



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES E
GESTÃO TERRITORIAL

Beatriz da Silva Kuhnen

Método e Técnica para obtenção da Curva Cota X Área X Volume (CAV)

Florianópolis

2020

Beatriz da Silva Kuhnen

Método e Técnica para obtenção da Curva Cota X Área X Volume (CAV)

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes de Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Transportes de Gestão Territorial.

Orientador: Prof. Dr. Lia Caetano Bastos

Coordenadora: Prof.^a Dr.^a Ana Maria Bencciveni Franzoni

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Kuhnen, Beatriz da Silva
Método e Técnica para obtenção da Curva Cota X Área X
Volume (CAV) / Beatriz da Silva Kuhnen ; orientador, Lia
Caetano Bastos, 2020.
131 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes e Gestão Territorial,
Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. I.
Bastos, Lia Caetano. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

Beatriz da Silva Kuhnen

Método e Técnica para obtenção da Curva Cota X Área X Volume (CAV)

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Ana Maria Benciveni Franzoni, Dra.

Instituição UFSC

Prof.(a) Liane Ramos da Silva, Dra.

Instituição UFSC

Prof. Nilzo Ivo Ladwig, Dr.

Instituição UNESC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia de Transporte e Gestão Territorial.

Prof.^a Ana Maria Benciveni Franzoni, Dra.

Coordenadora do Programa

Prof.^a Lia Caetano Bastos, Dra.

Orientadora

Florianópolis, 2020

Este trabalho é dedicado à minha família e a todos que de alguma forma estiveram presentes, me apoiando durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

É hora de eternizar os momentos vividos nestes últimos anos. Reconhecer as pessoas que fazem parte desta conquista, é um ato de amor.

Em primeiro lugar, agradecer à minha família, que mesmo não sendo perfeita é o meu bem maior.

À minha maravilhosa mãe Sonia da Silva, que foi a maior entusiasta deste trabalho, independente das dificuldades encontradas.

Aos meus irmãos, Juliana da Silva, Bruna da Silva Kuhnen e João Vitor da Silva Kuhnen, pelos incentivos e estarem sempre presentes, mesmo quando não percebiam.

As minhas queridas tias, Marlene Silva da Rosa e Janete da Silva, por terem me dado abrigo, em momentos difíceis.

A minha encantadora prima Alyne Rosa Gifford, por ser tão generosa e inspiradora, em qualquer situação.

Aos amigos, aquela família que a gente escolhe de fato. Aqui, em primeiro lugar, agradeço um amigo de décadas, Ricardo Urbano obrigada por todo o seu companheirismo, amor, carinho, afeto e credibilidade.

As minhas cativantes amigas do apartamento 401, Victoria Premoli e Suzana dos Santos da Rosa, me ensinaram a não ser uma pessoa de pouca fé.

As “meninas superpoderosas”, Andressa Ferreira Toledo, Cynthia Roberti Lima e Yasmin Silveira Fernandes, pelas trocas de experiências na área de cartografia, programação, recursos humanos e viagens. Vocês me ensinaram a importância de ser uma pessoa aclarada e de um abraço.

Não posso deixar de agradecer a esta universidade pela oportunidade e por ser um espaço que privilegia o conhecimento, onde todas as ideias são bem-vindas.

Aos meus grandes amigos do programa de pós-graduação, que vivenciaram a minha árdua jornada de trabalho e mestrado. Entre um aeroporto e outro, uma pesquisa sobre determinado tema, além de dúvidas compartilhadas e solucionadas juntos. Glaucia Vieira Pires, Vinicius Lazzaris Pedroso, Leandro Mondini, Jean Lucas Paes de Farias e Ivan Merêncio, obrigada por darem energias e forças nas horas mais difíceis, e claro por vibrarem juntos nas horas felizes.

A professora Lia Caetano Bastos, que aceitou o desafio do meu trabalho, me apoiou em todos os âmbitos e demonstrou amor pela docência.

Ao time da Visãogeo, em especial Rodrigo Amaral, Rafael Budnik, Marcelo Pereira e Klayton Pottmaier Martins, por acreditarem no meu potencial.

Ao time da Enel, com conexão Rio de Janeiro, Salvador, Recife e Chile, em especial Alexandre Miranda Andrade, Rodrigo Almeida de Sousa, Henrique Custódio Verçosa, Luiza Cardoso Pereira Giudice, Evellin Silva Correa, Flávia Senna Lessa, Pilar Angelica Briones e Ramiro Paulino Junior, por toda hospitalidade e confiança depositada em mim.

Espero honrar o conhecimento adquirido, podendo contribuir para uma sociedade mais justa e humana.

RESUMO

A disponibilidade hídrica é um tema de extrema importância para a gestão territorial nacional. Apesar do Brasil ser considerado um país privilegiado no que se refere ao percentual de água doce disponível, é notável a existência de crises no abastecimento ao longo dos anos. Diante disso, este trabalho tem como objetivo desenvolver um método para a obtenção das Curvas Cota X Área X Volume (CAV), a partir de levantamentos planialtimétricos por meio de perfilamento a laser e batimetria (monofeixe). Assim como, avaliar a consistência e precisão planialtimétrica dos produtos gerados, analisar se os produtos gerados atendem o padrão cartográfico exigido pela legislação vigente, validar o processo de integração dados altimétricos (batimetria + perfilamento a laser) e por fim, aplicar o método proposto nos reservatórios Jatobá II e Belo Jardim localizados na região nordeste do país. O método desenvolvido está de acordo com a Resolução Conjunta nº 03, de 10 de agosto de 2010, das Agências Nacionais de Energia Elétrica e de Águas, que determina que as Curvas CAV sejam revisadas a cada 10 anos, e caso necessário, antes deste período estabelecido. Como resultado deste trabalho, obteve-se de forma satisfatória a CAV dos reservatórios Jatobá II e Belo Jardim. No tocante aos dados referentes a levantamentos batimétrico e de perfilamento a laser constatou-se que os mesmos atendem a PEC-PCD classe A e apresentam resultados consistentes em relação aos dados já conhecidos dos reservatórios, validando o levantamento. Por fim, observa-se que além de atingir os objetivos propostos preliminarmente, a metodologia apresentada pode ser replicada para outros reservatórios.

Palavras-chave: Recursos hídricos; Perfilamento a Laser; Batimetria; Modelo Digital do Terreno.

ABSTRACT

Water availability is an extremely important issue for national territorial management. Although Brazil is considered a privileged country regarding the percentage of fresh water available, it is notable that there are supply crises over the years. Therefore, this work aims to develop a method to obtain the “Cota X Area X Volume” (CAV) curves, based on planialtimetric surveys using laser profiling and bathymetry (monofish). As well as evaluate the consistency and planialtimetric precision of the generated products, analyze whether the generated products meet the cartographic standard required by the current legislation, validate the altimetric data integration process (bathymetry + laser profiling) and finally apply the proposed method in the “Jatobá II” and “Belo Jardim” reservoirs located in the northeast of the country. The developed method complies with the Resolution No. 03, of August 10, 2010, of the National Electricity and Water Agencies, which requires that the CAV curves must be reviewed every 10 years or before this period, if necessary. As a result of this work, the CAV of the “Jatobá II” and “Belo Jardim” reservoirs was successfully obtained. According to the data related to bathymetric surveys and laser profiling, it was found that they meet the PEC-PCD class A and presents consistent results with the data already known from the dams, validating the survey. Finally, it’s important to notice that in addition to reaching the objectives proposed preliminarily, the presented methodology can be replicated for other reservoirs.

Keywords: Water resources; Laser profiling; Bathymetry; Digital Terrain Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Movimento de uma embarcação.	36
Figura 2 - Reflexão do primeiro e último pulso de retorno.	38
Figura 3 - MDS, obtido pelo primeiro retorno dos pulsos laser. Em (a) planta, (b) perfil e (c) visão perspectiva.	39
Figura 4 - MDT, obtido pelo último retorno dos pulsos laser. Em (a) planta, (b) perfil e (c) visão perspectiva.	39
Figura 5 - Representação de um MDT.	41
Figura 6 - Representação TIN (a) rede de triângulos irregulares, (b) superfície TIN.	42
Figura 7 - Localização da área do reservatório Jatobá II.	46
Figura 8 - Localização do reservatório Belo Jardim.	47
Figura 9 - Fluxograma das atividades.	48
Figura 10 - Apoio Geodésico do Reservatório Jatobá II.	50
Figura 11 - Apoio Geodésico do Reservatório Belo Jardim.	50
Figura 12 - Rede de Apoio Básico Planialtimétrico do Reservatório Jatobá II.	51
Figura 13 - Rede de Apoio Básico Planialtimétrico do Reservatório Belo Jardim.	52
Figura 14 - Pontos de Controles do Reservatório Jatobá II.	53
Figura 15 - Pontos de Controles do Reservatório Belo Jardim.	53
Figura 16 - Cobertura do Perfilamento a Laser do reservatório Jatobá II.	55
Figura 17 - Cobertura do Perfilamento a Laser do reservatório Belo Jardim.	55
Figura 18 - Linhas batimétricas do reservatório Jatobá II.	57
Figura 19 - Linhas batimétricas do reservatório Belo Jardim.	57
Figura 20 - Modelo Geoidal Local.	80
Figura 21 - MGL do reservatório Jatobá II.	81
Figura 22 - Validação do levantamento do reservatório Jatobá II.	86
Figura 23 - Validação do levantamento do reservatório Belo Jardim.	86
Figura 24 - Extração da CAV do reservatório Jatobá II.	88
Figura 25 - Extração da CAV do reservatório Belo Jardim.	88
Figura 26 - Apresentação dos dados MDT (erros altimétricos), reservatório Belo Jardim.	93
Figura 27 - Curva máxima do reservatório Jatobá II.	94
Figura 28 - Curva máxima do reservatório Belo Jardim.	94
Figura 29 - Corte do MDT, a partir do TIN do reservatório Jatobá II.	95

Figura 30 - Corte do MDT, a partir do TIN do reservatório Belo Jardim.....	95
Figura 31 - Imagem (.tif) gerada para a extração da CAV do Reservatório Jatobá II.....	96
Figura 32 - Imagem (.tif) gerada para a extração da CAV do Reservatório Belo Jardim	96
Figura 33 - Análise dos dados do MDT do reservatório Jatobá II	97
Figura 34 - Análise dos dados do MDT do reservatório Belo Jardim.....	100
Figura 35 - Apresentação dos dados extraídos do MDT, reservatório Jatobá II.....	103
Figura 36 - Apresentação dos dados extraídos do MDT, reservatório Belo Jardim.....	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplos de reservatórios com usos múltiplos.	27
Quadro 2 - Altimetria.	32
Quadro 3 - Planimetria	32
Quadro 4 - Movimentos de uma embarcação.	35
Quadro 5 - Nível da água na régua linimétrica do barramento do reservatório Jatobá II.	58
Quadro 6 - Nível da água na régua linimétrica do barramento do reservatório Belo Jardim. ...	58
Quadro 7 - Erro de fechamento do nivelamento do reservatório Jatobá II.	70
Quadro 8 - Erro de fechamento do nivelamento do reservatório Belo Jardim.	71
Quadro 9 - Data dos levantamentos planialtimétricos.	90

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1- Incerteza Vertical Total	59
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrão de exatidão cartográfica da planimetria dos produtos cartografia.....	45
Tabela 2 - Padrão de exatidão cartográfica da altimétrica dos pontos cotados e do MDT, MDE, MDS para a produção de produtos cartográficos	45
Tabela 3 - Memorial de cálculo do apoio básico planialtimétrico do reservatório Jatobá II – GNSS	60
Tabela 4 - Memorial de cálculo do apoio básico planialtimétrico do reservatório Belo Jardim – GNSS	62
Tabela 5 - Memorial de cálculo do apoio básico planialtimétrico do reservatório Jatobá II – GNSS – resultado final	63
Tabela 6 - Memorial de cálculo do apoio básico planialtimétrico do reservatório Belo Jardim – GNSS – resultado final	64
Tabela 7 - Memorial de cálculo do apoio básico suplementar do reservatório Jatobá II – GNSS	65
Tabela 8 - Memorial de cálculo do apoio básico suplementar do reservatório Jatobá II – GNSS – resultado final	66
Tabela 9 - Memorial de cálculo do apoio básico suplementar do reservatório Belo Jardim – GNSS	67
Tabela 10 - Memorial de cálculo do apoio básico suplementar do reservatório Belo Jardim – GNSS – resultado final	69
Tabela 11 - Controle de qualidade do levantamento batimétrico do reservatório Jatobá II	71
Tabela 12 - Controle de qualidade do levantamento batimétrico do reservatório Belo Jardim	73
Tabela 13 - Memorial de cálculo do reservatório Jatobá II – GNSS	76
Tabela 14 - Memorial de cálculo do reservatório Jatobá II – GNSS – resultado final	76
Tabela 15 - Controle de qualidade do perfilamento a laser do reservatório Jatobá II	77
Tabela 16 - Memorial de cálculo do reservatório Belo Jardim – GNSS	78
Tabela 17 – Memorial de cálculo do Reservatório Belo Jardim – GNSS – resultado final	78
Tabela 18 – Controle de qualidade do perfilamento a laser do reservatório Belo Jardim	79
Tabela 19 - Dados MGL do reservatório Jatobá II	82
Tabela 20 - Ondulação Geoidal reservatório Belo Jardim	84
Tabela 21 - Análise do arquivo vetorial integrado do reservatório Jatobá II	90
Tabela 22 - Análise do arquivo vetorial integrado do reservatório Belo Jardim	91

Tabela 23 - Estatística dos arquivos vetoriais integrados.....	92
Tabela 24 - Análise dos dados do MDT do reservatório Jatobá II.....	97
Tabela 25 - Análise dos dados do MDT do Reservatório Belo Jardim.....	100
Tabela 26 - Estatística dos arquivos vetoriais integrados.....	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAV	Cota x Área x Volume
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento do Vale São Francisco
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DTM	<i>Digital Terrain Model</i>
EP	Erro Padrão
ET-ADGV	Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
ET-CQDG	Especificação Técnica para o Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
HV	Apoio Suplementar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG	Informação Geográfica
IHO	<i>Internacional Hydrographic Organization</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
IVT	Incerteza Vertical Total
LaDAR	<i>Laser Detection and Ranging</i>
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
METAR	<i>Meteorological Aerodrome Report</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital do Terreno
MGL	Modelo Geoidal Local
MNT	Modelo Numérico do Terreno
NA	Nível d' Água
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico

PAP-PCD	Padrão de Acurácia Posicional para Produtos Cartográficos Digitais
PC	Ponto de Controle
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PEC-PCD	Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RRNN	Referências de Nível
SAR	Sistema de Acompanhamento de Reservatório
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	OBJETIVOS	22
1.1.1	Objetivos Específicos	22
1.2	JUSTIFICATIVA	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1	DISPONIBILIDADE E DEMANDA HÍDRICA	24
2.2	BARRAGENS E RESERVATÓRIOS	26
2.3	CURVA COTA X ÁREA X VOLUME.....	28
2.4	APOIO GEODÉSICO DE CAMPO.....	31
2.5	BATIMETRIA.....	34
2.6	PERFILAMENTO A LASER	37
2.7	REPRESENTAÇÃO DO RELEVO	40
2.8	CONTROLE DA QUALIDADE POSICIONAL.....	42
3	METODOLOGIA.....	46
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	46
3.1.1	Reservatório Jabotá II.....	46
3.1.2	Reservatório Belo Jardim	47
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.2.1	Levantamento do Apoio Geodésico de Campo	49
3.2.2	Levantamento do Perfilamento a Laser (parte seca do reservatório)	54
3.2.3	Levantamento da Batimetria (parte molhada do reservatório)	56
3.2.4	Validação e Análise dos Levantamentos.....	59
3.2.5	Modelo Geoidal Local.....	79
3.2.6	Integração dos Dados	85
3.2.7	Modelo Digital do Terreno e Poligonal de Corte	87

3.2.8	Extração e análises das Curva Cota X Área X Volume	87
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	90
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS....	
	105
5.1	CONCLUSÕES	105
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	105
	REFERÊNCIAS	107
	ANEXO A.....	113
	ANEXO B.....	117
	ANEXO C.....	120
	ANEXO D.....	121
	ANEXO E.....	122
	ANEXO F.....	124

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com maior disponibilidade de água no mundo, além de possuir uma extensa rede hidrográfica com grandes bacias, estima-se que o país possua cerca de 12% da disponibilidade de água doce do mundo, porém a distribuição destes recursos é desigual ao longo do território brasileiro. A região Norte, por exemplo, que concentra aproximadamente 80% da quantidade de água disponível, mas concentra apenas 5% da população brasileira. Em contraponto, as regiões próximas aos Oceano Atlântico possuem mais de 45% da população e menos de 3% dos recursos hídricos do país (ANA, 2019).

De acordo com o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2017), elaborado pela ANA, os reservatórios armazenam a água nos períodos úmidos, para garantir o atendimento de demandas contínuas nos períodos de seca. Infelizmente, fatores como a deficiência de investimentos na manutenção e operação nos reservatórios, associados com períodos de escassez de chuvas resultam nas crises hídricas.

De maneira geral, pode-se afirmar que os reservatórios com o passar do tempo alteram o seu relevo (profundidade) e conseqüente não condizem mais com o levantamento realizado inicialmente, tornando necessário a reavaliação dos mesmos (MATOS, 2012). França (2019) coloca que o aumento do assoreamento dos reservatórios reduz a capacidade de armazenamento de água, aumentando a influência do remanso a montante e da velocidade do fluxo d'água, até que se atinja um ponto em que a quantidade de sedimentos levada para dentro do reservatório se torne maior que a quantidade de saída.

As Curvas CAV resultam da combinação de dados provenientes de diversos levantamentos, sendo eles: Apoios Básico e Suplementar que envolvem a implantação de uma rede geodésica planialtimétrica de referência, a confecção de modelos geoidais locais (MGL's), levantamentos batimétricos e perfilamento a laser, e por fim da elaboração da modelagem do terreno (ANA, 2011).

No documento orientativo da Resolução Conjunta nº 03, de 10 de agosto de 2010, da ANEEL e da ANA, alguns procedimentos para o controle e monitoramento das alterações dos reservatórios são estabelecidos, cuja finalidade é efetuar a atualização das Curvas CAV. Além de procedimentos operacionais, o documento em questão prevê que a avaliação do processo de assoreamento de reservatórios deve ser realizada com uma periodicidade máxima de 10 anos.

Preocupados com a obtenção das Curvas CAV e objetivando avaliar o seu processo de assoreamento, diversos autores têm desenvolvidos pesquisas nessa área.

Brito (2013) estipula o nível de assoreamento do reservatório PCH Cachoeirão, por meio de informações do reservatório disponibilizadas por órgãos e empresa. Para determinar e extrair as Curvas CAV do reservatório, utiliza softwares de geoprocessamento e linguagens de programação para automatizar as gerações das curvas, sem detalhar o processo como um todo.

Minhoni (2013) estimou o assoreamento do reservatório PCH Pipocas, por meios de levantamentos batimétricos (metodologias diferentes) e levantamentos planialtimétricos dos reservatórios. Calculou e extraiu as Curvas CAV, por meio de softwares de geoprocessamento, sem utilizar linguagens de programação fazendo com que o processo seja mais trabalhoso e demorado.

Matos (2012) apresenta melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios, mediante ao desenvolvimento de uma ferramenta computacional. Observando que a grande maioria dos problemas de interpolação existentes nos modelos de reservatórios ocorrem perto da borda deles, o autor desenvolveu uma metodologia para a redução destes erros, chamada de Inserção de Malhas de Pontos. Através da metodologia é possível elaborar o Modelo Digital do Terreno (MDT) e extrair as Curvas CAV de forma automática.

Flores (2019) em seu trabalho faz a avaliação da estimativa de volume de reservatórios através de sensoriamento remoto utilizando dados dos satélites Landsat 8 e Sentinel-2B para a detecção dos reservatórios existentes através da metodologia de realce de bordas nas imagens e dados dos modelos digitais de terreno SRTM e ALOS PALSAR para a determinação dos volumes das áreas delimitadas. O trabalho apresenta bons resultados tanto para a identificação das áreas dos reservatórios quanto para a detecção do volume dos mesmos.

França (2019) apresenta uma análise dos dados batimétricos para os reservatórios das usinas hidrelétricas UHE Chavantes, UHE Água Vermelha, UHE Capivara, UHE Irapé e UHE Rio das Pedras. A partir de dados levantados com ecobatímetros multifeixe, o autor faz a simulação de diversos cenários comparando o espaçamento entre as seções levantadas com um equipamento monofeixe, concluindo que quanto maior o espaçamento entre as seções levantadas menor é a precisão do levantamento e conseqüentemente as diferenças de volume encontradas, em especial quando se tratam de reservatórios com topografia mais complexa.

Em função dos avanços tecnológicos, atualmente os levantamentos planialtimétricos são altamente densificados e precisos, com alcance a locais que em tempos pretéritos eram inacessíveis, bem como mais completos, trazendo maior confiabilidade.

Neste contexto, com evolução tecnológica que vivenciamos na atualidade, surge a possibilidade de utilizar dados espaciais mais precisos na geração de modelos digitais de terreno dos reservatórios e a para obtenção das Curvas CAV. Devido a isso, propõe-se utilizar para tal finalidade, levantamentos planialtimétricos de alta precisão, assim como levantamentos batimétricos e perfilamento a laser. Com intuito de melhorar os resultados na obtenção da CAV e otimizar a implementação de projetos futuros vinculados a gestão de recursos hídricos.

1.1 OBJETIVOS

Propor um método para determinação da curva Cota X Área X Volume.

1.1.1 Objetivos Específicos

De maneira a alcançar o objetivo geral descrito acima, os objetivos específicos listados abaixo se fazem necessários:

- a) Avaliar a consistência e precisão planialtimétrica dos produtos gerados;
- b) Analisar se os produtos gerados atendem o padrão cartográfico exigido pela legislação vigente;
- c) Validar o processo de integração dados dos altimétricos (batimetria + perfilamento a laser);
- d) Aplicar o do método proposto nos reservatórios Jatobá II e Belo Jardim.

1.2 JUSTIFICATIVA

Esse estudo é motivado pela necessidade, observada atualmente, de gerar informações precisas em relação aos reservatórios do Brasil, que favoreçam o desenvolvimento de políticas públicas benéficas a sociedade e em conformidade com a realidade local.

Nos últimos anos, a água não é pleiteada somente no que concerne às questões de quantidade, mas também às de qualidade. Isso se dá devido ao grande crescimento demográfico e econômico, principalmente em regiões densamente povoadas (áreas urbanas).

A indisponibilidade ou mesmo a escassez dos recursos hídricos, gera impactos diretos na qualidade de vida das populações sobre as atividades econômicas e industriais de uma sociedade.

De acordo com a ANA (2019) a falta de planejamento e investimentos em infraestrutura hídrica, saneamento básico e medidas institucionais, acarretam cenários de insegurança hídrica, como as que afetaram o Brasil nos últimos sete anos.

Dentro deste contexto, as Curvas CAV são apresentadas como um dos dados primordiais para o acompanhamento da vida útil de um reservatório. Estas curvas consistem no levantamento de dados espaciais, contendo as coordenadas planialtimétricas de todo o reservatório incluindo a área alagada. Com estes dados é possível calcular o volume do reservatório, além de permitir análises da disponibilidade hídrica, demanda e suporte a tomada de decisão por parte da gestão pública.

Diante do exposto, subentende-se, que é primordial o conhecimento da quantidade de água armazenada, e que a utilização de equipamentos e metodologias precisas para o cálculo das Curvas CAV apresenta-se como uma alternativa viável, desde que seja atualizada com regularidade. A metodologia apresentada destaca-se por fazer uso de levantamentos de alta previsão, gerando mais confiabilidade nos resultados em detrimento das demais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos do embasamento técnico científico a este estudo. Inicia-se com uma visão sobre a disponibilidade hídrica, uma passagem sobre aspectos importantes relacionados as legislações brasileiras dos recursos hídricos, conceitos referentes a batimetria, perfilamento a laser, modelo digital do terreno e resumos das normas técnicas vigentes.

2.1 DISPONIBILIDADE E DEMANDA HÍDRICA

A água é de fundamental importância, tanto para atividades cotidianas, como para o desenvolvimento econômico de um país, visto que a mesma possibilita a geração de energia, produção de alimentos e de produtos de consumo.

O Brasil possui cerca de 12% da água doce disponível no mundo. Este recurso encontra-se distribuído de forma irregular pelo território nacional, em decorrência de uma grande variedade de processos climatológicos que regulam a distribuição e a disponibilidade da água (TUNDISI, 2014).

De acordo com a ANA (2019), a precipitação média anual no Brasil é de 1.760 mm, variando de 500 mm/ano no Nordeste do Brasil a 3.000 mm/ano na região Amazônica. Os baixos índices de precipitação, a irregularidade, as temperaturas elevadas durante todo o ano e a baixa capacidade de armazenamento de água no solo, contribuem para os baixos valores de disponibilidade hídrica observados no Nordeste Brasileiro, em particular na região Semiárida e no Nordeste Setentrional, constituído pelos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

Conforme Santos et al. (2020) a região hidrográfica amazônica ocupa 45% do território brasileiro, sendo considerada a maior bacia do mundo, contribuindo com aproximadamente 83,5% da disponibilidade total de águas superficiais no Brasil. Entretanto, essa região abriga apenas 4,5% da população brasileira, ou seja, a demanda de água é menor do que nas demais regiões.

Segundo Tundisi (2014), a distribuição dos recursos hídricos subterrâneos no território nacional também ocorre de forma irregular. Uma vez que, existem região com grande disponibilidade de água, como o aquífero Guarani no Sul do Brasil, e regiões com pouca disponibilidade, como os aquíferos das rochas cristalinas no Nordeste.

De acordo com Santos et al. (2020), durante os anos de 2013 e 2014 uma intensa crise hídrica assolou a região Sudeste do Brasil, tendo como consequências prejuízos sociais, ambientais e econômicos para diferentes usuários de água.

Segundo ANA (2019), em 2018, os estados de Alagoas e Sergipe e a porção nordeste do estado da Bahia sofreram com um ano extremamente seco quando se trata de quantidade de chuva. Em Alagoas, cerca de 40 municípios tiveram emergências decretada por conta da seca reconhecida pelo Governo do Estado. No Estado de Sergipe, foram mais de 10 municípios na mesma situação. Esses dados contribuem para o aumento das incertezas sobre a real disponibilidade hídrica no Brasil.

Com base em elementos presentes na Constituição Federal de 1988 e da documentação da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Rio 92), instituiu-se e formulou-se a atual Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), com o propósito de melhoria de governança acerca dos recursos ambientais e na gestão dos recursos hídricos (IPEA, 2018).

O conhecimento de toda disponibilidade e fluxo de água no país, bem como a quantidade de água utilizada pelos diferentes usos, é essencial para o direcionamento de ações de planejamento, regulação e gestão nas bacias hidrográficas (ANA, 2017).

A relação entre as demandas pelo uso da água e a quantidade de água disponível servem de suporte à gestão da água, identificando as áreas críticas quanto à quantidade e/ou à qualidade da água, para orientar as ações de planejamento e gestão (ANA, 2017). São considerados de extrema importância em questões de planejamento e gestão dos recursos hídricos os modelos de chuva-vazão e de operação de reservatórios. Os modelos de operação de reservatórios são baseados em séries históricas, ou por meio de simulações da chuva relacionados a vazão representando matematicamente os fenômenos naturais (FILHO, 2012).

A compreensão dos baixos índices de precipitação e da dinâmica tendencial interanual da chuva ainda é imprecisa devido, aos poucos dados disponíveis (ANA, 2017). Além disso, a demanda por uso de água no Brasil é crescente, com aumento estimado de, aproximadamente, 80% do total retirado de água nas últimas duas décadas. A previsão é de que, até 2030, a retirada aumente mais 26% (ANA, 2019).

O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país. O desafio para se ter uma segurança hídrica, consiste em diferentes funções, inerentes das características regionais, sejam elas físicas, ambientais, econômicas, políticas e sociais. Contudo, o investimento em

infraestrutura na segurança hídrica deve ser priorizado, de forma a garantir maior capacidade de reserva e de acesso à água (PORTO e AZEVEDO, 2002; ANA, 2017).

2.2 BARRAGENS E RESERVATÓRIOS

Reservatórios artificiais são obras de infraestrutura que visam potencializar a disponibilidade hídrica superficial. As variações de precipitação são fenômenos comuns ano a ano, e costumam ser maiores em regiões como o semiárido do que na região Sudeste. Para amenizar os impactos das cheias e secas, são construídos reservatórios artificiais visando garantir a segurança hídrica das bacias hidrográficas. Além de armazenar água nos períodos úmidos, os mesmos podem liberar parte do volume armazenado nos períodos de estiagem, regularizando e diminuindo as flutuações sazonais das vazões (ANA, 2019).

Segundo a Lei n. 12.334, de 20 de setembro de 2010, que instituiu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), barragem é “qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas”. Essa mesma legislação define reservatório como “acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos” (BRASIL, 2010).

Para ANA (2018), as barragens são estruturas físicas que represam um curso de água. Já os reservatórios são o acúmulo de água resultante da construção dessas barragens. Contudo, a disponibilidade hídrica de grandes e pequenos reservatórios dependem das alterações climáticas. Quando acontecem mudanças climáticas muito drásticas a disponibilidade de água pode reduzir pela metade, fazendo que os pequenos reservatórios forneçam água estritamente para consumo humano (KROL, 2011).

Seja um reservatório de grande ou pequeno porte, os mesmos são utilizados para hidroeletricidade, reserva de água para possibilitar a irrigação, cultivo de peixes e pesca intensiva, hidrovias, recreação e turismo (ANA, 2013). Como pode ser visto no Quadro 1, alguns reservatórios brasileiros atendem a mais de um uso.

Quadro 1 - Exemplos de reservatórios com usos múltiplos.

Empreendimento	Uso do reservatório
Usina Hidrelétrica do Lobo	Inaugurada em 1936, com intuito de gerar energia elétrica para a população da região e para a indústria emergente. Porém, atualmente a principal de o uso para geração de energia está subordinada ao uso para o lazer.
Barragem do Fogareiro	Construída pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), no ano de 1996, em Quixeramobim (CE). Permitiu e normalizou o abastecimento d'água, bem como o desenvolvimento em maior escala da agricultura irrigada.
Barragem de Iguitu	Localiza-se no povoado de Iguitu, localizando-se a 32 km do município de Ibipecta (MG). Sua função é o aproveitamento múltiplo do reservatório para a irrigação e abastecimento de água.
Usina Hidrelétrica de Piraju	O lago da usina será aproveitado para atividades de turismo e lazer, como a pesca esportiva.
Usina Hidrelétrica Água Vermelha	Situa-se no rio Grande, entre os municípios de Guarani d'Oeste e Iturama (SP), é um projeto de aproveitamento múltiplo voltado para a geração de energia elétrica e a regularização de vazões.
Usina Hidrelétrica Nova Avanhandava	Localiza-se no rio Tietê, no município de Buritama (SP), iniciou sua operação em 1982. Além da geração de energia elétrica, é utilizada para navegação.

Fonte: Vilas Boas (2006).

Em se tratando de reservatórios, existem diversas regras de operação, as quais decidem a quantidade de água a ser armazenada e a quantidade a ser liberada em determinados períodos. A operação dos reservatórios consiste no acompanhamento da meteorologia, monitoramento de informações sobre os rios e o clima (ANA, 2013).

De acordo com ANA (2009) os cuidados primordiais a serem tomados na operação de um reservatório são:

- I. Realizar simulação do comportamento do reservatório;
- II. Consolidar as restrições operativas e ambientais do empreendimento relacionadas a:
 - a) Restrições operativas a montante e a jusante;
 - b) Condições operativas nos demais reservatórios da bacia;
 - c) Níveis d'água máximos e mínimos;
 - d) Deplecionamento e replecionamento e taxas de variação dos níveis d'água;
 - e) Tempo de residência do reservatório;
 - f) Vazões remanescentes.
- III. Avaliar os condicionantes impostos aos reservatórios a montante e a jusante do reservatório estudado, de forma a verificar os possíveis impactos nas condições de operação.
- IV. A abordagem metodológica, principalmente, em relação à vazão remanescente (ANA, 2009, p. 43-44).

De acordo com a ANA (2013), a variação de nível de água em um reservatório, ocorre quase sempre pelos comportamentos sazonais e naturais do regime de chuvas da região, que as

vezes pode sofrer influências antrópicas. O acompanhamento do nível da água, das vazões diárias afluentes¹ e defluentes², ocorre para o controle e planejamento de ações de decisão.

2.3 CURVA COTA X ÁREA X VOLUME

Normalmente, a capacidade de armazenamento de um reservatório e a área do seu espelho d'água são dadas por equações matemáticas que correlacionam aqueles parâmetros com a sua cota (ou nível). Essas equações matemáticas são comumente chamadas de curvas Cota X Área X Volume.

