

L.D.Q.S.P.E GERAÇÃO DE ENERGIA E PARTICIPAÇÃO LTDA.

# Atualização da Curva Cota x Área x Volume da UHE PICADA em Atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010

---

ELABORAÇÃO  
OVERTECH SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS LTDA.

Paulo Gamaro  
Edgar Posser Junior  
Ronald E. Manz

**CASCAVEL**  
**2/2/2021**

## Conteúdo

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Antecedentes</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>3</b> | <b>Descritivo do Empreendimento</b> .....   | <b>7</b>  |
| <b>4</b> | <b>Resumo das Atividades</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>5</b> | <b>Rede de Vértices Geodésicos (RVG)</b> .....  | <b>13</b> |
| 5.1      | Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP) .....   | 14        |
| 5.2      | Implantação RVG .....   | 17        |
| 5.3      | Validação dos Vértices por Meio do Posicionamento RTK em Rede .....                                     | 19        |
| 5.4      | Verificação da Ondulação Geoidal.....   | 22        |
| 5.5      | Correlação das Cotas – Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) x Cota de Operação (Régua da UHE Picada)..... | 24        |
| <b>6</b> | <b>Levantamento Batimétrico</b> .....   | <b>25</b> |
| 6.1      | Materiais e Métodos .....   | 25        |
| 6.2      | Execução do Levantamento Batimétrico.....   | 30        |
| <b>7</b> | <b>Levantamento Aéreo</b> .....   | <b>33</b> |
| 7.1      | Execução do Levantamento Aéreo .....  | 33        |
| 7.2      | Produtos Cartográficos .....  | 35        |
| <b>8</b> | <b>Processamento dos Dados</b> .....  | <b>37</b> |
| 8.1      | Modelo Digital do Terreno (MDT).....  | 38        |
| 8.1.1    | Processamento do MDT .....  | 40        |
| 8.1.2    | Cálculo da Cota x Área x Volume .....   | 42        |
| 8.2      | Curva Cota Área Volume .....  | 43        |
| 8.3      | Organização do Geoprocessamento.....  | 44        |
| 8.4      | Modelo Rede Triangular Irregular (TIN) .....  | 46        |
| <b>9</b> | <b>Seções de Controle</b> .....   | <b>47</b> |
| 9.1      | Levantamento das Seções de Controle .....   | 52        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>10 Resultados e Discussões.....</b>           | <b>57</b> |
| <b>11 Referências Bibliográficas.....</b>        | <b>60</b> |
| <b>12 Anexos e Organização dos Arquivos.....</b> | <b>61</b> |



**OVERTECH**®  
Soluções Tecnológicas

## 1 Introdução

Este relatório apresenta as atividades técnicas de cartografia, geodésia e batimetria, executadas para a determinação das Curvas Cota x Área x Volume (CAV) do reservatório da UHE Picada localizado no município de Juiz de Fora, no Estado de Minas Gerais. Os serviços de levantamentos cartográficos e geodésicos do entrono da área de interesse foram realizados pela empresa Messen Cartografia Geoinformação (Messen), através do emprego de drones para aquisição dos dados georreferenciados.

Os levantamentos e batimétricos e atualização da CAV, que incluíram a junção dos produtos cartográficos mencionados, bem como estabelecimento das seções de controle de sedimento, foram executados pela empresa Overtech Soluções Tecnológicas (Overtech).

O referido trabalho de atualização da relação entre os diferentes níveis de água de um reservatório e suas respectivas magnitudes derivadas (área alagada e volume) visa proporcionar informações pertinentes quanto ao potencial energético e hídrico disponível para um dado corpo hídrico.

Reservatório são lagos de origem artificial, normalmente concebidos para armazenar água em regiões secas, destinados ao abastecimento de água, irrigação, lazer, ou geração de energia elétrica. Sendo essa última a finalidade principal do reservatório em questão.

Segundo Carvalho, todos os reservatórios ficarão assoreados com o passar do tempo, a questão que deve ser levantada é se não haverá nenhum problema que venha a impedir a operação do aproveitamento durante a vida útil do reservatório. Segundo estudo do mesmo autor, um reservatório sem a ação humana leva em média 150 anos para ocorrer o assoreamento, em contrapartida, com a ação humana, este tempo pode reduzir para somente 22 anos. Visando prever e estimar o grau de assoreamento de um dado reservatório, deve-se fazer um levantamento topo-batimétrico, levantamento este que abrange tanto a parte submersa quanto a parte terrestre influenciada por ele. (Carvalho, 2000).

A aplicação de levantamentos topo-batimétricos em canais fluviais, ou em reservatórios, é de suma importância para o entendimento de suas características morfológicas, variáveis hidráulicas e dinâmica de fluxo. Assim o mapa batimétrico é constituído pela representação matemática extraída da interpolação dos dados espacial de um reservatório.

A Resolução ANA/ANEEL/ n 03 de 10 de agosto de 2010 (Resolução), no seu artigo 8º estabelece que o para as usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (NOS), o processo de assoreamento de reservatórios deve ser avaliado através de atualização das curvas Cota x Área x Volume. Este estudo deve ser realizado pelo concessionário ou autorizado da seguinte forma:

*Art. 8º Para as usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, 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:*

*9.1 – 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;*

*9.2 – Para os novos empreendimentos, a atualização deverá ser realizada cada 10 anos, contados a partir do início da operação comercial.*

*§ 1º A proposta do método e dos procedimentos a serem utilizados na atualização das curvas cota x área x 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.*

## 2 Antecedentes

A UHE Picada entrou em operação em 2006, sendo sua licença de operação emitida em 08/2010, inserindo esta usina o como novo empreendimento, conforme item 9.2. Assim sendo, para atendimento ao inciso 1º da *Resolução*, foi elaborado o primeiro Plano de Trabalho, Curva CAV (DT-VE-O&M-101/19) proposto pela Votorantim S.A. Este foi posteriormente aprovado pela ANA, conforme Ofício 138/2019/SGH-ANA (Documento nº02500.033805/2019) de 21/05/19, embasou-se para sua aprovação nos pareceres técnicos de planos de trabalho anteriores, Parecer Técnico nº 494/2017/SGH (Documentos nº 60541/2017) e Parecer Técnico nº 087/2019/SGH (Documento nº 016542/2019). Entretanto, tais Pareceres Técnicos empregados como embasamento conduziram à concessionária para adoção de seções de levantamentos em número superior aos definidos pelo próprio documento “Orientações Para Atualização das Curvas Cota X Área X Volume” (CAV/ANA). Posteriormente um novo plano de trabalho foi elaborado em 18/07/19 e encaminhado à ANA. Em reunião entre profissionais da Votorantim, Overtech e ANA ficou acordado que a metodologia de varredura do leito, empregando-se ADCP, proporcionaria uma gama de dados mais robusta para o levantamento batimétrico.

Em março de 2020 os serviços de campo foram empreendidos para o referido levantamento do reservatório da UHE Picada. Os resultados obtidos foram encaminhados à ANA por meio de Carta nº VE-GGG-CRT-20-0007-RO, de 14/07/2020 (Documento nº 58396/2020). Sendo reprovado pelas motivações abordadas no Ofício nº 418/2020/SGH/ANA, de 15/12/2020 (Documento nº 59608/2020).

A segunda versão dos levantamentos de campo foi encaminhada à ANA por meio da Carta nº VE-GGG-CRT-21-003-RO, de 20/01/2021 (Documento nº 3646/2021). Sua avaliação preliminar foi contestada conforme Ofício nº 13/2021/SGH/ANA (Documento nº 02500.003764/2021), sendo requerido a revisão de alguns pontos pendentes.

À vista disso este relatório vem abordar tais requisições de modo a suprir o órgão requerente com as devidas informações.

### 3 Descritivo do Empreendimento

A UHE Picada está instalada no rio do Peixe, no município de Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 21°52'53"S e 43°31'49"W. O rio do peixe está inserido na sub bacia do Rio Paraíba do Sul (58), que por sua vez faz parte da bacia do Atlântico, Trecho Leste (5).

Este empreendimento teve sua operação iniciada em 01/07/2006 e está situado no domínio geomorfológico denominado “Mares de Morro” das Serranias da Zona da Mata, cujas feições do relevo possuem formas arredondadas e declividades majoritariamente elevadas com áreas suscetíveis a escorregamentos (Ab’Saber, 2003). Tais aspectos do relevo somados ao bioma de Mata Atlântica em que o Rio do Peixe está inserido (Floresta Ombrófila Densa) proporcionam, às cercanias do reservatório da UHE Picada, vales encaixados com vegetação densa em ambas as margens.

O referido reservatório, em seu terço superior, apresenta um canal relativamente estreito, entre 30 e 50m, não excedendo profundidades maior 12m. Conforme se desloca para jusante, em seu terço médio e inferior, observa-se de larguras maiores, entre 100 e 200m, e profundidades chegando até 25 m. Salvo a presença de bancos de areia em porções do terço médio. As margens, apesar de apresentarem vegetação dessa, em sua maioria, também se encontra a ocorrência de charcos e alagados, especialmente em sua margem esquerda.

Tais características, hora com árvores altas e vegetação densa, hora de charcos e alagados, dificultam a aquisição de dados precisos dos sistemas de posicionamento GPS e a implantação de Referências de Nível (RRNN), especialmente por se tratar de Área de Preservação Permanente (APP). Nesse caso é importante mencionar sobre as restrições quanto ao desbaste dessa vegetação, conforme o Código Ambiental (Lei nº 12.651, 25/05/12).

As características acima descritas foram comprovadas ainda durante a fase de exploração da área de interesse, em 11/07/19. Durante essa fase foram identificados também a presença de uma grande quantidade de macrófitas no terço inferior do reservatório, dificultando a navegação para realização dos trabalhos nesta região e possível local de retenção de sedimentos, conforme apresentado na Figura 3.3.

Na sequência são apresentadas imagens de localização do empreendimento UHE Picada (Figura 2.1 e Figura 2.2). Posteriormente são apresentados registros fotográficos obtidos durante campanha que ilustram as condições acima mencionadas. Nota-se claramente a presença de vegetação muito fechada, intercalada por charcos e alagados (Figura 2.3).

