmicas de terremotos: formulação de cenários sísmicos no Brasil." *REVISTA USP*, 2011: 90 -102.

LOPES, Luciano M N. "O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais." 2016.

MACHADO, William Gladstone de Freitas. "Monitoramento de Barragens de Contenção de Rejeitos da Mineração ." Edição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo, 2007.

MARQUES, Haroldo Antonio; PACHECO, Admilson da Penha; TANAJURA, Elmo Leonardo Xavier X arqueseu. *UMA ABORDAGEM DE MONITORAMENTO GEOESPACIAL DE BARRAGENS HIDROELÉTRICAS A PARTIR DO GNSS: RESULTADOS PRELIMINARES*. Pernambuco: UFPE, 2016?

MONICO, Francisco Galera. "Posicionamento pelo GNSS \2° edição, 2008." Unesp, s.d.

MOTA, Suetônio. *Introdução à Engenharia Ambiental*. Rio e Janeiro: ABES, 2016.

NADAL, Carlos Aurélio; VEIGA, Luis Auguto Koenig; SOARES, Marcos Roberto; FAGGION, Pedro Luis As. "www.cbdb.org.br." *CBDB*. XXX Seminário Nacional de GRandes Barragens. 11-13 de Maio de 2015. http://www.cbdb.org.br/xxxsngb/index.php?pagina=nav/trabalhos_selecionados (acesso em 05 de Dezembro de 2018 de 2018).

NASA. JPL GNSS Receivers, Past, Present, and Future. 2018.

NIEVINSKI, Felipe G. *Posicionamento por GPS para Geofísica*. São Paulo, 6-10 de fevereiro de 2012.

_____. "Interferometria por Radar de Abertura Sintética (InSAR)." Porto Alegre: UFRGS, 2004.

Optech, Incorporated. "Operation Manual Laser Scanner ILRIS." novembro de 2011.

P Novak, A I B Moffat, C Nalluri and R Narayanam. *Hydraulic Structures*. Fourth edition. E & FN Spon, 2007.

Phillips, Dom. *The Guardian*. The Guardian. fevereiro de 2019. <https://www.theguardian.com/world/2019/feb/03/brazil-dam-collapse-search-body-recovery> (acesso em 15 de março de 2019).

PIETRIE, Gordon e TOTH, Charles K, apud SHAN, Jie e TOTH, Charles K. *Topographic Laser Ranging and Scanning*. Edição: Jie Shan e Charles K Toth. CRC Press, 2009.

RABAH, Mostafa, EL-HATAAB . “<https://www.researchgate.net/publication>.” Junho de 2011. https://www.researchgate.net/profile/Ahmed_Elhatab/publication/267331082_Fachbeitrag_RabahEl-Hatab_Investigating_the_Impact_of_High_Voltage_Power_Lines_on_GPS_Signal/links/544ba1570cf2d6347f439dae/Fachbeitrag-Rabah-El-Hatab-Investigating-the-Impact-of- (acesso em 2018).

ROMANESCU, Gheorghe;ROMANESCU, Ana-Maria e ROMANESCU, Gabriela. "HISTORY OF BUILDING THE MAIN DAMS AND RESERVOIRS." *2th International Conference, Water resources and wetlands*. Tulcea, Setembro 11\13, 2014.

Rompimento da Barragem de Fundão: Documentos relacionados ao desastre da Samarco em Mariana/MG. 01 de julho de 2019. <http://ibama.gov.br/recuperacao-ambiental/rompimento-da-barragem-de-fundao-desastre-da-samarco/documentos-relacionados-ao-desastre-da-samarco-em-mariana-mg> (acesso em 2018).

SAMARCO. “<https://www.samarco.com>.” SAMARCO. agosto de 2016. <https://www.samarco.com/wp-content/uploads/2016/08/o-que-e-uma-barragem.pdf> (acesso em 2018).

SANCHES, Luis Enrique. *Avaliação de Impacto Ambiental , Conceitos e Métodos*. 2^ªed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SARAIVA, David Harley de Oliveira; SILVA, Anne Karolyne Pereira da Silva. *Uso da estação total robótica como geotecnologia aplicada no monitoramento*. Cuiabá, Mato Grosso, 22-26 de outubro de 2016.

SCHMIDT, Arthur Bratti, SCHIMALSKI Marcos Benedito, BIFFI. Leonardo Joso, e Eduardo Kenji ARAKI. “VIII Colóquio Brasileiro de Geodésia\ Análise do Posicionamento Obtido via GPS em diferentes situações de Obstrução.” \ *Análise*

do Posicionamento Obtido via GPS em diferentes situações de Obstrução. Curitiba, Parana, 3 a 5 de dezembro de 2013.

SEEBER, Gunter. "Satellite Geodesy." nº 2nd edition. 2003.

SERANTONI, Eugenio. "Spatially continuous dam monitoring." Edição: ETHzurich\Geosensors and Engineering Geodesy. Zurich, s.d.

SIDDIQUI, Iqtidar H. *Dams and Reservoirs.* Oxford University, 2009.