Os reservatórios são considerados como filtros de sedimentos, os quais, por sua vez, contribuem no processo de assoreamento dos mesmos. A relação da curva CAV é indispensável para a definição de normas operacionais de reservatórios, de análises de disponibilidade e demanda, além de ser utilizada para a determinação de volume de reservatórios, para controle de cheias e abastecimento de água (MATOS, 2012).

A resolução ANEEL, nº 396 de 04 de dezembro de 1998, estabeleceu em seu art. 2º as atualizações da curva CAV:

Os concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica deverão manter atualizadas as curvas de descarga das estações fluviométricas associadas aos aproveitamentos hidrelétricos, informando à ANEEL essas atualizações, bem como as curvas Cota-Volume dos reservatórios dos aproveitamentos (ANEEL, 1998, nº 396).

Em 10 de agosto 2010, na forma da Resolução Conjunta nº 03 a ANEEL e a ANA aprimoraram os instrumentos e normas estabelecidas. A curva CAV deve ser atualizada com levantamentos batimétricos com uma periodicidade máxima de 10 anos, podendo ser reduzida conforme a necessidade, como descrito a seguir:

Art. 8º Para as usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico, o processo de assoreamento do reservatório deverá ser avaliado com base na atualização das curvas cota-área-volume realizada pelo concessionário ou autorizado, da seguinte forma:

I. Para empreendimentos que, na data de publicação desta Resolução, estiverem em operação há oito anos ou mais, a atualização deverá ser feita no prazo de até 24 meses contados da data de publicação desta Resolução e, a partir da referida atualização, a cada 10 anos;

II. Para os demais empreendimentos não atingidos pelo inciso I, a atualização deverá ser realizada a cada 10 anos, contados a partir do início de sua operação comercial.

¹ Volume de água que entra no reservatório diariamente.

² Volume de água que sai do reservatório diariamente.

§ 1º A proposta do método e dos procedimentos a serem utilizados na atualização das curvas cota-área-volume deverá ser encaminhada previamente, pelo concessionário ou autorizado à ANA para avaliação.

§ 2º O concessionário ou autorizado deverá encaminhar à ANA, para avaliação, um relatório técnico detalhado contendo o método e os procedimentos utilizados, bem como as tabelas cota X área e cota X volume, e os respectivos dados eletrônicos e polinômios.

§ 3º Em casos excepcionais, a ANEEL, mediante fundamentação, poderá determinar que a avaliação do processo de assoreamento do reservatório seja realizada com periodicidade inferior a 10 anos.

Art. 9º Os dados e informações provenientes das estações hidrométricas e referentes às curvas cota - área - volume, objetos desta Resolução, serão disponibilizados pela ANA via Internet (ANEEL e ANA, 2010).

Em outubro de 2011, a ANA publicou as Orientações para Atualização das Curvas Cota X Área X Volume em complementação a referida Resolução Conjunta, estabelecendo orientações técnicas referentes aos levantamentos batimétricos, as distâncias entre as seções transversais, equipamentos utilizados e determinação da curva CAV pelo método de interpolação *Triangulated Irregular Network* (TIN). Em dezembro de 2013, a ANA publicou uma nova orientação na qual recomenda que as Curvas CAV, sejam elaboradas utilizando um método de interpolação adequado a geomorfologia do açude em estudo. Acredita-se que tal alteração seja em função da heterogeneidade morfológica dos reservatórios do Brasil.

Conforme a resolução conjunta da ANEEL/ANA, compete a ANEEL estabelecer os processos e condições as concessionárias autorizadas a geração de energia hidrelétrica para a instalação, operação e manutenção mantendo a qualidade da água, associado a aproveitamentos hidrelétricos. Evidenciando neste momento, que os reservatórios de abastecimento de água, não são citados no documento e que muitas das vezes não se possuem dados consolidados dos mesmos, tornando o tema bastante sensível para a gestão territorial e dos recursos hídricos.

E a ANA, assume a responsabilidade de orientar as concessionárias do setor elétrico, de forma que os arquivos sejam em formato compatível com o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), para atualizações dos reservatórios em tempo real.

Ainda, conforme o Artigo 8, do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e a Resolução Conjunta nº 03 de 2013 (ANA), os procedimentos a serem adotados para a atualização das Curvas CAV, deverão ser enviados previamente a ANA, atendendo o prazo mínimo de 4 (quatro) meses antes da data prevista para o levantamento, para avaliação da metodologia.

Na elaboração deste documento, deve ser considerado o período de chuva e seca da região, porque em se tratando de reservatórios de abastecimento de água, muitas vezes alguns pontos são inacessíveis.

Os materiais cartográficos dos reservatórios conforme as Orientações para Atualização das Curvas CAV de 2013 (ANA), devem atender no mínimo a escala 1:10.000 e o Padrão de Exatidão Cartográfica Digital da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais Planialtimétrico Classe B, o que atualmente são parâmetros muitos fáceis de serem atingidos, devido a evolução da tecnologia.

Em questões dos aspectos cartográficos, Orientações para Atualização das Curvas Cota X Área X Volume estabelecem três tipos de cenários cartográficos para os reservatórios. O primeiro cenário se consolida no reservatório tipo “A”, sendo aquele que não possui nenhum tipo de informação cartográfica, tanto da superfície terrestre ou submersa. Seguindo do reservatório tipo “B”, o qual possui somente da área molhada do reservatório e por terceiro e último o reservatório tipo “C”, que possui bases os levantamentos necessários e somente precisam de atualizações.

As Curvas CAV são obtidas a partir de uma rede de referência planialtimétrica, que se consolida na implantação de vértices para caracterizar o apoio geodésico planimétrico e altimétrico, o qual deve ter suas coordenadas planialtimétricas obtidas a partir do apoio geodésico planialtimétrico de 1º ordem (IBGE, 2017).

Com base no comportamento das ondulações geoidais locais, elabora-se o MGL, transformando as coordenadas altimétricas do referencial elipsoidal, também conhecidas como altitudes geométricas (h), para altitudes ortométricas (H).

A partir do MGL, se obtém as altitudes ortométricas dos pontos distribuídos ao longo das faixas de voo (dentro da área do açude), baseado em levantamentos com receptores *Global Navigation Satellite System* (GNSS) geodésicos e amarrados aos vértices dos Apoios Geodésicos (ANA, 2013).

O mapeamento da área molhada ocorre por meio de equipamentos denominados ecobatímetros de feixe único (monofeixe) ou de múltiplos feixes (multifeixe), que realizam a medição do tempo decorrido entre a emissão de um pulso sonoro, e a recepção do mesmo após ser refletido pelo fundo do corpo hídrico, amarrado a rede de referência planialtimétrica. A amarração ocorre por meio de um nivelamento geométrico de precisão partindo do RN até o posto de réguas do barramento, a medição do nível da água do reservatório pode ser realizada pela instalação de réguas linimétricas ao longo do reservatório, e/ou pelo monitoramento

realizado pela própria Concessionária do empreendimento, em todas as réguas existentes (ANA, 2013).

O mapeamento da área seca, pode ser realizado por topografia convencional, GNSS, restituição aerofotogramétrica, imageamento por satélite, interferometria radar ou perfilamento laser. O perfilamento a laser, realiza uma varredura da superfície do terreno abaixo da aeronave e registra a distância até o solo para cada um dos pulsos emitidos, amarrado a rede de referência planialtimétrica.

A partir dos levantamentos citados, integra-se os dados e gera-se o MDT da área total, bem como a extração das Curvas CAV do ponto mais fundo do reservatório até a sua cota de sangria.

Em outras palavras, este método de obtenção da Curva CAV baseia-se em dados provenientes de diferentes técnicas de levantamento de alta precisão (apoio básico e suplementar, modelos geoidais locais, levantamentos batimétricos e perfilamento a laser), que servem de base para elaboração do MDT da área total dos reservatórios, através do qual se realizará a extração das Curvas CAV.

2.4 APOIO GEODÉSICO DE CAMPO

Conforme o IBGE (2020), as redes geodésicas consistem em conjuntos de estações denominadas estações SAT, estações doppler, estações poligonais e vértices de triangulação, que materializam as componentes planimétricas e planialtimétrica. Já a rede altimétrica é formada por referências de nível, que materializam a componente altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), a partir de medições de nivelamento geométrico de alta precisão.

O apoio geodésico de campo (conhecido também como rede de apoio básico) consiste na avaliação e/ou implantação da rede de referência planialtimétrica (apoio geodésico planimétrico e altimétrico de 2º ordem), cujas coordenadas são obtidas a partir de levantamentos geodésicos de alta precisão. Nos Quadros 2 e 3, são abordados os tipos de apoio geodésico com detalhes, adotando as normas técnicas do IBGE nº 22 de 21/07/83 e NBR 13.333.

Quadro 2 - Altimetria.

Apoio geodésico altimétrico de 1º ordem	Apoio geodésico altimétrico de 2º ordem	Apoio geodésico altimétrico suplementar
Conjunto de referências de nível (RRNN) materializadas no terreno, distribuídas aleatoriamente no território nacional, pertencentes ao SGB, as quais proporcionam aos levantamentos terrestres ou espaciais o controle altimétrico, referenciando-os ao seu sistema de referência (datum) altimétrico.	Pontos materializados no terreno, com altitudes obtidas a partir de pontos do Apoio Geodésico Altimétrico de 1º Ordem, servindo de suporte altimétrico aos levantamentos aerofotogramétricos e batimétricos como referência de nível	Conjunto de pontos foto-identificáveis nas imagens aéreas úteis no processo de aerotriangulação, não necessariamente materializados em campo, cuja coordenada altimétrica é obtida a partir de pontos do Apoio Geodésico Altimétrico de 1º ou 2º Ordem, ou ainda de um MGL implantada nas áreas de interesse.

Fonte: Adaptado ANA (2018).

Quadro 3 - Planimetria

Apoio geodésico planimétrico de 1º ordem³	Apoio geodésico planimétrico de 2º ordem	Apoio geodésico planimétrico suplementar
Pontos materializados no terreno, distribuídos aleatoriamente no território nacional, com coordenadas obtidas geodesicamente, pertencentes SGB, os quais proporcionam aos levantamentos terrestres ou espaciais o controle posicional, referenciando-os ao seu sistema de referência (datum) planimétrico. Nesse projeto adotar-se-á como sistema de referência planimétrico.	Conjunto de pontos materializados no terreno, com coordenadas cartesianas X e Y, ou geográficas, obtidas a partir de pontos do Apoio Geodésico Planimétrico de 1º Ordem, com a finalidade de servir de base planimétrica ao levantamento cartográfico dos açudes.	Conjunto de pontos foto-identificáveis nas imagens aéreas úteis no processo de aerotriangulação, não necessariamente materializados em campo, cujas coordenadas planimétricas são obtidas a partir de pontos do Apoio Geodésico Planimétrico de 1º ou 2º Ordem.

Fonte: Adaptado ANA (2018).

³ Os vértices da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (ou do apoio geodésico planimétrico de 1º ordem) que poderão ser empregados nas atividades de apoio geodésico de campo são apenas os do tipo SAT-GPS ou os pertencentes à RBMC/RIBAC.

Os critérios para amarração dos marcos do apoio geodésico de 2º ordem ao sistema planimétrico do IBGE de 1º Ordem devem ser como segue:

- I. Emprego de Rastreadores geodésicos GNSS de dupla frequência;
- II. GDOP/PDOP inferior a 4;
- III. Horizonte mínimo de rastreamento (máscara de elevação): 15°;
- IV. Número mínimo de satélites rastreados simultaneamente durante o tempo de observação: 6;
- V. Tipo de solução de ambiguidade: fixo;
- VI. Altura da antena: fixa em 2 metros (exceto nos marcos com pino de centragem forçada);
- VII. Taxa de gravação dos dados máxima de 15 segundos;
- VIII. Linhas de base com comprimento inferior a 50 km;
- IX. Tempo de ocupação superior a 4 horas;
- X. Implantação de no mínimo 2 vértices sobre o barramento do açude (IBGE, 2008).

Para o nivelamento geométrico aplica-se os critérios básicos para obtenção conforme indicado no Termo de Referência, na Resolução da Presidência do IBGE nº 22 de 21/07/83 e na NBR 13.133, tais como:

- I. Caminhamento realizado de forma dupla (nivelamento e contranivelamento), na qual a diferença dos resultados de ambos não pode ser superior a $3\text{mm}\sqrt{K}$ (onde K corresponde à distância nivelada média dada em quilômetros);
- II. Realizar visadas iguais e inferiores a 60m, com erro na equidistância de ré e de vante inferior a 5% do comprimento total do lance;
- III. Realizar leituras com miras verticalizadas sobre as RRNN ou sobre os pontos de passagem, sendo empregado para tal um nível de cantoneira;
- IV. Realizar leituras acima de 0,50m do solo, evitando turbulências causadas pela reverberação;
- V. Realizar leituras abaixo de 3,5m na mira para evitar a falta de verticalidade da mesma decorrente do efeito do vento;
- VI. Utilizar sempre miras aos pares e alternando-as entre ré e vante, eliminando o erro de índice entre réguas;
- VII. Apoiar sempre as miras sobre sapatas ou pinos; e
- VIII. Utilizar ponto de segurança (PS) a aproximadamente 1km ou, em situações desfavoráveis, diminuir esse espaçamento.

Para o apoio geodésico suplementar, as determinações das coordenadas geodésicas devem ser obtidas a partir de pontos foto-identificáveis, distribuídos geometricamente ao longo da área a ser mapeada. O quantitativo dos pontos deverá ser o mínimo necessário para atingir os padrões de exatidão cartográfica. Os pontos deverão coincidir com cantos de cercas, casas, muros, esquinas de ruas, evitando-se áreas de grande declividade ou excessivamente claras e escuras.

A determinação das coordenadas geodésicas dos pontos do apoio suplementar deverá ser realizada empregando-se receptores GNSS, obedecendo as seguintes técnicas, a saber:

Deverão ser formadas linhas de base com comprimento inferior a 25 km, tomando-se como ponto de referência vértices do Apoio Geodésico Planimétrico de 1° ou 2° Ordem;

As altitudes ortométricas deverão ser determinadas levando em consideração as informações dos Modelos Geoidais Locais a serem confeccionados pela Contratada; Os levantamentos deverão ser executados empregando-se receptores GNSS de dupla frequência, com ocupação mínima de 20 (vinte) minutos, empregando-se o método rápido-estático relativo, taxa de gravação de 5 (cinco) segundos ou menor, PDOP inferior a 5 (cinco) e rastreamento simultâneo de no mínimo 6 (seis) satélites naquele período;

Os receptores GNSS a serem empregados nesse processo deverão garantir a precisão nominal mínima de 5 mm + 1 ppm;

No pós-processamento dos dados coletados em campo, as ambiguidades da fase da onda portadora deverão ser resolvidas (ou fixadas) e as coordenadas geodésicas do Apoio Geodésico Planimétrico de 1° ou 2° Ordem injuncionadas (Adaptado ANA, 2018).

2.5 BATIMETRIA

A palavra batimetria é oriunda da língua grega, onde “*bathus*” significa profundo e “*metron*” medida, que se consolida em medida de profundidade (GAGG, 2016).

Em se tratando de batimetria, em virtude das diversas finalidades dos recursos hídricos e escalas de levantamentos, a normativa da *Internacional Hydrographic Organization* (IHO) categoriza em padrões de qualidade e precisão os levantamentos batimétricos. O Brasil é representado nessa organização pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN), a qual faz uso das especificações técnicas do IHO nos seus levantamentos hidrográficos.

Os levantamentos batimétricos são realizados para determinar as profundidades da água (z) de um corpo hídrico nas respectivas coordenadas planimétricas (x,y), a fim de representar o relevo de fundo do mesmo e no caso de reservatórios determinar os volumes hídricos atual e disponível (PEREIRA e BARACUHY, 2008).

Para as profundidades em águas rasas, existem tendências de se utilizar o sensoriamento remoto para a obtenção da cota estimada. Em se tratando das demais obtenções das cotas de fundo, existem formas diretas como o uso de prumo de mão, máquina de sondar e estadias ou de formas indiretas, com uso de ecobatímetros monofeixe (*singlebeam*) ou multifeixe (*multibeam*) (KRUG e NOERNBERG, 2005; RIBEIRO et al., 2008).

A batimetria utiliza propriedades relativas à propagação das ondas acústicas, que por meio da água e equipamentos batimétricos podem produzir repetidamente pulsos acústicos com alta precisão (FONSECA, 2012).

O ecobatímetro se baseia na emissão de um feixe de ondas sonoras, transmitidas verticalmente por um emissor instalado na embarcação (chamado de transdutor), o qual são refletidos na superfície de fundo dos corpos hídrico e os seus retornos (ou ecos) devidamente captados por um receptor (hidrofonos) (RIBEIRO et al., 2008).

O objetivo do ecobatímetro nada mais é que medir, de forma acurada, a distância entre o transdutor e o leito do corpo hídrico, determinando assim as profundidades por meio do conhecimento da velocidade de propagação do som na água e a mensuração do tempo de retorno do eco refletido (ROBIN, 2007).

Os movimentos a serem considerados de uma embarcação durante a execução de uma sondagem batimétrica são os de translações e rotações ao longo dos eixos coordenados tridimensionais, conforme descrito no Quadro 4 e apresentados visualmente na Figura 1.

Quadro 4 - Movimentos de uma embarcação.

Eixo	Translação	Rotação
X: eixo ao longo da embarcação, sendo positivo no sentido de sua navegação.	<i>Surge</i> : translação ao longo do eixo longitudinal (X) da embarcação de sondagem.	<i>Roll</i> : rotação em torno do eixo longitudinal da embarcação.
Y: eixo transversal à embarcação, sendo positivo no sentido de bombordo (à esquerda do sentido de navegação).	<i>Sway</i> : translação ao longo do eixo transversal (Y) da embarcação.	<i>Pitch</i> : rotação em torno do eixo transversal da embarcação.
Z: eixo vertical, positivo para o alto da embarcação.	<i>Heave</i> : translação no eixo vertical (Z) da embarcação.	<i>Yaw</i> : rotação em torno do eixo vertical da embarcação.

Fonte: Paulo e Holmes (2011).

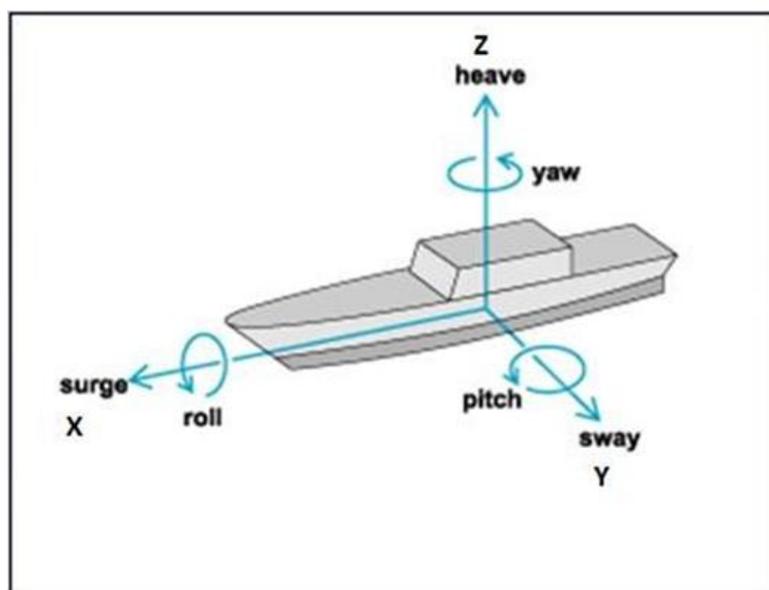


Figura 1 - Movimento de uma embarcação.
Fonte: Paulo e Holmes (2011).

As três rotações (*roll*, *pitch* e *yaw*) descrevem a altitude da embarcação durante a sondagem. O ângulo *yaw* também é conhecido na literatura como *heading* (rumo). As demais rotações *roll* e *pitch*, na batimetria monofeixe são importantes somente quando os ângulos forem superiores à metade da largura do feixe acústico emitido pelo transdutor. Desta forma, se desconsidera as rotações quando não atingem esses se tornando interessantes somente para a batimetria multifeixe (IHO, 2005).

Os ecobatímetros monofeixe registram a profundidade por meio de um único pulso acústico por vez, emitindo assim pulsos de forma contínua, que resultam em linhas ou seções batimétricas (IHO, 2005). A superfície a ser mapeada na batimetria de monofeixe normalmente é dividida em uma malha de linhas equidistantes de forma conveniente ao levantamento a ser realizado.

Os levantamentos batimétricos mais comumente utilizados nos reservatórios são executados através de equipamentos monofeixe e o levantamento é feito através de linhas topobatimétricas. A vantagem deste método é a rapidez que se tem para a execução do levantamento, porém apresenta uma precisão menor em comparação com os equipamentos multifeixe. O levantamento é executado através de linhas transversais e longitudinais no corpo principal e braços do reservatório. Quanto menor o espaçamento entre estas seções, maior será a precisão do levantamento (FRANÇA, 2019).

O ecobatímetro multifeixe, permite mapear em uma grande quantidade de pontos o leito de um corpo hídrico com um único pulso, que é emitido por múltiplos feixes, constituído,

geralmente, por faixas de pontos na direção perpendicular à navegação (para ambos os lados), permitindo levantar faixas extensas, que variam de acordo com a profundidade do fundo do leito (SILVEIRA, 2004).

Os ecobatímetros multifeixes possuem uma densidade de pontos muito maior quando comparada aos dados de monofeixe, pelo intuito de produzir medidas mais acuradas de profundidades em larga escala dos inúmeros pulsos acústicos emitidos simultaneamente que realizam uma varredura completa do fundo do corpo hídrico. Neste tipo de levantamento, para uma maior eficiência na cobertura da região em estudo, adota-se normalmente linhas de sondagem paralelas à isóbatas, ou seja, no sentido longitudinal do talvegue (SEABEAM INSTRUMENTS, 2000).

2.6 PERFILAMENTO A LASER

A tecnologia *Light Detection and Ranging* (LiDAR), também conhecido *Laser Detection and Ranging* (LaDAR), Sistema de Varredura a Laser ou de Perfilamento a Laser são utilizados como sinônimos na literatura (WEHR e LOHR 1999; SIEPMANN, 2006; CENTENO e MITISHITA, 2007; COELHO e VARGAS, 2007; SILVA e RIBAS, 2007).

O LiDAR consiste em um sistema ativo de Sensoriamento Remoto (SR) capaz de obter as coordenadas tridimensionais (x,y,z) dos objetos de maneira rápida, precisa, eficaz e segura, através da geração, emissão e captura de pulsos conhecido por *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) integrados com dados do sistema de posicionamento *Global Navigation Satellite System*⁴ e do sistema de navegação *Inertial Measurement Unit* (IMU) (WEHR e LOHR, 1999; BALTSAVIAS, 1999; BRANDALIZE, 2001).

De acordo com Nogueira (2009) o Laser é um sensor ativo⁵ destinado para medir distâncias, e assim gerar dados de altitude dos elementos da superfície.

O recobrimento a laser da superfície terrestre é realizado por um conjunto de diversas faixas de voo, sendo que o sistema de gerenciamento do perfilamento executa a integração dos dados provenientes dos receptores GNSS, do sistema inercial IMU e do LASER. Durante este

⁴ Possibilita determinar a posição tridimensional (x,y,z) em qualquer lugar da Terra, em relação a um sistema de coordenadas geodésicas predefinido. Integrado por três sistemas individuais: o norte-americano *Navigation System with Timing and Ranging/Global Positioning System* (NAVSTAR/GPS), o russo *Globalnaya Navigatsionnyya Sputnikkovaya Sistem* (GLONASS), e o europeu GALILEO (SILVA e SEGANTINE, 2015).

⁵ Fornece a energia para imagear (SANTOS, 2013).

processo, ocorre um acúmulo de erros sistemáticos e aleatórios que resultam em desalinhamentos angulares e lineares, influenciando na qualidade dos dados. Porém, estes podem ser tratados e removidos no momento do ajustamento das faixas (DRESCH e SANTOS, 2015).

Uma das características deste sistema é a medição do primeiro e do último retorno de cada pulso, como pode ser visto na Figura 2. No ponto mais próximo ao sensor Laser (alvo)⁶ ocorrerá um retorno mais rápido conhecido como *first pulse* (ou primeiro retorno). Já no ponto mais distante, normalmente determinado pelo solo, o retorno do sinal será mais demorado, constituindo, portanto, o último retorno (FALAT, 2008).

O conjunto de pontos consiste em uma “nuvem”, em que a distribuição ocorre a partir do padrão de varredura utilizado. Os pontos são classificados conforme a elevação, identificando os pontos do terreno e os pontos de vegetação ou edificações (BRANDALIZE, 2001).

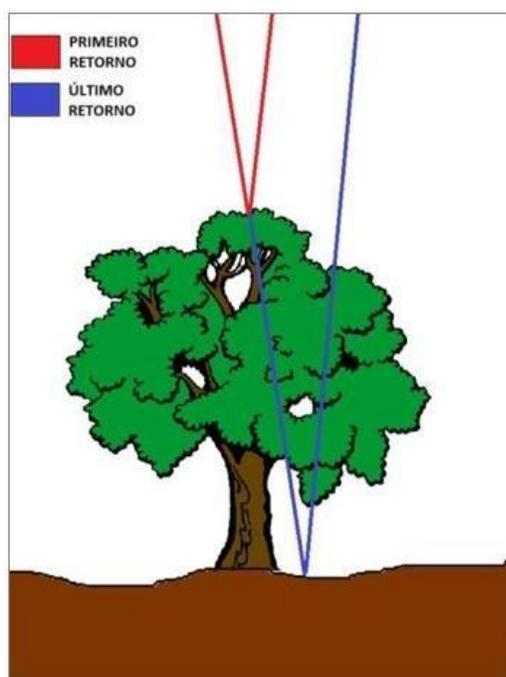


Figura 2 - Reflexão do primeiro e último pulso de retorno.
Fonte: Faria (2017).

Utilizando os dados do primeiro retorno é possível obter o Modelo Digital de Superfície (MDS), ou seja, a representação da superfície terrestre com todos os objetos nela

⁶ Normalmente esses alvos são telhados, monumentos e copa de árvores.

presentes (como edifícios, casas, árvores, entre outros), como exemplificado na Figura 3. Ao considerar apenas os pontos do último retorno é possível obter o Modelo Digital de Terreno (MDT), correspondente ao modelo da superfície terrestre, conforme apresentado na Figura 4 (FARIA, 2017).

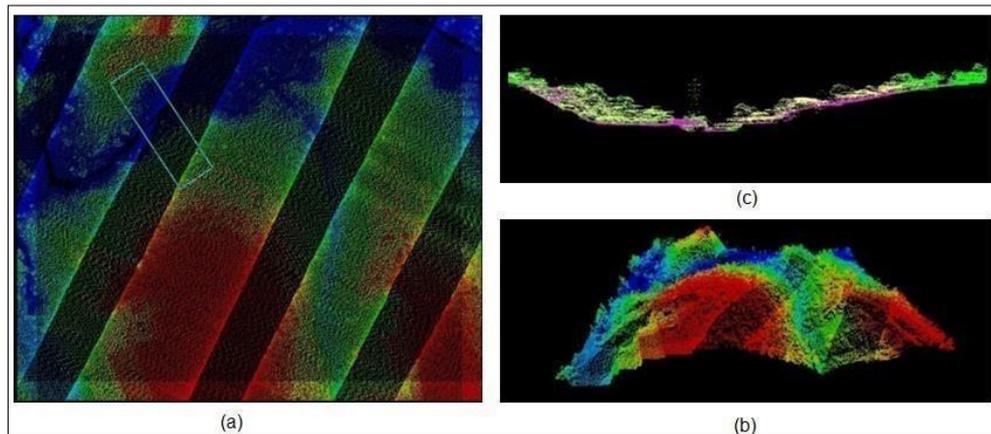


Figura 3 - MDS, obtido pelo primeiro retorno dos pulsos laser. Em (a) planta, (b) perfil e (c) visão perspectiva.

Fonte: Prodabel, (2008) apud Faria (2017).

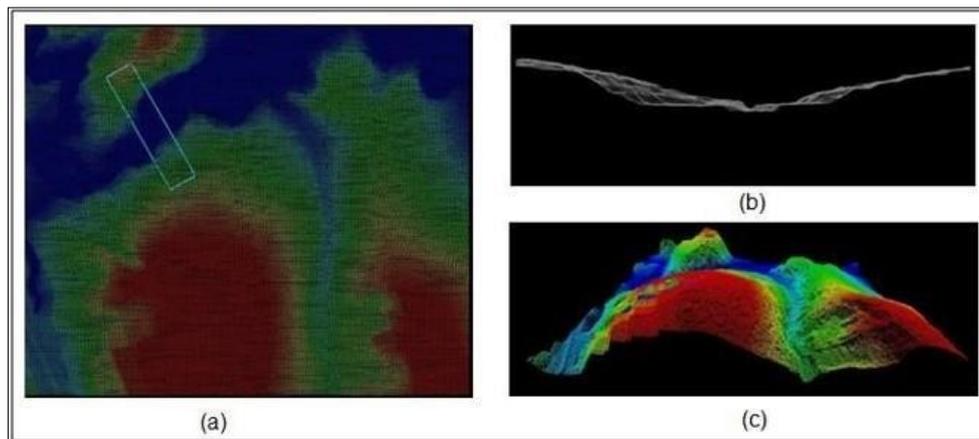


Figura 4 - MDT, obtido pelo último retorno dos pulsos laser. Em (a) planta, (b) perfil e (c) visão perspectiva.

Fonte: Prodabel, (2008) apud Faria (2017).

2.7 REPRESENTAÇÃO DO RELEVO

Um *Digital Terrain Model* (DTM), ou Modelo Numérico de Terreno (MNT) ou ainda Modelo Digital de Terreno⁷ consiste em uma representação real do terreno por cálculos matemáticos computacionais distribuídos espacialmente dentro de uma região da superfície do terreno (EGG, 2012; SILVA e SEGANTINE, 2015).

Os modelos digitais de superfície e de elevação foram desenvolvidos há cerca de 60 anos nos EUA, para subsídio aos projetos de transportes. Hoje em dia, são empregados nos mais variados ramos da engenharia, os quais utilizam as informações do relevo, bem como o traçado das curvas de nível, cálculo de volumes, mapas de declividades, dentre outros (BRASINGTON et al., 2000; BRASINGTON et al., 2003; SILVA e SEGANTINE, 2015).

Para Silva e Segantine a aquisição de dados tridimensionais confiáveis para a confecção de um MDT é fundamental de modo que eles correspondam integralmente a superfície real do terreno. Entre técnicas de levantamento que permitem tais aquisições destaque-se:

- I. Nivelamento Geométrico;
- II. Nivelamento Trigonométrico;
- III. Nivelamento a partir da tecnologia GNSS;
- IV. Escaneamento terrestre;
- V. Escaneamento aéreo LIDAR ou RADAR;
- VI. Malhas de pontos gerados a partir de técnicas aerofotogramétricas manuais ou por correlação automática de imagens e;
- VII. Digitalização de documentos cartográficos (SILVA e SEGANTINE, 2015).

A qualidade do MDT é fundamental para garantir bons resultados e influenciar simulações e acurácia dos volumes de armazenamento estimados (FULLER et al., 2005; MILAN, 2009).

Além do exposto, a qualidade dos MDT's é afetada pela densidade de amostragem, distribuição espacial, agrupamento das amostras pelo tipo de superfície, dados de variância, normalidade dos dados, qualidade das informações secundárias, estratificação, tamanho da grade ou resolução, e interações entre os diferentes fatores (LI, 1990; LI, 1992; BRANDELIZE, 2001; LI e HEAP, 2010).

O MDT geralmente é representado como uma matriz de quadrados regulares (*raster*) ou como uma rede de triângulos irregulares. Na Figura 5 são apresentados respectivamente, um

⁷ Adotaremos neste trabalho o termo MDT.

terreno real (a), e as possíveis representações MDT para o mesmo com grades regulares (b) e com TIN (c) (CAMERA, 1998 apud LADEIRA, 2013).