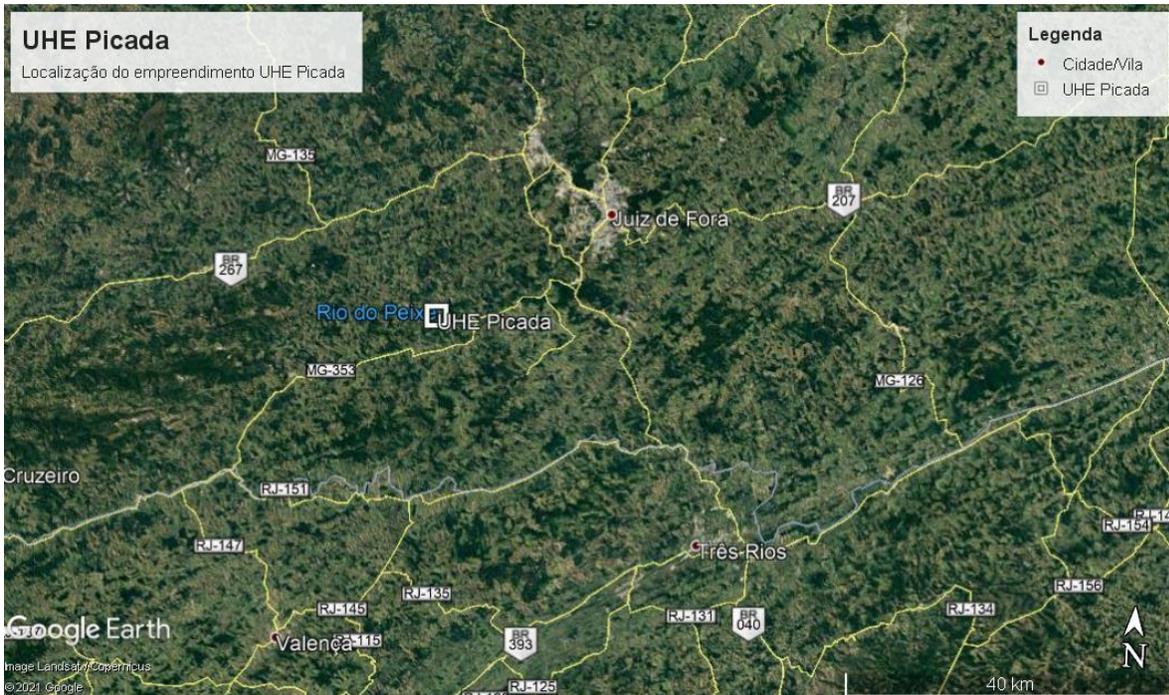


Figura 3.1 – Localização da UHE Picada em relação às cidades de Juiz de Fora, Valença e Três Rios (MG).

Soluções Tecnológicas

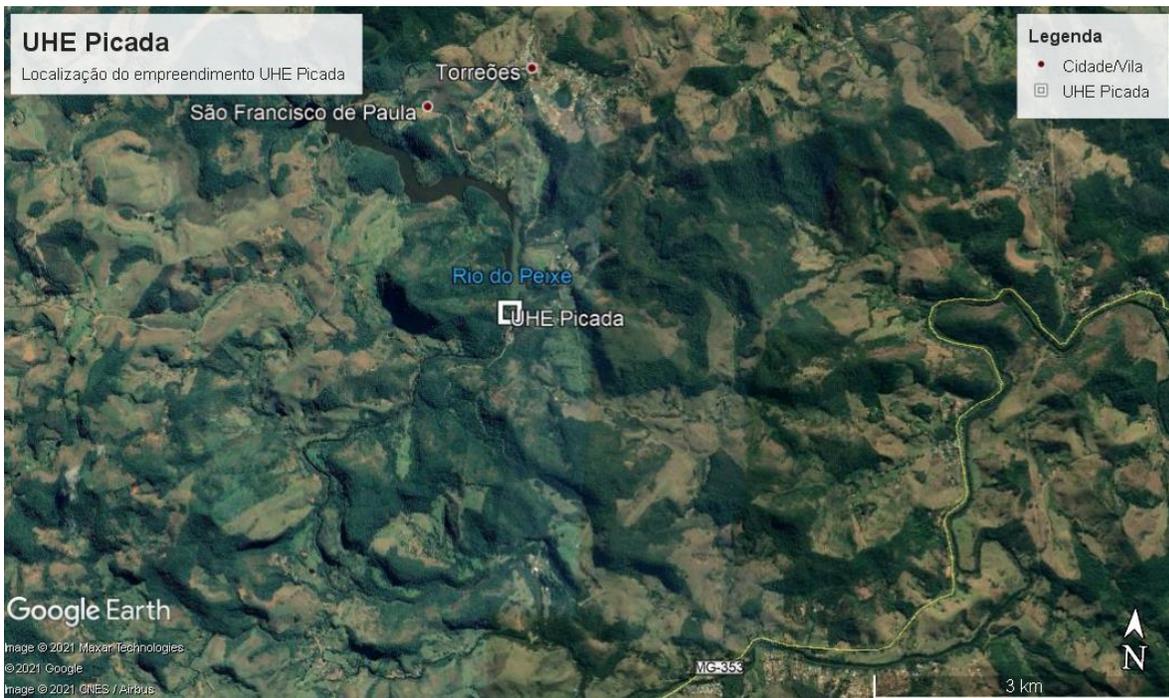


Figura 3.2 – Localização da UHE Picada em relação à vila de Torreões e a estrada MG-353.



Figura 3.3 – Visualização de macrófitas no terço inferior do reservatório da UHE Picada

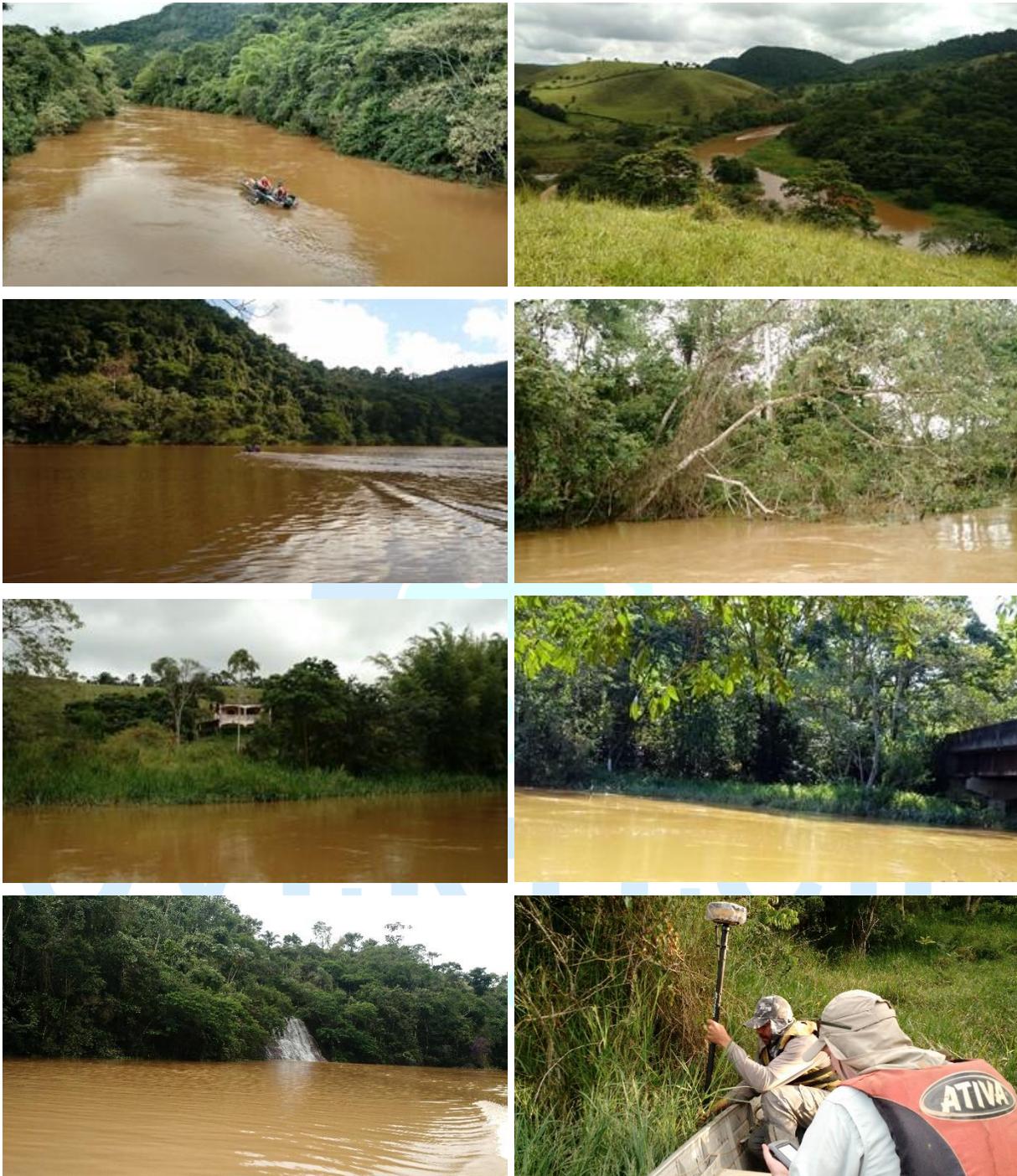


Figura 3.4 – Imagens que ilustram as paisagens a montante do empreendimento da UHE Picada. Charcos e densa mata ciliar são características do contorno do reservatório.

## 4 Resumo das Atividades

A título de organização, o levantamento planialtimétrico da UHE Picada pode ser segmentado em tópicos distintos cujas finalidades serão explanadas adiante. De modo geral cita-se primeiramente a exploração do serviço a ser executado, com o reconhecimento de campo. Posteriormente foi realizada a definição e implantação dos marcos de referência para correção da aquisição dos dados de posicionamento foi realizado.

Uma vez finalizada essa primeira fase, a atividade de levantamento do reservatório em si foi realizada por meio da integração entre, as medidas da profundidade e suas correções de posicionamento. Esse processo foi desempenhado empregando-se um ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) para tomada das profundidades, paulatinamente tais dados passavam a ser georreferenciados por meio do uso de um RTK (*Real Time Kinect*). Ambos os equipamentos RTK e ADCP foram conectados ao computador para processamento e integração das informações através do programa *HidroSurveyour*. Como resultado obteve-se a malha de pontos georreferenciados.

Ainda em campo foram também definidas as seções de controle de depósito de sedimentos, conforme requisitado no plano de trabalho (DT-VE-O&M-101/19), procurando-se seguir as exigências da ANA e adequando tais requisitos às realidades locais. Como resultado foram definidas e medidas as 6 seções requisitadas, empregando-se o mesmo conjunto de equipamentos (ADCP/RTK), para aquisição do perfil batimétrico georreferenciado, e o uso de nível topográfico para determinar as partes secas acessíveis. O único diferencial foi o uso do programa *RiverSurveyour*, específico para medições de seção.

Finalizado a coleta de dados em campo, toda a nuvem de dados foi então processada por meio de programas de sistema de informações geográficas (SIG). Esse processo teve por finalidade, primeiramente, limpar os espúrios e outliers coletados, e posteriormente gerar o modelo digital do fundo reservatório.

Na ocasião do levantamento batimétrico do reservatório o nível da água (cota) empreendimento UHE Picada encontrava-se em seu Máximo Operacional. Assim sendo, seguindo as orientações publicadas pelo órgão requerente (ANA 2013), fora assumido que tal levantamento supriria as informações necessárias para definição da CAV. Porém, uma das condicionantes para entrega deste relatório era a extrapolação da CAV até a cota Máxima Operacional. Desse modo fez-se necessário realizar também levantamento topográfico

precisos por meio de imageamento aéreo. Uma vez que a aquisição dos dados de borda se mostrou muito dificultoso visto as condições da localidade, anteriormente expostas.