SILVA, Maurício dos Santos e ROMÃO, Verônica Maria Costa. "AJUSTAMENTO DE REDES GPS." Recife, Pernambuco: Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

SILVEIRA, João Francisco Alves. "Teria sido possível evitar a ruptura da Barragem de TETON através de um bom Plano de Instrumentação?" Edição: Comitê Brasileiro de Barragens. *Revista Brasileira de Engenharia de Barragens*, nº 01 (Abril 2014): 23.

SILVEIRA, João Francisco e OLIVEIRA, Kaique Dantas. "Métodos de Inspeção Remota de Barragens." Edição: CBDB (Comitê Brasileiro de Barragens). *Revista Brasileira de Engenharia de Barragens*, nº N° 07 (Fevereiro 2019): 39 a 45.

TIBERIUS, Christian; VERBREE, Edward. "GNSS Positioning Accuracy and Availability within Location Based Services: The Advantages of Combined GPS-Galileo Positioning." 2004.

TOMMASELLI, Antonio M G. "Fotogrametria Básica - Câmaras Fotogramétrica." 2009.

VALE. 2019. http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/atualizacoes_brumadinho/paginas/default.aspx?utm_source=Google&utm_medium=CPC&utm_campaign=2019|Search|BarragemBrumadinho&utm_content=Link1 (acesso em 01 de agosto de 2019).

VEZOCNIK, Rock; AMBROZIC, Tomaz; STERLE, Oskar; BILBAN, Gregor; PFEIFER, Norbert e STOPAR, Bojan. *Use of Terrestrial Laser Scanning Technology for Long Term High Precision Deformation Monitoring.* Edição: Sensor. 4 de Dezembro de 2009.

VOSSelman, George e MASS Hans- Gerd. *Airborne and Terrestrial Lser Scanning.* Whittles Publishing, 2010.

www.Camaqua.rs.gov.br. 01 de Dezembro de 2018.
<http://www.camaqua.rs.gov.br/municipio/4/localizacao.html>.

ZACZEK-PEPLINSKA, Janina ; POPIELSKI, Pawel; KARPRZAK, Adam e WOJCIK, Pawel. "Development of Large Concrete Object Geometrical Model Based on Terrestrial Laser Scanning." Vol. 97. Reports on Geodesy and Geoinformatics, 2014. 91 -107.

ANEXO 1 - MEMORIAL DESCRITIVO DOS MARCOS

(Face ao formato dos anexos, seguem a partir da folha 109 os Memoriais Descritivos)

		
MEMORIAL DESCRITIVO		
MARCO DE CONCRETO AUD\BARRAGEM 09		
MARCO DE APOIO GEODÉSICO		
Código do vértice: MRA_AUD01	Tipo: Marco de concreto	
Local: Barragem do Arroio Duro	Município: Camaquã /RS	
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000 ÉPOCA 4	Data das Observações GNSS: 25\11\2017	
	Tempo de Rastreo: 011hs47min	
VALORES DAS COORDENADAS		
Coordenadas (UTM Fuso 22 Sul)	Coordenadas Geodésicas (Graus Decimais)	Desvios-Padrão (Coord.Geodésicas)
N: 6584000,31 m	Latitude(ϕ): 30°52'29,006" S	$\delta(\phi)$: 0,016 m
E: 422502,186m	Longitude(λ): 051°48'38,567" O	$\delta(\lambda)$: 0,015 m
MC: 51° w	Alt. Elipsoidal (h): 62,126 m	$\delta(h)$: 0,045 m
LOCALIZAÇÃO		
		
Fotografia do vértice	Inpe\Imagem Google Earth	
ITINERÁRIO		
No sentido sul saindo de Porto Alegre, chegando à cidade de Camaquã pela BR 116, segue-se em frente até o segundo anel viário, contornando o mesmo em direção esquerda da mesma BR 116, estará a sede Administrativa da Barragem do Arroio Duro-AUD, o marco será encontrado no interior da mesma ao lado da estação de dados meteorológicos.		
DESCRIÇÃO DO MARCO		
Marco de concreto de dimensões 12cmx8cmx60cm revestido de amarelo, com chapa identificadora metálica incrustada, exposto acima do solo aproximadamente 20 cm.		
Estações de Referências Utilizadas	Estações de Referências Utilizadas	
Porto Alegre-POAL \ Pelotas-RSPE	Marca-TOPCON \ Modelo-GR-3	
METODOLGIA DE PROCESSAMENTO		
Realizada pelo método Relativo Estático, tendo como bases o vértice a MRA_BRR01 e MRA_BRR02, foi processado o ajustamento global dos dados pelo Software TOPCONTOLLS V 8.2.3		
dmg: 16,18° W\0,16° por ano	Responsável: Equipe TCC \ UFRGS	