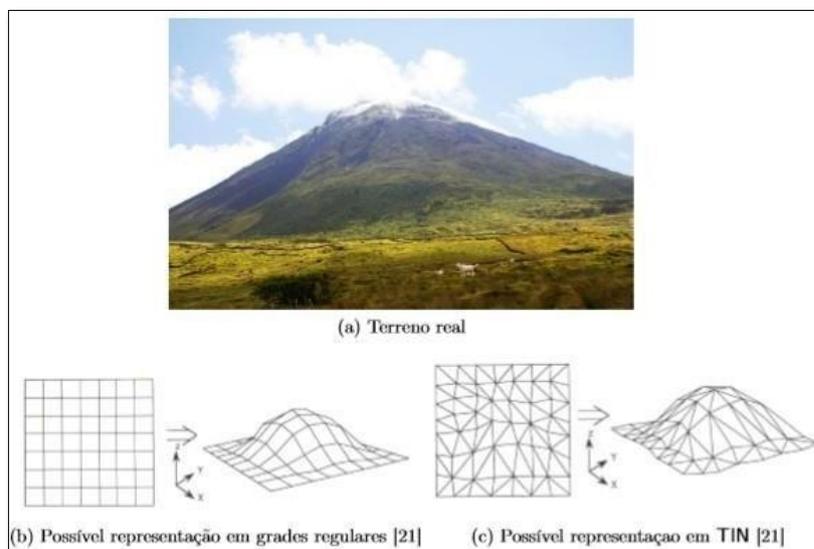


Figura 5 - Representação de um MDT.
Fonte: Câmera, (1998) apud Ladeira (2013).

Na estruturação dos dados triangulares, como o próprio nome indica os pontos (ou vértices) são unidos de 3 a 3, formando triângulos. Este processo de formação é conhecido na literatura como *Triangulated Irregular Network*. Segundo Silva e Segantine (2015), para que a formação de triângulos seja consistente na elaboração da superfície modelada, dever ser considerado:

- I. Para cada conjunto de pontos o TIN gerado deve ser único;
- II. A forma geométrica dos triângulos deve ser otimizada para que cada um deles seja o mais equilátero possível; e
- III. Cada triângulo é formado pelos vizinhos mais próximos, de tal forma que a soma dos três lados deve ser a mínima possível (SILVA e SEGANTINE, 2015).

A modelagem TIN (Figura 6) está baseada em uma estrutura de dados vetoriais, em forma de triângulos não sobrepostos, que representa uma superfície terrestre. Existem muitos métodos de obtenção da superfície TIN, dentre os quais destaca-se o *Constrained Delaunay*⁸ *Triangulation*, que busca determinar triângulos equiláteros com os menores ângulos internos possíveis. Para muitos autores, a modelagem TIN é considerada como a melhor metodologia

⁸ Permite que os dados de entrada utilizados para gerar o TIN sejam preservados como nós e arestas dos triângulos de representação, possibilitando manter a precisão dos dados de entrada e simultaneamente modelar os valores entre os pontos conhecidos.

de modelagem, para a determinação e identificação de drenagens e divisores de água, bem como a materialização do fundo de reservatórios (GOODCHILD, 1995; FELGUEIRAS, 1998; EASTMAN, 2001; MATOS, 2012).

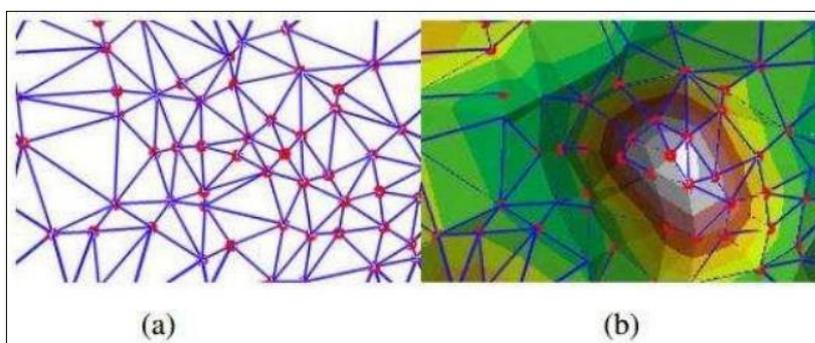


Figura 6 - Representação TIN (a) rede de triângulos irregulares, (b) superfície TIN.
Fonte: Oliveira (2011).

2.8 CONTROLE DA QUALIDADE POSICIONAL

Os dados espaciais são utilizados diariamente para diversas finalidades, para tanto estes dados necessariamente precisam estar compatíveis não só com as necessidades, mas também com a escala e qualidade. Dentre os fatores que determinam a qualidade de um MDT, estão as especificações técnicas e a fidedignidade do produto com a realidade da superfície terrestre (EGG, 2012).

As diretrizes cartográficas no Brasil foram elaboradas a partir do Decreto-Lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967.

Em 1984, foi instituído o Decreto nº 89.817 que estabeleceu as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira. O Artigo 8º deste documento determinou que o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e Erro Padrão (EP), como um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que definiria a exatidão dos trabalhos cartográficos.

Em 2008, por meio do Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008 institui-se a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

Em decorrência de novos métodos e tecnologias, a Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) publicou em 2010 a Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), estabelecendo um Padrão de Exatidão Cartográfica destinado a atender os Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) (CONCAR, 2010).

A PEC-PCD (Tabela 1 e 2) estabelece que 90% dos pontos levantados no produto cartográfico, devem estar homólogos a fonte de maior precisão, ou seja para que o levantamento esteja enquadrado na PEC-PCD, as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos homólogos, devem estar entre os valores iguais ou inferiores de erro máximo (EM) e de erro padrão (EP) previstos para cada produto, dentre os 90% dos pontos examinados.

Quanto a precisão dos dados levantados, diferenças ou erros relação a planimétrica ou altimetria podem acarretar diferenças significativas na extração final de áreas ou volumes, o que, considerando o tema do trabalho é de extrema importância.

Já em 2016, foi constituída a Especificação Técnica para o Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG), em conformidade com as normas abaixo (CONCAR, 2016).

a) estabelece os princípios para descrever a qualidade dos dados geográficos (ISO 19157:2013).

b) define esquemas de amostragem indexados pelo limite de qualidade aceitável para inspeção lote a lote (ISO 2859-1:1999).

c) define planos de amostragem indexados pela qualidade limite para inspeção de lotes isolados (ISO 2859-2:1985).

De acordo com a ET-CQDG e a ISO 19157, a qualidade do dado pode ser classificada em:

a) Informação não quantitativa da qualidade: são informações que designam o grande interesse em conhecer o objetivo e o histórico da informação. Conforme a ISO 19157, os elementos não quantitativos da qualidade são: propósito, uso e linhagem (CONCAR, 2009).

b) Informação quantitativa da qualidade: é de acordo com o comportamento da informação geográfica (IG) a ser medido. Descrito através dos componentes da qualidade do dado geográfico.

Os elementos da qualidade foram agrupados em cinco categorias:

- 1) Completude: refere-se aos dados estarem completos ou não, e em que grau.
- 2) Consistência lógica: é o cumprimento de todas as regras lógicas de relacionamento entre os elementos do produto cartográfico.
- 3) Acurácia posicional: é a correta posição, planimétrica e altimétrica, dos dados.
- 4) Acurácia temporal: é a exatidão encontrada na componente temporal dos dados (atualizado ou não, data).
- 5) Acurácia temática: refere-se aos atributos corretos dos dados.

Tabela 1 - Padrão de exatidão cartográfica da planimetria dos produtos cartografia

PEC	PEC-PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000		1:100.000		1:250.000	
		PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-	A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70	7,00	4,25	14,00	8,51	28,00	17,02	70,00	42,55
A	B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00	12,50	7,50	25,00	15,00	50,00	30,00	125,00	75,00
B	C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00	20,00	12,50	40,00	25,00	80,00	50,00	200,00	125,00
C	D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00	25,00	15,00	50,00	30,00	100,00	60,00	250,00	150,00

Fonte: CONCAR – ET-ADGV (2011).

Tabela 2 - Padrão de exatidão cartográfica da altimétrica dos pontos cotados e do MDT, MDE, MDS para a produção de produtos cartográficos

PEC	PEC-PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000		1:100.000		1:250.000	
		PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-	A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84	2,70	1,67	5,50	3,33	13,70	8,33	27,00	16,67
A	B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67	5,00	3,33	10,00	6,66	25,00	16,66	50,00	33,33
B	C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	12,00	8,00	30,00	20,00	60,00	40,00
C	D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	15,00	10,00	37,50	25,00	75,00	50,00

Fonte: CONCAR – ET-ADGV (2011).

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo são caracterizadas as áreas de estudo e apresentado o método proposto para obtenção das Curvas CAV.

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

3.1.1 Reservatório Jabotá II

O reservatório Jabotá II, foi construído na década de 1960 com uma área de aproximadamente de 3 km², e com capacidade inicial de 6.487.200 m³, mas, atualmente devido ao assoreamento, sua capacidade diminuiu para aproximadamente 3.794.676 m³ (AESA, 2012).

Para tanto, o reservatório está localizado no município de Princesa Isabel, estado da Paraíba. Na Figura 7 é apresentada uma visão geral do polígono envolvente da área do reservatório.

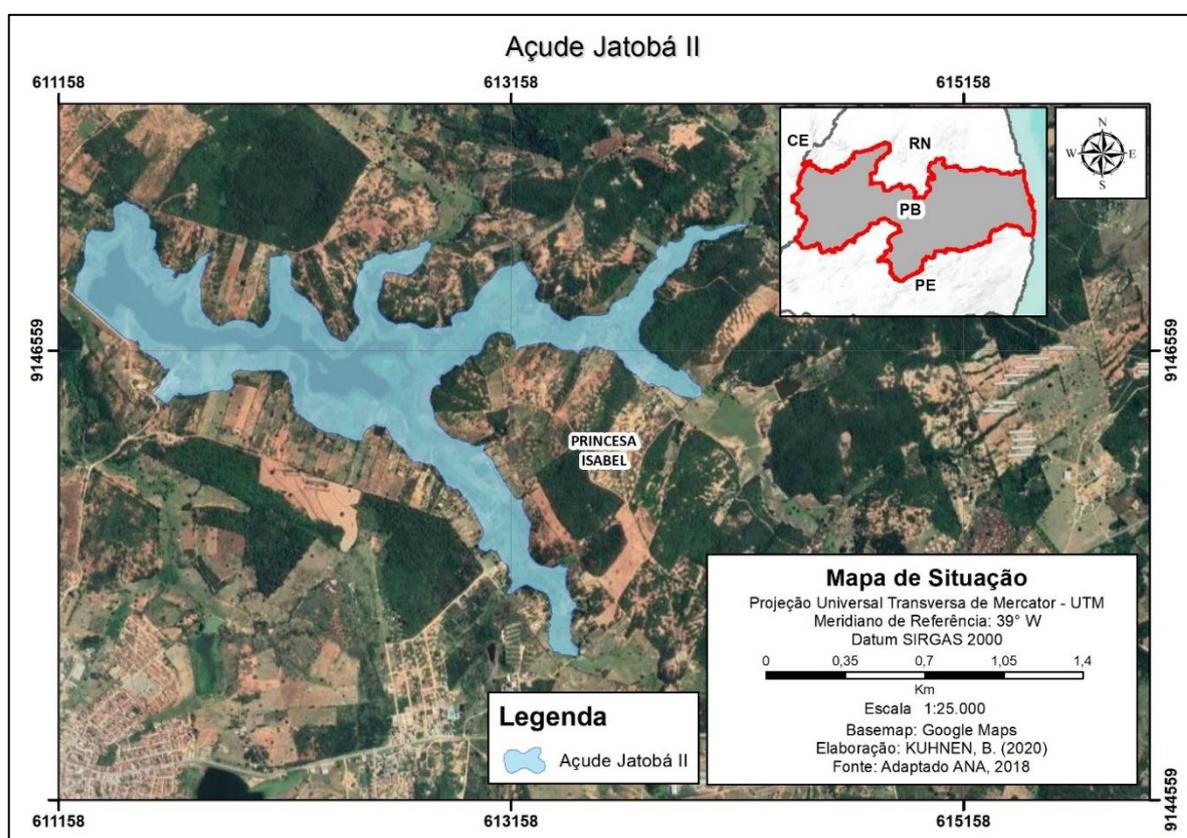


Figura 7 - Localização da área do reservatório Jabotá II.

Fonte: Autor (2020).

3.1.2 Reservatório Belo Jardim

O reservatório Belo Jardim, por sua vez foi arquitetado na década de 1990, com o intuito de aumentar a garantia hídrica dos utentes atendidos pelo açude Engenheiro Severino Guerra (ANA, 2018).

O reservatório Belo Jardim, com área de aproximadamente 9 (nove) km², localiza-se no município de Belo Jardim e São Bento do Una, ambos no Estado da Pernambuco (Figura 8).

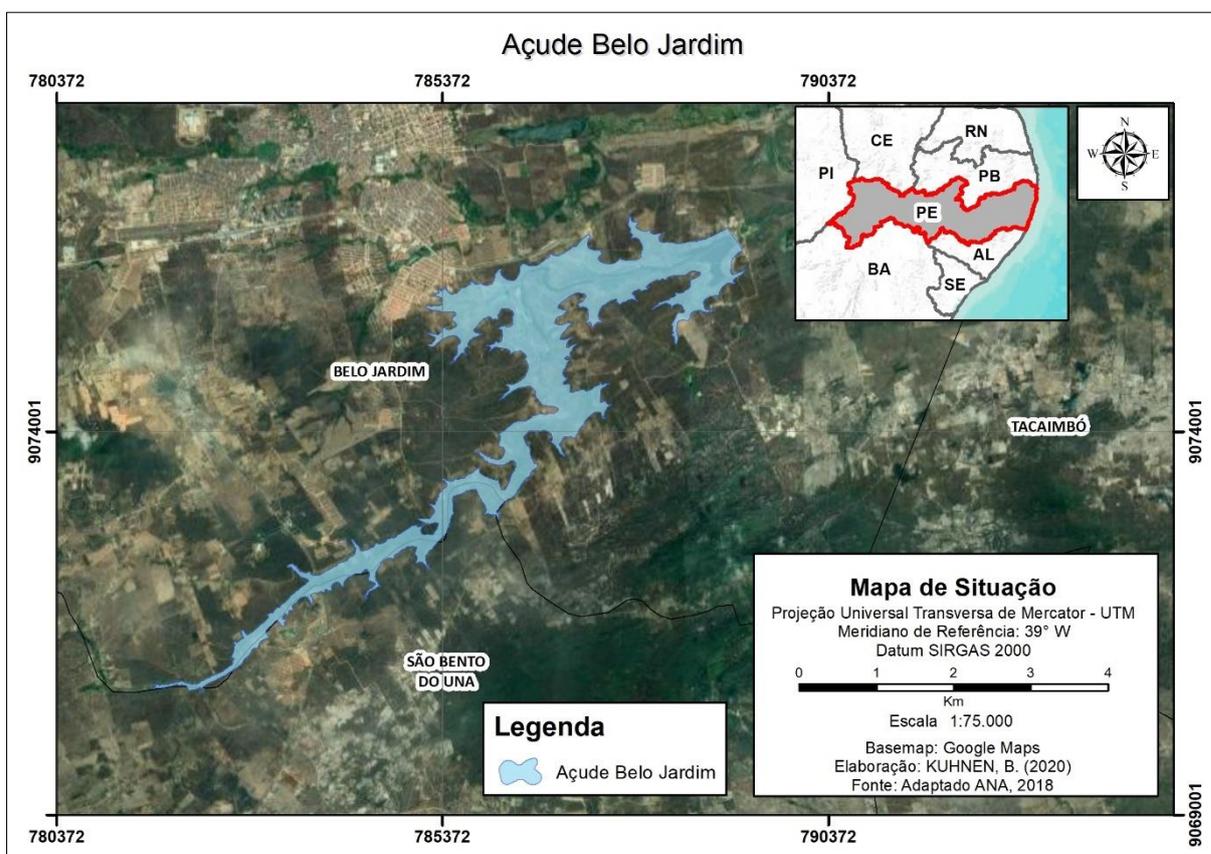


Figura 8 - Localização do reservatório Belo Jardim.

Fonte: Autor (2020).

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados de insumo utilizados neste trabalho são provenientes dos levantamentos realizados pela ANA na região Nordeste do Brasil e norte do Estado de Minas Gerais no ano de 2017, por meio de levantamentos aerofotogramétricos da porção terrestre e levantamentos batimétricos da porção aquática para atualização das Curvas CAV.

De forma esquemática, Figura 9, representa o fluxo do método realizado para elaboração do CAV.

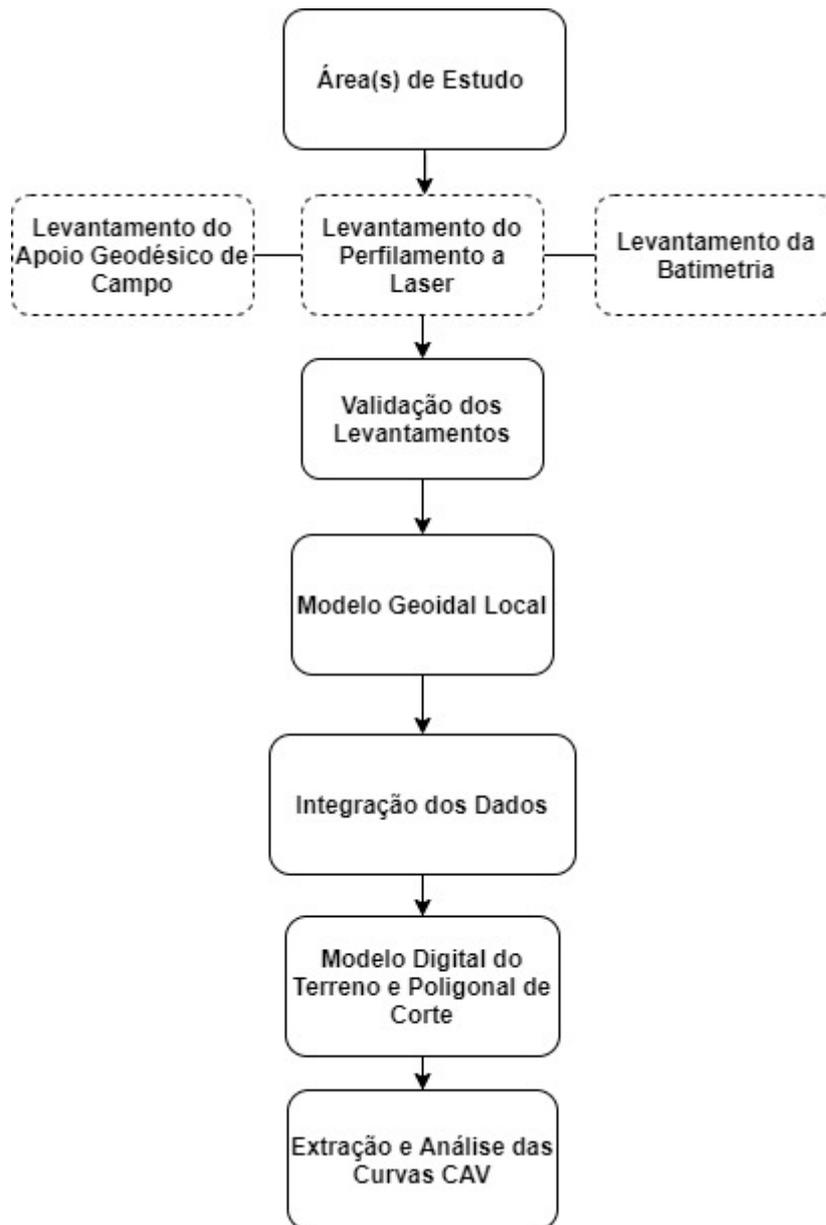


Figura 9 - Fluxograma das atividades.
Fonte: Autor (2020).

As primeiras etapas do trabalho são compostas pelo apoio de campo, perfilamento a laser e batimetria. Após a obtenção dos dados realizou-se a etapa de validação e análise dos levantamentos, o modelo geoidal local, a integração dos dados e a extração e apresentação das curvas.

3.2.1 Levantamento do Apoio Geodésico de Campo

O levantamento da rede de apoio geodésico se consolidou a partir de levantamentos geodésicos de alta precisão, com objetivo de serem utilizados como base para a determinação do posicionamento das embarcações durante o levantamento batimétrico e de apoio dos levantamentos do perfilamento a laser.

Foi realizado o levantamento dos marcos tipo SAT⁹ e as RRNN¹⁰ existentes dos municípios de Princesa Isabel, Belo Jardim e São Bento Una. Com base no levantamento, avaliou-se os marcos conservados (em bom estado para os serviços geodésicos) e elaborou-se a rede de apoio geodésico dos reservatórios (Figura 10Figura 11 e 11). Os marcos implantados fazem parte de uma rede de pontos que compõe a poligonal principal, que por sua vez, trata-se de uma poligonal enquadrada, cujos marcos de origem e fechamento são marcos da rede de apoio básico.

Para o reservatório Jatobá II e Belo Jardim, utilizou-se respectivamente os marcos de códigos 96510, 96520, 93212 e 93717 (Anexo A) do tipo SAT, pertencentes a poligonal enquadrada dos reservatórios.

O processamento e ajuste das linhas base da poligonal e da rede final foram feitos utilizando o software Topcon Tools 8.2.3.

⁹ Rede de Apoio Geodésico Altimétrico de 1º Ordem

¹⁰ Rede de Apoio Geodésico Altimétrico de 1º Ordem

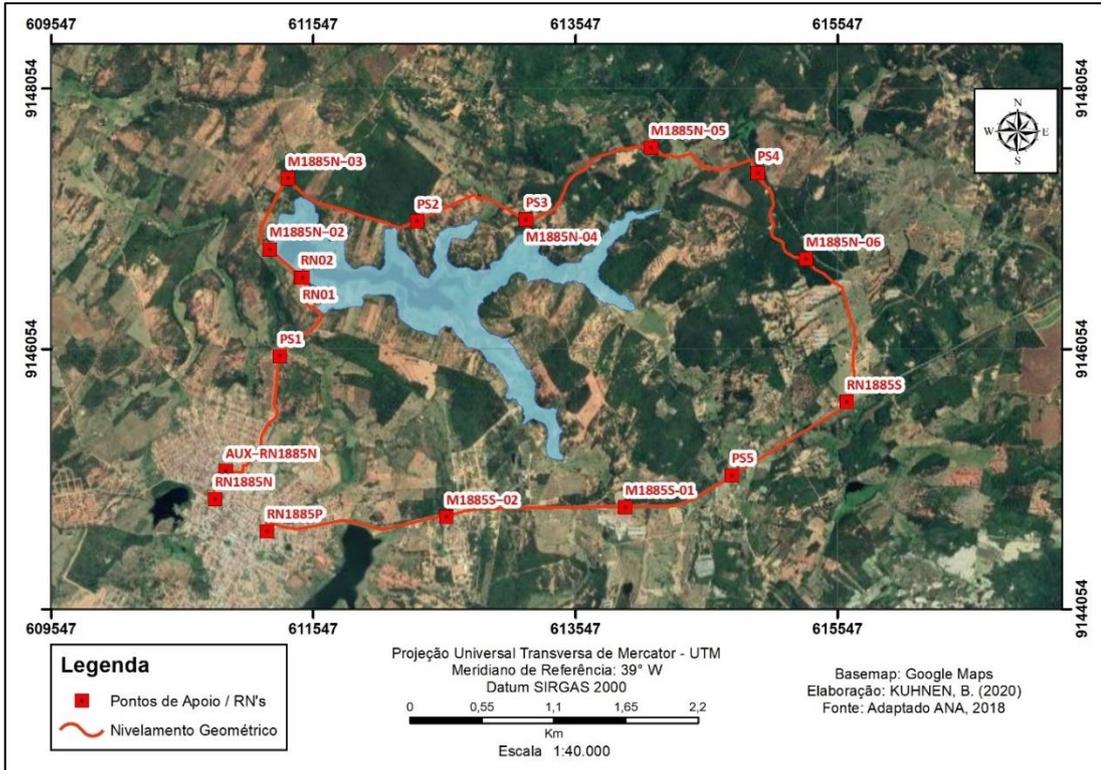


Figura 10 - Apoio Geodésico do Reservatório Jatobá II.
 Fonte: Autor (2020).

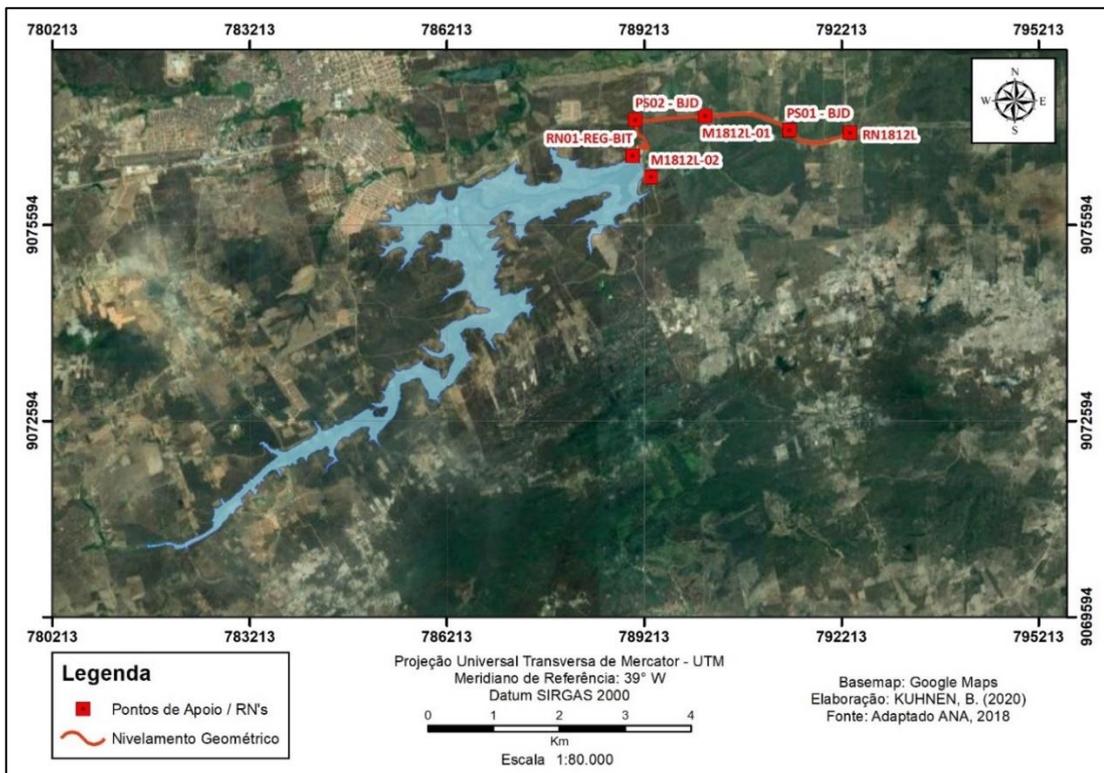


Figura 11 - Apoio Geodésico do Reservatório Belo Jardim.
 Fonte: Autor (2020).

Na data de 16 de junho de 2017 foi realizado os serviços geodésicos do reservatório Jatobá II, no qual foram formadas 31 (trinta e uma) linhas de base (Figura 12), com o posicionamento GNSS relativo estático e tempo de ocupação superior a 4 (quatro) horas e distância máxima de 50 quilômetros.

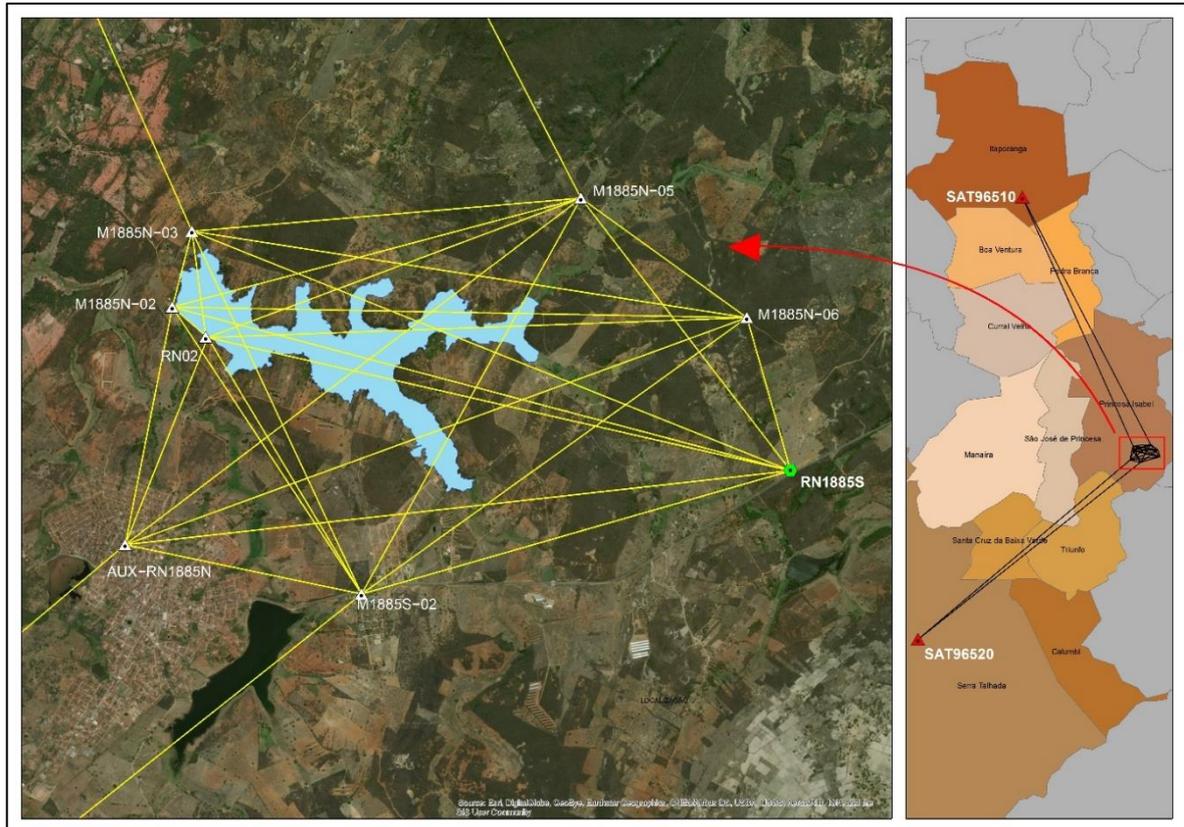


Figura 12 - Rede de Apoio Básico Planialtimétrico do Reservatório Jatobá II.
Fonte: Adaptado ANA (2018).

O apoio geodésico do reservatório Belo Jardim foi realizado no dia 21 de julho de 2017, no qual a poligonal do reservatório foi formada por 11 (onze) linhas de base (Figura 13), com o posicionamento GNSS relativo estático e tempo de ocupação superior a 4 (quatro) horas e distância máxima de 50 quilômetros.

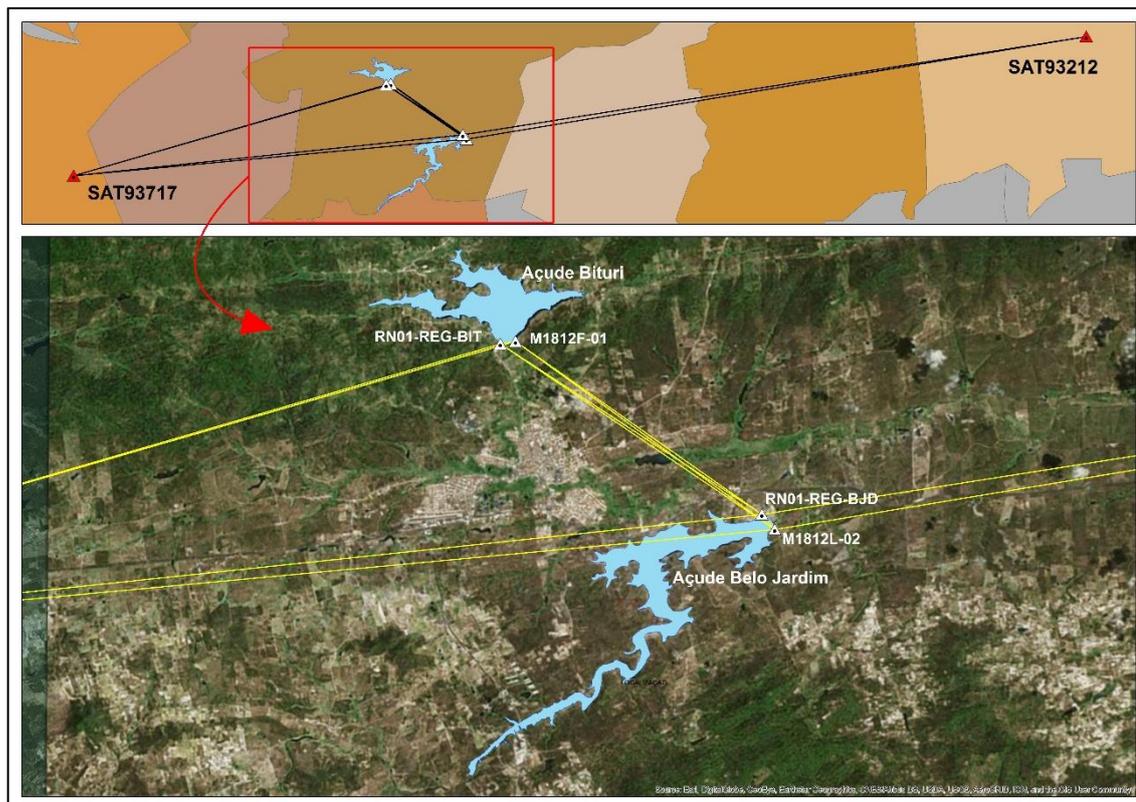


Figura 13 - Rede de Apoio Básico Planialtimétrico do Reservatório Belo Jardim.
Fonte: Adaptado ANA (2018).