O produto requerido foi então realizado pela empresa de cartografia Messer Cartografia, que empregou Veículos Aéreos Não Tripulado (VAT), onde além de obter imagens de alta resolução dispõem também de sensores de aquisição de dados georreferenciados.

Com o conjunto das informações acima relatadas prossegue-se para a organização e elaboração do modelo digital de elevação (MDT) integrado do reservatório e seu entorno. Por meio desse modelo e empregando-se um Script em Python, fornecido pelos profissionais da ANA (Volume Batimétrico Modelo.py) pôde-se então calcular as respectivas áreas e volumes referentes a cada nível do reservatório. Tanto o modelo quanto os cálculos para Curva CotaxAreaxVolume foram processados no ArcGIS.

Para a elaboração da curva Cota x Área X Volume da UHE Picada, em atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL N<sup>o</sup> 03 de 2010 as contratadas (Overtech e Messen) executou as seguintes atividades:

- Implantação da Rede de Vértices Geodésicos (RVG) do entorno do reservatório, por nivelamento geométrico e rastreamento GNSS L1/L2, a partir das RNs oficiais do IBGE mais próximas, com leitura dos níveis sobre a régua de operação localizada na barragem;
- Validação do MapGeo2015 por meio da diferença altimétrica entre um marco do IBGE e um dos vértices da RVG da região do reservatório;
- Mapeamento da área molhada por meio do emprego do uso de ADCP M9, composto por 5 feixes;
- Mapeamento da área seca/topografia através de imageamento aéreo (Fotogrametria) levantados por meio de VAT (Atividade realizada pela Messen Cartografia);
- Implantação de Seções de Controle para o monitoramento do assoreamento;
- Construção do Modelo Digital do Terreno do conjunto batimetria topografia até cota Máxima Maximorum;
- Definição das relações entre as linhas de corte do modelo digital gerado e os suas respectivas área e volumes. Tal atividade foi feita de cm em cm a pedido do ONS.

## 5 Rede de Vértices Geodésicos (RVG)

A definição da relação entre a cota de um dado reservatório e suas grandezas diretamente impactadas (área alagada e volume) necessita que seu levantamento seja atrelado a um sistema de referência. Caso contrário a tomada direta de profundidades ao longo daquele corpo hídrico não seria representativa, nem para mudanças do seu nível, muito menos caso futuras atividades desse cunho viessem a ser realizadas no mesmo reservatório.

Para esse fim exige-se a materialização de marcos vinculados a um sistema de referência oficial. Um sistema de referência nada mais é do que um modelo geométrico que representa a superfície terrestre. Sendo esta figura, na maioria dos casos, representada por um elipsoide. Modelos empregados antes da difusão do uso de satélites para fins de posicionamento estavam sempre vinculados a uma referência em superfície, também denominados de Orientação Topocêntrica, como era o caso do *Datum* de Córrego Alegre ou SAD-69, antigos sistemas empregados no Brasil.

A partir de 2000, com uso obrigatório após 2015, o Brasil adota o sistema Sirgas 2000. Trata-se de um sistema geodésico com Orientação Geocêntrica. Nesse modelo o centro do elipsoide está localizado no centro de massa da terra. Tal modelo permite o emprego direto de constelações de satélites para posicionamento.

Atualmente sistemas de posicionamento precisos são capazes de empregar informações de posicionamento proporcionadas por constelações de satélites distintas. Esse sistema conjunto é denominado GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*). Sendo este capaz de empregar dados, tanto do sistema GPS (Americano), quanto do GLONASS (Russo), e por vezes dos sistemas GALILEO (Europeu) e/ou COMPASS (Chinês).

Dentre as técnicas empregadas para obtenção dados de posicionando do sistema GNSS, aquela por posicionamento cinemático em tempo real (*Real Time Kinematic* – RTK) é comumente empregada em serviços de cunho topográfico. Proporcionando um bom equilíbrio entre mobilidade e acurácia durante processos de georreferenciamento. Esse método pode alcançar acurácia centimétrica, às vezes, sem a necessidade de processamento posterior dos dados.

No posicionamento RTK são utilizados dois receptores coletando dados continuamente. Um dos receptores é denominado estação de referência (base) e fica posicionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas. O outro receptor (receptor móvel), localizado nas

proximidades, coleta dados nos pontos de interesse do usuário para determinação da posição em tempo real.

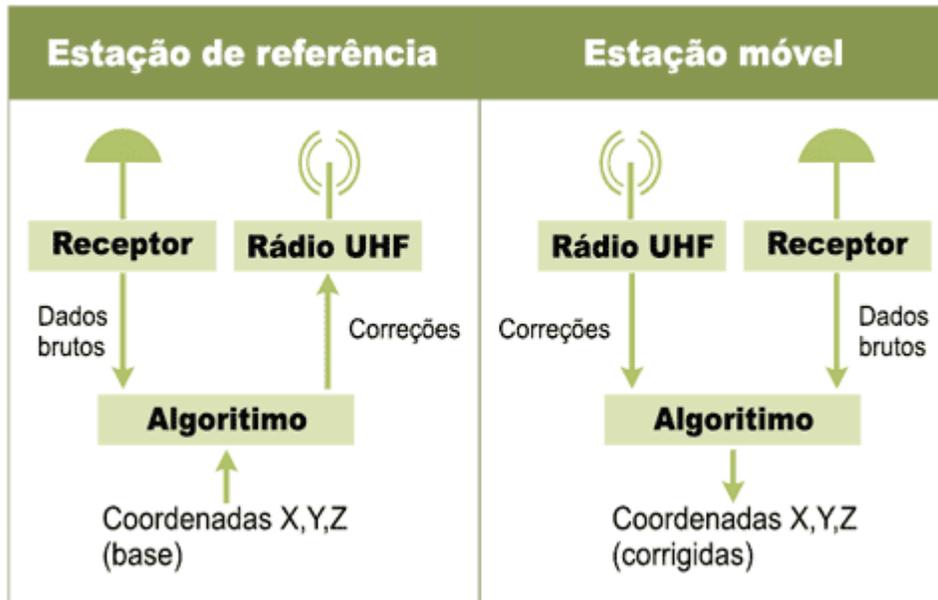


Figura 5.1 – Esquema de funcionamento do sistema RTK.

## 5.1 Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP)

Em casos em que não há pontos de coordenadas conhecidas nas proximidades da obra, é possível determinar um ponto preciso a partir de cálculos de correção estatísticas e correções das efemérides atmosféricas influenciáveis vigentes na hora daquele levantamento. O processamento é realizado através da técnica de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), que determina a posição (coordenadas) de forma absoluta, utilizando as observáveis código e fase da onda portadora, coletadas por receptores de uma (L1) ou duas frequências (L1&L2).

Nesse processo o ponto que se deseja georreferenciar deve ser “medido” por um período de tempo maior, mantendo-se o RTK sob aquele ponto e armazenando suas contínuas tomadas de posição. As observações GNSS daquele ponto são então compiladas em formatos específicos, geralmente RINEX, para terem sua posição devidamente corrigida por meio de sistemas remotos on-line. É comumente empregado, para levantamento dentro do território nacional, o sistema do IBGE, IBGE-PPP.

Para realizar tal processo o serviço IBGE-PPP emprega uma série de correções dentre elas: informações das órbitas e correções dos relógios dos satélites, desvios e variações do

centro de fase das antenas dos satélites e receptor, parâmetros de transformação entre os referenciais (no caso entre ITRF e SIRGAS2000), modelos de carga oceânica, velocidade, pressão, temperatura e umidade. Finalmente esses dados são então submetidos ao modelo de ondulação geoidal MAPGEO2015 para a transformação entre os referenciais altimétricos elipsoidal e ortométrico (IBGE, 2020).

O grau de precisão do ponto a ser definido varia em decorrência, dentre outros, do tipo de aparelho empregado, do tempo de aquisição de tomadas de posição e do tempo necessário para se ter as correções das efemérides atmosféricas para aquela data e região. Mas em todos os casos a precisão ainda é da ordem de centímetros.

Sobre o tipo de equipamento RTK, trata-se da capacidade de um dado receptor em coletar as observáveis código e fase das ondas portadoras. Podendo ser elas L1 ou L3 (L1&L2).

Com relação ao tempo de espera para disponibilidade da solução de correção a ser apresentados pelo IBGE-PPP, estas são divididas em três tipos: Ultra-Rápida, Rápida e Final. A denominada Final é assim descrita pois não há mais correções a serem aplicadas, porém o tempo de espera é significativo, conforme pode ser observado na Tabela 5.1, adaptada abaixo. NRCam é a sigla para *Natural Resources Canada*. Trata-se do sistema de correção das efemérides atmosféricas empregado pelo IBGE-PPP.

Tabela 5.1 – Tempo para correção das efemérides atmosféricas.

| Produto NRCam                    |                      |                                    |   |                    |
|----------------------------------|----------------------|------------------------------------|---|--------------------|
| Órbitas / Intervalo              | Relógios / Intervalo | Constelação                        | Quando o IBGE-PPP irá utilizar?   | Precisão da órbita |
| Ultra-Rápida (EMU)<br>15 minutos | EMU<br>30 segundos   | GPS (1h) e<br>GPS+<br>GLONASS (3h) | a partir de 1h30m-2h30m após o fim do rastreo até a disponibilidade das órbitas EMR | ± 15 cm            |
| Rápida (EMR)<br>15 minutos       | EMR<br>30 segundos   | GPS e<br>GLONASS                   | a partir de 12-36 horas após o fim do rastreo até a disponibilidade das órbitas EMF | ± 5 cm             |
| Final (EMF)<br>15 minutos        | EMF<br>30 segundos   | GPS e<br>GLONASS                   | a partir de 11-17 dias após o fim do rastreo  | ± 2 cm             |

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Quanto ao tempo de aquisição de tomadas de posição, trata-se do tempo de permanência do receptor sob o ponto a ser alocado. Seguindo as orientações para definição por PPP do IBGE sugere-se não menos que 1 hora, ocasionando incerteza maiores para períodos de tempo menor (IBGE, 2020). Testes realizados por aquele instituído são apresentados nas Figura 5.2 e Figura 5.3. Estas indicam a variação dos desvios padrão em latitude (SLAT), longitude (SLON) e altitude (SHGT) em relação ao tempo de observação (1h, 2h, 4h e 6h), para as observáveis L1 e L3 (L1&L2) respectivamente. Estes gráficos expressam a precisão esperada no posicionamento estático com o IBGE-PPP, e foram determinados a partir de dados observados por 6 estações GNSS pertencentes a RBMC, rastreados em 4 períodos distintos do ano, em diferentes seções do dia, com intervalos de rastreo de 15 segundos, e processados com órbitas rápidas EMR. Ao todo, foram utilizadas 576 amostras com períodos de 1 hora de rastreo, 288 amostras de 2 horas, 144 amostras de 4 horas, e 96 amostras de 6 horas.