		
MEMORIAL DESCRITIVO		
MARCO DE SINTÉTICO AUD\BARRAGEM 01		
MARCO DE APOIO GEODÉSICO		
Código do vértice: MRA_BRR01	Tipo: Marco de sintético	
Local: Barragem do Arroio Duro	Município: Camaquã /RS	
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000 ÉPOCA 4	Data das Observações GNSS: 27\11\2017	
	Tempo de Rastreo: 05hs40min59seg	
VALORES DAS COORDENADAS		
Coordenadas (UTM Fuso 22 Sul)	Coordenadas Geodésicas (Graus Decimais)	Desvios-Padrão (Coord.Geodésicas)
N: 6590012,432 m	Latitude(ϕ): 30°49'12.966" S	$\delta(\phi)$: 0,016 m
E: 419341,257 m	Longitude(λ): 051°50'35.888" O	$\delta(\lambda)$: 0,016 m
MC: 51° w	Alt. Elipsoidal (h): 66,721 m	$\delta(h)$: 0,045 m
LOCALIZAÇÃO		
		
Fotografia do vértice	Imagem Google Earth	
ITINERÁRIO		
De Porto Alegre à cidade de Camaquã pela BR 116, entra-se a direita em direção ao Bairro Santa Marta pela Av. Bento Gonçalves, seguindo pela estrada municipal Bonito a Formoso por aproximadamente 04 Km, dobra-se a esquerda no pórtico de entrada da Barragem do Arroio Duro percorrendo em torno de 02 Km em estrada interior, o marco estará a direita em um canteiro que dista em torno de 50 m da face nordeste do início da ponte sobre as comportas, tendo o mirante a uns 100 metros a sudeste.		
DESCRIÇÃO DO MARCO		
Marco de sintético de dimensões 12cmx8cmx60cm revestido de amarelo, com chapa identificadora metálica incrustada, exposto acima do solo aproximadamente 20 cm.		
Estações de Referências Utilizadas	Estações de Referências Utilizadas	
Porto Alegre-POAL \ Pelotas-RSPE	Marca-TOPCON \ Modelo-GPT 7500	
METODOLGIA DE PROCESSAMENTO		
Realizada pelo método Relativo Estático, tendo como bases o vértice a MRA_BRR02, foi processado o ajustamento global dos dados pelo Software TOPCON TOLLS V 8.2.3		
Dmg: 16,18° W \ 0,16° por ano	Responsável: Equipe TCC \ UFRGS	

		
MEMORIAL DESCRITIVO		
MARCO DE SINTÉTICO AUD\BARRAGEM 02		
MARCO DE APOIO GEODÉSICO		
Código do vértice: MRA_BRR02	Tipo: Marco de sintético	
Local: Barragem do Arroio Duro	Município: Camaquã /RS	
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000 ÉPOCA 4	Data das Observações GNSS: 24\11\2017	
	Tempo de Rastreo: 08s04min54seg	
VALORES DAS COORDENADAS		
Coordenadas (UTM Fuso 22 Sul)	Coordenadas Geodésicas (Graus Decimais)	Desvios-Padrão (Coord.Geodésicas)
N: 6589925,672 m	Latitude(φ): 30°49'15.797"	$\delta(\varphi)$: 0,016 m
E: 419391,716 m	Longitude(λ): 051°50'34.014"	$\delta(\lambda)$: 0,013 m
MC: 51° w	Alt. Elipsoidal(h): 66,15	$\delta(h)$: 0,045 m
LOCALIZAÇÃO		
		
Fotografia do vértice		Imagem Google Earth
ITINERÁRIO		
Chegando de Porto Alegre à cidade de Camaquã pela BR 116, entra-se a direita em direção ao Bairro Santa Marta pela Av. Bento Gonçalves, seguindo pela estrada municipal Bonito a Formoso por aproximadamente 04 Km, dobra-se a esquerda no pórtico de entrada da Barragem do Arroio Duro percorrendo mais 02 Km em estrada interior, ao final da mesma próximo às comportas, o marco estará em torno de 100 m a esquerda próximo a face norte do mirante.		
DESCRIÇÃO DO MARCO		
Marco de sintético de dimensões 12cmx8cmx60cm revestido de amarelo, com chapa identificadora metálica incrustada, exposto acima do solo aproximadamente 20 cm.		
Estações de Referências Utilizadas	Estações de Referências Utilizadas	
Porto Alegre-POAL \ Pelotas-RSPE	Marca-TOPCON \ Modelo-GR-3	
METODOLGIA DE PROCESSAMENTO		
Realizada pelo método Relativo Estático, tendo como bases o vértice a MRA_BRR01, foi processado o ajustamento global dos dados pelo Software TOPCON TOLLS V 8.2.3		
Dmg: 16,18° W \ 0,16° por ano	Responsável: Equipe TCC \ UFRGS	

		
MEMORIAL DESCRITIVO		
MARCO DE SINTÉTICO AUD\BARRAGEM 03		
MARCO DE APOIO GEODÉSICO		
Código do vértice: _MRA_BRR03	Tipo: Marco de sintético	
Local: Barragem do Arroio Duro	Município: Camaquã /RS	
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000 ÉPOCA 4	Data das Observações GNSS: 23\11\2017	
	Tempo de Rastreo: 02hs25min11seg	
VALORES DAS COORDENADAS		
Coordenadas (UTM Fuso 22 Sul)	Coordenadas Geodésicas (Graus Decimais)	Desvios-Padrão (Coord.Geodésicas)
N: 6589858,186 m	Latitude(φ): 30°49'17.986" S	$\delta(\varphi)$: 0,016 m
E: 419382,633 m	Longitude(λ): 051°50'34.375" O	$\delta(\lambda)$: 0,0156 m
MC: 51° w	Alt. Elipsoidal (h): 46,331	$\delta(h)$: 0,045 m
LOCALIZAÇÃO		
		