A metodologia aplicada para a obtenção das cotas ortométricas dos marcos implantados para as redes de apoio básico foi o nivelamento geométrico.

Para determinar os desníveis com precisão foi empregado o método de visadas recíprocas com distâncias equivalentes. Nele, as duas miras foram colocadas equidistantes do nível sobre os pontos que se deseja determinar o desnível, sendo então efetuadas as leituras

Comparando o desnível entre as cotas ortométricas oficiais de partida e de chegada marcos RN1885N, RN1885P e RN1812F (Anexo B) com o desnível obtido com o nivelamento geométrico executado no mesmo trecho e, calculou-se o erro do nivelamento.

Para o levantamento dos pontos fotoidentificáveis (Figura 14 e 15), utilizou-se o marco do apoio geodésico planialtimétrico RN02 para o reservatório Jatobá II (Anexo C) e para o reservatório Belo Jardim o RN1-REG-BJD (Anexo D), com o tempo de rastreamento entre 20 a 30 minutos, considerando a existência de edificações em pontos próximos a área de estudo.

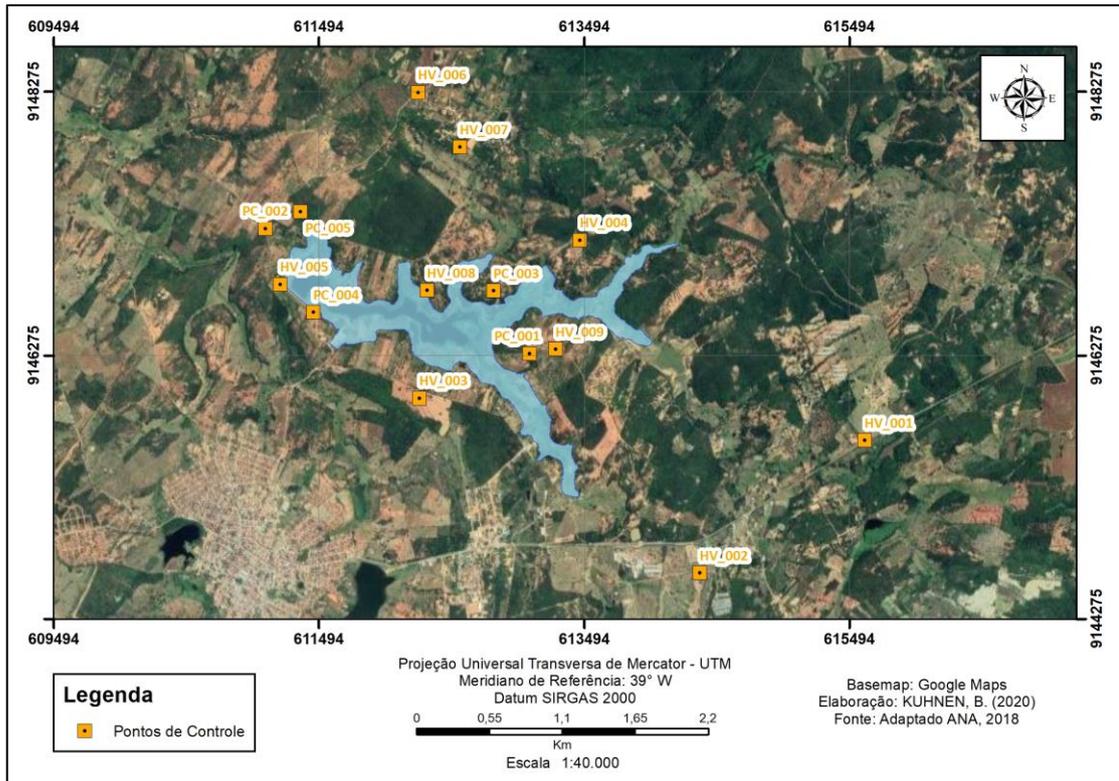


Figura 14 - Pontos de Controles do Reservatório Jatobá II.
Fonte: Autor (2020).

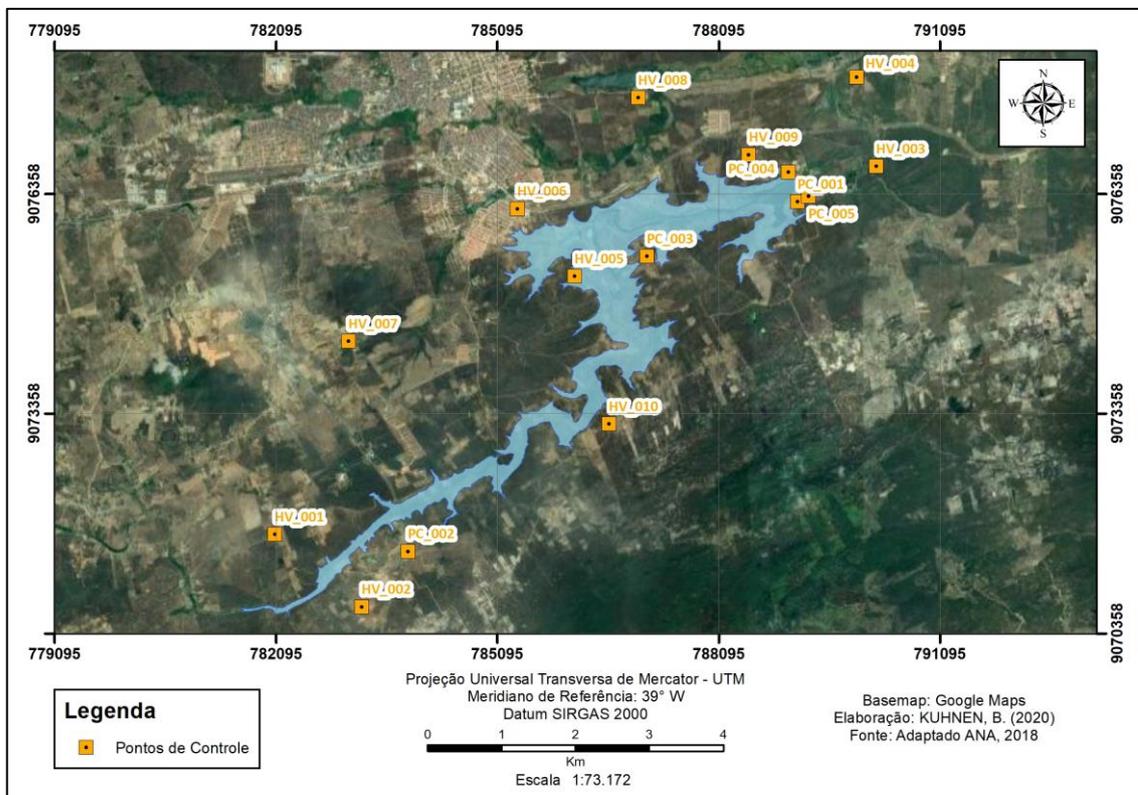


Figura 15 - Pontos de Controles do Reservatório Belo Jardim.
Fonte: Autor (2020).

3.2.2 Levantamento do Perfilamento a Laser (parte seca do reservatório)

O levantamento da parte seca do reservatório, foi realizado a partir do perfilamento a laser (tecnologia que nos últimos anos se tornou uma das melhores opções de levantamento, em detrimento da grande produtividade, rapidez e precisão), considerando as todas condições meteorológicas (sem chuvas, garoa ou neblina ou ocorrência de nuvens com altura inferior à prevista em voo, respeitando o limite de incidência de 5%) do dia do voo são baseadas no código *Meteorological Aerodrome Report* (METAR).

Respeitando os informes do METAR, o levantamento do perfilamento a laser do reservatório Jatobá II foi realizado em 14 de maio de 2017 e do reservatório Belo Jardim em 12 de maio de 2017.

Os marcos de apoio ao levantamento do perfilamento a laser, foram referenciado ao SGB através do rastreamento com o marco da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) e próximo ao açude, e na sequência processados juntamente com as informações do GNSS e Sistema Inercial IMU, determinando a posição espacial de cada ponto, por meio de processamentos, sejam eles em relação a uma base coordenadas conhecidas ou pelo PPP (Posicionamento Por Ponto Preciso).

Para a determinação das coordenadas planimétricas dos marcos (CRAT– CRATO no SAT-92300 para o Reservatório Jatobá II e SAT-93318 para o Reservatório Belo Jardim – Anexo E), foi utilizado o posicionamento GNSS relativo estático, por um período mínimo de 50 min (cinquenta minutos), processadas e ajustadas as linhas base da poligonal e da rede final no software Topcon Tools 7.5.2.

Em relação aos levantamentos, todos os cuidados foram tomados para que as áreas fossem recobertas totalmente e não houvesse falhas ou buracos (Figura 16 e 17). As faixas de voo paralelas e adjacentes foram comparadas e unidas de forma a calcular e eliminar qualquer flutuação na precisão (o software utilizado foi o RiPROCESS, fornecido pela própria fabricante do equipamento laser).

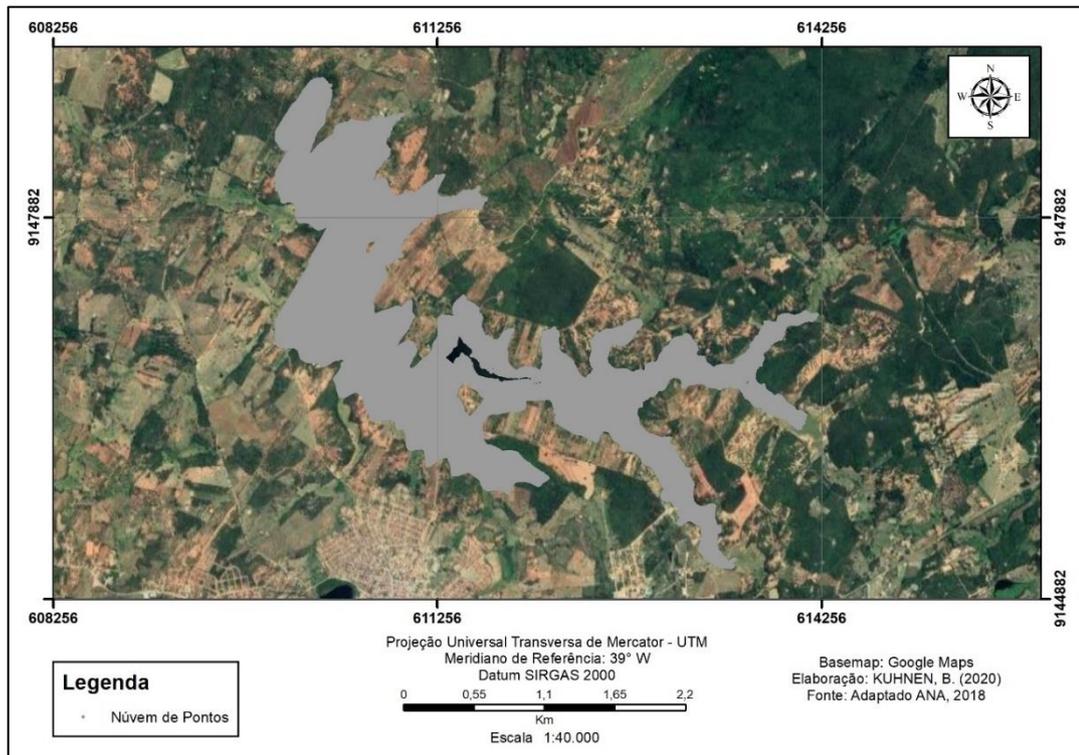


Figura 16 - Cobertura do Perfilamento a Laser do reservatório Jatobá II.
Fonte: Autor (2020).

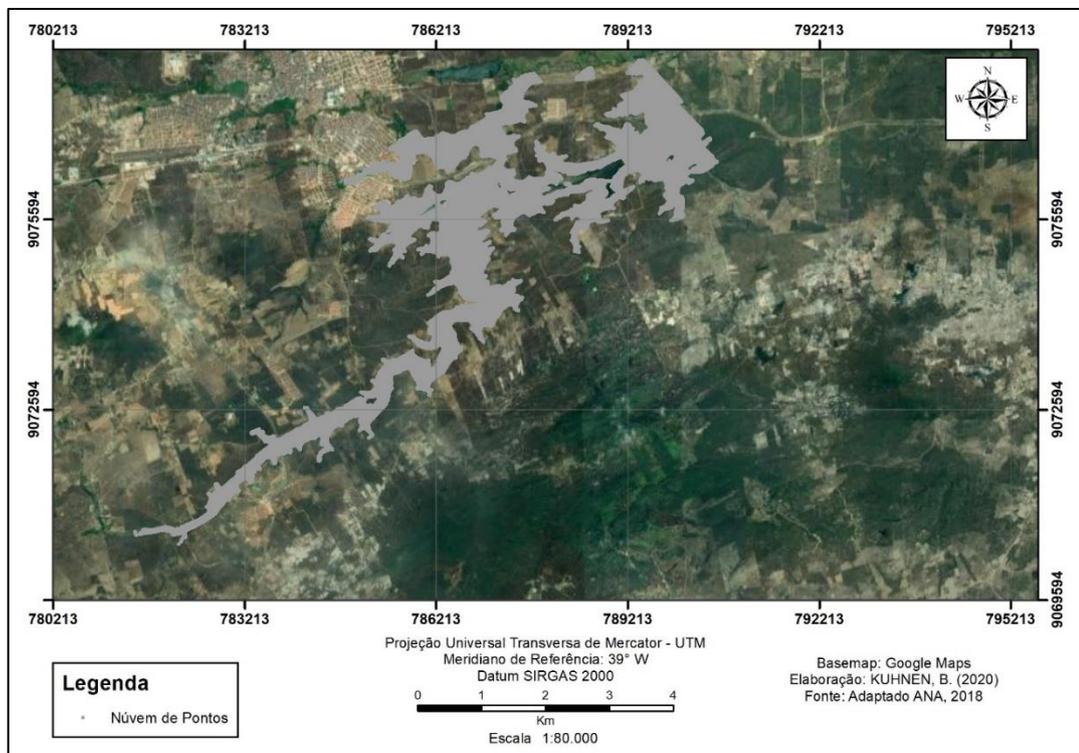


Figura 17 - Cobertura do Perfilamento a Laser do reservatório Belo Jardim.
Fonte: Autor (2020).

Para a avaliação da qualidade do laser utilizou-se os pontos de controle. Nesta verificação, comparam-se os valores de H (altitude) coletados em campo (referência) dos PC's. Através das diferenças obtidas entre as altitudes dos pontos, os valores são comparados com os valores de referência existentes no PEC-PDC e então são classificados quanto a sua precisão.

3.2.3 Levantamento da Batimetria (parte molhada do reservatório)

De acordo com as orientações da ANEEL e ANA, o planejamento e execução dos levantamentos batimétricos são realizados de acordo com a classificação da Eletrobrás/IPH (1992), e os levantamentos realizados por meio ecobatímetros monofeixe e/ou multifeixe. A resolução conjunta da ANA deixa claro que, os critérios para definição das linhas de sondagem devem ser feitos de acordo com a necessidade e especificidades de cada reservatório.

Todos os levantamentos do reservatório (área molhada) foram realizados por meio de ecobatímetro monofeixe. Os trabalhos foram iniciados com o levantamento nas proximidades do barramento do reservatório, seguindo até os extremos do espelho d'água do açude, nas áreas de remanso do corpo principal e dos seus principais afluentes.

O levantamento batimétrico (Figura 18) do reservatório Jatobá II foi realizado no dia 27 de junho de 2017, já o levantamento do reservatório Belo Jardim foi realizado entre os dias (Figura 19) entre os dias 27 de julho a 01 de agosto 2017. Durante os levantamentos batimétricos, os reservatórios se encontravam com baixas profundidades (até 2,5 metros) e pouca área de espelho d'água. Desta forma, os levantamentos foram realizados com espaçamento transversal de 10 (dez) metros e longitudinal de 20 (vinte) metros (nas áreas navegáveis).

O software Hypack, versão 2016, foi utilizado na aquisição e processamento dos dados, bom como todos os parâmetros geodésicos previamente determinado na embarcação.

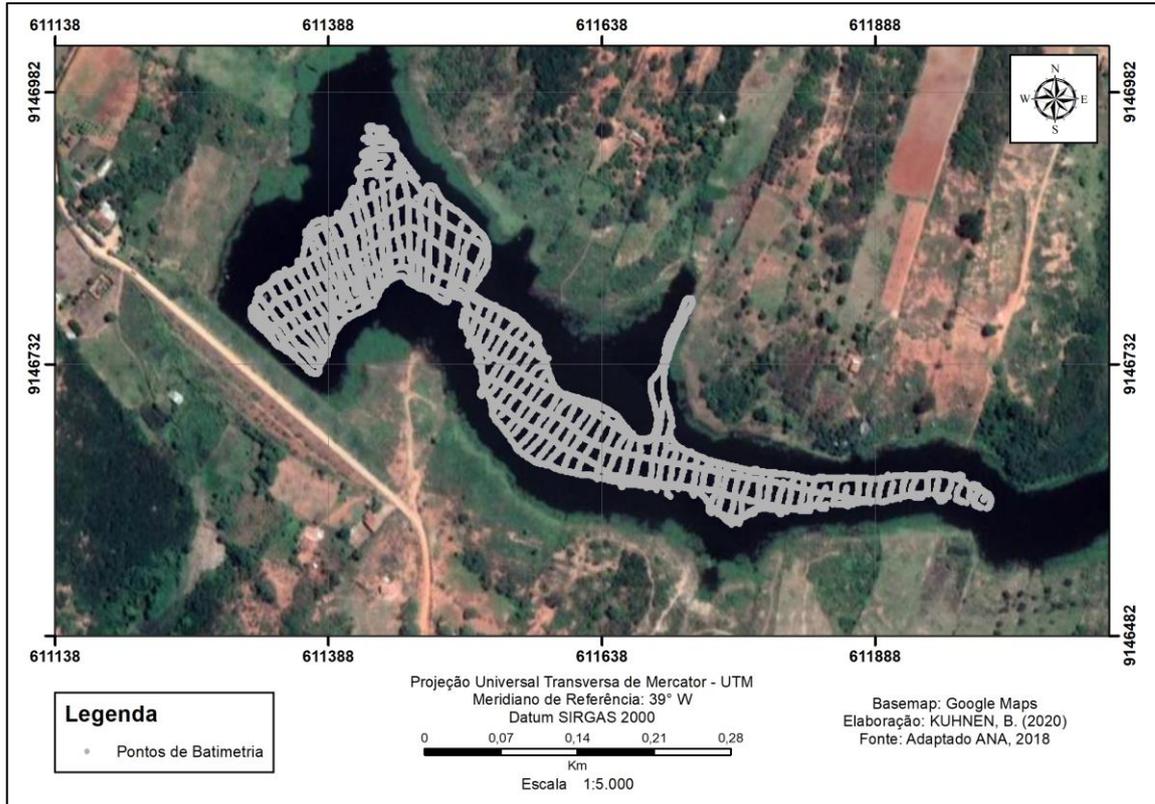


Figura 18 - Linhas batimétricas do reservatório Jatobá II.
Fonte: Autor (2020).

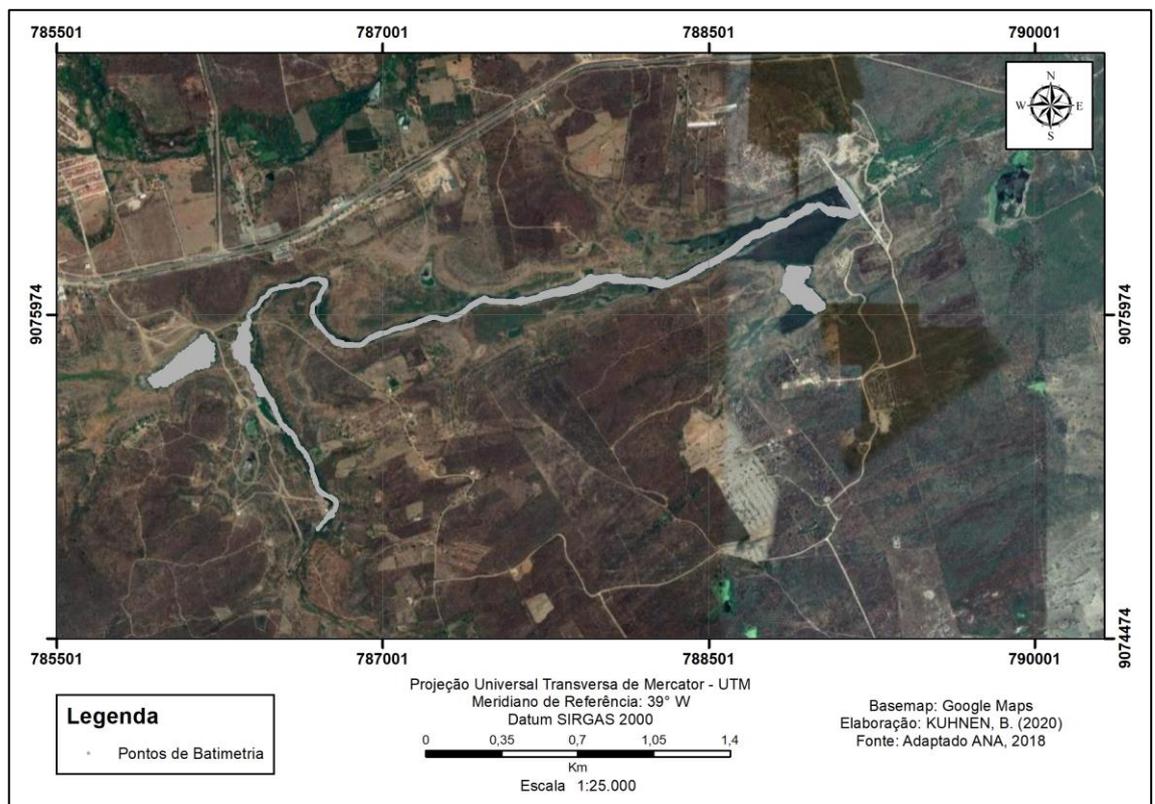


Figura 19 - Linhas batimétricas do reservatório Belo Jardim.
Fonte: Autor (2020).

Ao fim de cada levantamento foi realizado o controle de qualidade dos reservatórios. Para isso foram planejadas linhas transversais, longitudinais e o contorno dos reservatórios, distintas das linhas originárias, que se cruzassem em no máximo 100 metros (Jatobá II) e 200 metros (Belo Jardim) de distância, executadas com ecobatímetro monofeixe.

Como os reservatórios apresentaram uma área molhada com extensão inferior à 10km², optou-se pelo monitoramento com uma única seção de réguas, presente no seu barramento com leituras de 15 em 15 minutos (Quadro 5 e 6).

Quadro 5 - Nível da água na régua linimétrica do barramento do reservatório Jatobá II.

Data (m/d/a) Hora (h:m)	Cota Barramento SGB
27/06/2017 10:15	649,75
27/06/2017 10:30	649,75
27/06/2017 12:00	649,75
27/06/2017 12:15	649,75
27/06/2017 13:15	649,75
27/06/2017 13:30	649,75

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Quadro 6 - Nível da água na régua linimétrica do barramento do reservatório Belo Jardim.

Data (m/d/a) Hora (h:m)	Cota Barramento SGB
27/07/2017 10:00	585,72
27/07/2017 10:15	585,72
01/08/2017 08:00	586,61
01/08/2017 08:15	586,61
02/08/2017 07:45	586,73
02/08/2017 08:00	586,73

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Para conferência do nível d'água realiza-se o acompanhamento monitorado por meio do Sistema de Acompanhamento de Reservatório (SAR). Este portal web criado pela ANA fornece informações hidrológicas coletadas instantaneamente de vários operadores de reservatórios em todo o Brasil como o DNOCS, Companhia de Desenvolvimento do Vale São Francisco (CODEVASF), dentre outros.

Para consolidar a confiabilidade dos dados batimétricos e o controle de qualidade, realizou-se análises do levantamento avaliando a diferença da profundidade nos pontos onde as linhas de sondagem se cruzaram com o levantamento original. As análises foram realizadas por meio das normas do OHI, em atendimento ao IVT (Incerteza Vertical Total) (Equação 1).

$$IVT = \pm\sqrt{0.0625 + (0.0075 * P)^2}^{11} \quad (1)$$

Equação 1- Incerteza Vertical Total

3.2.4 Validação e Análise dos Levantamentos

No que diz respeito ao apoio básico, os valores de PDOP do Reservatório Jatobá II e Belo Jardim, ambos ficaram abaixo de 2,6 e 2,4 respectivamente (Tabela 3 e 4), valor que em média corresponde um pouco mais metade do que a legislação pede (menor do que 4).

O quantitativo de satélites se mostrou sempre igual ou superior a 15 (quinze) e 13 (treze) em relação a constelação GPS e 12 (doze) e 11 (onze) da constelação GLONASS, totalizando no mínimo 37 (trinta e sete) e 24 (vinte e quatro) satélites naquele período, correspondendo a mais do que 6 (seis) e 4 (quatro) vezes do que a legislação vigente, respectivamente.

As distâncias das linhas de base para os dois reservatórios foram todas inferiores a 50 quilômetros para a rede de apoio geodésico planialtimétrico de 2º Ordem, com um tempo de observação sempre superior a 4 (quatro) horas. Nas Tabela 5 e 6, é possível verificar as coordenadas finais de cada reservatório em relação ao apoio básico.

Além disso, observando o tipo de solução obtida nota-se que todos os vetores tiveram a solução com ambiguidades resolvidas, apresentando para o reservatório Jatobá II e Belo Jardim: 27 (vinte e sete) e 10 (soluções do tipo Fixa (Fixed), nenhuma solução do tipo Fixa-L1 (Fixed, L1), apenas 4 (quatro) e 2 (duas) soluções do tipo Fixa-Banda Larga (Fixed, Wide Lane) e 5 (cinco) soluções do tipo Fixa (somente para o reservatório Belo Jardim – Livre de Ionosfera (Fixed, Iono Free).

Já em relação ao apoio suplementar (Tabela 7 e 8), todos os pontos estão entre 20 e 30 minutos, apresentam solução fixa, PDOP inferior a 4, rastreamento acima de 10 satélites, RMS apresentando precisão melhor que 1 centímetro e a linha de base inferior a 25 Km. Nas Tabela 9 e 10 é possível verificar as coordenadas finais dos pontos de controles de cada reservatório.

¹¹ Na qual P = profundidade mensurada no Ponto de Controle Batimétrico.

Tabela 3 - Memorial de cálculo do apoio básico planialtimétrico do reservatório Jatobá II – GNSS

<i>Name</i>	<i>Duration</i>	<i>Solution Type</i>	<i>PDOP</i>	<i>GPS Satellites</i>	<i>GLONASS Satellites</i>	<i>RMS</i>	<i>Horz RMS (m)</i>	<i>Vert RMS (m)</i>	<i>Distance (m)</i>
AUX-RN1885N-M1885N-02	04:51:42	Fixed	2,47	16	14	0,002	0,001	0,002	1.736,32
AUX-RN1885N-M1885N-05	04:50:34	Fixed	2,46	17	14	0,003	0,001	0,003	4.089,55
AUX-RN1885N-M1885N-06	04:47:13	Fixed	2,54	16	14	0,003	0,001	0,003	4.720,50
AUX-RN1885N-M1885S-02	05:01:37	Fixed	2,50	17	14	0,002	0,001	0,002	1.721,78
AUX-RN1885N-RN02	04:14:22	Fixed	2,53	15	12	0,002	0,001	0,001	1.593,85
AUX-RN1885N-RN1885S	05:04:02	Fixed	2,46	17	14	0,003	0,002	0,003	4.771,80
AUX-RN1885N-SAT96520	04:49:14	Fixed, Wide Lane	2,64	17	14	0,031	0,014	0,027	44.122,29
M1885N-02-M1885N-05	05:11:34	Fixed	2,24	16	14	0,002	0,001	0,002	3.015,96
M1885N-02-M1885N-06	05:08:13	Fixed	2,31	16	14	0,003	0,001	0,003	4.096,65
M1885N-02-M1885S-02	05:12:42	Fixed	2,28	16	14	0,002	0,001	0,002	2.461,00
M1885N-02-M1886N-03	05:08:09	Fixed	2,239	16	14	0,001	0,000	0,001	562,699
M1885N-02-RN02	04:14:16	Fixed	2,35	15	12	0,001	0,000	0,001	322,872
M1885N-02-RN1885S	05:12:42	Fixed	2,241	16	14	0,003	0,001	0,003	4.560,83
M1885N-05-M1885N-06	05:11:46	Fixed	2,281	16	14	0,002	0,001	0,001	1.461,06
M1885N-05-M1885S-02	05:19:11	Fixed	2,233	17	14	0,002	0,001	0,002	3.240,74
M1885N-05-M1886N-03	05:23:04	Fixed	1,976	19	14	0,002	0,001	0,002	2.781,52
M1885N-05-RN02	04:13:08	Fixed	2,317	15	12	0,002	0,001	0,002	2.854,08
M1885N-05-RN1885S	05:18:29	Fixed	2,20	17	14	0,002	0,001	0,002	2.460,45
M1885N-05-SAT96510	05:27:05	Fixed, Wide Lane	2,185	16	14	0,03	0,012	0,027	44.370,43
M1885N-06-M1885S-02	05:11:46	Fixed	2,322	16	14	0,003	0,001	0,002	3.386,62
M1885N-06-M1886N-03	05:11:42	Fixed	2,281	16	14	0,003	0,001	0,003	4.002,35
M1885N-06-RN02	04:09:47	Fixed	2,406	15	12	0,003	0,001	0,003	3.859,43
M1885N-06-RN1885S	05:11:46	Fixed	2,282	16	14	0,001	0,001	0,001	1.141,68

<i>Name</i>	<i>Duration</i>	<i>Solution Type</i>	<i>PDOP</i>	<i>GPS Satellites</i>	<i>GLONASS Satellites</i>	<i>RMS</i>	<i>Horz RMS (m)</i>	<i>Vert RMS (m)</i>	<i>Distance (m)</i>
M1885S-02–M1886N-03	05:15:46	Fixed	2,231	17	14	0,002	0,001	0,002	2.868,75
M1885S-02–RN02	04:14:22	Fixed	2,359	15	12	0,002	0,001	0,002	2.150,01
M1885S-02–RN1885S	05:29:32	Fixed	2,239	17	14	0,002	0,001	0,002	3.182,56
M1885S-02–SAT96520	05:17:51	Fixed, Wide Lane	2,367	17	14	0,031	0,013	0,028	45.196,58
M1886N-03–RN02	04:09:43	Fixed	2,316	15	12	0,001	0,00	0,001	767,646
M1886N-03–RN1885S	05:15:04	Fixed	2,199	17	14	0,003	0,001	0,003	4.598,41
M1886N-03–SAT96510	05:23:04	Fixed, Wide Lane	2,184	16	14	0,029	0,012	0,026	43.390,49
RN02–RN1885S	04:14:22	Fixed	2,317	15	12	0,003	0,001	0,003	4.276,50

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Tabela 4 - Memorial de cálculo do apoio básico planialtimétrico do reservatório Belo Jardim – GNSS

<i>Name</i>	<i>Duration</i>	<i>Solution Type</i>	<i>PDOP</i>	<i>GPS Satellites</i>	<i>GLONASS Satellites</i>	<i>RMS</i>	<i>Horz RMS (m)</i>	<i>Vert RMS (m)</i>	<i>Distance (m)</i>
M1812F-01–M1812L-02	05:08:46	Fixed	2,264	17	11	0,007	0,003	0,006	6.981,24
M1812F-01–RN01-REG-BJD	05:15:16	Fixed	2,24	17	11	0,006	0,002	0,005	6.563,39
M1812F-01–RN01-REG-BIT	06:21:55	Fixed	2,331	17	13	0,001	0,001	0,001	335,254
M1812F-01–SAT93717	06:42:00	Fixed,Iono Free	2,341	17	13	0,017	0,007	0,015	24.578,18
M1812L-02–RN01-REG-BJD	05:00:05	Fixed	2,246	17	12	0,001	0,000	0,001	430,506
M1812L-02–RN01-REG-BIT	05:08:46	Fixed	2,303	17	11	0,007	0,003	0,006	7.221,35
M1812L-02–SAT93212	04:33:15	Fixed,Wide Lane	2,37	13	11	0,031	0,015	0,028	46.737,44
M1812L-02–SAT93717	05:08:46	Fixed,Iono Free	2,326	17	12	0,020	0,009	0,018	29.365,59
RN01-REG-BJD–RN01-REG-BIT	05:15:16	Fixed	2,276	17	11	0,006	0,003	0,006	6.807,22
RN01-REG-BJD–SAT93212	04:32:08	Fixed,Wide Lane	2,367	13	11	0,032	0,014	0,028	46.960,20
RN01-REG-BJD–SAT93717	05:15:16	Fixed,Iono Free	2,301	17	12	0,02	0,009	0,018	29.120,77
RN01-REG-BIT–SAT93717	06:21:55	Fixed,Iono Free	2,384	17	13	0,017	0,007	0,015	24.245,57
M1812F-01–M1812L-02	05:08:46	Fixed	2,264	17	11	0,007	0,003	0,006	6.981,24
M1812F-01–RN01-REG-BJD	05:15:16	Fixed	2,24	17	11	0,006	0,002	0,005	6.563,39
M1812F-01–RN01-REG-BIT	06:21:55	Fixed	2,331	17	13	0,001	0,001	0,001	335,254
M1812F-01–SAT93717	06:42:00	Fixed,Iono Free	2,341	17	13	0,017	0,007	0,015	24.578,18
M1812L-02–RN01-REG-BJD	05:00:05	Fixed	2,246	17	12	0,001	0,000	0,001	430,506