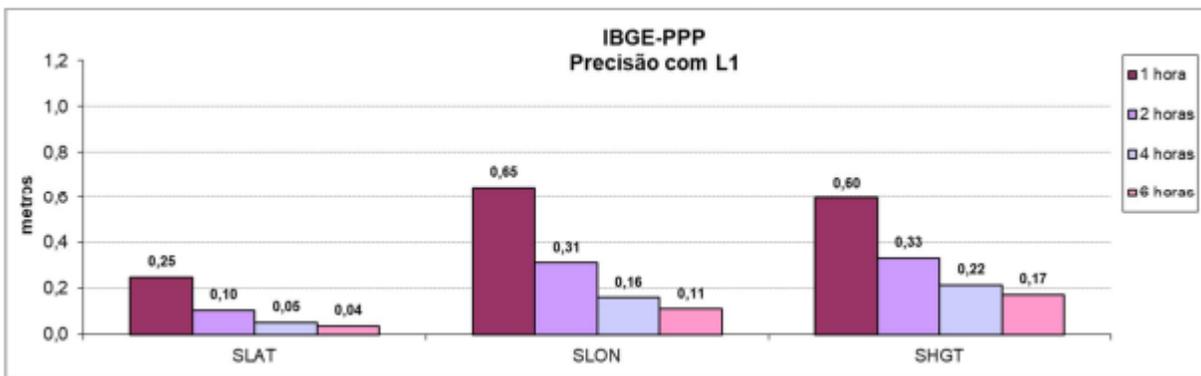


Figura 5.2 – Tempo de rastreo empregando-se receptores tipo L1.

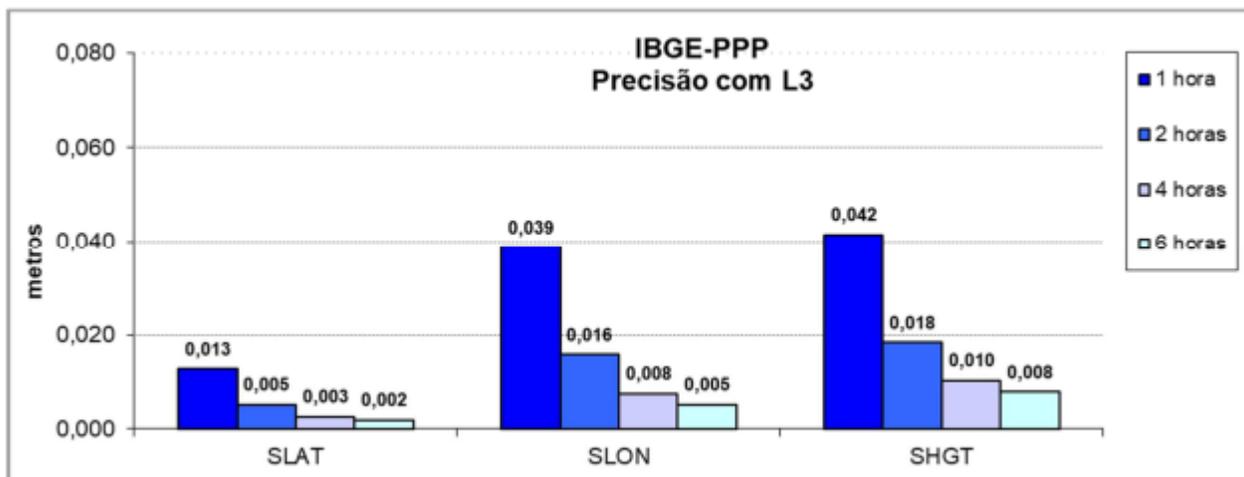


Figura 5.3 – Tempo de rastreo empregando-se receptores tipo L3.

Nota-se que as precisões obtidas com receptores L3 (L1&L2) após 1 hora de rastreo são de 1,3 cm, 3,9 cm e 4,2 cm para as componentes, latitude, longitude e altitude respectivamente, podendo chegar a aproximadamente 2 mm, 5 mm e 8 mm após 6 horas de rastreo.

Este foi o tipo de metodologia empregada na locação inicial dos marcos que compõe a Rede de Vértices Geodésicos e para o levantamento batimétrico do reservatório da UHE Picada. Posteriormente, sob contestação quanto a precisão do serviço realizado, as coordenadas dos marcos da RVG foram também submetidas a validação por meio de Posicionamento RTK em Rede. Metodologia essa descrita no item 5.3.

## 5.2 Implantação RVG

Foi implantada uma rede de vértices geodésicos (RVG) para realização da atividade, composta por um total de d pontos distribuídos uniformemente ao longo do reservatório. Sendo um destes vértice, localizado no barramento da usina, empregado apenas para verificação da diferença entra a cota linimétrica do empreendimento do empreendimento e a altitude ortométrica considerada pelo Sistema Geodésico Brasileiro. Seus vértices tiveram suas coordenadas determinadas por posicionamento GNSS empregando-se equipamentos do tipo RTK (*Real-Time Kinematic*) e validadas posteriormente pela correção de uma base do IBGE.

O posicionamento relativo em tempo real, denominado RTK, vem sendo muito empregado desde seu advento, pois permite ao usuário determinar a sua posição acurada naquele instante. Esse método pode alcançar acurácia centimétrica, sem a necessidade de um processamento posterior dos dados, desde que a solução das ambiguidades obtida for confiável. A RVG implantada serviu de base para o georreferenciamento das seções batimétricas e adensamento de pontos para o apoio ao levantamento batimétrico, bem como para a avaliação do MapGeo2015.

Nos anexos deste documento encontram-se os dados RINEX brutos coletados durante o rastreo das bases, bem como demais produtos empregados relacionados com as coletas de dados com RTK.



Figura 5.4 – Implantação da Rede de Vértices Geodésicos da UHE Picada

Os rastreios da RVG foram realizados entre os em março de 2020, onde após marcados/materializados os pontos de interesse, a Base do conjunto de georreferenciamento RTK (Base-Rover) fora posicionada, calada e a diferença da altura entre a antena e o respectivo vértice da RVG computada no processo. Por esse motivo, poder-se-á encontrar junto ao material disponibilizado em anexo, referência à RVG como “Base”. A título de esclarecimento definiu-se a nomenclatura dos vértices da RVG seguindo do número de sua posição de montante à jusante, e sua posição quanto a margem do rio. Desse modo tem-se os vértices: RGV01MD, RGV02MD, RGV03ME, RVG04ME e RGV05BAR (localizado no barramento da usina). Abaixo são apresentadas imagens dos vértices materializados da RVG (Figura 5.5).



Figura 5.5 – Materialização dos vértices da RGV (RGV01ME).

### 5.3 Validação dos Vértices por Meio do Posicionamento RTK em Rede

Conforme exposto anteriormente, visto a contestação quanto a precisão do serviço PPP, as coordenadas dos marcos da RVG foram também submetidas a validação por meio de Posicionamento RTK, fazendo uso dos dados disponibilizados pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Tal metodologia emprega bases de RTK que disponibilizam dados contínuos de suas correções, somando-se ao emprego de efemérides atmosféricas para a respectiva data, para validação das coordenadas XYZ dos pontos ocupados durante o rastreo (Barbosa, 2010).

Para tal atividade imaginava-se, inicialmente empregar outras duas bases como apoio, porém, visto a distância maior de uma das bases (>60Km) e indisponibilidade para o período analisado empregou-se os dados contínuos de uma base fixa localizada na Universidade Federal de Juiz de Fora (MGJF), a aproximadamente 20Km do barramento. Desse modo foi possível identificar por dois métodos distintos se a RVG estava coerente.

Todas as bases/vértices da RVG foram então processadas empregando-se as devidas observações de correção da Base MGJF através do programa MAGNET Tools™ (Figura 5.6).

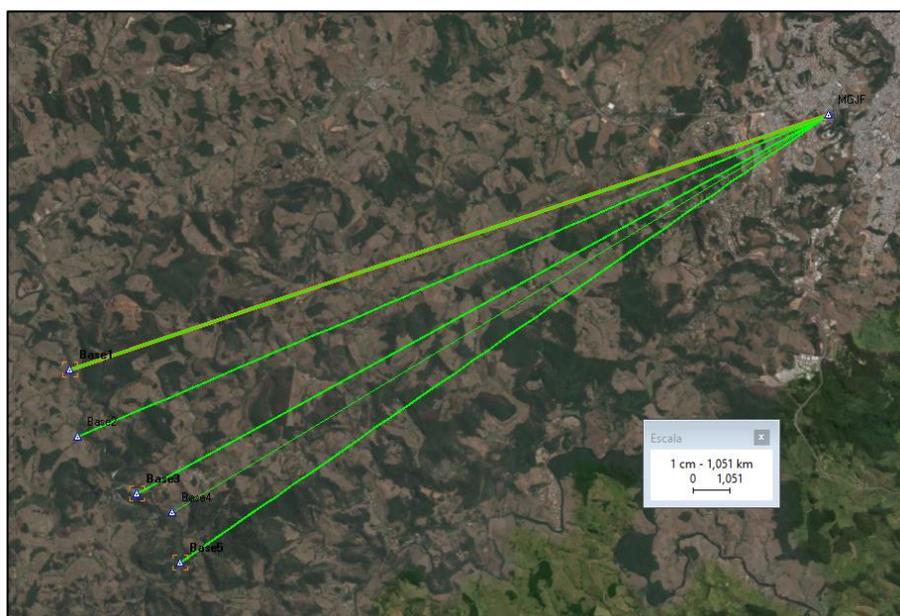


Figura 5.6 – Validação dos vértices da RGV implementada empregando-se correções da RBMC (MGJF).

Os resultados obtidos indicaram aderência dos pontos vértices da RGV implantada considerando as duas metodologias empregadas. Não foram observadas diferenças maiores que 20cm, validando assim a rede definida. A Tabela 5.2 – Diferenças entre as metodologias PPP e RBMC apresenta as diferenças observadas as metodologias.