Fotografia do vértice	Inpe\Imagem Google Earth	
ITINERÁRIO		
Bairro Santa Marta pela Av.Bento Gonçalves, seguindo pela estrada municipal Bonito a Formoso por aproximadamente 04 Km, dobra-se a esquerda no pórtico de entrada da Barragem do Arroio Duro percorrendo mais 02 Km em estrada interior, a esquerda em direção ao mirante,o marco estará uns 100 metros a noroeste do mesmo descendo uma encosta junto a estrutura principal da barragem .		
DESCRIÇÃO DO MARCO		
Marco de sintético de dimensões 12cmx8cmx60cm revestido de amarelo, com chapa identificadora metálica incrustada, exposto acima do solo aproximadamente 20 cm.		
Estações de Referências Utilizadas	Estações de Referências Utilizadas	
Porto Alegre-POAL \ Pelotas-RSPE	Marca-TOPCON \ Modelo-GPT-3	
METODOLGIA DE PROCESSAMENTO		
Realizada pelo método Relativo Estático, tendo como bases o vértice a MRA_BRR01 e MRA_BRR02,foi processado o ajustamento global dos dados pelo Software TOPCON TOLLS V 8.2.3		
Dmg: 16,18° W\0,16° por ano	Responsável: Equipe TCC \ UFRGS	

		
MEMORIAL DESCRITIVO		
MARCO DE CONCRETO AUD\BARRAGEM 04		
MARCO DE APOIO GEODÉSICO		
Código do vértice: MRA_BRR04		Tipo: Marco de concreto
Local: Barragem do Arroio Duro		Município: Camaquã /RS
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000 ÉPOCA 4		Data das Observações GNSS: 23\11\2017
		Tempo de Rastreo: 02hs05min42seg
VALORES DAS COORDENADAS		
Coordenadas (UTM Fuso 22 Sul)	Coordenadas Geodésicas (Graus Decimais)	Desvios-Padrão (Coord.Geodésicas)
N: 6589820,843 m	Latitude(ϕ): 30°49'19,172" S	$\delta(\phi)$: 0,019 m
E: 419272,498 m	Longitude(λ): 051°50'38,531" O	$\delta(\lambda)$: 0,017 m
MC: 51° w	Alt. Elipsoidal (h): 54,938 m	$\delta(h)$: 0,042 m
LOCALIZAÇÃO		
		
Fotografia do vértice	Imagem Google Earth	
ITINERÁRIO		
De Porto Alegre chegando à cidade de Camaquã pela BR 116, entra-se a direita em direção ao Bairro Santa Marta pela Av. Bento Gonçalves, seguindo pela estrada municipal Bonito a Formoso por aproximadamente 04 Km, dobra-se a esquerda no pórtico de entrada da Barragem do Arroio Duro percorrendo mais 02 Km em estrada interior, cruzando as comportas, contornando a estrutura principal, em torno de 150 metros ao sul das comportas o marco está sobre uma encosta acima da estrutura principal.		
DESCRIÇÃO DO MARCO		
Marco de concreto de dimensões 12cmx8cmx60cm revestido de amarelo, com chapa identificadora metálica incrustada, exposto acima do solo aproximadamente 20 cm.		
Estações de Referências Utilizadas		Estações de Referências Utilizadas
Porto Alegre-POAL \ Pelotas-RSPE		Marca-TOPCON \ Modelo-GR-3
METODOLGIA DE PROCESSAMENTO		
Realizada pelo método Relativo Estático, tendo como bases o vértice a MRA_BRR01 e MRA_BRR02, foi processado o ajustamento global dos dados pelo Software TOPCON TOLLS V 8.2.3		
Dmg: 16,18°W \ 0,16 ° por ano		Responsável: Equipe TCC \ UFRGS

		
MEMORIAL DESCRITIVO		
MARCO DE CONCRETO AUD\BARRAGEM 05		
MARCO DE APOIO GEODÉSICO		
Código do vértice: MRA_BRR05	Tipo: Marco de concreto	
Local: Barragem do Arroio Duro	Município: Camaquã /RS	
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000 ÉPOCA 4	Data das Observações GNSS : 27\11\2017	
	Tempo de Rastreo: 00hs55min50seg	
VALORES DAS COORDENADAS		
Coordenadas (UTM Fuso 22 Sul)	Coordenadas Geodésicas (Graus Decimais)	Desvios-Padrão (Coord.Geodésicas)
N: 6588671,99 m	Latitude(ϕ): 30°49'56.257" S	$\delta(\phi)$: 0,016 m
E: 418337,397 m	Longitude(λ): 051°51'14,054" O	$\delta(\lambda)$: 0,016 m
MC: 51° w	Alt. Elipsoidal (h): 67,341 m	$\delta(h)$: 0,045 m
LOCALIZAÇÃO		
		