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Tabela 5 - Memorial de cálculo do apoio básico planialtimétrico do reservatório Jatobá II – GNSS – resultado final

<i>Name</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Grid Northing (m)</i>	<i>Grid Easting (m)</i>	<i>Ell.Height (m)</i>	<i>Std Dev n (m)</i>	<i>Std Dev e (m)</i>	<i>Std Dev u (m)</i>	<i>Control</i>
AUX–RN1885N	7°43'57,88825"S	37°59'40,34779"W	9.145.116,31	610.877,24	673,787	0,005	0,005	0,014	None
M1885N–02	7°43'02,41476"S	37°59'29,54207"W	9.146.819,28	611.212,31	656,546	0,005	0,005	0,014	None
M1885N–05	7°42'36,76508"S	37°57'54,55344"W	9.147.600,10	614.124,32	670,999	0,005	0,005	0,014	None
M1885N–06	7°43'04,55116"S	37°57'15,90756"W	9.146.743,81	615.306,22	726,686	0,005	0,005	0,014	None
M1885S–02	7°44'09,28287"S	37°58'45,33892"W	9.144.762,34	612.561,61	681,896	0,005	0,005	0,014	None
M1886N–03	7°42'44,68938"S	37°59'24,96339"W	9.147.363,35	611.353,87	675,498	0,005	0,005	0,014	None
RN02	7°43'09,45627"S	37°59'21,72168"W	9.146.602,45	611.451,38	655,807	0,005	0,005	0,014	None
RN1885S	7°43'40,26680"S	37°57'05,65054"W	9.145.646,09	615.617,76	704,524	0,005	0,005	0,014	None
SAT96510	7°21'13,82146"S	38°08'59,02361"W	9.187.046,00	593.844,16	313,073	0,002	0,002	0,009	Base
SAT96520	7°59'30,77282"S	38°17'55,29124"W	9.116.533,91	577.286,97	421,195	0,004	0,005	0,000	Base

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Tabela 6 - Memorial de cálculo do apoio básico planialtimétrico do reservatório Belo Jardim – GNSS – resultado final

<i>Name</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Grid Northing (m)</i>	<i>Grid Easting (m)</i>	<i>Ell.Height (m)</i>	<i>Std Dev n (m)</i>	<i>Std Dev e (m)</i>	<i>Std Dev u (m)</i>	<i>Control</i>
M1812F-01	8°18'38,02394"S	36°25'28,71465"W	9.080.446,800	783.675,500	639,270	0,003	0,003	0,012	None
M1812L-02	8°20'50,82036"S	36°22'23,59960"W	9.076.327,370	789.316,170	601,622	0,003	0,003	0,012	None
RN01-REG-BJD	8°20'40,20862"S	36°22'32,78601"W	9.076.655,450	789.037,090	597,692	0,003	0,003	0,012	None
RN01-REG-BIT	8°18'39,81401"S	36°25'39,52127"W	9.080.393,920	783.344,270	640,100	0,003	0,003	0,012	None
SAT93212	8°16'30,36923"S	35°57'18,89567"W	9.084.005,190	835.452,730	579,855	0,002	0,002	0,017	Both
SAT93717	8°22'26,41209"S	36°38'18,48264"W	9.073.574,260	760.067,290	699,043	0,002	0,002	0,011	Both

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Tabela 7 - Memorial de cálculo do apoio básico suplementar do reservatório Jatobá II – GNSS

<i>Name</i>	<i>Duration</i>	<i>Solution Type</i>	<i>Ant. Type</i>	<i>Ant.Height Slant (m) Control</i>	<i>Antenna Type</i>	<i>Antenna Height Vertical (m) - Rover</i>	<i>PDOP</i>	<i>GPS Satellites</i>	<i>RMS</i>	<i>North RMS (m)</i>	<i>East RMS (m)</i>	<i>Distance (m)</i>
HV_001–RN2	00:22:08	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,5	2,24	12	0,006	0,002	0,002	4272,43
HV_002–RN2	00:22:23	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,5	1,892	12	0,005	0,002	0,002	3524,348
HV_003–RN2	00:21:24	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,0	2,203	12	0,003	0,001	0,001	1032,984
HV_004–RN2	00:21:25	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,0	1,524	12	0,004	0,002	0,002	2085,67
HV_005–RN2	00:21:50	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,5	2,038	12	0,002	0,000	0,000	326,555
HV_006–RN2	00:20:45	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,0	2,648	12	0,002	0,000	0,001	1847,663
HV_007–RN2	00:21:26	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,0	1,859	11	0,002	0,001	0,001	1673,174
HV_008–RN2	00:20:27	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,0	2,728	12	0,002	0,001	0,001	872,925
HV_009–RN2	00:22:22	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,0	2,007	12	0,003	0,001	0,001	1850,848
PC_001–RN2	00:21:51	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,5	2,312	12	0,005	0,001	0,001	1660,23
PC_002–RN2	00:22:51	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,5	2,556	12	0,001	0,000	0,000	730,181
PC_003–RN2	00:21:52	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,0	2,183	11	0,002	0,001	0,001	1370,284
PC_004- M1886N-03	05:08:09	Fixed	HEMS320 NONE	2,00	HEMS320 NONE	2,0	2,75	16	0,001	0,000	0,001	562,699
PC_005- M1886N-03	04:14:16	Fixed	HEMS320 NONE	2,00	HiPer+	2,0	2,35	15	0,001	0,000	0,001	322,872

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Tabela 8 - Memorial de cálculo do apoio básico suplementar do reservatório Jatobá II – GNSS – resultado final

<i>Name</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Grid Northing (m)</i>	<i>Grid Easting (m)</i>	<i>Ell. Heighth (m)</i>	<i>Ortho. Height (m)</i>	<i>Geo. Undulation (m)</i>	<i>Std Dev n (m)</i>	<i>Std Dev e (m)</i>	<i>Std Dev u (m)</i>	<i>East RMS (m)</i>	<i>Distance (m)</i>
HV_001	7°43'40,79078"S	37°57'05,90644"W	9145630,02	615609,89	702,885	710,39	-7,50	0,005	0,005	0,015	0,002	4272,43
HV_002	7°44'13,67544"S	37°57'46,44690"W	9144623,064	614365,44	707,41	714,91	-7,50	0,005	0,005	0,015	0,002	3524,348
HV_003	7°43'30,68094"S	37°58'55,58841"W	9145948,672	612250,45	675,197	682,77	-7,57	0,005	0,005	0,014	0,001	1032,984
HV_004	7°42'51,50728"S	37°58'16,10206"W	9147148,914	613463,04	695,443	702,98	-7,541	0,005	0,005	0,014	0,002	2085,67
HV_005	7°43'02,59498"S	37°59'29,85947"W	9146813,771	611202,57	655,735	663,33	-7,591	0,005	0,005	0,014	0,000	326,555
HV_006	7°42'15,09170"S	37°58'56,09207"W	9148270,285	612240,55	739,332	746,92	-7,591	0,005	0,005	0,014	0,001	1847,663
HV_007	7°42'28,56888"S	37°58'45,70427"W	9147855,6	612557,82	710,168	717,76	-7,591	0,005	0,005	0,014	0,001	1673,174
HV_008	7°43'04,00002"S	37°58'53,76859"W	9146767,992	612308,16	657,278	664,84	-7,566	0,005	0,005	0,014	0,001	872,925
HV_009	7°43'18,48533"S	37°58'22,01807"W	9146320,77	613279,8	683,730	691,28	-7,547	0,005	0,005	0,014	0,001	1850,848
PC_001	7°43'19,55305"S	37°58'28,50714"W	9146288,456	613080,92	676,802	684,35	-7,552	0,005	0,005	0,015	0,001	1660,23
PC_002	7°42'48,84721"S	37°59'33,57675"W	9147236,275	611089,68	671,008	678,60	-7,591	0,000	0,000	0,001	0,000	730,181
PC_003	7°43'04,06289"S	37°58'37,33904"W	9146764,856	612811,49	665,648	673,20	-7,556	0,005	0,005	0,014	0,001	1370,284
PC_004	7°43'09,45627"S	37°59'21,72168"W	9146602,451	611451,38	655,807	663,39	-7,579	0,005	0,005	0,014	0,001	562,699
PC_005	7°42'44,68938"S	37°59'24,96339"W	9147363,351	611353,87	675,498	683,09	-7,591	0,005	0,005	0,014	0,001	322,872

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Tabela 9 - Memorial de cálculo do apoio básico suplementar do reservatório Belo Jardim – GNSS

<i>Name</i>	<i>Duration</i>	<i>Solution Type</i>	<i>Ant. Type</i>	<i>Ant.Height Slant (m) Control</i>	<i>Antenna Type</i>	<i>Ant. Height Vertical (m) - Rover</i>	<i>PDOP</i>	<i>GPS Satellites</i>	<i>RMS</i>	<i>North RMS(m)</i>	<i>East RMS(m)</i>	<i>Distance (m)</i>
HV_001- RN1-REG-BJD	00:33	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,38	2,402	12	0,008	0,003	0,002	8532,003
HV_002- RN1-REG-BJD	00:33	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,58	2,067	13	0,007	0,002	0,002	8280,851
HV_003- RN1-REG-BJD	00:30	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,00	2,154	12	0,002	0,001	0,001	1194,085
HV_004- RN1-REG-BJD	00:31	Fixed	NOV702GG NONE	1,91	NOV702GG NONE	3,00	2,639	13	0,004	0,001	0,001	1592,311
HV_005- RN1-REG-BJD	00:32	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,36	1,723	12	0,004	0,001	0,002	3221,501
HV_006- RN1-REG-BJD	00:30	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,00	2,057	14	0,003	0,001	0,001	3699,67
HV_007- RN1-REG-BJD	00:32	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,87	2,218	12	0,005	0,002	0,002	6389,843
HV_008- RN1-REG-BJD	00:35	Fixed	NOV702GG NONE	1,91	NOV702GG NONE	3,00	3,028	13	0,003	0,001	0,001	2270,368
HV_009- RN1-REG-BJD	00:31	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,00	2,366	14	0,002	0,001	0,000	584,084
HV_010- RN1-REG-BJD	00:32	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,06	2,392	12	0,004	0,001	0,001	4208,03
PC_001- RN1-REG-BJD	00:30	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,00	1,651	12	0,001	0,000	0,001	423,702
PC_002- RN1-REG-BJD	00:32	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,40	2,336	12	0,007	0,002	0,001	7301,865
PC_003- RN1-REG-BJD	00:31	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,94	2,281	10	0,002	0,001	0,001	2234,234

<i>Name</i>	<i>Duration</i>	<i>Solution Type</i>	<i>Ant. Type</i>	<i>Ant. Height Slant (m) Control</i>	<i>Antenna Type</i>	<i>Ant. Height Vertical (m) - Rover</i>	<i>PDOP</i>	<i>GPS Satellites</i>	<i>RMS</i>	<i>North RMS(m)</i>	<i>East RMS(m)</i>	<i>Distance (m)</i>
PC_004-RN01-REG-BJD	05:15	Fixed	HiPer+	2,00	JAV_TRIUM PH-1 NONE	2,00	2,276	17	0,006	0,003	0,006	6807,222
PC_005-RN01-REG-BJD	05:08	Fixed	HiPer+	2,00	JAV_TRIUM PH-1 NONE	2,00	2,303	17	0,007	0,003	0,006	7221,349

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Tabela 10 - Memorial de cálculo do apoio básico suplementar do reservatório Belo Jardim – GNSS – resultado final

<i>Name</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Grid Northing (m)</i>	<i>Grid Easting (m)</i>	<i>Ell. Height (m)</i>	<i>Ortho. Height (m)</i>	<i>Geo. Undulation (m)</i>	<i>Std Dev n (m)</i>	<i>Std Dev e (m)</i>	<i>Std Dev u (m)</i>
HV_001	8°23'22,65860"S	36°26'18,93070"W	9071707,409	782081,194	643,016	648,558	-5,555	0,004	0,004	0,014
HV_002	8°23'54,55431"S	36°25'40,28515"W	9070719,223	783257,733	655,05	660,592	-5,555	0,003	0,004	0,014
HV_003	8°20'37,38370"S	36°21'53,86906"W	9076734,346	790229,14	584,082	589,624	-5,555	0,003	0,003	0,012
HV_004	8°19'57,89376"S	36°22'02,74836"W	9077950,104	789965,387	579,049	584,591	-5,555	0,001	0,001	0,003
HV_005	8°21'27,08778"S	36°24'06,95756"W	9075233,475	786144,503	595,688	601,23	-5,555	0,003	0,004	0,013
HV_006	8°20'57,32195"S	36°24'32,46417"W	9076153,608	785369,662	607,657	613,199	-5,555	0,003	0,003	0,012
HV_007	8°21'56,65045"S	36°25'46,98175"W	9074344,832	783076,466	661,683	667,225	-5,555	0,003	0,003	0,013
HV_008	8°20'07,56634"S	36°23'39,34927"W	9077672,376	787005,854	598,735	604,277	-5,555	0,003	0,003	0,012
HV_009	8°20'32,58494"S	36°22'50,26530"W	9076893,358	788503,507	612,133	617,675	-5,555	0,001	0,000	0,002
HV_010	8°22'32,59824"S	36°23'51,37456"W	9073216,542	786608,243	627,528	633,07	-5,555	0,003	0,003	0,013
PC_001	8°20'53,33020"S	36°22'28,52619"W	9076251,217	789164,822	598,176	603,718	-5,555	0,003	0,003	0,012
PC_002	8°23'29,78049"S	36°25'19,98112"W	9071476,671	783884,249	630,956	636,498	-5,555	0,003	0,003	0,014
PC_003	8°21'18,02738"S	36°23'35,14975"W	9075505,558	787120,112	605,696	611,238	-5,555	0,003	0,003	0,012
PC_004	8°20'40,20862"S	36°22'32,78601"W	9076655,448	789037,09	597,692	603,234	-5,555	0,003	0,003	0,012
PC_005	8°20'50,82036"S	36°22'23,59960"W	9076327,367	789316,165	601,622	607,164	-5,555	0,003	0,003	0,012

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Comparando o desnível entre as cotas ortométricas oficiais de partida e de chegada com o desnível obtido com o nivelamento geométrico executado no mesmo trecho, calculou-se o erro, percebe-se que este erro foi inferior a $3\text{mm} * \sqrt{K}$, onde K corresponde a distância média nivelada em quilômetros.

Os Quadro 7 e 8 apresentam um resumo dos resultados obtidos pelo nivelamento geométrico dos reservatórios, considerando que o reservatório Jatobá II apresentou um erro igual a 0,0057 metros, e o reservatório Belo Jardim 0,0000 metros, os quais estão dentro da tolerância especificada.

Quadro 7 - Erro de fechamento do nivelamento do reservatório Jatobá II.

Pontos de Cota Conhecida – IBGE			
Marco de Partida		Marco de Chegada	
Nome:	RN188N	Nome:	M1885P
Pertencente:	IBGE	Pertencente:	IBGE
Cota Ortométrica (m):	672,1963	Cota Ortométrica (m):	683,3988
Datum:	Imbituba	Datum:	Imbituba
Resultados Nivelamento Geométrico			
Marco de Partida		Marco de Chegada	
Nome:	RRN188N	Nome:	M1885P
Pertencente:	IBGE	Pertencente:	IBGE
Cota Ortométrica (m):	672,1963	Cota Ortométrica (m):	683,4045
Datum:	Imbituba	Datum:	Imbituba
Análise dos Resultados			
Distância percorrida com o nivelamento geométrico (km):		14,622	
Tolerância:		$3\text{mm} * \sqrt{K\text{m}}$	
Diferença Verificada	Cota Conhecida - Cota Encontrada (m)	0,0057	
Diferença Aceita	Cota Conhecida - Cota Encontrada (m)	0,0115	

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Quadro 8 - Erro de fechamento do nivelamento do reservatório Belo Jardim.

Pontos de Cota Conhecida – IBGE			
Marco de Partida		Marco de Chegada	
Nome:	RN1812F	Nome:	M1812F-01
Pertencente:	IBGE	Pertencente:	-
Cota Ortométrica (m):	626,3939	Cota Ortométrica (m):	644,8117
Datum:	Imbituba	Datum:	Imbituba
Resultados Nivelamento Geométrico			
Marco de Partida		Marco de Chegada	
Nome:	RN1812F	Nome:	M1812F-01
Pertencente:	IBGE	Pertencente:	-
Cota Ortométrica (m):	626,3939	Cota Ortométrica (m):	644,8117
Datum:	Imbituba	Datum:	Imbituba
Análise dos Resultados			
Distância percorrida com o nivelamento geométrico (km):		3,449	
Tolerância:		3mm*√Km	
Diferença Verificada	Cota Conhecida - Cota Encontrada (m)	0,000	
Diferença Aceita	Cota Conhecida - Cota Encontrada (m)	0,0056	

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

O controle de qualidade dos levantamentos batimétricos do reservatório Jatobá II, percebe-se que dos 73 (setenta e três) pontos utilizados para análise, 70 (setenta) deles ficaram dentro da margem permitida pela IVT e apenas 3 (três) acima dos valores permitidos, e ainda assim, três pontos ficaram próximos aos valores limítrofes aceitáveis (Tabela 11).

Tabela 11 - Controle de qualidade do levantamento batimétrico do reservatório Jatobá II

Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Prof Média	IVT aceitável	Dif. Absoluta
611335,66	9146758,17	647,41	647,72	2,34	0,25	0,31
611629,92	9146651,75	647,66	647,38	2,10	0,25	0,28
611960,50	9146608,50	648,91	648,65	0,84	0,25	0,26
611725,50	9146647,50	648,86	648,63	0,89	0,25	0,23
611938,50	9146612,50	648,92	648,71	0,84	0,25	0,21
611724,50	9146647,50	648,78	648,58	0,97	0,25	0,20
611499,85	9146817,20	647,40	647,22	2,35	0,25	0,18
611335,50	9146758,50	647,52	647,68	2,24	0,25	0,16
611694,50	9146739,50	648,22	648,37	1,53	0,25	0,15
611940,50	9146612,50	648,50	648,63	1,25	0,25	0,13

Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Prof Média	IVT aceitável	Dif. Absoluta
611974,50	9146602,50	649,14	649,01	0,62	0,25	0,13
611456,50	9146821,50	647,06	647,18	2,70	0,25	0,13
611968,50	9146605,50	648,84	648,71	0,91	0,25	0,13
611695,50	9146741,50	648,18	648,29	1,58	0,25	0,11
611978,50	9146601,50	649,21	649,10	0,54	0,25	0,11
611694,50	9146738,50	648,27	648,38	1,48	0,25	0,11
611963,50	9146607,50	648,74	648,64	1,02	0,25	0,09
611973,50	9146603,50	649,08	648,99	0,67	0,25	0,09
611959,50	9146609,50	648,57	648,66	1,18	0,25	0,09
611713,50	9146774,50	648,69	648,77	1,07	0,25	0,08
611816,50	9146629,50	648,37	648,28	1,39	0,25	0,08
611965,50	9146606,50	648,69	648,61	1,06	0,25	0,08
611714,50	9146776,50	648,58	648,66	1,17	0,25	0,08
611454,50	9146821,50	647,03	647,11	2,72	0,25	0,08
611815,50	9146629,50	648,34	648,26	1,42	0,25	0,08
611985,50	9146599,50	649,28	649,20	0,48	0,25	0,07
611851,50	9146603,50	648,77	648,70	0,98	0,25	0,07
611976,50	9146602,50	649,11	649,04	0,64	0,25	0,07
611326,54	9146799,73	648,22	648,29	1,53	0,25	0,06
611970,50	9146604,50	648,93	648,87	0,83	0,25	0,06
611975,50	9146602,50	649,09	649,03	0,67	0,25	0,06
611972,50	9146603,50	649,02	648,96	0,73	0,25	0,06
611850,50	9146603,50	648,73	648,67	1,03	0,25	0,06
611712,95	9146624,28	647,94	647,99	1,82	0,25	0,06
611812,57	9146610,08	648,22	648,28	1,53	0,25	0,05
611939,50	9146612,50	648,61	648,66	1,14	0,25	0,05
611326,50	9146799,50	648,23	648,28	1,53	0,25	0,05
611937,50	9146612,50	648,71	648,76	1,05	0,25	0,05
611424,33	9146889,36	647,78	647,73	1,97	0,25	0,05
611977,50	9146601,50	649,12	649,07	0,63	0,25	0,05
611719,50	9146787,50	648,39	648,43	1,37	0,25	0,05
611431,50	9146791,50	648,42	648,47	1,33	0,25	0,05
611693,50	9146736,50	648,47	648,51	1,29	0,25	0,04
611715,50	9146779,50	648,59	648,55	1,16	0,25	0,04
611715,50	9146780,50	648,56	648,52	1,19	0,25	0,04
611556,42	9146732,10	647,45	647,42	2,30	0,25	0,04
611981,50	9146600,50	649,20	649,16	0,55	0,25	0,04
611712,50	9146773,50	648,80	648,83	0,96	0,25	0,03
611716,50	9146781,50	648,47	648,50	1,28	0,25	0,03
611714,50	9146778,50	648,61	648,58	1,14	0,25	0,03
611987,50	9146599,50	649,25	649,21	0,51	0,25	0,03
611442,50	9146814,50	647,14	647,17	2,62	0,25	0,03
611581,50	9146746,50	648,63	648,66	1,13	0,25	0,03

Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Prof Média	IVT aceitável	Dif. Absoluta
611935,50	9146612,50	648,79	648,81	0,97	0,25	0,03
611844,50	9146603,50	648,74	648,76	1,02	0,25	0,03
611718,50	9146785,50	648,43	648,45	1,33	0,25	0,03
611934,50	9146612,50	648,82	648,84	0,94	0,25	0,02
611717,50	9146783,50	648,45	648,47	1,31	0,25	0,02
611848,50	9146603,50	648,67	648,64	1,09	0,25	0,02
611356,95	9146770,02	646,16	646,14	3,59	0,25	0,02
611986,50	9146599,50	649,19	649,21	0,57	0,25	0,02
611711,50	9146618,50	648,42	648,43	1,34	0,25	0,02
611961,50	9146608,50	648,64	648,66	1,11	0,25	0,02
611957,50	9146609,50	648,53	648,54	1,22	0,25	0,01
611845,50	9146603,50	648,72	648,73	1,04	0,25	0,01
611405,50	9146880,50	648,26	648,25	1,49	0,25	0,01
611847,50	9146603,50	648,68	648,66	1,08	0,25	0,01
611707,50	9146763,50	648,71	648,72	1,05	0,25	0,01
611811,50	9146599,50	648,90	648,89	0,85	0,25	0,01
611952,50	9146611,50	648,25	648,25	1,51	0,25	0,01
611910,50	9146609,50	648,85	648,84	0,90	0,25	0,01
611956,50	9146610,50	648,46	648,46	1,30	0,25	0,01
611431,87	9146809,43	647,00	647,00	2,76	0,25	0,01

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Já para o controle de qualidade dos levantamentos batimétricos do reservatório Belo Jardim, percebe-se que dos 99 (noventa e nove) pontos utilizados para análise, 98 (noventa e oito) deles ficaram dentro da margem permitida pela IVT e apenas 1 (um) acima dos valores permitidos (Tabela 12).

Tabela 12 - Controle de qualidade do levantamento batimétrico do reservatório Belo Jardim

Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Prof Média	IVT aceitável	Dif. Absoluta
787850,00	9076089,40	581,40	581,82	5,27	0,25	0,41
788902,00	9076431,50	582,24	582,04	4,43	0,25	0,2
7882410,00	9076130,50	582,92	582,75	3,75	0,25	0,17
787850,00	9076097,50	582,76	582,89	3,92	0,25	0,14
787667,00	9076047,50	582,52	582,63	4,16	0,25	0,12
787654,00	9076045,57	582,91	583,02	3,76	0,25	0,11
788022,00	9076139,50	580,74	580,84	5,93	0,25	0,10
788023,00	9076139,50	580,73	580,82	5,94	0,25	0,09
7864750,00	9076074,50	582,87	582,95	3,81	0,25	0,08
786900,00	9075837,50	582,38	582,45	4,3	0,25	0,08
787129,00	9075927,50	582,15	582,22	4,53	0,25	0,07
786604,00	9076112,50	583,25	583,17	3,43	0,25	0,07

Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Prof Média	IVT aceitável	Dif. Absoluta
788434,00	9076164,50	581,58	581,51	5,09	0,25	0,07
786719,00	9075912,5	583,24	583,31	3,43	0,25	0,07
786718,00	9075913,5	583,24	583,30	3,44	0,25	0,06
787457,00	9076045,93	582,23	582,17	4,44	0,25	0,06
788773,00	9076372,03	581,36	581,30	5,31	0,25	0,06
787521,00	9076040,50	582,17	582,11	4,51	0,25	0,06
789137,00	9076449,74	582,22	582,17	4,45	0,25	0,06
787489,00	9076043,50	581,99	581,93	4,68	0,25	0,06
789131,00	9076434,63	583,48	583,53	3,19	0,25	0,06
788611,00	9076258,50	582,68	582,62	4,00	0,25	0,05
786678,00	9075996,50	582,84	582,89	3,83	0,25	0,05
786698,00	9076140,50	583,08	583,03	3,59	0,25	0,05
789005,00	9076482,50	582,18	582,22	4,50	0,25	0,05
786758,00	9075871,50	583,46	583,41	3,22	0,25	0,05
786695,00	9076140,50	583,07	583,02	3,60	0,25	0,05
786717,00	9075914,50	583,27	583,31	3,41	0,25	0,05
788241,00	9076125,51	581,81	581,85	4,87	0,25	0,05
788776,00	9076361,50	581,51	581,56	5,16	0,25	0,05
786474,00	9076073,50	582,91	582,96	3,76	0,25	0,05
789006,00	9076482,50	582,20	582,24	4,48	0,25	0,05
787520,00	9076040,50	582,16	582,11	4,52	0,25	0,04
788962,00	9076453,50	584,16	584,11	2,52	0,25	0,04
786600,00	9076111,50	583,25	583,29	3,43	0,25	0,04
788945,00	9076473,50	582,42	582,38	4,25	0,25	0,04
787088,00	9075919,50	582,37	582,32	4,31	0,25	0,04
786716,00	9075915,50	583,41	583,36	3,27	0,25	0,04
787250,00	9075960,50	582,02	581,98	4,65	0,25	0,04
786755,00	9075873,50	583,32	583,36	3,36	0,25	0,04
787491,00	9076043,50	582,01	581,96	4,67	0,25	0,04
786696,00	9076140,50	583,07	583,03	3,60	0,25	0,04
786908,00	9075837,50	582,62	582,58	4,05	0,25	0,04
788951,00	9076466,09	582,57	582,53	4,10	0,25	0,04
786576,00	9076106,50	583,24	583,27	3,44	0,25	0,04
787280,00	9075956,50	581,97	581,93	4,71	0,25	0,04
787027,00	9075898,50	582,41	582,44	4,27	0,25	0,03
787459,00	9076040,50	582,32	582,28	4,36	0,25	0,03
788945,00	9076472,50	582,38	582,35	4,29	0,25	0,03
788021,00	9076139,50	580,82	580,85	5,85	0,25	0,03
788429,00	9076175,28	581,37	581,40	5,30	0,25	0,03
787131,00	9075927,50	582,11	582,13	4,57	0,25	0,03
787659,00	9076046,50	582,81	582,78	3,87	0,25	0,03
788905,00	9076433,50	582,37	582,34	4,31	0,25	0,03
786906,00	9075840,01	582,42	582,45	4,25	0,25	0,03
788025,00	9076139,50	580,76	580,79	5,91	0,25	0,03

Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Prof Média	IVT aceitável	Dif. Absoluta
788241,00	9076115,50	581,73	581,70	4,95	0,25	0,02
787281,00	9075950,50	582,02	582,04	4,65	0,25	0,02
788403,00	9076162,50	581,55	581,57	5,13	0,25	0,02
787248,00	9075960,50	582,04	582,06	4,63	0,25	0,02
787492,00	9076043,50	582,01	581,99	4,66	0,25	0,02
787522,00	9076040,50	582,09	582,11	4,59	0,25	0,02
786605,00	9076112,50	583,17	583,14	3,51	0,25	0,02
787024,00	9075896,50	582,45	582,42	4,23	0,25	0,02
787456,00	9076047,50	582,23	582,21	4,45	0,25	0,02
786607,00	9076113,50	583,12	583,10	3,55	0,25	0,02
786678,00	9075997,50	582,79	582,81	3,88	0,25	0,02
788604,00	9076268,91	581,37	581,38	5,31	0,25	0,02
787181,00	9075948,50	582,09	582,10	4,59	0,25	0,02
789017,00	9076478,50	581,91	581,93	4,76	0,25	0,02
787134,00	9075928,50	582,06	582,08	4,61	0,25	0,02
786717,00	9076071,50	583,16	583,14	3,52	0,25	0,02
786703,00	9076041,50	583,12	583,13	3,56	0,25	0,02

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

No tocante ao perfilamento a laser, observa-se que todos os pontos de controles (considerando os que estavam dentro da área de estudo, Tabela 13, 14, 16 e 17) atendem a PEC-PCD classe A na escala 1:5000 (máximo d e 0,54 metros), por meio da análise da diferença de altitude entre o ponto de verificação e o ponto extraído do modelo para cada coordenada (Tabela 15 e 18).