Tabela 5.2 – Diferenças entre as metodologias PPP e RBMC

| Nome do ponto | Grade Norte (m) | Grade Leste (m) | Elevação PPP | Elevação MGJF | Dif.  |
|---------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|-------|
| RVG01MD       | 7584390,095     | 647863,429      | 658,78       | 658,85        | 0,07  |
| RVG02MD       | 7582607,170     | 648055,804      | 694,72       | 694,74        | -0,02 |
| RVG03ME       | 7581059,264     | 649644,726      | 767,22       | 767,27        | -0,05 |
| RVG04ME       | 7580558,848     | 650576,751      | 674,42       | 674,45        | -0,03 |
| RVG05BAR      | 7579212,466     | 650790,112      | 658,74       | 658,86        | -0,12 |

Tabela 5.3 – Relação de rede de vértices geodésicos implantados na UHE Picada

| Nome     | Norte (m)   | Este (m)   | Latitude      | Longitude     | Cota Elipsoidal (m) | Cota Ortométrica (m) |
|----------|-------------|------------|---------------|---------------|---------------------|----------------------|
| RVG01MD  | 7584390,095 | 647863,429 | 21°50'17,68"S | 43°34'09,23"W | 658,85              | 662,74               |
| RVG02MD  | 7582607,170 | 648055,804 | 21°51'15,59"S | 43°34'01,95"W | 694,74              | 698,66               |
| RVG03ME  | 7581059,264 | 649644,726 | 21°52'05,44"S | 43°33'06,10"W | 767,27              | 771,24               |
| RVG04ME  | 7580558,848 | 650576,751 | 21°52'21,42"S | 43°32'33,48"W | 674,45              | 678,45               |
| RVG05BAR | 7579212,466 | 650790,112 | 21°53'5.13"S  | 43°32'25.59"W | 658,86              | 662,87               |

**OVERTECH**®  
Soluções Tecnológicas

## 5.4 Verificação da Ondulação Geoidal

O objetivo da verificação da qualidade do Modelo Gravitacional Brasileiro MapGEO e/ou elaboração de um Modelo Geoidal Local é a definição de um modelo que viabilize a determinação geoidal com qualidade superior a 20 cm, na região do reservatório, sem o uso do nivelamento geométrico, ou seja, através do levantamento de uma linha de base, por GNSS, poder-se-á determinar por interpolação geométrica a altitude ortométrica do ponto utilizando as coordenadas tridimensionais dos vértices e o modelo escolhido, seja o MapGEO ou um modelo elaborado exclusivamente para a região, denominado de Modelo Geoidal Local (MGL).

Conforme a especificação técnica desse trabalho, necessita-se a validação de vinte por cento (20%) dos pontos totais rastreados durante a implantação da RVG para avaliar o MapGeo2015. Visto que o local com maior variação do modelo encontra-se mais próximo do barramento foi definido um ponto naquele local para verificação das diferenças. Desse modo, para a verificação de qualidade do MapGEO, foi realizado nivelamento geométrico levantado entre o marco geodésico do IBGE 115D localizado no município de Matias Barbosa a 33Km da usina, e o ponto no barramento das UHE Picada RVG05BAR (PM03). O detalhamento desta atividade, contendo descrição do procedimento, planilhas de cálculo e caderneta de campo estão em anexo (Nivelamento RN115D-RVG05BAR)

Após análise, foi observado que o MapGEO 2015, na região do reservatório da UHE de Picada, tem a qualidade exigida no documento orientativo da ANA, portanto, não foi necessária a elaboração um Modelo Geoidal Local – MGL. Sendo a altitude obtida por levantamento geométrico foi 662,865m para PM03 e por GNSS foi 662,87m. Assim a diferença entre N (obtido por GNSS e Nivelamento Geométrico) apresentou uma diferença dentro do limite exigido de 20cm exigido.

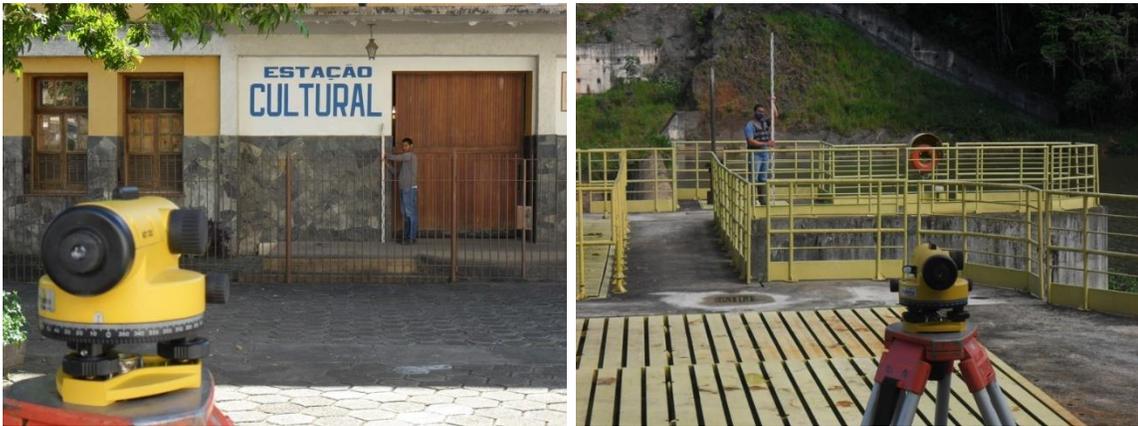


Figura 5.7 – Nivelamento geométrico RN11D e RVG05BAR

A superfície que representa o MapGEO2015, na região do reservatório, está apresentada na Figura 5.8. Nela nota-se uma variação de 10cm entre os extremos do reservatório, onde maiores altitudes do modelo encontram-se próximo ao barramento, porém dentro do limite

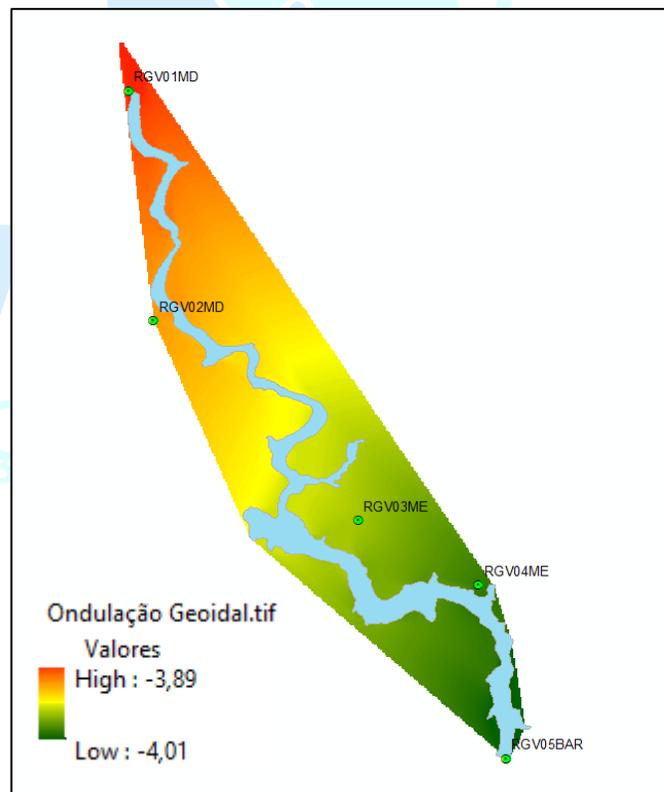


Figura 5.8 – Modelo Gravitacional Brasileiro – MapGeo2015 ao longo da UHE Picada.

## 5.5 Correlação das Cotas – Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) x Cota de Operação (Régua da UHE Picada)

Deve-se destacar que há uma diferença de 56 cm entre as elevações no Sistema Geodésico Brasileiro, obtidas no levantamento atual, e o nível local atualmente utilizado como referência na operação da UHE Picadas.

Tal diferença foi identificada tanto por nivelamento geométrico, quanto por posicionamento GNSS, onde o topo da régua do barramento da usina, de cota 661m foi conferido.

Dessa forma, os documentos baseados na referência de nível local apresentam o Nível Máximo Maximorum do reservatório na elevação 660,30, enquanto na referência do Sistema Geodésico Brasileiro, referência do atual trabalho esse nível corresponde à elevação 660,86m.



Figura 5.9 – Averiguação do vértice RVG05BAR localizado no barramento da usina.

## 6 Levantamento Batimétrico

Para o levantamento batimétrico da UHE picada, as diretrizes da ANA (Agência Nacional de Águas) sinalizaram necessidade de levantamento de um número de 140 seções. Essa quantidade de seção implicaria, para o caso do reservatório de Picada, com aproximadamente 7 km de extensão, em um espaçamento de uma seção a cada 50m, distribuídas uniformemente. Tal demanda, frente as já mencionadas condições não favoráveis de relevo e densa vegetação, acabariam por tornar a execução da atividade extremamente árdua, quiçá inviável. Assim, frente tais dificuldades, o levantamento batimétrico da UHE Picada foi desempenhado empregando-se a metodologia de levantamento batimétrico tridimensional, denominada *Go With The Flow* (Sloat, 2007), com o uso de sensores acústicos (*Acoustic Doppler Current Profiler – ADCP*) para realizar varredura de pontos georreferenciados do leito do reservatório.

### 6.1 Materiais e Métodos

Há distintas técnicas para realizar a batimetria de um reservatório, sendo mais comumente empregado a divisão do reservatório em seções transversais, sendo as seções levantadas com o uso de ecobatímetros digitais ou analógicos. Ficando o posicionamento da embarcação a cargo de teodolitos/estações totais ou sextantes e bandeiras nas margens.

Assim como com a evolução e a massificação do uso de equipamentos de posicionamento por satélites (GNSS), que possibilita identificar a posição da embarcação, através do georreferenciamento, o mesmo acontece com o aparecimento dos medidores acústicos, *Doppler* ou *Multy Beams* (multifeixes), em seu uso para levantamento do fundo de reservatório. Essas novas tecnologias possibilitam levantamentos com muito maior precisão, maior rapidez, aumentando a áreas amostradas.

No levantamento tipo “*Go With The Flow*”, o deslocamento constante da embarcação, proporciona leituras batimétricas constantes de margem a margem (transversais). Estes, além de possibilitar o rastreo do leito ao longo do talvegue (longitudinais), acabam também por cobrir uma área muito maior do reservatório, quando comparado com métodos de divisão por seções. Trate-se assim, da varredura do reservatório com “travessias dinâmicas” ao longo de seu percurso. Para tanto, devido a grande quantidade de dados, dependendo do tamanho do corpo hídrico a ser medido deve-se separar este em áreas a serem levantadas.

No trabalho realizado empregou-se um ADCP, modelo M9, cuja varredura proporciona também, além da posição e profundidade, a magnitude e direção das correntes em 3D. Em estudos mais aprofundados a gama de dados adquiridos pode também inferir informações que permite um qualitativo de sedimento em suspensão. Porém, para definição de Curvas Cota x Área x Volume, apenas coordenadas e profundidades são utilizadas.

O ADCP-M9 possui 3 frequências acústicas para medições das profundidades (além das velocidades, direções da corrente da água e do barco). Desse modo, apesar de não ser um multifeixe propriamente dito, este se enquadra como tal, uma vez pois possui duas frequências, escolhidas automaticamente pelo software (*HydroSurveyour*), para otimização das precisões das medições com menor ruído em função das velocidades da água e da profundidade, a terceira frequência é usada apenas para levantamento de profundidade na vertical.

Cada frequência possui 4 feixes (exceto a frequência vertical), conseqüentemente o aparelho faz a leitura de cinco profundidades a cada emissão do pulso acústico (Figura.7). Os feixes estão afastados da vertical por um ângulo de  $25^\circ$ , e mais um feixe na vertical. Desse modo, quanto maior a profundidade, maior distância entre pontos medidos, cobrindo assim uma maior área com cada pulso emitido. Ao emitir cerca de 10 ou mais pulsos por segundo, fornecendo a cada pulso 5 profundidades espaçadas, a uma distância de  $2(D \text{ sem } \alpha)$ , sendo D a profundidade e  $\alpha$  (alfa) =  $25^\circ$ , ângulo feixe com a vertical, esta técnica permite no mínimo a obtenção de 50 profundidades por segundo.