Fotografia do vértice	Imagem Google Earth	
ITINERÁRIO		
De Porto Alegre chegando à cidade de Camaquã pela BR 116, entra-se a direita em direção ao Bairro Santa Marta pela Av. Bento Gonçalves, seguindo pela estrada municipal Bonito a Formoso por aproximadamente 04 Km, dobra-se a esquerda no pórtico de entrada da Barragem do Arroio Duro percorre-se mais 02 Km em estrada interior, segue-se em frente passando pelas comportas e sobre a parte baixa do talude transpõe o mesmo e após aprox. 200 metros estará o marco a esquerda da estrada, próximo a um caminho, a sudoeste do talude.		
DESCRIÇÃO DO MARCO		
Marco de concreto de dimensões 12cmx8cmx60cm revestido de amarelo, com chapa identificadora metálica incrustada, exposto acima do solo aproximadamente 20 cm.		
Estações de Referências Utilizadas	Estações de Referências Utilizadas	
Porto Alegre-POAL \ Pelotas-RSPE	Marca-TOPCON \ Modelo-GPT 7500	
METODOLGIA DE PROCESSAMENTO		
Realizada pelo método Relativo Estático, tendo como bases o vértice a MRA_BRR01 e MRA_BRR02, foi processado o ajustamento global dos dados pelo Software TOPCON TOLLS V 8.2.3		
Dmg: 16,17° W\0,16° por ano	Responsável: Equipe TCC \ UFRGS	

					
MEMORIAL DESCRITIVO					
MARCO DE CONCRETO AUD\BARRAGEM 06					
MARCO DE APOIO GEODÉSICO					
Código do vértice: MRA_BRR06			Tipo: Marco de concreto		
Local: Barragem do Arroio Duro			Município: Camaquã /RS		
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000 ÉPOCA 4			Data das Observações GNSS : 26\11\2017		
			Tempo de Rastreo: 02hs05min55seg		
VALORES DAS COORDENADAS					
Coordenadas (UTM Fuso 22 Sul)		Coordenadas Geodésicas (Graus Decimais)		Desvios-Padrão (Coord.Geodésicas)	
N: 6588607,364 m		Latitude(ϕ): 30°49'58.337" S		$\delta(\phi)$: 0,018 m	
E: 418259,44 m		Longitude(λ): 051°51'17.007" O		$\delta(\lambda)$: 0,016 m	
MC: 51° w		Alt. Elipsoidal (h): 66,376 m		$\delta(h)$: 0,044	
LOCALIZAÇÃO					
					
Fotografia do vértice			Imagem Google Earth		
ITINERÁRIO					
<p>De Porto Alegre chegando à cidade de Camaquã pela BR 116, entra-se a direita em direção ao Bairro Santa Marta pela Av. Bento Gonçalves, seguindo pela estrada municipal Bonito a Formoso por aproximadamente 04 Km, dobra-se a esquerda no pórtico de entrada da Barragem do Arroio Duro percorrendo por volta mais 02 Km em estrada interior, segue-se em frente passando pelas comportas e sobre a parte baixa do talude transpõe o mesmo e após aprox.330 metros estará o marco a direita da estrada, a sudoeste do talude.</p>					
DESCRIÇÃO DO MARCO					
Marco de concreto de dimensões 12cmx8cmx60cm revestido de amarelo, com chapa identificadora metálica incrustada, exposto acima do solo aproximadamente 20 cm.					
Estações de Referências Utilizadas			Estações de Referências Utilizadas		
Porto Alegre-POAL \ Pelotas-RSPE			Marca-TOPCON \ Modelo-GR-3		
METODOLGIA DE PROCESSAMENTO					
Realizada pelo método Relativo Estático, tendo como bases o vértice a MRA_BRR01 e MRA_BRR02, foi processado o ajustamento global dos dados pelo Software TOPCON TOLLS V 8.2.3					
Dmg : 16,17° W \ 0,16° por ano			Responsável: Equipe TCC \ UFRGS		

		
MEMORIAL DESCRITIVO		
MARCO DE CONCRETO AUD\BARRAGEM 07		
MARCO DE APOIO GEODÉSICO		
Código do vértice: MRA_BRR07	Tipo: Marco de concreto	
Local: Barragem do Arroio Duro	Município: Camaquã /RS	
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000 ÉPOCA 4	Data das Observações GNSS : 26\11\2017	
	Tempo de Rastreo: 01hs13min52seg	
VALORES DAS COORDENADAS		
Coordenadas (UTM Fuso 22 Sul)	Coordenadas Geodésicas (Graus Decimais)	Desvios-Padrão (Coord.Geodésicas)
N: 6590110,051 m	Latitude(ϕ): 30°49'9.815" S	$\delta(\phi)$: 0,057 m
E: 419419,981 m	Longitude(λ): 051°50'32.898" O	$\delta(\lambda)$: 0,18 m
MC: 51° w	Alt. Elipsoidal (h): 69,16 m	$\delta(h)$: 0,1 m
LOCALIZAÇÃO		
		