Tabela 13 - Memorial de cálculo do reservatório Jatobá II – GNSS

<i>Name</i>	<i>Duratio n</i>	<i>Solution Type</i>	<i>Ant. a Type</i>	<i>Ant. Height Vertical (m) - Base</i>	<i>Ant. Type</i>	<i>Ante. Height Vertical (m) - Rover</i>	<i>PDOP</i>	<i>GPS Satellites</i>	<i>RMS</i>	<i>North RMS (m)</i>	<i>East RMS (m)</i>	<i>Distance (m)</i>
Base Mauriti-C RAT	01:45:07	Fixed,Wi de Lane	LEIAT 502	2,00	TRM559 71.00	0,008	2,235	11	0,04	0,019	0,037	72585

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Tabela 14 - Memorial de cálculo do reservatório Jatobá II – GNSS – resultado final

<i>Name</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Grid Northing</i>	<i>Grid Easting</i>	<i>Ell. Heigth</i>	<i>Ortho. Height</i>	<i>Geo. Undulation</i>	<i>Std Dev n</i>	<i>Std Dev e</i>	<i>Std Dev u</i>	<i>Control</i>
Base Mauriti	7°23'20,89902"S	38°46'33,42581"W	9183227,000	524725,000	360,693	370,493	-9,80	0,013	0,014	0,037	None

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Tabela 15 - Controle de qualidade do perfilamento a laser do reservatório Jatobá II

Ponto	E (m)	N (m)	H (m)	H Laser (m)	Diferença (m)	PEC - PCD	Validação
HV_002	614365,437	9144623,064	714,91	715,18	0,27	0,54	Aprovado
HV_003	612250,447	9145948,672	682,767	682,42	-0,347	0,54	Aprovado
HV_004	613463,044	9147148,914	702,984	703,12	0,136	0,54	Aprovado
HV_005	611202,569	9146813,771	663,326	663,59	0,264	0,54	Aprovado
HV_006	612240,553	9148270,285	746,923	747,23	0,307	0,54	Aprovado
HV_007	612557,818	9147855,600	717,759	717,94	0,181	0,54	Aprovado
HV_008	612308,155	9146767,992	664,844	665,21	0,366	0,54	Aprovado
HV_009	613279,802	9146320,077	691,277	691,35	0,073	0,54	Aprovado
PC_001	613080,924	9146288,456	684,354	684,41	0,056	0,54	Aprovado
PC_002	611089,683	9147236,275	678,599	678,46	-0,139	0,54	Aprovado
PC_003	612811,491	9146764,856	673,204	673,54	0,336	0,54	Aprovado
PC_004	611451,381	9146602,451	663,386	663,19	-0,196	0,54	Aprovado
PC_005	611353,868	9147363,351	683,089	682,79	-0,299	0,54	Aprovado

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Tabela 16 - Memorial de cálculo do reservatório Belo Jardim – GNSS

<i>Name</i>	<i>Duration</i>	<i>Solution Type</i>	<i>Ant. a Type</i>	<i>Ant. Height Vertical (m) - Base</i>	<i>Ant. Type</i>	<i>Ante. Height Vertical (m) - Rover</i>	<i>PDOP</i>	<i>GPS Satellites</i>	<i>RMS</i>	<i>North RMS (m)</i>	<i>East RMS (m)</i>	<i>Distance (m)</i>
Base Belo Jardim – PEA	00:54:36	Fixed, Wide Lane	TRM39105.00	0,08	TRM39105.00	1,421	2,172	12	0,058	0,014	0,017	146340,754

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Tabela 17 – Memorial de cálculo do Reservatório Belo Jardim – GNSS – resultado final

<i>Name</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Grid Northing</i>	<i>Grid Easting</i>	<i>Ell. Height</i>	<i>Ortho. Height</i>	<i>Geo. Undulation</i>	<i>Std Dev n</i>	<i>Std Dev e</i>	<i>Std Dev u</i>	<i>Control</i>
Base Belo Jardim – PEA	8°20'45,63323"S	36°26'22,94418"W	9076534,999	781989,749	639,698	645,375	-5,68	0,014	0,017	0,054	None

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Tabela 18 – Controle de qualidade do perfilamento a laser do reservatório Belo Jardim

Ponto	E (m)	N (m)	H (m)	H Laser (m)	Diferença (m)	PEC - PCD	Validação
HV-002	783257,733	9070719,223	660,605	660,810	0,205	0,54	Aprovado
HV-003	790229,140	9076734,346	589,637	589,480	-0,157	0,54	Aprovado
HV-005	786144,503	9075233,475	601,243	601,290	0,047	0,54	Aprovado
HV-006	785369,662	9076153,608	613,212	613,190	-0,022	0,54	Aprovado
HV-009	788503,507	9076893,358	617,688	617,620	-0,068	0,54	Aprovado
HV-010	786608,243	9073216,542	633,083	633,180	0,097	0,54	Aprovado
PC-001	789164,822	9076251,217	603,731	603,770	0,039	0,54	Aprovado
PC-002	783884,249	9071476,671	636,511	636,640	0,129	0,54	Aprovado
PC-003	787120,112	9075505,558	611,251	611,190	-0,061	0,54	Aprovado
PC-004	789037,090	9076655,448	603,247	603,140	-0,107	0,54	Aprovado
PC-005	789316,165	9076327,367	607,177	606,740	-0,437	0,54	Aprovado

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

3.2.5 Modelo Geoidal Local

Especificamente, para atendimento à resolução nº 03, de 10 de agosto de 2010, da ANEEL e da ANA, quando o modelo geoidal adotado para o Brasil (MAPGEO2015) não atender aos requisitos de acurácia, um MGL deve ser calculado.

A partir dos rastreios de um conjunto de RRNN pertencentes ao SGB ou determinadas a partir deste, com receptores GNSS, elabora-se o MGL por meio de um processo de interpolação matemática, o qual determina a ondulação geoidal para a região de interesse. De forma simplificada, pode-se afirmar que a ondulação geoidal (N) em um ponto qualquer é dada pela diferença entre as altitudes geométrica (h) e ortométrica (H) (IBGE, 2019). Conforme ilustra a Figura 20.

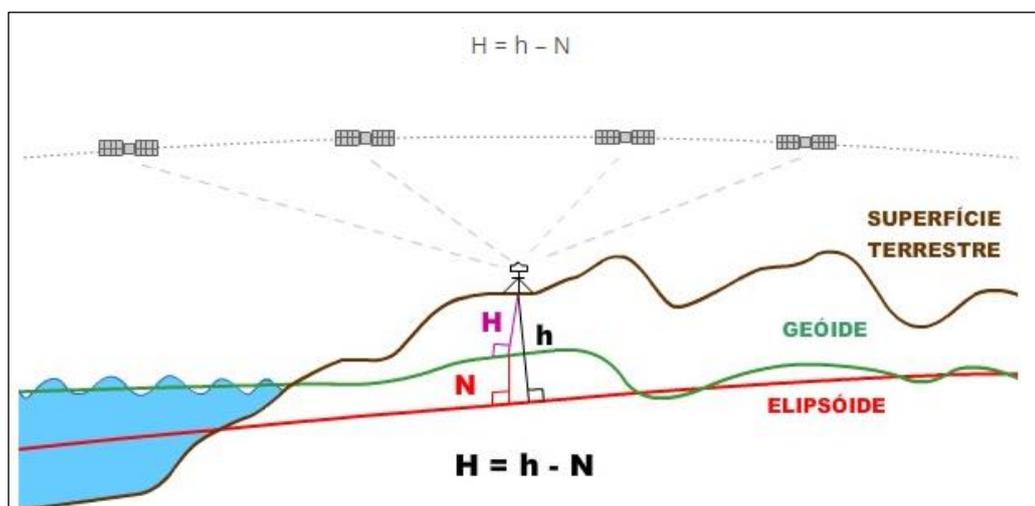


Figura 20 - Modelo Geoidal Local
Fonte: BGE (2019).

Com base nas definições acima, o valor da ondulação geoidal (N) é válido apenas para o ponto para o qual foi determinado. Contudo, é necessária a determinação de N ao longo do açude. Para tal, rastreia-se na região de interesse um conjunto de RRNN pertencentes ao SGB ou determinadas a partir deste, com receptores GNSS, e por meio de um processo de interpolação matemática elabora-se um Modelo Digital de Elevação (MDE), determinando a variabilidade física da ondulação geoidal daquela região de interesse.

A elaboração do Modelo Geoidal Local do reservatório Jatobá II foi obtido a partir de 8 (oito) RRNN, pertencentes ao apoio básico altimétrico de 2° ordem, apresentadas na Tabela 19.

Esses pontos tiveram as altitudes elipsoidais determinadas por rastreios GNSS e suas altitudes ortométricas obtidas por meio de nivelamentos geométricos a partir do apoio básico altimétrico de 1° ordem.

Na Figura 21, observa-se que a variação da ondulação geoidal local é de aproximadamente 15 cm, sendo que esse gradiente aumenta de leste para oeste. Tal comportamento também pode ser confirmado pelo MAPGEO 2015, elaborado pelo IBGE.

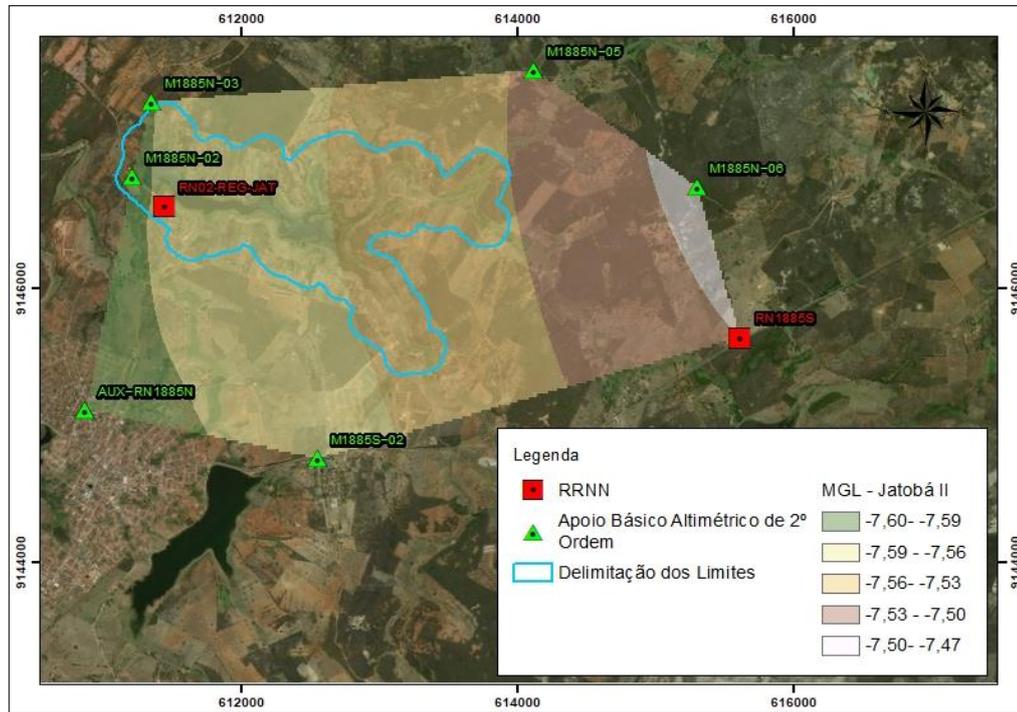


Figura 21 - MGL do reservatório Jatobá II
 Fonte: Adaptado ANA (2018).

Tabela 19 - Dados MGL do reservatório Jatobá II

<i>Name</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Grid Northing (m)</i>	<i>Grid Easting (m)</i>	<i>Ell.Height (m)</i>	<i>Ortho. Height(m)</i>	<i>Geo.Undulation (m)</i>
AUX-RN1885N	7°43'57,88825"S	37°59'40,34779"W	9145116,310	610877,240	673,79	681,40	-7,61
M1885N-02	7°43'02,41476"S	37°59'29,54207"W	9146819,280	611212,310	656,55	664,15	-7,61
M1885N-05	7°42'36,76508"S	37°57'54,55344"W	9147600,100	614124,320	671,00	678,53	-7,53
M1885N-06	7°43'04,55116"S	37°57'15,90756"W	9146743,810	615306,220	726,69	734,17	-7,49
M1885S-02	7°44'09,28287"S	37°58'45,33892"W	9144762,340	612561,610	681,90	689,47	-7,57
M1885N-03	7°42'44,68938"S	37°59'24,96339"W	9147363,350	611353,870	675,50	683,09	-7,59
RN02-REG-JAT	7°43'09,45627"S	37°59'21,72168"W	9146602,450	611451,380	655,81	663,39	-7,58
RN1885S	7°43'40,26680"S	37°57'05,65054"W	9145646,090	615617,760	704,52	712,02	-7,50

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

Para os casos de reservatórios pequenos de difícil acesso, pode-se determinar somente a ondulação geoidal sobre apenas uma RN implantada sobre o barramento daquele corpo hídrico (IBGE, 2008).

A ondulação geoidal do reservatório Belo Jardim foi determinada a partir de 1 (um) ponto da referência de nível materializado sobre seu barramento, pertencente ao apoio básico planialtimétrico de 2º ordem, apresentada na Tabela 20. Esse ponto possui a altitude elipsoidal determinada a partir do rastreamento GNSS e a altitude ortométrica obtidas por meio de nivelamentos geométricos a partir do apoio Básico altimétrico de 1º Ordem.

O cálculo da ondulação geoidal (N) foi realizado a partir da diferença entre as altitudes elipsoidais (h) e ortométricas (H), onde $N = (h - H)$.

Tabela 20 - Ondulação Geoidal reservatório Belo Jardim

<i>Name</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Grid Northing (m)</i>	<i>Grid Easting (m)</i>	<i>Ell.Height (m)</i>	<i>Ortho. Height(m)</i>	<i>Geo.Undulation (m)</i>	<i>Std Dev n (m)</i>	<i>Std Dev e (m)</i>	<i>Std Dev u (m)</i>
RN01-REG-BJD	8°20'40,20862"S	36°22'32,78601"W	9076655,448	789037,090	597,692	603,247	-5,555	0,003	0,003	0,012

Fonte: Adaptado de ANA (2018).

3.2.6 Integração dos Dados

A integração dos dados, oriundos do perfilamento a laser e batimetria ocorre por meio dos dados em formato vetorial do reservatório.

Para integrar os pontos altimétricos da parte seca e molhada, utilizou-se softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para criar¹² e/ou carregar os devidos arquivos em formato vetorial (shapfiles¹³).

Antes de integrar as informações, foi necessário avaliar e analisar os arquivos, verificando se o sistema de referência utilizado era o sistema de referência oficial do Brasil (SIRGAS 2000), se foram projetados no *Universal Transversa de Mercator* (UTM), no fuso e meridiano correto, neste caso fuso 24 S e meridiano 39 S (para ambos reservatórios).

Após a confirmação do sistema de referência utilizado, foi possível verificar os valores altimétricos do levantamento. Desta forma, foram selecionados pontos¹⁴ ao longo do arquivo vetorial (extremos entre o fim da batimetria e início do perfilamento a laser), para conferência e análise dos pontos do bordo do reservatório (Figura 22 e 23). Os pontos em verdes, referem-se ao levantamento batimétrico e os pontos em vermelho, referem-se ao perfilamento a laser.

Para tanto, após toda conferência e análise realizada (todos os pontos apresentam valores altimétricos próximos), integrou-se os arquivos, transformando em um único arquivo em formato vetorial.

¹² A maioria das os levantamentos são entregues em formato .txt

¹³ Neste trabalho utilizou-se o software ARCGIS 10.5.

¹⁴ Muitos erros de processamentos ocorrem durante o processo, por exemplo existem casos de levantamentos batimétrico exportados errados, com profundidade 20 metros maior que o real.

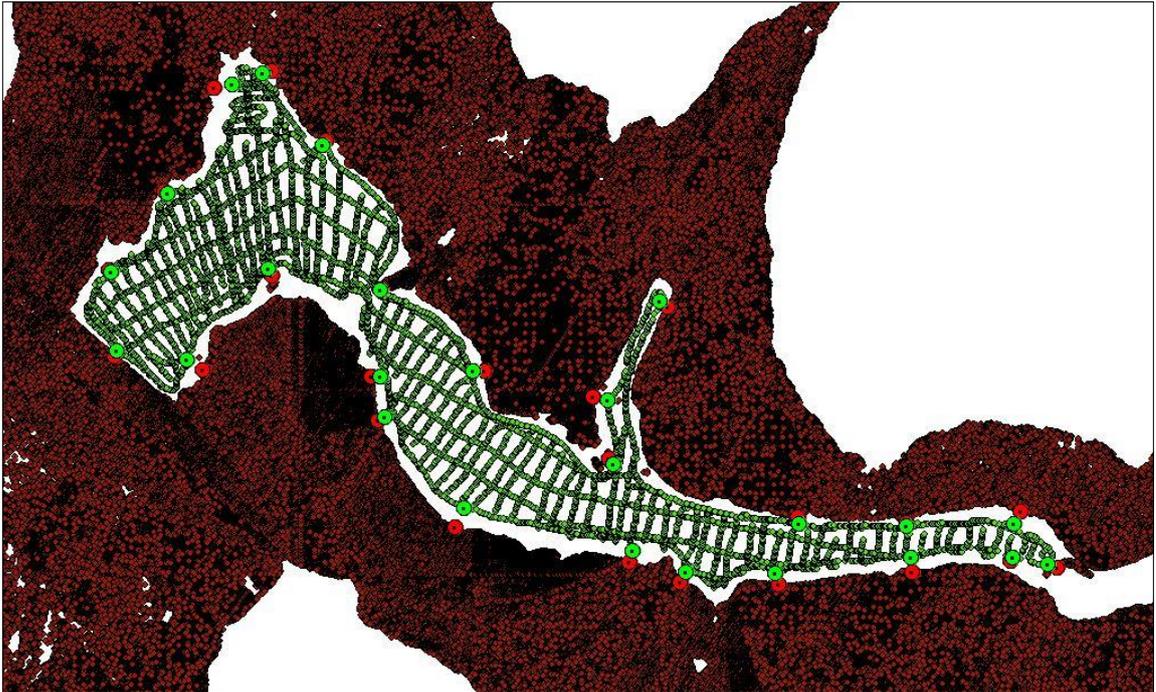


Figura 22 - Validação do levantamento do reservatório Jatobá II.
Fonte: Autor (2020).

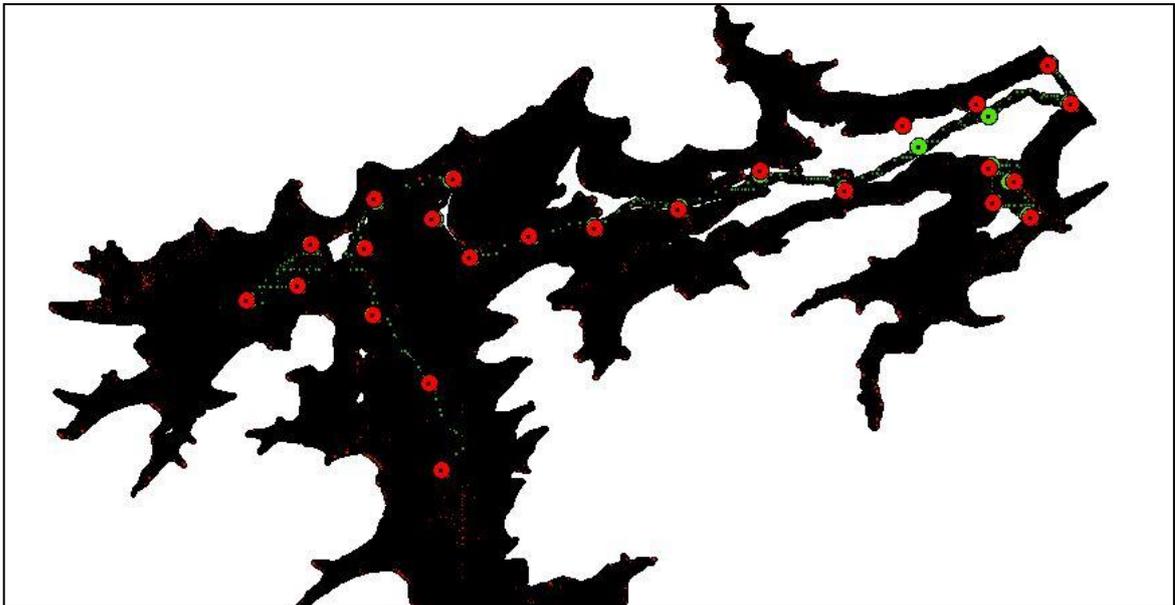


Figura 23 - Validação do levantamento do reservatório Belo Jardim
Fonte: Autor (2020).

3.2.7 Modelo Digital do Terreno e Poligonal de Corte

É neste momento que se representa os dados levantados do reservatório, desta forma cria-se o TIN (vetor) do reservatório e exporta-se o para o formato matricial *raster* (considerando que o MDT deve ser elaborado com todos os pontos levantados da parte seca e molhada).

O valor adotado para o tamanho da célula da matriz (resolução espacial) foi de 1 metro, compatível com as Normas Técnicas da Cartografia Nacional, Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais, Comissão Nacional de Cartografia na escala 1.500 padrão classe A (para ambos MDT's).

Após a elaboração do MDT, parte-se para um ponto crucial do estudo, a elaboração do polígono de corte do MDT para a extração correta das Curvas CAV. Desta forma, entende-se que para obter o mesmo a maneira mais simples e correta, seria extrair a última curva do reservatório (levando como base os arquivos de referências antigos do reservatório) e analisar o MDT como um todo, verificando e entendendo o comportamento do reservatório.

3.2.8 Extração e análises das Curva Cota X Área X Volume

Por meio da linguagem ArcPy¹⁵, uma rotina de processamento originalmente desenvolvida por Gabrisch (2006) e modificada por Especialistas em Geoprocessamento da ANA, é possível calcular a CAV retornando um arquivo em formato .txt.

A determinação dos valores de área e volume do MDT é dada a partir de um plano de corte, desde a cota mínima até a cota máxima do reservatório. A extração da curva ocorre a cada 1 cm (Figura 24 e 25), para que seja avaliado precisamente todo o reservatório, porém o documento orientativo da ANEEL/ANA solicita que a extração ocorra a cada 50 centímetros.

¹⁵ Linguagem utilizada pelo software ArcGIS Desktop e baseada em Python, que permite criar rotinas de processamento dos dados em lote, otimizando tempo de execução das tarefas e evitando erros no processamento dos mesmos.

```

# Entra com o diretório e o nome do modelo"
My_surface= "D:/Estacao-s2/ANA/CAV_JatobaII/CAV_Local/MDE_AcudeJatobaII_SGB.tif"

# Opções BELOW e ABOVE - No caso de determinação de CAVs usar BELOW"
# Caso necessite-se da opção ABOVE excluir # dos comandos do "if direction" abaixo
direction = "below"

# Cota do Nível de Referência da Batimetria
startingplane = 662

# Fator de Escala - Normalmente usado em transformação de unidades
z = 1

# Passo para cálculo da CAV "1 = 1m; 0.1 = 10cm; 0.01 = 1cm"
# y = 0.01
y = 0.01

# Cota do Fundo do Reservatório
q = 644.84

```

Figura 24 - Extração da CAV do reservatório Jatobá II
Fonte: Autor (2020).

```

# Entra com o diretório e o nome do modelo"
My_surface= "D:/Estacao-s2/ANA/CAV_BeloJardim/CAV_SGB/MDE_AcudeBeloJardim.tif"

# Opções BELOW e ABOVE - No caso de determinação de CAVs usar BELOW"
# Caso necessite-se da opção ABOVE excluir # dos comandos do "if direction" abaixo
direction = "below"

# Cota do Nível de Referência da Batimetria
startingplane = 598.80

# Fator de Escala - Normalmente usado em transformação de unidades
z = 1

# Passo para cálculo da CAV "1 = 1m; 0.1 = 10cm; 0.01 = 1cm"
# y = 0.01
y = 0.01

# Cota do Fundo do Reservatório
q = 576.46

```

Figura 25 - Extração da CAV do reservatório Belo Jardim
Fonte: Autor (2020).

Dependendo do tamanho do reservatório a extração das Curvas CAV podem levar um tempo de processamento muito longo. Sendo assim, antes de iniciar qualquer processamento, realizou-se testes no MDT's para verificar a consistências dos dados, subtraindo o (z) do levantamento integrado do ponto MDT, mantendo o mesmo posicionamento (coordenadas E e N).

Por fim, para poder apresentar os resultados extraídos/obtidos do MDT, conforme orientações da ANA, elaborou-se gráficos em linhas no software Microsoft Excel, apresentando a cota, área e volume dos reservatórios.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como os levantamentos planialtimétricos deste estudo utilizam tecnologias muito precisas, a metodologia desenvolvida atende não só os requisitos mínimos solicitados no documento orientativo, como também a escala de mapeamento 1:5.000 e o Padrão de Exatidão Cartográfica Digital da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais Planialtimétrico Classe A.

Ao avaliar os pontos batimétricos e do perfilamento a laser, percebe-se que os levantamentos foram realizados em datas diferentes (Quadro 9), ou seja quando o levantamento da porção terrestre foi realizado, o reservatório se encontrava mais cheio do que o período em que foi realizado o levantamento da porção da área molhada.

Quadro 9 - Data dos levantamentos planialtimétricos.

	Apoio Geodésico de Campo	Perfilamento a Laser	Batimetria
Reservatório Jatobá II	16/06/2017	14/05/2017	27/06/2017
Reservatório Belo Jardim	21/07/2017	12/05/2017	27/07/2017 a 01/08/2017

Autor (2020).

A partir dos arquivos integrados dos reservatórios (Tabela 21 e 22), foi avaliado a consistência da informação, selecionando 24 pontos (extremos entre o fim da batimetria e início do perfilamento a laser), para a validação do levantamento de cada reservatório. Os pontos apresentam uma distância mínima de 0,64 e 0,32 metros e máxima de 14,54 e 103,18 metros e a diferença dos valores altimétricos de mínima de 0,55 e -0,08 metros e máxima de 2,93 e 7,2 metros, respectivamente para os reservatórios Jatobá II e Belo Jardim, ou seja, os valores encontrados são favoráveis ao levantamento.

Tabela 21 - Análise do arquivo vetorial integrado do reservatório Jatobá II

Ponto	X_Bat	Y_Bat	Z_Bat	X_Laser	Y_Laser	Z_Laser	Distância (m)	Dif. Altimétrica (m)
1	611334,50	9146807,50	647,82	611332,96	9146808,88	650,00	2,07	2,18
2	611338,50	9146751,50	648,07	611336,21	9146747,79	650,09	4,36	2,02
3	611387,50	9146745,50	648,09	611398,53	9146738,16	649,91	13,25	1,82
4	611523,50	9146733,50	648,76	611517,14	9146733,24	649,95	6,37	1,19
5	611526,50	9146704,50	648,73	611521,29	9146702,22	649,96	5,69	1,23
6	611581,50	9146640,50	648,98	611575,66	9146627,18	649,96	14,54	0,98
7	611700,50	9146610,50	649,19	611697,75	9146602,49	649,88	8,47	0,69
8	611737,50	9146595,50	649,10	611733,25	9146588,39	649,98	8,28	0,88

Ponto	X_Bat	Y_Bat	Z_Bat	X_Laser	Y_Laser	Z_Laser	Distância (m)	Dif. Altimétrica (m)
9	611800,50	9146594,50	649,00	611802,59	9146586,25	649,95	8,51	0,95
10	611895,50	9146605,50	648,60	611895,98	9146595,47	649,88	10,04	1,28
11	611966,50	9146605,50	648,57	611965,36	9146602,90	649,90	2,84	1,33
12	611991,50	9146600,50	649,15	611997,95	9146598,27	649,92	6,83	0,77
13	611967,50	9146629,50	648,85	611972,49	9146637,73	650,04	9,63	1,19
14	611892,50	9146627,50	648,28	611892,04	9146630,21	649,95	2,75	1,67
15	611816,50	9146629,50	648,33	611816,31	9146634,37	649,94	4,87	1,61
16	611686,50	9146671,50	648,68	611683,18	9146675,13	649,86	4,92	1,18
17	611719,50	9146786,50	648,42	611724,40	9146782,97	650,26	6,04	1,84
18	611682,50	9146716,50	649,32	611672,27	9146719,14	650,00	10,57	0,68
19	611588,50	9146737,50	649,19	611595,76	9146737,52	649,90	7,26	0,71
20	611523,50	9146794,50	649,30	611523,82	9146795,05	649,85	0,64	0,55
21	611444,50	9146809,50	647,90	611446,90	9146805,11	649,87	5,00	1,97
22	611482,50	9146896,50	649,00	611485,30	9146899,94	649,91	4,44	0,91
23	611440,50	9146947,50	648,79	611446,59	9146948,96	649,93	6,26	1,14
24	611419,50	9146939,50	648,54	611406,28	9146937,31	649,99	13,40	1,45

Autor (2020).

Tabela 22 - Análise do arquivo vetorial integrado do reservatório Belo Jardim

Ponto	X_Bat	Y_Bat	Z_Bat	X_Laser	Y_Laser	Z_Laser	Distância (m)	Dif. Altimétrica
1	786671,50	9075979,50	583,77	786665,54	9075978,82	587,40	6,00	3,63
2	786738,50	9076134,50	583,38	786747,37	9076139,53	586,50	10,2	3,12
3	786443,50	9076050,50	583,39	786436,38	9076058,01	586,59	10,35	3,2
4	786395,50	9075863,50	583,69	786400,94	9075863,66	586,75	5,44	3,06
5	786182,50	9075877,50	584,90	786185,43	9075881	585,67	4,56	0,77
6	785937,50	9075662,50	585,47	785931,87	9075654,32	585,61	9,93	0,14
7	786127,50	9075722,50	584,22	786132,83	9075716,62	585,76	7,94	1,54
8	786432,50	9075603,50	584,32	786428,51	9075600,13	587,65	5,22	3,33
9	786650,50	9075328,50	584,22	786650,77	9075328,33	584,8	0,32	0,58
10	786700,50	9074983,50	584,78	786701,02	9074983,04	584,70	0,69	-0,08
11	786816,50	9075831,50	584,63	786813,99	9075826,74	586,85	5,38	2,22
12	787047,50	9075908,50	582,27	787046,53	9075911,95	582,91	3,58	0,64
13	787299,50	9075950,50	582,13	787302,72	9075939,54	587,46	11,42	5,33
14	787637,50	9076026,50	583,56	787633,32	9076015,64	586,58	11,64	3,02
15	787953,50	9076154,50	582,29	787953,83	9076167,8	589,49	13,3	7,2
16	788284,50	9076103,50	581,71	788288,07	9076091,23	586,98	12,78	5,27
17	788863,50	9076188,50	584,87	788854,62	9076178,42	586,2	13,43	1,33
18	788577,50	9076264,50	581,48	788517,77	9076348,63	586,81	103,18	5,33
19	788877,50	9076047,50	584,54	788870,31	9076043,09	586,01	8,43	1,47
20	789009,50	9075996,50	585,11	789016,61	9075986,47	586,93	12,29	1,82

Ponto	X_Bat	Y_Bat	Z_Bat	X_Laser	Y_Laser	Z_Laser	Distância (m)	Dif. Altimétrica
21	788932,50	9076125,50	584,60	788956,06	9076125,74	586,72	23,56	2,12
22	789167,50	9076440,50	583,79	789174,54	9076431,99	586,67	11,04	2,88
23	789092,50	9076591,50	582,4	789088,67	9076589,98	586,05	4,12	3,65
24	788852,50	9076386,50	582,42	788805,75	9076436,46	586,85	68,42	4,43

Autor (2020).

Para consolidar a análise da integração dos dados, na Tabela 23 são apresentadas as principais estatísticas das amostras analisadas em relação a altimetria (z).

Tabela 23 - Estatística dos arquivos vetoriais integrados

	Reservatório Jatobá II	Reservatório Belo Jardim
Média (m)	1,26	2,75
Mediana (m)	1,19	2,95
Desvio padrão (m)	0,47	1,86
Mínimo (m)	0,55	-0,08
Máximo (m)	2,18	7,20
Contagem	24	24

Autor (2020).

A média e a mediana apresentam valores muito próximos e na casa dos centímetros (diferença de 7 centímetros para o reservatório Jatobá II e 20 centímetros para o reservatório Belo Jardim), indicando que não há grande presença de dados *outliers*, caso contrário, a média estaria distante da mediana. Já o desvio padrão, indica que quanto mais próximo de 0 for o resultado, mais homogêneo são os amostras, ou seja, o reservatório Jatobá II (0,47 metros) apresentou amostras melhores do que do reservatório Belo Jardim (1,87 metros), e estes desvios podem ocorrer em detrimentos aos lugares de difícil acesso, macrófitas, condições climáticas e as datas dos levantamentos distintas.

Os levantamos que apresentam dificuldades nos levantamentos por conta da difícil navegação, como no caso do reservatório Belo Jardim (Figura 26), os dados podem ser melhorados, realizando levantamentos complementares em uma época de cheia.

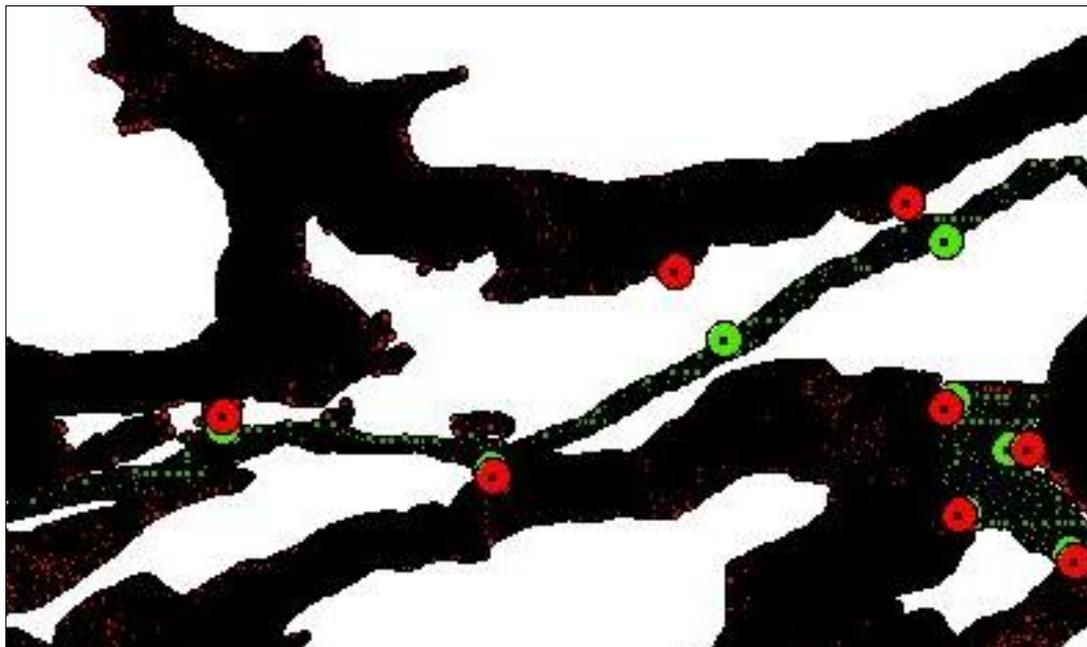


Figura 26 - Apresentação dos dados MDT (erros altimétricos), reservatório Belo Jardim
Autor (2020).