A título de comparação, em uma suposta seção com 100m de largura, considerando uma velocidade média do barco entre 1,0 e 1,5 m/s o ecobatímetro levantaria uma série de 100 ou 67 pontos em linha. Enquanto o ADCP-M9 coletaria pelo menos 10 vezes mais pontos espaçados, criando assim uma superfície do leito do reservatório.

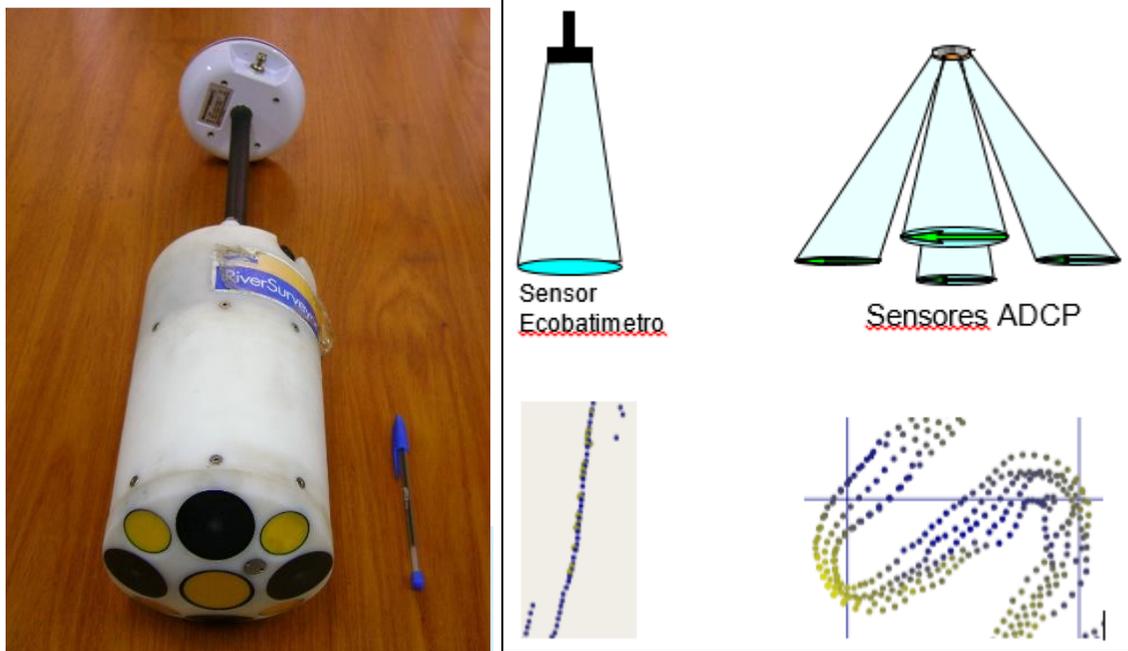


Figura 6.1 – ADCP M9 e Levantamento com ecobatímetro e com M9.

Para proporcionar aquisição dos dados georreferenciados o ADCP deve ser acoplado junto com o “Rover” do RTK em um mesmo PC, para integração das informações, permitindo assim que cada pulso tenha sua posição conhecida e corrigida (Figura 6.2). Todo o sistema é conduzido pelo software *Hydrosvaioir*, desenvolvido pelo próprio fabricante do M9.®



Figura 6.2 – Posicionamento da antena DGPS (Rover) diretamente acima do ADCP.

O conjunto dos equipamentos embarcados devem ter suas diferentes posições relativas contabilizadas de modo a evitar conflitos quanto a fonte de aquisição dos dados de correção GNSS (Rover) e a fonte de coleta de dados batimétricos (ADCP). Essas diferenças são requisitadas pelo programa *Hydrosurveyor* antes do início de cada obra. Nesse caso são inseridas informações de offset dos referidos componente em relação, tanto à embarcação, quanto entre si mesmos, conforme visualizado na Figura 6.3. Deve-se atentar o avaliador que, é nesse momento que a diferença entre a antena e o ecobatímetro é inserida. Assim sendo, essa informação não é pós-processada, ela já é contabilizada pelo software. Na imagem abaixo temos uma altura do Rover de 0,93m e -0,15m da cabeça de leitura do ADCP considerando-se o nível d'água.

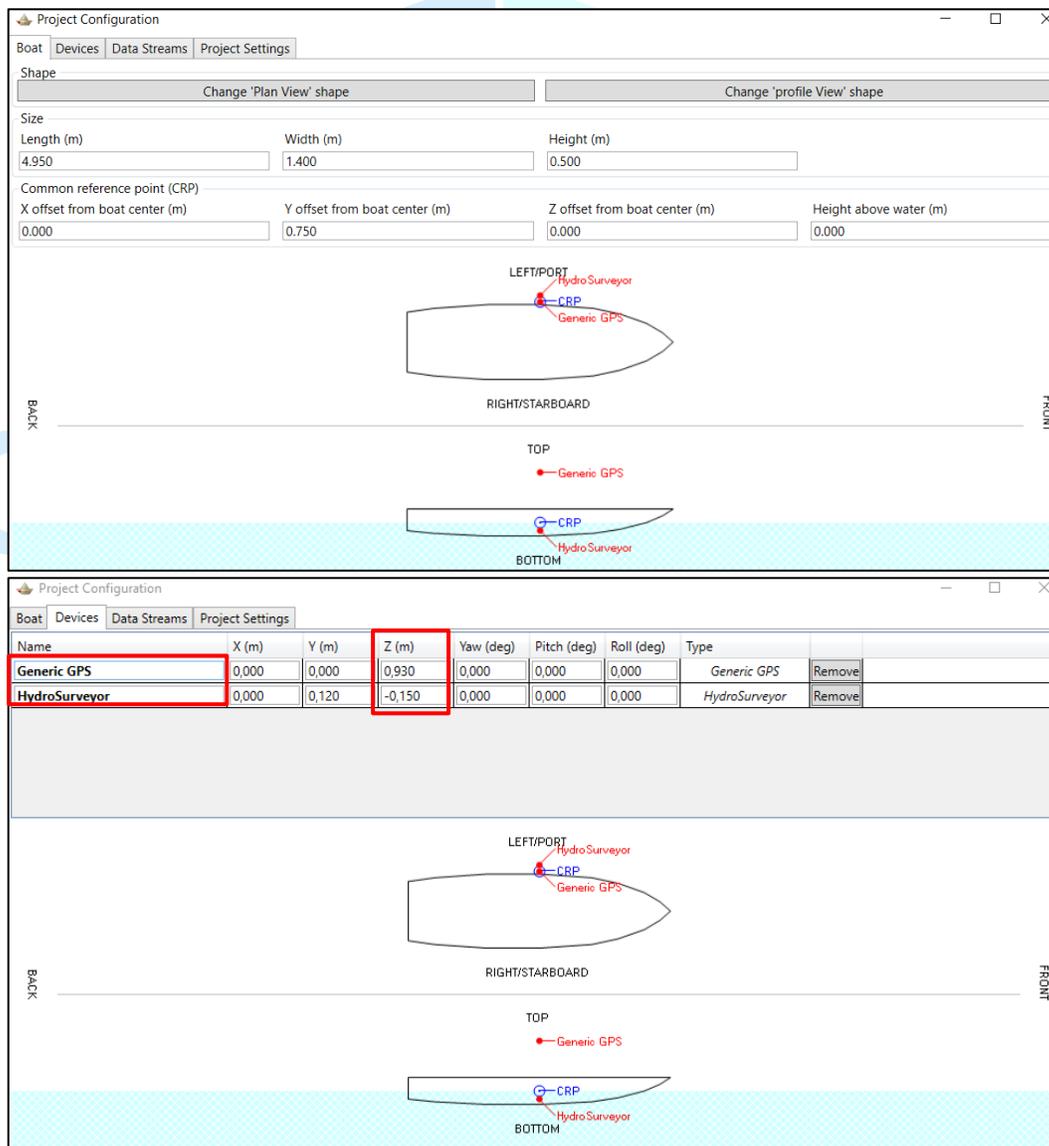


Figura 6.3 – Páginas do *Hydrosurveyor* onde são definidas as posições dos equipamentos

Outro fator que deve ser considerado é o alcance da comunicação entre a “Base”, localizada em um ponto conhecido (RVG), e o “Rover”, posicionado no barco. Desse modo, conforme progride-se o levantamento, por vezes é necessário estabelecer uma nova Base. Por esse motivo locais mais elevados são ideias para o estabelecimento de vértices da RVG e posicionamento das Bases de referência.



Figura 6.4 – Visualização de alguns pontos onde foi estacionada a base equipamento RTK durante a obtenção das coordenadas geográficas

Outra vantagem do uso do ADCP em relação à levantamentos batimétricos tradicionais, realizados com ecobatímetros, o segundo necessita de constante calibração devido as variações das condições do meio, água. Isso se deve, pois a variação da temperatura influencia na velocidade que o som emitido pelo ecobatímetros transita na água. Como o ADCP mede a temperatura da água constantemente tais correções são realizadas automaticamente, facilitando a atividade.

Outra razão da escolha deste aparelho (M9) foi sua capacidade de levantar outros dados e não apenas as profundidades, possibilitando futuros estudos complementares para a uma melhor visão no comportamento das velocidades da água, dos sedimentos e sua deposição dentro do reservatório, e verificação da vida útil do reservatório.

## 6.2 Execução do Levantamento Batimétrico

O serviço de levantamento batimétrico do reservatório da UHE Picada se deu no período de 05 a 12 de março de 2020. Período pós grandes chuvas e de cheia no rio. Sendo que os registros de cotas para o período variaram entre 659,13m (659,69m) e 659,55 (660,11) no barramento da usina.

Iniciou-se os levantamentos de montante para jusante, de modo a identificar a zona de remanso do reservatório, através de medições de vazão juntamente com levantamentos batimétricos pontuais e observação de correntes. O ponto identificado como máxima de influência fica a aproximadamente 2 km para montante da segunda ponte que cruza o rio do Peixe. No entanto a magnitude das correntes naquela porção mostra o rio ainda na forma lótica (fluvial).

O levantamento em si ficou dividido em seis área, para varredura do fundo do reservatório. Essa separação das varreduras por trechos fez-se necessária, em grande parte, devido ao alcance da comunicação entre a “Base”, posicionada em um dos 4 primeiros vértices da RVG, e o Rover, instalado na embarcação. Esta divisão se deu também para que os levantamentos pudessem ser feitos com maior cuidado e maximizando a densidade.

Os levantamentos batimétricos foram realizados de forma dinâmica, na qual o barco percorreu uma trajetória em zigue-zague, até o final de cada área. E retornando no sentido inverso, buscando fazer um levantamento longitudinal do trecho levantado (Figura 6.5).

As profundidades encontradas ao longo do reservatório variaram de 4 a 25 m. Assim o ADCP levantou profundidades cobrindo uma área entre 1 a 43 m<sup>2</sup> por pulso. Muito superior a um levantamento com ecobatímetro, onde a coleta seria de 1 ponto na vertical a cada pulso.