Fotografia do vértice		Imagem Google Earth
ITINERÁRIO		
De Porto Alegre chegando à cidade de Camaquã pela BR 116, entra-se a direita em direção ao Bairro Santa Marta pela Av. Bento Gonçalves, seguindo pela estrada municipal Bonito a Formoso por aproximadamente 04 Km, dobra-se a esquerda no pórtico de entrada da Barragem do Arroio Duro percorrendo por 02 Km em estrada interior, após cruzar um talude em asfalto, após uns 250 metros o marco estará esquerda da estrada aproximadamente 100 metros antes da estrada se bifurcar em direção ao mirante e às comportas.		
DESCRIÇÃO DO MARCO		
Marco de concreto de dimensões 12cmx8cmx60cm revestido de amarelo, com chapa identificadora metálica incrustada, exposto acima do solo aproximadamente 20 cm.		
Estações de Referências Utilizadas	Estações de Referências Utilizadas	
Porto Alegre-POAL \ Pelotas-RSPE	Marca-TOPCON \ Modelo-GR-3	
METODOLGIA DE PROCESSAMENTO		
Realizada pelo método Relativo Estático, tendo como bases o vértice a MRA_BRR01 e MRA_BRR02, foi processado o ajustamento global dos dados pelo Software TOPCON TOLLS V 8.2.3		
Dmg: 16,18° W \ 0.16°por ano	Responsável: Equipe TCC \ UFRGS	

					
MEMORIAL DESCRITIVO					
MARCO DE CONCRETO AUD\BARRAGEM 08					
MARCO DE APOIO GEODÉSICO					
Código do vértice: MRA_BRR08			Tipo: Marco de concreto		
Local: Barragem do Arroio Duro			Município: Camaquã /RS		
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000 ÉPOCA 4			Data das Observações GNSS : 26\11\2017		
			Tempo de Rastreo: 02hs48min37seg		
VALORES DAS COORDENADAS					
Coordenadas (UTM Fuso 22 Sul)		Coordenadas Geodésicas (Graus Decimais)		Desvios-Padrão (Coord.Geodésicas)	
N: 6590232,212 m		Latitude(ϕ): 30°49'5,865" S		$\delta(\phi)$: 0,015 m	
E: 419494,248 m		Longitude(λ): 051°50'30,068" O		$\delta(\lambda)$: 0,017 m	
MC: 51° w		Alt. Elipsoidal (h): 68,38 m		$\delta(h)$: 0,044m	
LOCALIZAÇÃO					
					
Fotografia do vértice			Imagem Google Earth		
ITINERÁRIO					
De Porto Alegre chegando à cidade de Camaquã pela BR 116, entra-se a direita em direção ao Bairro Santa Marta pela Av. Bento Gonçalves, seguindo pela estrada municipal Bonito a Formoso por aproximadamente 04 Km, dobra-se a esquerda no pórtico de entrada da Barragem do Arroio Duro percorrendo por volta de 02 Km em estrada interior, após cruzar um talude asfaltado, e percorrer aproximadamente 140, marco estará a esquerda da estrada					
DESCRIÇÃO DO MARCO					
Marco de concreto de dimensões 12cmx8cmx60cm revestido de amarelo, com chapa identificadora metálica incrustada, exposto acima do solo aproximadamente 20 cm.					
Estações de Referências Utilizadas			Estações de Referências Utilizadas		
Porto Alegre-POAL \ Pelotas-RSPE			Marca-TOPCON \ Modelo-GR-3		
METODOLGIA DE PROCESSAMENTO					
Realizada pelo método Relativo Estático, tendo como bases o vértice a MRA_BRR01 e MRA_BRR02, foi processado o ajustamento global dos dados pelo Software TOPCON TOLLS V 8.2.3					
Dmg : 16,°19 W\ 0,16° por ano			Responsável: Equipe TCC \ UFRGS		

ANEXO 2 - TABELA COMPLETA DO LEVANTAMENTO (DADOS GNSS)