Por mais que os reservatórios apresentem pequenas divergência nos cálculos, os resultados para ambos são aceitáveis em detrimento da qualidade e precisão dos levantamentos batimétricos e do perfilamento a laser e pelo fato de que muitos reservatórios possuem informações da data de construção do reservatório ou muito desatualizada.

Em relação as Figura 27 e 28, verifica-se a existência de algum erro altimétrico e/ ou na delimitação de bacia hidrográfica. Já nas Figura 29 e 30, observa-se que pelo fato da região ser plana, as informações do MDT estão passando do sangrador/vertedouro do reservatório, ocasionando erros de extração das Curvas CAV, caso o MDT não seja cortado, pela delimitação correta do reservatório.

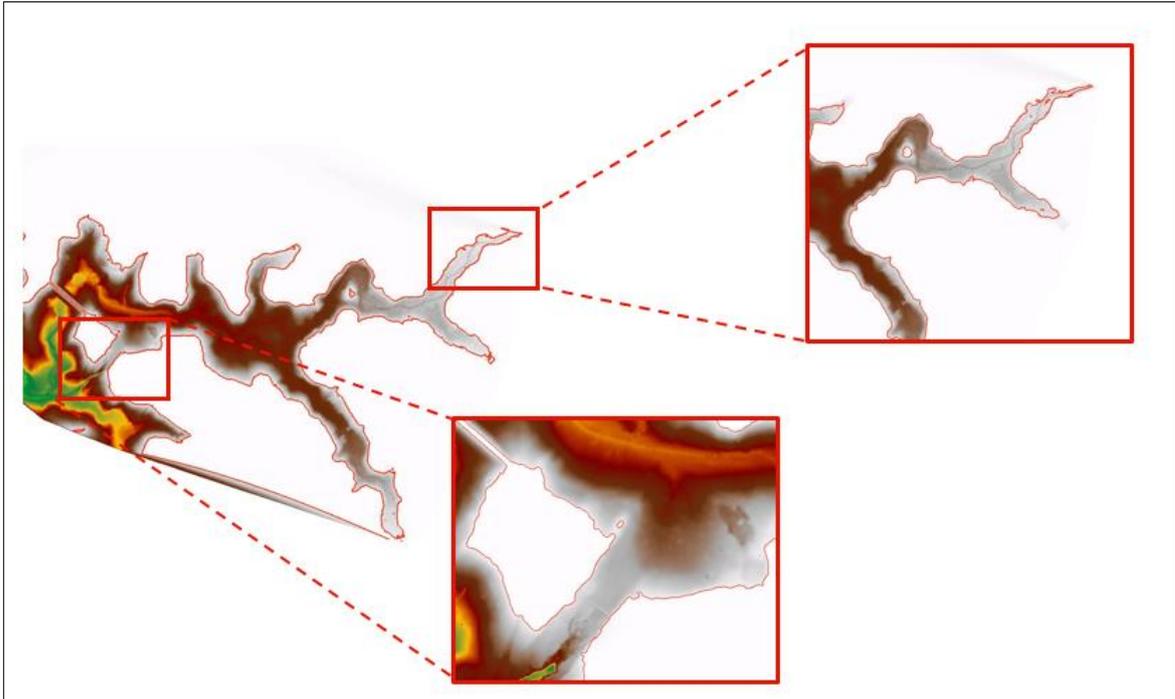


Figura 27 - Curva máxima do reservatório Jatobá II
Autor (2020).

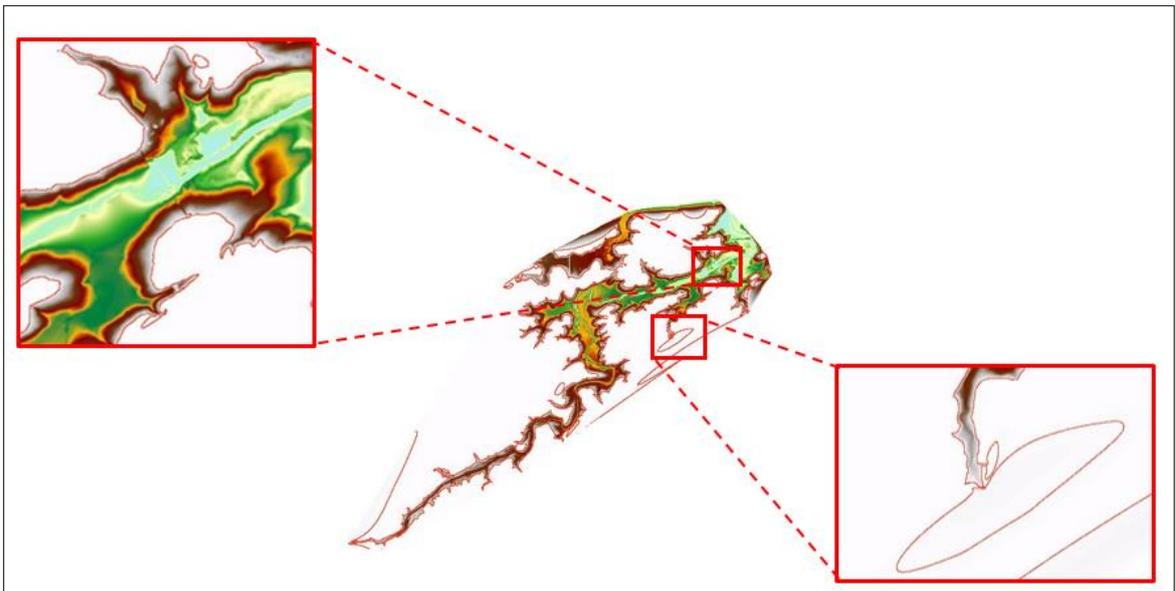


Figura 28 - Curva máxima do reservatório Belo Jardim
Autor (2020).



Figura 29 - Corte do MDT, a partir do TIN do reservatório Jatobá II
Autor (2020).



Figura 30 - Corte do MDT, a partir do TIN do reservatório Belo Jardim
Autor (2020).

Após verificar¹⁶ a consistência dos modelos, foram realizados o corte dos polígonos envolventes dos reservatórios, preservando as características físicas do reservatório (Figura 31 e 32) para a extração das Curvas CAV.

¹⁶ Análise realizada por meio de interpretação visual.

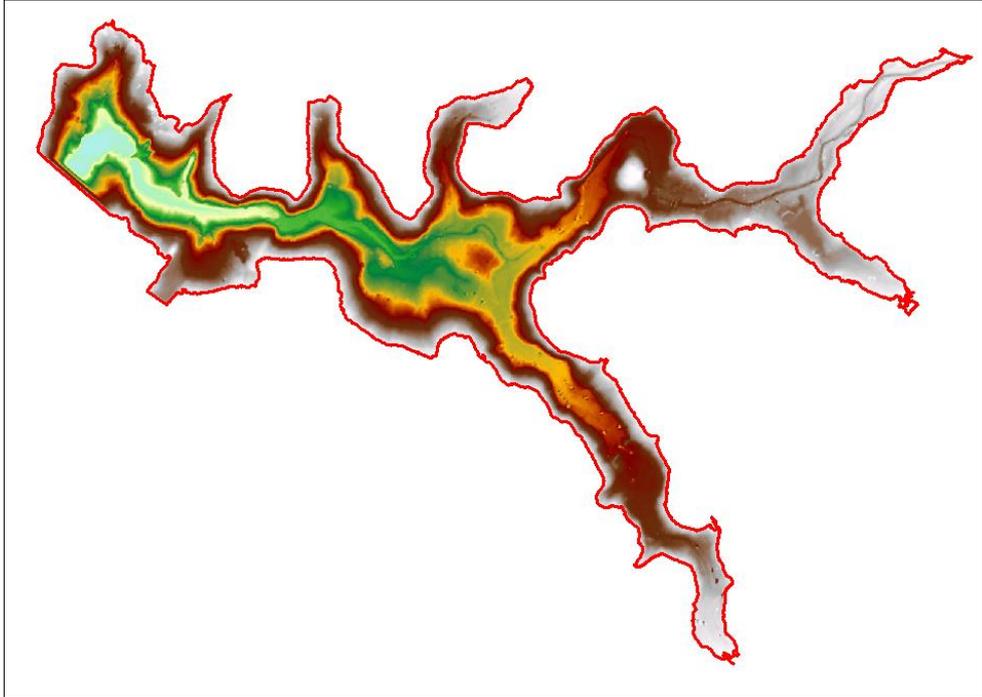


Figura 31 - Imagem (.tif) gerada para a extração da CAV do Reservatório Jatobá II
Fonte: Autor (2020).

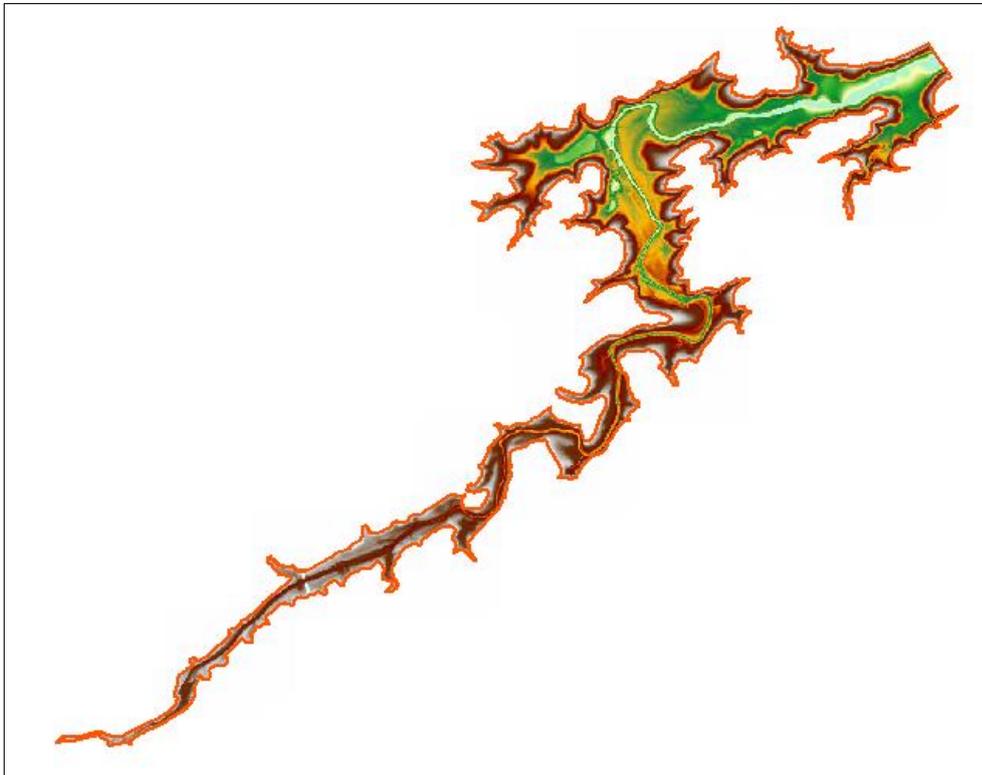


Figura 32 - Imagem (.tif) gerada para a extração da CAV do Reservatório Belo Jardim
Fonte: Autor (2020).

A partir dos MDT's elaborados, realizou-se testes amostrais nos modelos e verificou-se as consistências dos dados, para a extração das Curvas CAV. Foram selecionados 85 pontos do reservatório Jatobá II (Figura 33 e Tabela 24) e 71 pontos do reservatório Belo Jardim (Figura 34 e Tabela 25), desde o início da batimetria até o fim do perfilamento a laser, para na sequência comparar o levantamento de campo com o MDT.

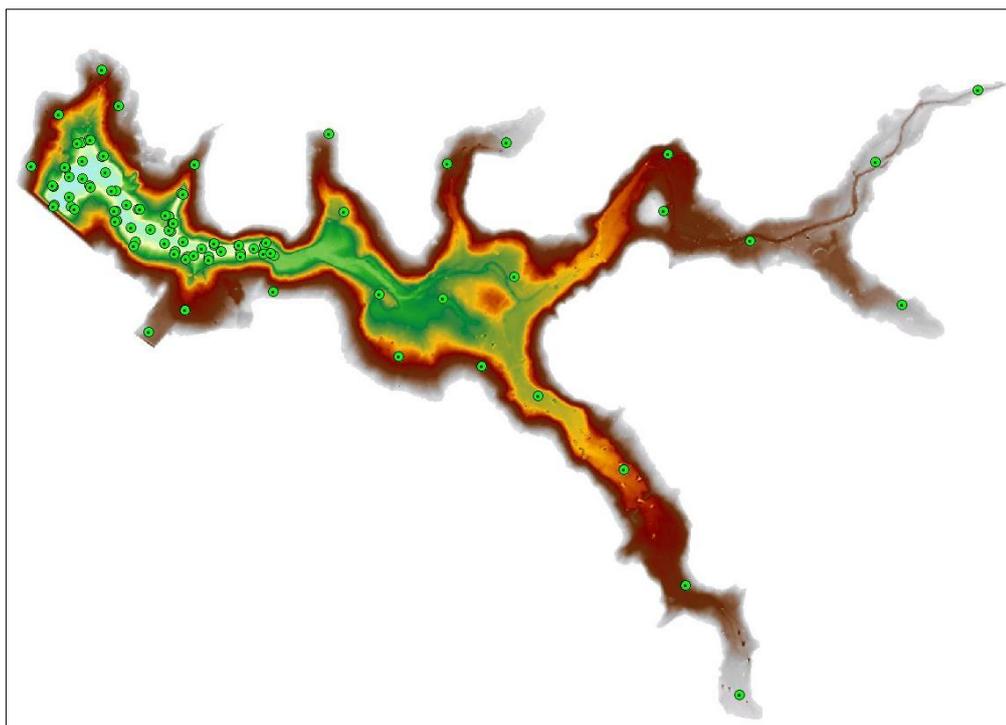


Figura 33 - Análise dos dados do MDT do reservatório Jatobá II
Autor (2020).

Tabela 24 - Análise dos dados do MDT do reservatório Jatobá II

E_Levamento	N_Levamento	Z_Levamento	Z_MDT	Diferenças Altimétricas
611991,50	9146600,50	649,15	649,19	-0,04
611966,50	9146605,50	648,57	648,59	-0,02
611686,50	9146671,50	648,68	648,72	-0,04
611967,50	9146629,50	648,85	648,88	-0,03
611816,50	9146629,50	648,33	648,41	-0,08
611892,50	9146627,50	648,28	648,45	-0,17
611588,50	9146737,50	649,19	649,20	-0,01
611523,50	9146794,50	649,30	649,49	-0,19
611800,50	9146594,50	649,00	648,99	0,01
611700,50	9146610,50	649,19	649,18	0,01
611526,50	9146704,50	648,73	648,72	0,01

E_Levamento	N_Levamento	Z_Levamento	Z_MDT	Diferenças Altimétricas
611523,50	9146733,50	648,76	648,78	-0,02
611387,50	9146745,50	648,09	648,08	0,01
611338,50	9146751,50	648,07	648,07	0,00
611334,50	9146807,50	647,82	648,00	-0,18
611419,50	9146939,50	648,54	648,57	-0,03
611444,50	9146809,50	647,90	647,90	0,00
611482,50	9146896,50	649,00	649,04	-0,04
611682,50	9146716,50	649,32	649,33	-0,01
611719,50	9146786,50	648,42	648,42	0,00
611523,82	9146795,05	649,85	649,85	0,00
611595,76	9146737,52	649,90	649,88	0,02
611683,18	9146675,13	649,86	649,87	-0,01
611892,04	9146630,21	649,95	650,38	-0,43
611972,49	9146637,73	650,04	650,04	0,00
611965,36	9146602,90	649,90	649,90	0,00
611997,95	9146598,27	649,92	649,86	0,06
611816,31	9146634,37	649,94	650,05	-0,11
611446,59	9146948,96	649,93	649,89	0,04
611332,96	9146808,88	650,00	649,75	0,25
611336,21	9146747,79	650,09	650,32	-0,23
611398,53	9146738,16	649,91	649,90	0,01
611371,37	9146864,56	649,88	649,95	-0,07
611521,29	9146702,22	649,96	650,14	-0,18
611575,66	9146627,18	649,96	649,93	0,03
611517,14	9146733,24	649,95	649,96	-0,01
611697,75	9146602,49	649,88	649,87	0,01
611733,25	9146588,39	649,98	650,01	-0,03
611802,59	9146586,25	649,95	649,89	0,06
611895,98	9146595,47	649,88	649,84	0,04
611446,90	9146805,11	649,87	649,58	0,29
611485,30	9146899,94	649,91	649,77	0,14
611672,27	9146719,14	650,00	650,11	-0,11
611724,40	9146782,97	650,26	649,78	0,48
611757,50	9146599,50	648,53	648,53	0,00
611781,50	9146619,50	648,00	648,01	-0,01
611986,50	9146607,50	649,01	649,03	-0,02
611935,50	9146619,50	648,03	648,05	-0,02
611626,50	9146676,50	647,44	647,46	-0,02
611668,50	9146634,50	648,30	648,27	0,03
611723,50	9146641,50	648,09	648,10	-0,01
611569,50	9146683,50	647,35	647,33	0,02
611694,50	9146697,50	648,32	648,31	0,01

E_Levamento	N_Levamento	Z_Levamento	Z_MDT	Diferenças Altimétricas
611384,50	9146774,50	646,73	646,73	0,00
611511,50	9146795,50	647,27	647,32	-0,05
611556,50	9146752,50	647,74	647,75	-0,01
611383,50	9146836,50	645,80	645,80	0,00
611422,50	9146830,50	645,06	645,06	0,00
611492,50	9146850,50	646,40	646,39	0,01
611422,50	9146883,50	647,37	647,38	-0,01
611352,35	9147024,12	655,30	655,40	-0,10
611270,83	9146867,55	658,07	658,12	-0,05
611480,08	9147158,33	659,48	659,50	-0,02
612693,60	9146940,30	661,33	661,33	0,00
612716,89	9146536,04	652,39	652,37	0,02
611729,12	9146434,93	656,57	656,58	-0,01
611759,40	9146873,70	658,21	658,06	0,15
612205,31	9146730,37	652,67	652,65	0,02
612502,50	9146468,96	650,90	650,88	0,02
613164,01	9146733,05	659,76	659,97	-0,21
613878,50	9146449,12	660,76	660,77	-0,01
613422,88	9146642,28	658,76	658,73	0,03
613800,18	9146881,97	660,74	660,92	-0,18
612369,40	9146293,17	654,90	654,84	0,06
612788,82	9146175,89	652,78	652,78	0,00
613045,65	9145952,72	654,67	654,66	0,01
613391,74	9145273,12	661,54	661,55	-0,01
613229,63	9145604,61	658,68	658,67	0,01
611530,46	9147049,78	659,98	659,82	0,16
612161,79	9146965,51	660,89	660,90	-0,01
612514,61	9146876,72	658,67	658,68	-0,01
612310,91	9146483,31	651,58	651,58	0,00
613177,17	9146904,64	656,34	656,35	-0,01
614104,69	9147098,80	660,66	660,65	0,01
612618,53	9146265,89	657,52	657,54	-0,02

Autor (2020).

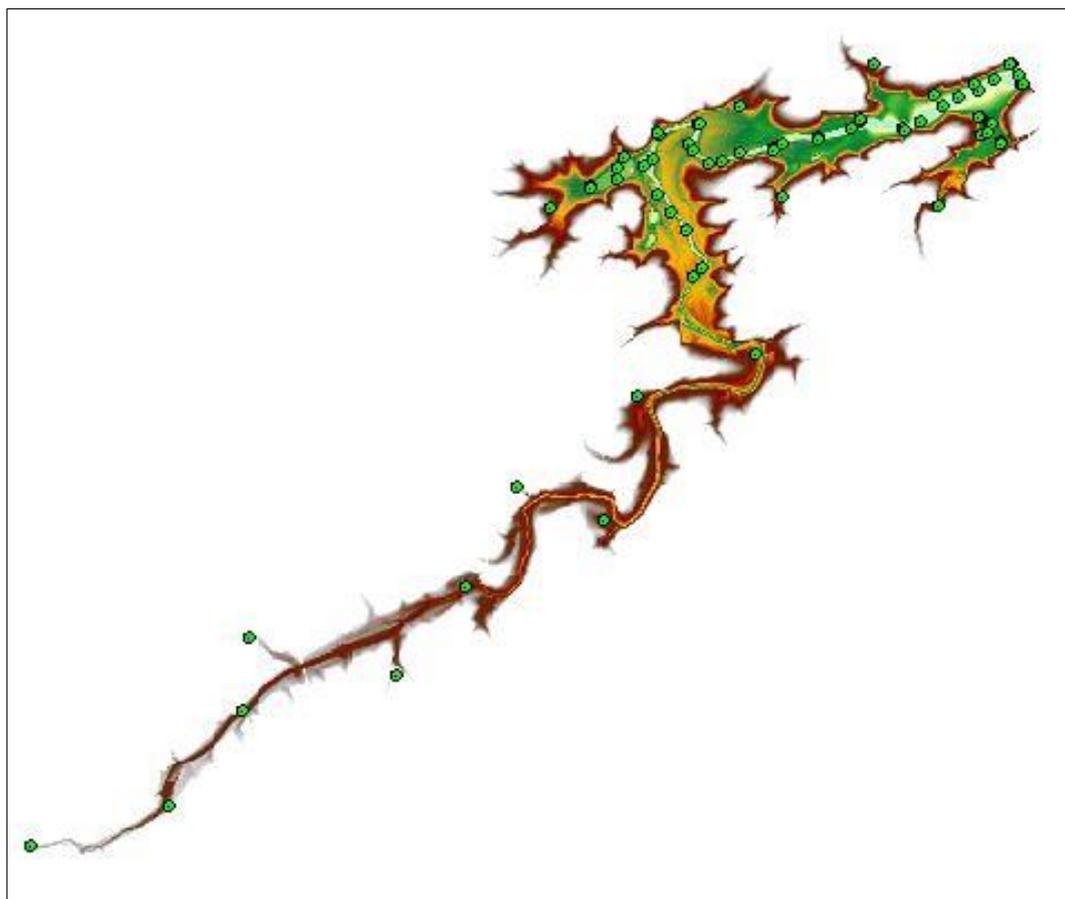


Figura 34 - Análise dos dados do MDT do reservatório Belo Jardim
Fonte: Autor (2020).

Tabela 25 - Análise dos dados do MDT do Reservatório Belo Jardim

E_Levantamento	N_Levantamento	Z_Levantamento	Z_MDT	Diferenças Altimétricas
786700,50	9074983,50	584,78	584,77	0,01
787047,50	9075908,50	582,27	582,27	0,00
786671,50	9075979,50	583,77	583,77	0,00
786738,50	9076134,50	583,38	583,43	-0,05
786432,50	9075603,50	584,32	584,31	0,01
785937,50	9075662,50	585,47	585,46	0,01
789092,50	9076591,50	582,40	582,37	0,03
789167,50	9076440,50	583,79	583,78	0,01
787953,50	9076154,50	582,29	582,29	0,00
788852,50	9076386,50	582,42	582,41	0,01
787637,50	9076026,50	583,56	583,55	0,01
786395,50	9075863,50	583,69	583,82	-0,13
786650,50	9075328,50	584,22	584,50	-0,28
786182,50	9075877,50	584,90	585,57	-0,67
788577,50	9076264,50	581,48	581,48	0,00

E_Levantamento	N_Levantamento	Z_Levantamento	Z_MDT	Diferenças Altimétricas
788284,50	9076103,50	581,71	581,74	-0,03
787299,50	9075950,50	582,13	582,17	-0,04
786816,50	9075831,50	584,63	584,60	0,03
786443,50	9076050,50	583,39	583,38	0,01
786747,37	9076139,53	586,50	586,59	-0,09
786436,38	9076058,01	586,59	586,58	0,01
786665,54	9075978,82	587,40	587,25	0,15
786813,99	9075826,74	586,85	586,46	0,39
787046,53	9075911,95	582,91	582,97	-0,06
787302,72	9075939,54	587,46	587,47	-0,01
787633,32	9076015,64	586,58	586,33	0,25
787953,83	9076167,80	589,49	589,74	-0,25
789174,54	9076431,99	586,67	586,59	0,08
788870,31	9076043,09	586,01	586,02	-0,01
789088,67	9076589,98	586,05	585,87	0,18
788805,75	9076436,46	586,85	586,86	-0,01
788956,06	9076125,74	586,72	586,74	-0,02
789016,61	9075986,47	586,93	586,93	0,00
788854,62	9076178,42	586,20	586,21	-0,01
788288,07	9076091,23	586,98	586,92	0,06
788517,77	9076348,63	586,81	586,98	-0,17
786400,94	9075863,66	586,75	586,70	0,05
786185,43	9075881,00	585,67	585,77	-0,10
786132,83	9075716,62	585,76	585,63	0,13
786428,51	9075600,13	587,65	587,44	0,21
786650,77	9075328,33	584,80	584,50	0,30
785931,87	9075654,32	585,61	585,61	0,00
786701,02	9074983,04	584,70	584,68	0,02
789156,50	9076496,50	577,28	577,35	-0,07
788970,50	9076472,50	582,29	582,29	0,00
788701,50	9076338,50	581,42	581,43	-0,01
788407,50	9076157,50	581,46	581,46	0,00
787898,50	9076101,50	581,66	581,65	0,01
787372,50	9075989,50	581,97	581,97	0,00
786911,50	9075843,50	582,61	582,62	-0,01
786704,50	9075933,50	582,97	582,97	0,00
786332,50	9075808,50	583,33	583,33	0,00
786535,50	9075462,50	584,14	584,17	-0,04
786769,50	9075050,50	584,65	584,78	-0,13
783372,33	9072247,51	600,37	600,37	0,00
785379,21	9073385,84	600,98	601,02	-0,04
783308,78	9071686,21	594,76	594,69	0,07

E_Levantamento	N_Levantamento	Z_Levantamento	Z_MDT	Diferenças Altimétricas
782766,59	9070973,42	600,34	600,35	-0,01
784465,64	9071956,15	598,96	598,95	0,01
781729,70	9070659,90	600,65	600,29	0,36
785625,13	9075494,76	593,36	593,35	0,01
788051,40	9076579,90	597,96	598,02	-0,06
787053,70	9076275,30	592,05	592,06	-0,01
787371,45	9075583,97	597,71	597,75	-0,04
788550,98	9075505,48	593,71	593,89	-0,18
787164,67	9074388,61	591,72	591,72	0,00
784988,86	9072634,22	591,88	591,88	0,00
786026,04	9073132,88	594,11	594,07	0,04
787164,67	9074388,61	591,72	591,72	0,00
786026,04	9073132,88	594,11	594,07	0,04
786290,55	9074079,42	596,92	596,92	0,00

Fonte: Autor (2020).

Considerando os valores estatísticos das amostras relativos a altimetria, apresentados na Tabela 26, conclui-se pela homogeneidade da amostra, pois observa-se valores de média e mediana muito próximos e desvio padrão de aproximadamente zero.

Tabela 26 - Estatística dos arquivos vetoriais integrados

	Reservatório Jatobá II	Reservatório Belo Jardim
Média (m)	-0,01	0,00
Mediana (m)	0,00	0,00
Desvio padrão (m)	0,11	0,14
Mínimo (m)	-0,43	-0,67
Máximo (m)	0,48	0,39
Contagem	85	71

Fonte: Autor (2020).

Considerando a norma brasileira (Brasil, 1984) e todos os fatores elencados neste estudo, os valores amostrados dos reservatórios Jatobá II e Belo Jardim (em relação aos MDT's e aos levantamentos do perfilamento a laser e batimetria), atendem o decreto nº 89.817 aliado à ET-CQDG¹⁷ do padrão de exatidão cartográfica (Anexo F).

¹⁷ Utilizado o software GeoPEC v.3.5.2

Após a extração das Curvas CAV¹⁸, avaliou-se os gráficos (Figura 35 e 36) dos reservatórios, para entender se os dados não apresentam nenhum tipo de irregularidade.

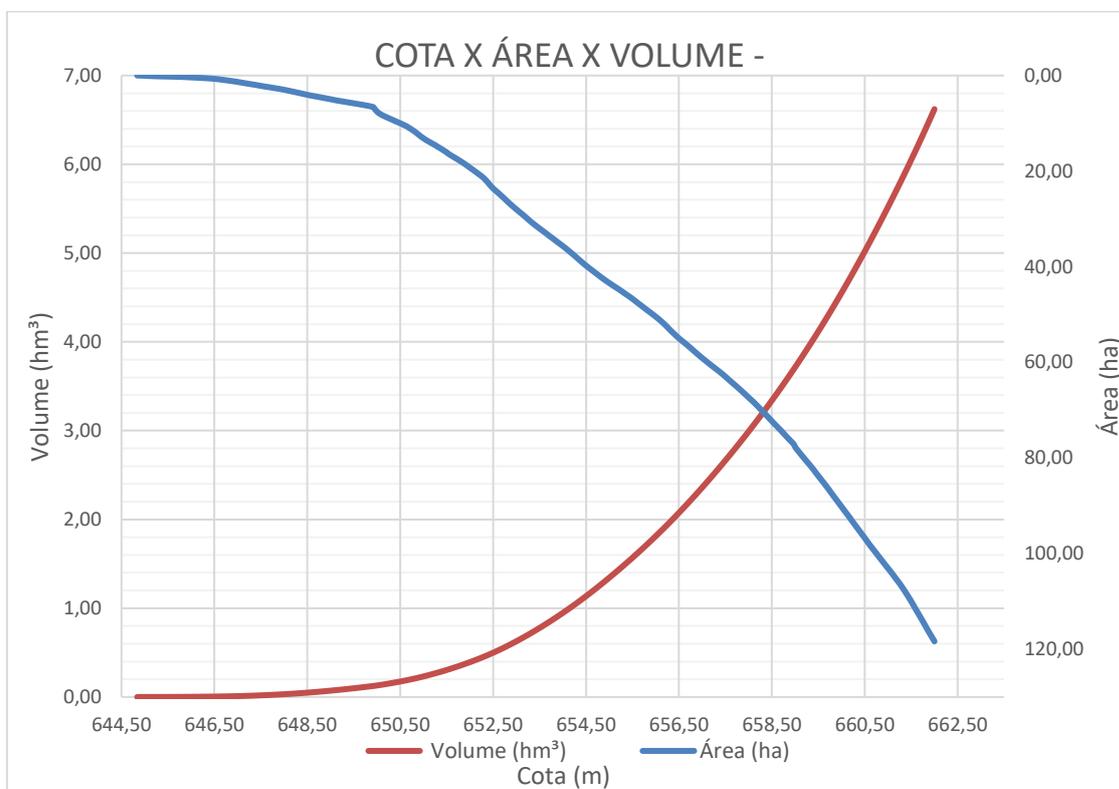


Figura 35 - Apresentação dos dados extraídos do MDT, reservatório Jatobá II
Fonte: Autor (2020).

¹⁸ Todas as informação estão SGB.

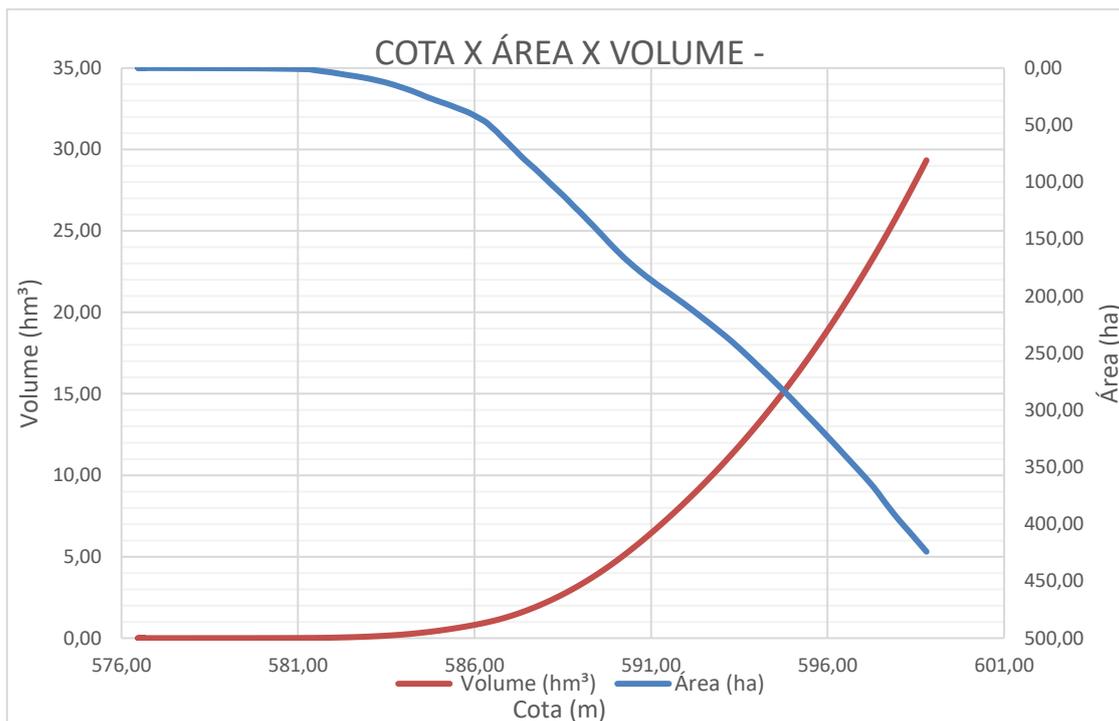


Figura 36 - Apresentação dos dados extraídos do MDT, reservatório Belo Jardim
Fonte: Autor (2020).