Esta técnica permitiu que a quantidade de levantamentos transversais também excedesse os 140, estipulado inicialmente. Contabilizando-se assim aproximadamente 850 seções, diminuindo desse modo a distância para extrapolação das áreas não mensuradas e, conseqüentemente, resultando em uma maior precisão no levantamento das curvas CAV.

As larguras encontradas variaram entre 28 a 200m aproximadamente. O reservatório foi se aproximando a forma lântica apenas na sua segunda metade. Esta característica indica que em condições de cheias, onde são encontradas mais elevadas dentro do reservatório, há transporte de material pesado (i.e. areia) sendo carregado para jusante, ao invés de ser depositado na cabeceira, como usual.

Ressalta-se que as altas velocidades da água (entre 1,0 e 1,5 m/s), encontradas no terço superior do reservatório, exigiu um maior cuidado na realização das travessias, demandando um maior tempo.

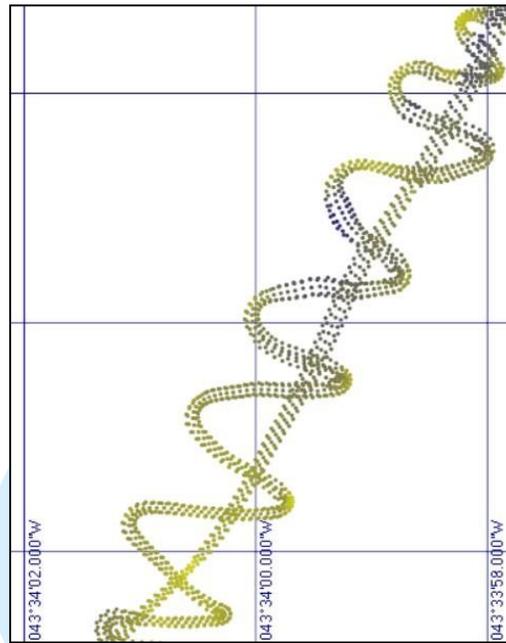


Figura 6.5 – Deslocamento do barco e pontos levantados

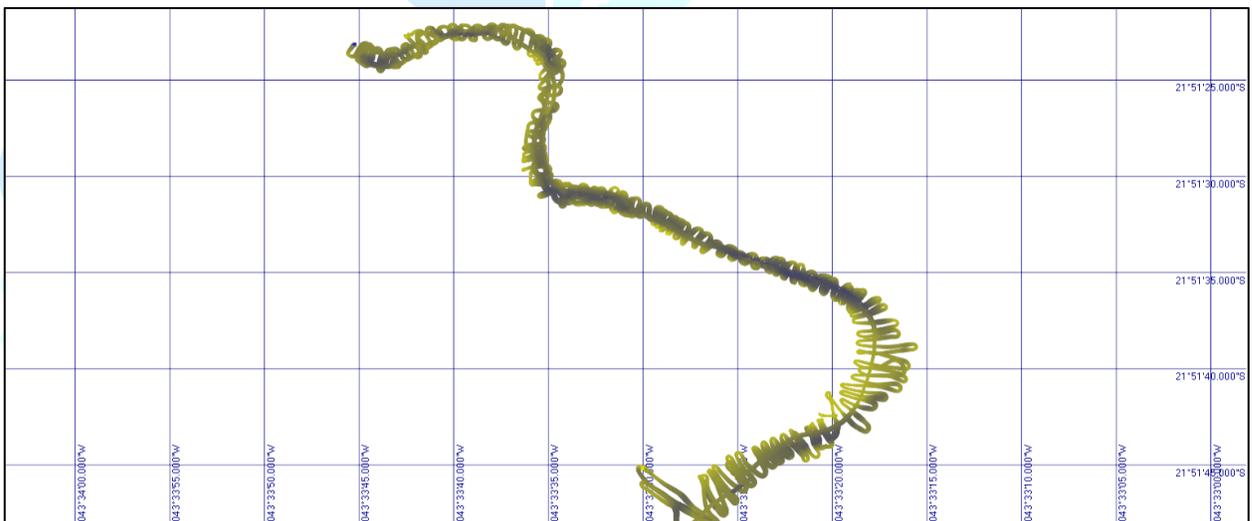


Figura 6.6 – Mostrando número de seções transversais na Área 4

Durante os levantamentos o programa de aquisição dos dados emprega um controle de qualidade dos pulsos acústico, (Figura 6.7) considerando a relação entre a força do sinal acústico e o ruído acústico. Fazendo assim uma primeira triagem dos pontos levantados no instante da medição, eliminando erros devido a ruídos.

Após o levantamento de cada área foi feita uma segunda triagem, ainda em campo, com correção de erros, onde são eliminados pontos com distorção (mesmo processo usado pelo software *Hypack*). O levantamento batimétrico foi realizado com o software específico do fabricante para este fim (*Hydro Surveyour*), além das vantagens já citadas, podemos ainda em campo fazer uma pré-análise do levantamento (Figura 6.7).

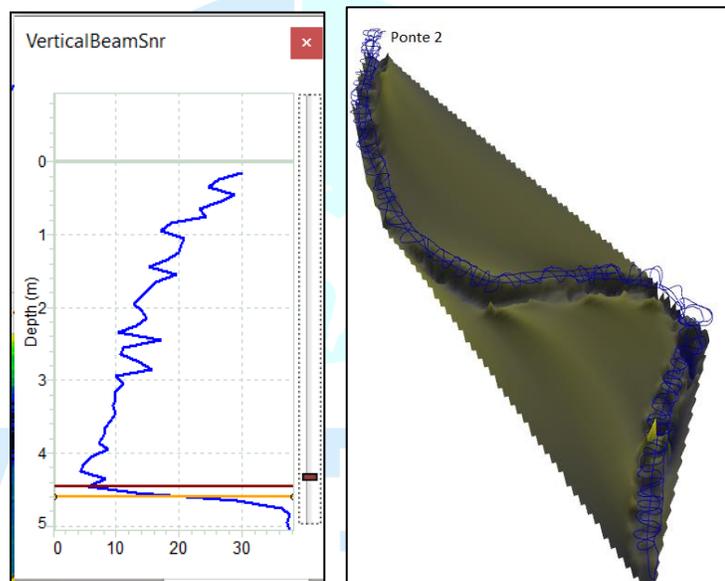


Figura 6.7 Controle qualidade dados de profundidade e pré-análise em campo para verificação do levantamento



Figura 6.8 – Leituras de réguas auxiliares na cabeceira do reservatório.

## 7 Levantamento Aéreo

Conforme anteriormente mencionado, para poder realizar a extrapolação da CAV da Cota Operacional, cota medida ainda no período de cheia, até a Cota Máxima Maximorum (660,30m) fez-se necessário realizar levantamentos topográficos mais detalhados, de modo a possibilitar a extração de tais relações.

Para a finalidade acima descrita a Votorantim Energia contratou a empresa de levantamento cartográficos, Messen Cartografia. Fazendo uso de imageamentos aéreos e sensores remotos, embarcados de veículos aéreos não tripulados (VANT), A Messen elaborou conjuntos de dados cartográficos com nível de precisão cartográfica classe A. Maiores informações são apresentadas no relatório em anexo (Pasta: Levantamento Aéreo).

### 7.1 Execução do Levantamento Aéreo

Conforme consta no relatório entregue pela Messen Cartografia, foram utilizadas 754 fotografias aéreas, adquiridas no período de 20 abril de 2021, com resolução espacial no terreno (GSD) de 5 cm. Para aquisição das fotos aéreas foi utilizado equipamento GNSS de dupla frequência (L1/L2) embarcado na aeronave, que permitiu o registro de coordenadas de alta precisão no momento exato de cada tomada de fotografia.

Estas coordenadas foram utilizadas posteriormente na etapa de processamento da aerotriangulação para melhor acurácia do mapeamento. O método de aquisição de imagens do sobrevoo foi realizado com sobreposição padrão em fotogrametria; mínimo de 65% de sobreposição lateral e 75% de sobreposição longitudinal.

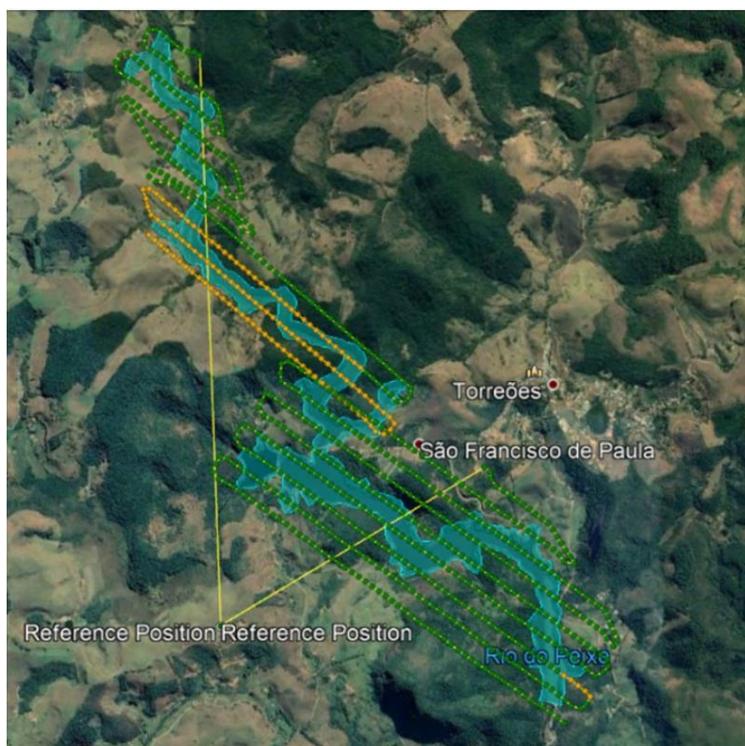


Figura 7.1 – Percurso do levantamento aéreo realizado.

De acordo com a Messen, o traçado de voo foi delineado tendo em conta fatores como: topografia, dificuldades da área e a geometria do terreno, sendo também levadas em consideração as distâncias em relação às obstruções e áreas de risco de voo.

As áreas mais extensas e de geometria seguiram uma rota que permitiu sobrevoar a área em traçados paralelos. Em áreas de extensão semelhante, mas com relevo acidentado, a abordagem foi ligeiramente diferente. O princípio para estabelecer o tipo de rota percorrida pela aeronave foi exatamente igual ao caso anterior, a diferença foi ter a certeza da produção dos dados considerando os ângulos do terreno da área levantada. Neste último caso, a área foi subdividida em segmentos e com orientações diferentes para que se conseguisse estabelecer os mínimos de sobreposições padrões em toda a cobertura programada.