NOME	N	E	h	Std Dev N (m)	Std Dev E (m)	Std Dev h (m)	Std Dev Hz (m)
MRA_AUD01	6584000,31	422502,186	42,126	0,016	0,015	0,045	0,022
MRA_BRR01	6590012,432	419341,257	66,721	0,016	0,016	0,044	0,023
MRA_BRR02	6589925,672	419391,716	66,125	0,016	0,013	0,045	0,021
MRA_BRR03	6589858,186	419382,633	46,331	0,016	0,015	0,045	0,022
MRA_BRR04	6589820,843	419272,498	54,938	0,019	0,017	0,042	0,026
MRA_BRR05	6588671,99	418337,397	67,341	0,016	0,016	0,045	0,022
MRA_BRR06	6588607,364	418259,44	69,16	0,018	0,016	0,044	0,023
MRA_BRR07	6590110,051	419419,981	66,376	0,057	0,18	0,1	0,189
MRA_BRR08	6590232,212	419494,248	68,384	0,015	0,017	0,044	0,023
OC1	6588940,593	418654,665	51,257	0,034	0,229	0,067	0,231
OC2	6589035,931	418718,327	47,434	0,026	0,027	0,11	0,038
OC3	6589141,855	418773,116	46,225	0,069	0,151	0,104	0,166
OC4	6589243,962	418838,474	45,804	0,032	0,026	0,101	0,041
OC5	6589344,781	418902,094	46,185	0,054	0,126	0,084	0,138
OC6	6589447,022	418965,156	45,504	0,022	0,02	0,067	0,03
OC7	6589875,162	419195,516	57,32	0,438	0,936	0,624	1,033
OC8	6589517,518	419027,506	44,933	0,82	1,411	1,879	1,632
OC9	6589619,599	419091,817	45,167	0,028	0,025	0,074	0,037
OC10	6589916,178	419303,715	51,155	0,03	0,038	0,132	0,049
OC11	6589845,017	419349,208	42,27	0,032	0,022	0,059	0,039
OC12	6589802,694	419331,042	45,788	0,032	0,163	0,037	0,166
OC13	6589922,5	419391,752	67,207	0,012	0,013	0,047	0,017
OC14	6589839,465	419267,691	54,953	0,028	0,032	0,083	0,043
OC16	6589709,71	419048,593	65,505	0,025	0,123	0,075	0,126
OC15	6589909,45	419213,753	65,108	0,023	0,021	0,064	0,031
OC17	6589502,948	418918,53	65,605	0,038	0,031	0,136	0,049
OC18	6589234,569	418750,995	65,52	0,026	0,025	0,062	0,036
OC19	6589013,348	418612,987	65,479	0,016	0,016	0,046	0,023
CHAPA1	6589947,603	419229,768	64,931	0,024	0,028	0,047	0,037
CHAPA2	6589922,522	419186,281	65,146	0,03	0,025	0,026	0,039
CHAPA3	6589886,18	419152,166	65,072	0,03	0,033	0,029	0,045
CHAPA4	6589843,725	419125,544	65,027	0,025	0,022	0,025	0,033
CHAPA5	6589801,291	419098,969	65,067	0,034	0,022	0,031	0,04
CHAPA6	6589758,909	419072,493	65,077	0,023	0,023	0,029	0,032
CHAPA7	6589716,748	419046,09	65,136	0,028	0,025	0,027	0,038
CHAPA8	6589673,96	419019,325	65,147	0,033	0,034	0,029	0,047
CHAPA9	6589631,403	418992,68	65,144	0,025	0,033	0,029	0,041
CHAPA10	6589588,977	418966,041	65,109	0,024	0,027	0,033	0,036
CHAPA11	6589546,461	418939,485	65,19	0,027	0,034	0,021	0,043

CHAPA12	6589503,731	418912,765	65,21	0,034	0,025	0,028	0,042
CHAPA13	6589460,698	418885,85	65,247	0,029	0,026	0,031	0,039
CHAPA14	6589417,797	418858,959	65,234	0,024	0,033	0,022	0,041
CHAPA15	6589374,786	418832,092	65,196	0,023	0,034	0,02	0,041
CHAPA16	6589331,999	418805,333	65,191	0,026	0,032	0,034	0,041
CHAPA17	6589288,949	418778,397	65,146	0,021	0,023	0,021	0,031
CHAPA18	6589246,342	418751,733	65,104	0,026	0,027	0,033	0,037
CHAPA19	6589203,918	418725,147	65,106	0,029	0,03	0,021	0,041
CHAPA20	6589161,35	418698,586	65,053	0,025	0,031	0,026	0,04
CHAPA21	6589118,962	418672,04	65,065	0,024	0,029	0,027	0,038
CHAPA22	6589076,118	418645,218	65,02	0,034	0,028	0,03	0,044
CHAPA23	6589033,607	418618,643	65,007	0,027	0,032	0,02	0,041
CHAPA24	6588991,114	418592,045	64,963	0,031	0,025	0,031	0,039
CHAPA25	6588948,37	418565,205	64,936	0,029	0,023	0,023	0,037
CHAPA26	6588905,838	418538,731	64,794	0,033	0,028	0,021	0,043
CHAPA27	6588872,674	418517,965	65,073	0,032	0,029	0,026	0,043
CHAPA28	6588850,332	418504,015	66,161	0,024	0,021	0,029	0,032