Observa-se que no reservatório Jatoba II, entre as cotas 648,50 e 650,50 metros ocorrem pequenas discrepâncias, referentes ao acréscimo e decréscimo de área, não interferindo no cálculo do mesmo. Fato semelhante ocorre no reservatório Belo Jardim entre as cotas 586,00 e 591,00 metros. No restante, os reservatórios apresentam um comportamento mais harmônico e suave, indicando que os cálculos realizados atendem os padrões de precisão esperados.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Através da metodologia proposta foi possível elaborar as Curva Cota X Área X Volume dos reservatórios Jatobá II e Belo Jardim, cuja determinação possibilita estimar o tempo de vida útil dos reservatórios (tempo de abastecimento). Este estudo pode servir como base para implementar projetos ligados a gestão de recursos hídricos, favorecendo o processo de tomada de decisão por parte da gestão pública em uma das regiões mais pobres do país, na qual a população sofre constantemente com problemas relacionados a seca ou a escassez de água.

Em relação aos levantamentos batimétrico e de perfilamento a laser, mesmo sabendo que em alguns momentos não apresentam qualidade uniforme em toda sua extensão, a quantidade de pontos são suficientes para calcular as Curvas CAV e atender a PEC-PCD classe A.

Os levantamentos batimétricos, ainda que possuam ilhas, vegetações flutuantes e rochas que atrapalham a coleta dos dados são levantamentos possíveis de serem executados apresentando resultados consistentes em relação aos dados já conhecidos dos mesmos reservatórios, desta forma não invalidando os levantamentos.

Por fim, observa-se que além de atingir os objetivos propostos preliminarmente, a metodologia apresentada pode ser replicada para reservatórios semelhantes a estes, se estendendo ainda para a região Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se que os levantamentos sejam realizados nos mesmos período do ano para evitar discrepâncias nos resultados, relacionadas às variações de área e volume dos reservatórios entre os períodos de cheia e estiagem, garantindo que a precisão atenda a PEC-PCD Classe A.

A atualização das Curvas CAV também podem ser realizadas a partir de dados altimétricos gratuitos, como o Seattle Radar Topography Mission (SRTM), visando contemplar as diretrizes previstas na legislação (PEC-PCD Classe B), que além de reduzir custos e tempo de aquisição dos dados, irá comprovar que o mesmo atende as precisões cartográficas.

Para as regiões não contempladas pelo levantamento batimétrico, sugere-se verificar a preexistência de dados em outras bases, com o intuito de realizar a validação dos resultados e aprimorar a precisão do produto final.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS - AESA. **Governo da Paraíba**. Rio Paraíba. 2012. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/>> Acesso em: 30. set. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**. Brasília: informe anual, Agência Nacional de Águas, 2019. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br>> Acesso em: 30. set. 2020.

_____. **Nota Técnica nº 14/2018/COMAR/SRE, Documento no 00000.020531/2018-56. 2018**. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/alocacao-de-agua/nt-14_2018_comar_sre-mr-bitury_b-jardim-mar-2018.pdf. Acesso em: 12 abr. 2020.

_____. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017**. Relatório pleno/Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, 2017.

_____. **Manual de Procedimentos Técnicos e Administrativos de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas**. Brasília: 2013.

_____. **Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios**. Brasília: 2013.

_____. **Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume (Revisão)**. Brasília, 2013, 40 p.

_____. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos / Agência Nacional de Águas**. Brasília: SAG, 2011.

_____. **Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume**. Brasília, 2011, 40 p.

_____. **Manual de Estudos de Disponibilidade hídrica para Aproveitamentos Hidrelétricos**. Brasília: 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa nº 396**, de 23 de fevereiro de 2010. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010396.pdf>> Acesso em: 02. abril 2018.

BRASIL. **Lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967**. Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências. 1967. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/De10243.htm>. Acesso em: 30 jul. 2018.

_____. **Decreto-lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984**. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 de jun. 1984. Disponível em: < <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-89817-20-junho-1984-439814-norma-pe.html>> Acesso em: 02 abr. 2018.

_____. **Lei nº 6.666, de 27 de novembro de 2008.** Institui, no âmbito do Poder Executivo Federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), e dá outras providências. 2008. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2008/decreto-6666-27-novembro-2008-584507-publicacaooriginal-107238-pe.html>> Acesso em: 10 jul. 2018.

_____. **Decreto-lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010.** Política Nacional de Segurança de Barragens. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 de set. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm> Acesso em: 02 abr. 2018.

BALTSAVIAS, E. P. **A comparison between photogrammetry and laser scanning.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 54, n. 2-3, p. 83-94, 1999.

BRASINGTON, J.; RUMSBY, B. T.; MCVEY, R. A. **Monitoring And Modelling Morphological Change in a Braided Gravel-Bed River Using High-Resolution GPS-Based Survey.** Earth Surface Processes and Landforms, v. 25, p. 973-990, 2000.

BRASINGTON, J.; LANGHAM, J.; RUMSBY, B. **Methodological Sensitivity Of Morphometric Estimates Of Coarse Fluvial Sediment Transport.** Geomorphology, v. 53, p. 299-316, 2003.

BRANDALIZE, A. A. **Perfilamento a LASER: comparação com métodos Fotogramétricos.** In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, Porto Alegre, 2001.

BRITO, G. M. **Determinação do assoreamento do reservatório da PCH Cachoeirão.** Dissertação. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2013.

CENTENO, J.A.S.; MITISHITA, E.A. **Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: a experiência da UFPR.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Anais... Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3645-3652.

COELHO, A. H.; VARGAS, R. M. A. **Geração de modelos digitais de terreno a partir de dados de laser scanner aerotransportado em área de floresta usando o software livre GRASS.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3653-3660.

COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA (CONCAR/DSG). **Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (Perfil MGB),** 2009. Disponível em: <http://www.concar.gov.br/pdf/111@Perfil_MGB_homologado_nov2009_v1.pdf> Acesso em: 10 jul. 2018.

_____. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV v.2.1.3),** 2010. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_ADGV_Vs_2_1_3.pdf> Acesso em: 10 jul. 2018.

_____. **Plano de Ação para Implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais**, 2010. Disponível em: <<http://www.concar.gov.br/pdf/PlanoDeAcaoINDE.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2018.

_____. **Especificação Técnica para o Controle de Qualidade de Dados Geospaciais (ET-CQDG 1a ed.)**, 2016. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf> Acesso em: 10 jul. 2018.

DRESCH, G. SANTOS, D. R. **Avaliação automática da acurácia relativa de dados lidar aerotransportado**. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 21, n° 4, p. 730-749, out-dez, 2015.

EGG, G.C. **Geração de Modelos Digitais de Superfícies Compostos Utilizando Imagens do Sensor PRISM/ALOS, 2012 159 p.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2012.

EASTMAN, J. R. Idrisi 32 Release 2 – Guide to GIS and Image Processing – Manual Version 32.20, v. 2. Clark Labs, 2001. 151p.

FALAT, D.R. **Perfilamento a Laser: Uma Alternativa rápida e precisa para a identificação de alterações na superfície**. Anais II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2008.

FARIA, T. S. **Classificação em área urbana apoiada em imagens aéreas e dados LIDAR**. Dissertação mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2017.

FILHO, A. G. **Gestão de Reservatórios com Sistema de Apoio à Decisão Espacial: O Caso do Açude Castanhão**. 2012. 166 f. Tese - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/4031>>. Acesso em: 28 maio 2018.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. (eds.). **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1998. cap. 4, p. 4-1 – 4-38.

FLORES, Y. R. **Estimativa de armazenamento de água em reservatórios através de sensoriamento remoto**. 2019. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2019.

FONSECA, R. B. M. **Evolução Batimétrica e Sedimentológica “sandbar” da Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo – Rio de Janeiro**. Dissertação Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia, 2012.

FRANÇA, P. H. P. de. **Avaliação comparativa de métodos e técnicas batimétricas na obtenção das curvas Cota X Área X Volume de reservatórios em usinas hidrelétricas**. 2019. 102 f., il. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas). Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

FULLER, I. C.; LARGE, A. R. G.; HERITAGE, G. L.; MILAN, D. J.; CHARLTON, M. E. **Derivation of reach-scale sediment transfers in the River Coquet, Northumberland, UK.** In: Blum, M.; Marriott, S.; Leclair, S. (Eds.), *Fluvial Sedimentology VII*, IAS Special Publication, v. 35. Wiley-Blackwell, Chichester, UK, p. 61-74, 2005.

GAGG, G. **Levantamentos Hidrográficos – Noções Gerais.** Departamento de Geodésia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Posicionamento geodésico.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico.html>. Acesso em: 12 jun. 2020.

_____. **Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro.** Rio de Janeiro: Geociências, 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/normas/16463-especificacao-e-normas-gerais-para-levantamentos-geodesicos-em-territorio-brasileiro.html?=&t=acesso-ao-produto>> Acesso em: 30 jul. 2020.

_____. **Recomendações para levantamentos Relativos Estáticos – GPS.** Rio de Janeiro: Geociências, 2008. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/normas/16463-especificacao-e-normas-gerais-para-levantamentos-geodesicos-em-territorio-brasileiro.html?=&t=acesso-ao-produto>> Acesso em: 30 jul. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECÔNOMICA APLICADA - IPEA. **Diálogos sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e os Desafios para a Gestão da Água e do Saneamento no Brasil - 8º Fórum Mundial da Água.** Brasília. 2018

KROL, M. S.; **Department of Water Engineering and Management, Water Resource Management University of Twente.** Water Resour Manage, 2011.

KRUG, L.A & NOERNBERG, M.A. **Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná - Brasil.** In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. *Anais...* Goiânia, 2005. p.3077 - 3084.

LADEIRA, R. da C. **Um Método para Determinar a Posição do Terreno e a Altura de uma Barragem que seja Capaz de Gerar um Reservatório com um Dado Volume.** Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 100 p., 2013.

LI, Z. **Sampling Strategy and Accuracy Assessment for Digital Terrain Modelling,** Ph.D. Thesis, University of Glasgow, 1990, 299 p.

_____. Variation of the accuracy of digital terrain models with sampling interval, *Photogrammetric Record*, v. 14 n.79, p 113-128, 1992.

LI, J.; HEAP, A. D. **Review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors.** Marine & Coastal Environment, PMD, Geoscience Australia, 2010.

MATOS, A. J. S. **Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional “CAV-NH”**. 137 p. Tese Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental –Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MILAN, D. J. **Terrestrial laser-scan derived topographic and roughness data for hydraulic modelling of gravel-bed rivers**. In: Heritage, G. L.; Large, A. R. G. (Eds.), *Laser Scanning for the Environmental Sciences*. Wiley- Blackwell, Chichester, UK, p. 133-146, 2009.

MINHONI, R. T. A. **Estimativa do assoreamento do reservatório da PCH Pipoca**. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2013.

OLIVEIRA, L. F., **Análise de modelos digitais de superfície gerados a partir de imagens do sensor PRISM/ALOS**. In: Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, Viçosa Minas Gerais, 2011, pp. 1-163.

PAULO, B. A.; HOLMES, C. E. **Projeto de Sistemas Oceânicos II. Relatório II: Navio para Transporte de Automóveis**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2008/CarlosChads+BrunoAvila/relat2/index.htm> Acesso em: 02 abr. 2018.

PEREIRA, J. P. G.; BARACUHY, J. G. V. **Ecobatimetria: Teoria e Prática**. Campina Grande: Gráfica Agenda, 2008. 84 p.

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. **Sistemas de Suporte A Decisões Aplicadas a Problemas de Recursos Hídricos**. In: TÉCNICAS quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

RIBEIRO, S. R. A.; CENTENO, J.A.S.; KRUEGER, C.P. **Estimativa de Profundidade a Partir de Levantamento Batimétrico e Dados IKONOS II Mediante Redes Neurais Artificiais**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v.14, n.2, p.171-185, abr/jun 2008.

ROBIN, E. B. **Ecobatímetro – Sistema para medição de profundidade**. Centro Universitário Positivo, Núcleo e Ciências Exatas e Tecnológicas, PR, 2007.

SANTOS, A. C. dos; REIS, A.; MENDIONDO, E. M. **Segurança hídrica no Brasil: situação atual, principais desafios e perspectivas futuras**. São Paulo: Revista DAE, v. 68, n 225, 2020. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_225_n_1882.pdf> Acesso em: 30 set. 2020.

SIEPMANN, J. P. **Fusion of current technologies with real-time 3D MEMS LADAR for novel security and defense applications**. In: *Laser Radar Technology And Applications*, 11., 2006. **Proceedings**. Orlando: SPIE, 2006. v. 6214. p. 1418. Editado por: G. W. Kamerman; M. D. Turner.

SILVA, I.; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática**. 1 ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SILVA, F. A.; RIBAS, W. K. **Perfilamento Laser em Áreas Densamente Florestadas**. In: Rio Pipeline Conference & Exposition, 2007, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: IBP, 2007.

SILVEIRA, A. C., **Estimativa da acurácia da posição de pixels em sistemas de batimetria multifeixe**. 2004. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 93p. Disponível em: <http://www.oceanica.ufrj.br/intranet/teses/2004_mestrado_alexandre_coelho_da_silveira.pdf> Acesso em: 02 abr. 2018.

SEABEAM INSTRUMENTS. **Multibeam Sonar Theory of Operation: Technology For Advanced Seafloor Mapping Applications**. East Walpole: L-3 Communications SeaBeam Instruments, 2000.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-5923.pdf>> Acesso em: 29 set. 2020.

VILAS BOAS, C. L. de., **Uso Múltiplo de Reservatórios**. In: Seminário da Engenharia Comemorativo ao Dia Mundial da Água. Goiânia. Seminário da Engenharia Comemorativo ao Dia Mundial da Água, 2006.

WEHR, A.; LOHR, U. **Airborne laser scanning-an introduction and overview**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 54, n. 2-3, p. 68-82, 1999.

ANEXO A



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	96510	Nome da Estação :	96510	Tipo :	Estação GPS
Município :	ITAPORANGA			UF :	PB
Última Visita:	20/08/2009	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	30/07/2018
Conexões :	RN : 1883L				

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	07° 21' 13,82146" S	Altitude Normal(m)	321,7904	Gravidade(mGal)	
Longitude	38° 08' 59,02361" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	
Altitude Geométrica(m)	313,073	Sigma Altitude(m)	0,088	Data Medição	
Fonte	GPS Geodésico	Datum	Imbituba	Data Cálculo	
Origem	Ajustada	Data Medição	05/02/1983		
Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Medição	16/07/2008	Número Geopotencial (m ² /s ²)	3.147,328		
Data Cálculo	07/10/2008				
Sigma Latitude(m)	0,002				
Sigma Longitude(m)	0,002				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,009				
UTM(N)	9 187 045,997				
UTM(E)	593.844,162				
MC	-39				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ª edição disponível em : <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio/el_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em : <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : ftp://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização

A 17 m a esquerda do eixo da Rodovia PB-361, 60 m além da casa do Sr. Antônio Alves de Queiroz.

Descrição

Tronco piramidal de concreto, medindo 13 cm x 13 cm no topo, aflorando 18 cm da base. Possui uma chapa de metal estampada RN 1883 L.

Itinerário

Partir da ponte sobre o Rio Piancó, seguir pela Rodovia PB-361 e com 5,10 km chegar ao local da estação.

Foto(s) :



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo.
Fale conosco: 0800 721 8181 Email: ibge@ibge.gov.br



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	96520	Nome da Estação :	96520	Tipo :	Estação GPS
Município :	SERRA TALHADA			UF :	PE
Última Visita :	21/10/2008	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	30/07/2018
Conexões :	EG : 8094519 RN : 1807P				

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	07° 59' 30,77282" S	Altitude Normal(m)	430,1191	Gravidade(mGal)	977,999,14
Longitude	38° 17' 55,29124" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Altitude Geométrica(m)	421,195	Sigma Altitude(m)	0,086	Data Medição	05/04/2006
Fonte	GPS Geodésico	Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Origem	Ajustada	Data Medição	23/01/1982		
Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Medição	10/09/2008	Número Geopotencial (m ² /s ²)	4.206,849		
Data Cálculo	07/10/2008				
Sigma Latitude(m)	0,004				
Sigma Longitude(m)	0,005				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,029				
UTM(N)	9.116.533,914				
UTM(E)	577.286,966				
MC	-39				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ª edição disponível em : <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : ftp://geftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio_rei_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em : <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : ftp://geftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização	
Chapa cravada, no lado direito de quem entra, no 4º degrau da escadaria da Igreja de Nossa Senhora da Penha, matriz de Serra Talhada, PE.	
Descrição	
Chapa cravada na Igreja.	
Observação	
O sr. Euclides Aristides dos Santos, coordenador da igreja, é conhecedor do marco.	

Foto(s)



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 721 8161 Email: ibge@ibge.gov.br



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	93212	Nome da Estação :	93212	Tipo :	Estação GPS
Município :	CARUARU			UF :	PE
Última Visita:	08/09/2007	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	17/07/2017

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08° 16' 30,36923" S	Altitude Ortométrica(m)		Gravidade(mGal)	
Longitude	35° 57' 18,89567" W	Fonte		Datum	
Altitude Geométrica(m)	579,855	Sigma Altitude(m)		Data Medição	
Fonte	GPS Geodésico	Datum		Data Cálculo	
Origem	Ajustada	Data Medição			
Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo			
Data Medição	12/09/2005				
Data Cálculo	28/04/2006				
Sigma Latitude(m)	0,002				
Sigma Longitude(m)	0,002				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,017				
UTM(N)	9.084.079,634				
UTM(E)	174.416,689				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ªedição disponível em :

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

- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em :

ftp://geftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf

- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em :

<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficial/modelos-digitais-de-superficial/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>

- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em :

ftp://geftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Estação Visada	Azimute	Tipo	Distancia (m)
AZ93212	30° 2' 58,0482"	Geodésico	281,816

Localização

80 m ao sul da guarita e a direita de quem entra, 150 m ao sul do prédio de decantação; 15 m a sudeste do muro frontal, nas dependências da Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA, na Rua Bartolomeu de Anacleto, nº, no bairro Salgado, Caruaru, PE.

Descrição

Cilindro de concreto, medindo 0,30 m de diâmetro a partir de uma base de concreto quadrangular, medindo 1,00 m x 1,00 m e a 0,30 m do solo; no seu topo uma base metálica com pino de centragem forçada, padrão UFPR, com rosca universal; a 0,20 m do topo, chapa cravada na lateral, estampada: SAT 93212.

Observação

A chave do dispositivo de centragem forçada é um modelo allen de 05 mm. O usuário deverá providenciar a aquisição da mesma. Contato na COMPESA: Sra. Simone de Albuquerque Melo (Gerente) tel.: (81)3723-9772 e o Sr. Marconi de Azevedo Soares.

Foto(s) :



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo:
Fale conosco: 0800 721 8181 Email: ibge@ibge.gov.br



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	93212	Nome da Estação :	93212	Tipo :	Estação GPS
Município :	CARUARU			UF :	PE
Última Visita :	08/09/2007	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	17/07/2017

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08° 16' 30,36923" S	Altitude Ortométrica(m)		Gravidade(mGal)	
Longitude	35° 57' 18,89567" W	Fonte		Datum	
Altitude Geométrica(m)	579,855	Sigma Altitude(m)		Data Medição	
Fonte	GPS Geodésico	Datum		Data Cálculo	
Origem	Ajustada	Data Medição			
Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo			
Data Medição	12/09/2005				
Data Cálculo	28/04/2006				
Sigma Latitude(m)	0,002				
Sigma Longitude(m)	0,002				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,017				
UTM(N)	9.084.079,634				
UTM(E)	174.416,689				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ª edição disponível em :

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

- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em :

ftp://geftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio/el_sirgas2000.pdf

- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilize o MAPGEQ2015 disponível em :

<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>

- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em :

ftp://geftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Estação Visada	Azimute	Tipo	Distancia (m)
AZ93212	30° 2' 58,0482"	Geodésico	281,816

Localização

80 m ao sul da guarita e a direita de quem entra, 150 m ao sul do prédio de decantação; 15 m a sudeste do muro frontal, nas dependências da Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA, na Rua Bartolomeu de Anacleto, s/nº, no bairro Salgado, Caruaru, PE.

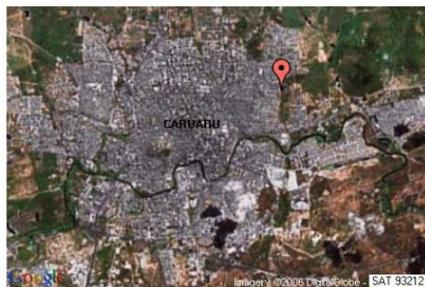
Descrição

Cilindro de concreto, medindo 0,30 m de diâmetro a partir de uma base de concreto quadrangular, medindo 1,00 m x 1,00 m e a 0,30 m do solo; no seu topo uma base metálica com pino de centragem forçada, padrão UFP, com rosca universal; a 0,20 m do topo, chapa cravada na lateral, estampada: SAT 93212.

Observação

A chave do dispositivo de centragem forçada é um modelo allen de 05 mm. O usuário deverá providenciar a aquisição da mesma. Contato na COMPESA: Sra. Simone de Albuquerque Melo (Gerente) tel.: (81)3723-9772 e o Sr. Marconi de Azevedo Soares.

Foto(s) :



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 721 8181 Email: ibge@ibge.gov.br

ANEXO B



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	1885N	Nome da Estação :	1885N	Tipo :	Referência de Nivel - RN
Município :	PRINCESA ISABEL			UF :	PB
Última Visita:	13/01/2010	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	30/07/2018

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	07° 44' 05" S	Altitude Normal(m)	672,4484	Gravidade(mGal)	
Longitude	37° 59' 43" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,087	Data Medição	
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	25/04/1983		
Data Medição	13/01/2010	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Cálculo		Número Geopotencial (m ² /s ²)	6.576,697		
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.144.898				
UTM(E)	610.795				
MC	-39				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ª edição disponível em :

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

- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em :

ftp://gedftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf

- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em :

<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>

- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em :

ftp://gedftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização

Trecho: Cidade de Princesa Isabel

No 7º degrau da entrada do Grupo Escolar Gama e Melo, na Av. Presidente João Pessoa, s/nº.

Descrição

Chapa padrão IBGE.

Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 721 8181 Email: ibge@ibge.gov.br



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	1885P	Nome da Estação :	1885P	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	PRINCESA ISABEL			UF :	PB
Última Visita:	13/01/2010	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	30/07/2018

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	07° 44' 13" S	Altitude Normal(m)	683,6514	Gravidade(mGal)	
Longitude	37° 59' 30" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,087	Data Medição	
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	25/04/1983		
Data Medição	13/01/2010	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Cálculo		Número Geopotencial (m ² /s ²)	6.686,253		
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.144.651				
UTM(E)	611.193				
MC	-39				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ª edição disponível em : <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : ftp://geftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGE02015 disponível em : <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : ftp://geftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização

Trecho: Cidade de Princesa Isabel
No lado direito da porta principal da igreja matriz, na Praça Dep. José Pereira de Lima s/nº, em Princesa Isabel.

Descrição

Chapa padrão IBGE.

Foto(s)



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo.
Fale conosco: 0800 721 8181 Email: ibge@ibge.gov.br



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	1812F	Nome da Estação :	1812F	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	BELO JARDIM			UF :	PE
Última Visita:	01/09/2007	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	30/07/2018

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08° 19' 57" S	Altitude Normal(m)	626,6262	Gravidade(mGal)	
Longitude	36° 25' 08" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,087	Data Medição	
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	14/05/1985		
Data Medição	01/09/2007	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Cálculo		Número Geopotencial (m ² /s ²)	6.128,683		
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.078.015				
UTM(E)	784.294				
MC	-39				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ª edição disponível em : <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : ftp://gedftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em : <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : ftp://gedftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização

Chapa cravada junto a parede, no corredor central; 1,5 m a esquerda da porta da biblioteca, 5 m a direita da secretaria do Colégio Diocesano de Belo Jardim.

Descrição

Chapa padrão IBGE.

ANEXO C



ANEXO D



ANEXO E



RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
Relatório de Informação de Estação
CRAT - Crato

0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC
 Data: 01/01/2001
 Atualização: 19/10/2009 - Atualização de Firmware

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: CRATO
 Ident. da Estação: CRAT
 Código SAT: [92300](#)
 Código Internacional: 41619M001
 Informações Adicionais: Esta estação pertence à Rede de Densificação do IGS e à Rede de Referência do SIRGAS. Estação coincidente com a RN 2791D que se encontra em cálculo.

2. Informação sobre a localização

Cidade: Crato
 Estado: Ceará
 Informações Adicionais: Marco de concreto retangular medindo 0,20 m x 0,20 m x 1,0 m. No topo um pino de centragem forçada. Abaixo do topo chapa medindo 0,06 m de diâmetro estampada SAT 92300. Sobre uma viga de sustentacao da lage, do bloco do curso de enfermagem, no Campus do Pimenta URCA, na Rua Coronel Antônio Luiz, bairro Pimenta, município de Crato-CE.

3. Coordenadas oficiais

3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas		
Latitude:	- 07° 14' 16,86735"	Sigma: 0,001 m
Longitude:	- 39° 24' 56,17980"	Sigma: 0,002 m
Alt. Elip.:	436,051 m	Sigma: 0,002 m
Coordenadas Cartesianas		
X:	4.888.826,0365 m	Sigma: 0,002 m
Y:	-4.017.957,4539 m	Sigma: 0,001 m
Z:	-798.309,0173 m	Sigma: 0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)		
UTM (N):	9.199.917,892 m	
UTM (E):	454.119,207 m	
MC:	-39	

4. Informações do equipamento GNSS

4.1. Receptor

- 4.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR5
 Número de Série - 4652K03711
 Versão do Firmware - 3.84 (Principal)
 Atualização do Firmware - 19/10/2009 às 00:00 UTC
- 4.1.2 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR5
 Número de Série - 4652K03711
 Versão do Firmware - 3.50 (Principal)
 Data de Instalação - 11/05/2007 às 00:00 UTC



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	93318	Nome da Estação :	93318	Tipo :	Estação GPS
Município :	AFOGADOS DA INGAZEIRA			UF :	PE
Última Visita:	14/09/2013	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	17/07/2017

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	07° 45' 50,80349" S	Altitude Ortométrica(m)		Gravidade(mGal)	
Longitude	37° 37' 55,03882" W	Fonte		Datum	
Altitude Geométrica(m)	533,016	Sigma Altitude(m)		Data Medição	
Fonte	GPS Geodésico	Datum		Data Cálculo	
Origem	Ajustada	Data Medição			
Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo			
Data Medição	14/09/2013				
Data Cálculo	03/10/2013				
Sigma Latitude(m)	0,003				
Sigma Longitude(m)	0,004				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,018				
UTM(N)	9.141.536,436				
UTM(E)	650.856,714				
MC	-39				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ª edição disponível em : <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : ftp://gedftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio_rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em : <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : ftp://gedftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização

Sobre a laje do Prédio da Direção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Afogados da Ingazeira, Rua Edson Barbosa de Araújo, s/nº, Bairro Marcela Valadares - Afogados da Ingazeira - PE. CEP 56.800-000.

Descrição

Prisma quadrangular de concreto, medindo 0,22 m de lado e altura de 1,20 m a partir da laje. Possui um pino cravado no topo e uma chapa em uma de suas laterais, estampada: IBGE- SAT 93318. 2013.

Observação

Identificação da Estação da RBMC: PEAf. Conhecedor da estação: José Hugo Vitorino Silva - Responsável pelo setor de Informática do IFPE Contatos: hugo.vitorino@afogados.ifpe.edu.br.

Foto(s) :



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 721 8181 Email: ibge@ibge.gov.br

ANEXO F

GeoPEC

Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Reservatório Jatobá II

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Altimétrica
Metodologia: ET-CQDG

O produto "Reservatório Jatobá II", foi classificado com PEC-PCD "**Classe A**", para a equidistância vertical de **1 m**, de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

Pontos de checagem utilizados: 85
RMS das discrepâncias (m): 0,1069

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984
Análise Altimétrica
.....**PROCESSAMENTO**Equidistância vertical: 1
Pontos de checagem inseridos: 85
Pontos de checagem utilizados: 85
.....

OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0
>> Valor limite - detecção: 0,9999

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(h)= 0,0094
>> Desv-pad(h)= 0,1071
>> RMS(h)= 0,1069

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :
Wcalc(h)= 0,7826 p-value(h)= 0
Nível de Confiança = 95%
Amostra NÃO Normal

CLASSIFICAÇÃO

>> Decreto 89.817:
PEC= 0,27 EP= 0,1667
Resultado: Classe A

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(H)
P01	0,04
P02	0,02
P03	0,04
P04	0,03
P05	0,08
P06	0,17
P07	0,01
P08	0,19
P09	-0,01
P10	-0,01
P11	-0,01
P12	0,02
P13	-0,01
P14	0,00
P15	0,18
P16	0,03
P17	0,00
P18	0,04
P19	0,01

P20	0,00
P21	0,00
P22	-0,02
P23	0,01
P24	0,43
P25	0,00
P26	0,00
P27	-0,06
P28	0,11
P29	-0,04
P30	-0,25
P31	0,23
P32	-0,01
P33	0,07
P34	0,18
P35	-0,03
P36	0,01
P37	-0,01
P38	0,03
P39	-0,06
P40	-0,04
P41	-0,29
P42	-0,14
P43	0,11
P44	-0,48
P45	0,00
P46	0,01
P47	0,02
P48	0,02
P49	0,02
P50	-0,03
P51	0,01
P52	-0,02
P53	-0,01
P54	0,00
P55	0,05
P56	0,01
P57	0,00
P58	0,00
P59	-0,01
P60	0,01
P61	0,10
P62	0,05
P63	0,02
P64	0,00
P65	-0,02
P66	0,01

P67	-0,15
P68	-0,02
P69	-0,02
P70	0,21
P71	0,01
P72	-0,03
P73	0,18
P74	-0,06
P75	0,00
P76	-0,01
P77	0,01
P78	-0,01
P79	-0,16
P80	0,01
P81	0,01
P82	0,00
P83	0,01
P84	-0,01
P85	0,02

GeoPEC

Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Reservatório Belo Jardim

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Altimétrica

Metodologia: ET-CQDG

O produto "", foi classificado com PEC-PCD "**Classe A**", para a equidistância vertical de **1 m**, de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

Pontos de checagem utilizados: 71

RMS das discrepâncias (m): 0,1353

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Altimétrica

.....

PROCESSAMENTO

Equidistância vertical: 1

Pontos de checagem inseridos: 71

Pontos de checagem utilizados: 71

.....

OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0
>> Valor limite - detecção: 0,9999

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(h)= 0,0003
>> Desv-pad(h)= 0,1362
>> RMS(h)= 0,1353

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :
 Wcalc(h)= 0,7738 p-value(h)= 0
 Nível de Confiança = 95%
 Amostra NÃO Normal

CLASSIFICAÇÃO

>> Decreto 89.817:
 PEC= 0,27 EP= 0,1667
 Resultado: Classe A

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(H)
P01	-0,01
P02	0,00
P03	0,00
P04	0,05
P05	-0,01
P06	-0,01
P07	-0,03
P08	-0,01
P09	0,00
P10	-0,01
P11	-0,01
P12	0,13
P13	0,28
P14	0,67
P15	0,00
P16	0,03
P17	0,04
P18	-0,03
P19	-0,01

P20	0,09
P21	-0,01
P22	-0,15
P23	-0,39
P24	0,06
P25	0,01
P26	-0,25
P27	0,25
P28	-0,08
P29	0,01
P30	-0,18
P31	0,01
P32	0,02
P33	0,00
P34	0,01
P35	-0,06
P36	0,17
P37	-0,05
P38	0,10
P39	-0,13
P40	-0,21
P41	-0,3
P42	0,00
P43	-0,02
P44	0,07
P45	0,00
P46	0,01
P47	0,00
P48	-0,01
P49	0,00
P50	0,01
P51	0,00
P52	0,00
P53	0,03
P54	0,13
P55	0,00
P56	0,04
P57	-0,07
P58	0,01
P59	-0,01
P60	-0,36
P61	-0,01
P62	0,06
P63	0,01
P64	0,04
P65	0,18
P66	0,00

P67	0,00
P68	-0,04
P69	0,00
P70	-0,04
P71	0,00