ANEXO 3 – TABELA 9 COMPLETA

Estrutura principal

Nuvem de pontos				Pontos de controle				Discrepâncias		
Estrutura Principal										
P O N T O	N	E	h	N Ú M E R O	N	E	h	N	E	h
1	6589950	419336	53,97	87	6589950	419336	54,159	0,037	-0,027	-0,189
2	6589950	419337	53,942	74	6589950	419337	54,157	0,062	-0,032	-0,214
3	6589950	419336	53,551	84	6589950	419336	53,419	-0,01	0,063	0,132
4	6589950	419337	53,448	76	6589950	419337	53,752	-0,077	0,043	-0,303
5	6589950	419336	53,206	82	6589950	419336	53,059	-0,042	0,065	0,146
6	6589950	419337	53,221	78	6589950	419337	53,389	-0,04	0,012	-0,168
7	6589986	419320	65,129	21	6589986	419320	65,483	0,012	0,093	-0,354
8	6589985	419320	65,229	22	6589985	419320	65,488	-0,023	0,047	-0,258
9	6589982	419321	64,462	24	6589982	419321	64,629	-0,033	0,059	-0,166
10	6589982	419322	64,514	23	6589982	419322	64,649	-0,016	0,057	-0,135
11	6589908	419307	50,301	71	6589908	419308	50,474	-0,013	-0,040	-0,172
12	6589908	419308	50,297	70	6589908	419308	50,476	-0,022	-0,020	-0,179
13	6589916	419271	53,227	81	6589916	419271	53,48	-0,12	-0,034	-0,253
14	6589917	419271	54,026	77	6589917	419271	54,197	0,018	0,054	-0,170
15	6589917	419270	53,88	75	6589917	419270	54,186	0,048	0,044	-0,305
16	6589916	419270	53,219	83	6589916	419270	53,462	-0,097	-0,031	-0,243
17	6589881	419286	49,584	130	6589881	419287	49,778	-0,043	-0,054	-0,193
18	6589948	419254	64,562	148	6589948	419254	64,66	0,030	0,006	-0,098
19	6589948	419254	64,488	149	6589948	419254	64,643	-0,073	-0,054	-0,154
20	6589864	419294	48,087	96	6589864	419294	48,305	0,094	0,034	-0,217
21	6589787	419340	43,15	123	6589787	419340	43,311	-0,031	-0,039	-0,161
22	6589787	419330	44,426	115	6589787	419330	44,739	-0,08	-0,012	-0,312
23	6589923	419391	66,443	32	6589923	419391	66,591	-0,024	-0,088	-0,147
24	6589916	419394	66,422	33	6589916	419394	66,58	-0,017	-0,093	-0,158
25	6589992	419316	65,981	20	6589992	419316	66,003	-0,025	-0,084	-0,022
26	6589876	419288	48,666	126	6589876	419288	48,888	0,021	-0,052	-0,222
27	6589879	419290	48,693	124	6589879	419290	48,818	-0,009	-0,069	-0,125
28	6589881	419286	49,412	128	6589881	419286	49,787	0,04	-0,249	-0,375
29	6589863	419293	48,084	94	6589863	419292,7	48,491	-0,019	-0,093	-0,406
30	6589862	419298	46,787	97	6589862	419298,1	46,503	-0,019	0,043	0,283

Talude

Talude										
1	6589926	419392	65,861	4	6589926	419392	66,13	-0,118	0,175	-0,269
2	6589823	419165	54,156	13	6589823	419165	54,443	-0,115	-0,11	-0,287
3	6589823	419165	54,188	14	6589823	419165	54,445	-0,105	0,155	-0,257
4	6589766	419157	46,871	21	6589766	419157	47,056	0,152	0,164	-0,185
5	6589681	419106	45,97	31	6589681	419106	46,201	0,123	0,153	-0,231
6	6589662	419099	45,11	33	6589662	419099	45,266	0,147	0,152	-0,156
7	6589645	419087	45,068	34	6589645	419087	45,306	0,129	0,141	-0,238
8	6589628	419077	44,97	37	6589628	419077	45,179	-0,119	-0,113	-0,209
9	6589593	419056	44,641	40	6589593	419056	45,042	0,134	0,144	-0,401
10	6589576	419045	44,663	42	6589576	419045	45,018	0,141	0,162	-0,355
11	6589560	419034	44,57	43	6589560	419034	44,935	0,126	-0,102	-0,365
12	6589527	419013	44,756	47	6589527	419013	45,039	0,149	-0,116	-0,283
13	6589492	418992	44,509	51	6589492	418992	44,819	0,132	0,132	-0,31
14	6589493	418992	44,348	52	6589493	418992	44,784	0,145	0,158	-0,436
15	6589476	418982	44,412	54	6589476	418982	44,822	-0,1	0,134	-0,41
16	6589441	418959	44,898	57	6589441	418959	45,171	-0,103	-0,106	-0,273
17	6589426	418949	45,022	60	6589426	418949	45,296	-0,104	0,141	-0,274
18	6589409	418938	44,991	62	6589409	418938	45,391	-0,121	-0,102	-0,4
19	6589376	418915	45,754	64	6589376	418916	45,901	0,134	-0,105	-0,147
20	6589359	418905	45,625	67	6589359	418905	45,979	0,124	-0,106	-0,354
21	6589293	418859	46,97	73	6589293	418859	47,291	-0,108	0,125	-0,321
22	6589192	418796	46,618	83	6589192	418796	47,051	-0,055	-0,034	-0,433
23	6589175	418785	47,024	86	6589175	418785	47,304	-0,115	-0,119	-0,28
24	6589262	418770	65,608	94	6589262	418770	66,041	-0,102	0,144	-0,433
25	6589266	418763	65,806	96	6589266	418763	66,041	0,144	0,154	-0,235
26	6589473	418902	65,744	97	6589473	418902	66,004	0,123	-0,102	-0,26
27	6589477	418895	65,702	99	6589477	418895	66,105	0,125	-0,104	-0,403
28	6589687	419037	65,661	101	6589687	419037	65,971	0,155	0,149	-0,31
29	6589691	419030	65,58	104	6589691	419030	65,982	-0,109	0,124	-0,402
30	6589475	418999	44,539	113	6589475	418999	44,956	0,156	-0,113	-0,417

ANEXO 4 – TALUDE

ANEXO 5 - ESTRUTURA PRINCIPAL