Para a geração do Plano de Voo, a Messen Cartografia, utilizou um modelo de terreno para o cálculo de variação de relevo (similar ao SRTM) que continham dados elevação média em uma escala global, permitindo assim que a altura de voo fosse ajustada ao terreno, possibilitando um melhor cálculo de voo da área sobrevoada. A partir deste modelo introduzido no plano de voo, a contratada, realizou ajustes nos casos em que houve problemas de

sobreposição lateral e/ou longitudinal, visto que, com o relevo, é possível verificar uma variação abrupta do terreno que poderia ocasionar uma falha de sobreposições.

Na orientação das faixas foi considerado o aspecto econômico para que o plano fosse o mais competitivo possível. Essa orientação refletiu no número de faixas e consequentemente no tempo de voo estimado.



Figura 7.2 – Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT/RPA), tipo asa fixa, utilizado no levantamento.

Os produtos cartográficos fornecidos pela Messen Cartografia estão em conformidade com o que estabelece o Capítulo II do Decreto-Lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984 – que trata das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

## 7.2 Produtos Cartográficos

- Ortofotos processadas e retificadas na escala de precisão 1:1.000, PEC Classe A, em formato ECW (Figura 7.3);
- Curvas de nível de 5 x 5 metros na escala de precisão 1:10.000, PEC Classe A e interpoladas em 1 x 1 metro, em formato DWG e Shapefile (Figura 7.3);
- Mapeamento planimétrico das feições foto identificáveis nos formatos DWG e Shapefile, com precisão na escala 1:1.000, PEC Classe A (Figura 7.3);
- Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Terreno (MDT) na escala de precisão 1:10.000, PEC Classe A, em formato GEOTIF (Figura 7.4);
- Nuvem de Pontos Altimétricos 3D na escala de precisão 1:1.000, PEC Classe A, em formato LAS.



Figura 7.3 – Ortofotos retificadas, curvas de nível interpoladas 1 x 1 m e elementos identificáveis.

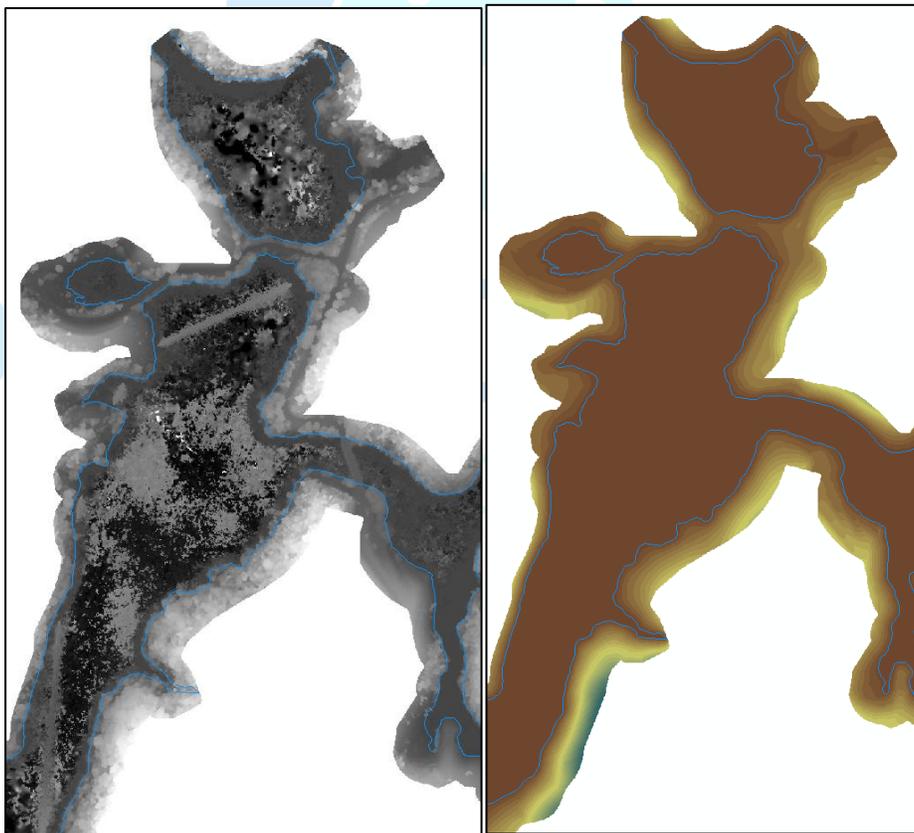


Figura 7.4 – Modelo Digital da Superfície (MDS) e Modelo Digital do Terreno (MDT).

## 8 Processamento dos Dados

Com os conjuntos de dados batimétricos e topográficos adquiridos iniciou-se o processo de organização e processamento dos dados. Os materiais de cunho topográficos, obtidos por meio do levantamento aero, não necessitam de muito manuseio uma vez que os produtos foram todos entregues já processados. A única tarefa relacionada a esses dados foi sua inserção no banco de dados Geodatabase (\*.GDB) e a exclusão de porções não relevantes para a área de interesse.

Com relação ao processamento dos dados de cunho batimétricos, uma abordagem inicial foi a identificação de espúrios na nuvem de pontos coletados. Esses pontos erráticos ocorrem devido a ruídos acústicos, que não foram excluídos durante a pré-análise em campo. Como resultado obteve-se uma nuvem com aproximadamente 174.000 pontos amostrados consistidos. Toda a análise empreendida foi realizada empregando-se os ArcGIS e ArcScene (Figura 8.1).

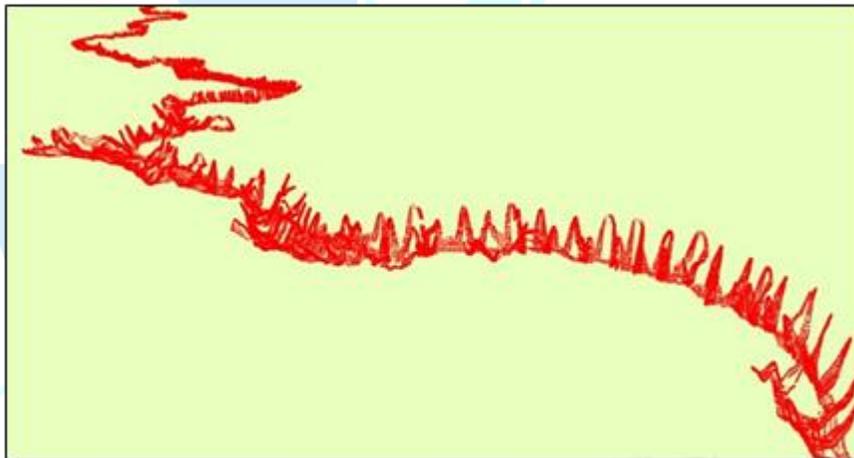


Figura 8.1 - Nuvem de pontos após retirada dos ruídos.

## 8.1 Modelo Digital do Terreno (MDT)

Um MDT nada mais é do que modelo topográfico altimétrico que representa a superfície ao nível do terreno, não sendo considerados valores altimétricos inerentes a edificações, à vegetação e a outros acidentes artificiais. Esse modelo é resultado de um conjunto de pontos de coordenadas conhecidas (XYZ), permitindo a geração de uma superfície 3D, conforme ilustrado na Figura 8.2.

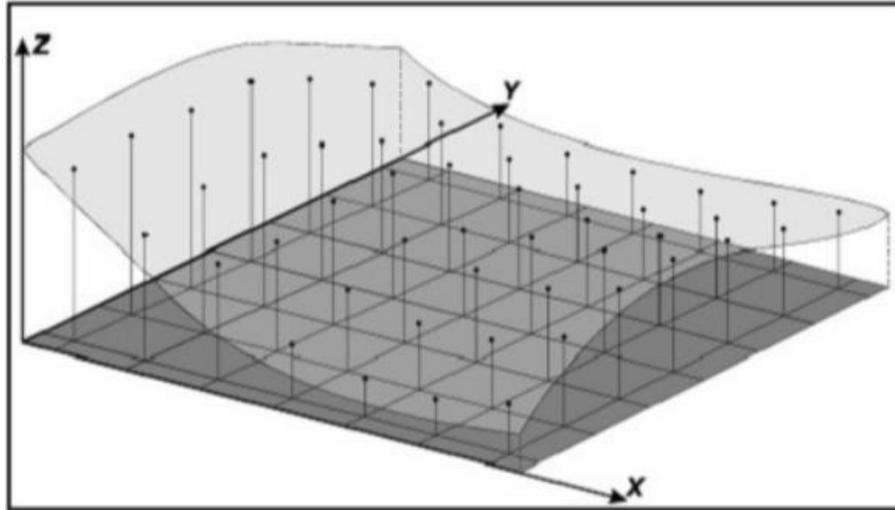


Figura 8.2 - Superfície e grade regular correspondente.

Com todos os dados da área de interesse obtidos e pré-filtrados, iniciou-se o processo de criação de um MDT que abrangesse ambos os levantamentos, parte seca e parte molhada.

Para tanto fez-se necessário excluir parte da superfície gerada pelo produto do levantamento aéreo, justamente aqueles que correspondiam à pontos cuja altitude era referente à linha d'água no dia do levantamento aéreo (cota 659.05m). Para esse processo o MTD do levantamento aéreo (Raster) foi convertido para pontos de modo a possibilitar a discretização dos dados, bem como homogeneizar os elementos (pontos de batimetria com pontos de topografia). Esse processo é apresentado na Figura 8.3.

Outra porção excluída antes de gerar os modelos de testes foram área que não faiam parte do reservatório, como os lagos fechados pelo aterro da estrada quando construída a usina, conforme pode ser observado na (Figura 8.4). Ressalta-se assim que, essas áreas não foram inclusas no modelo uma vez que estes não fazem parte do reservatório.

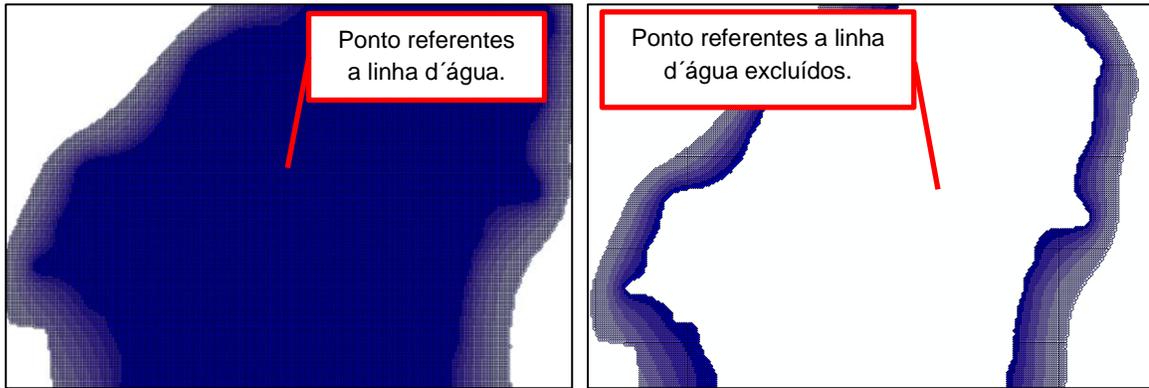


Figura 8.3 – Pontos referente à linha d'água excluídas antes da junção da topografia com batimetria

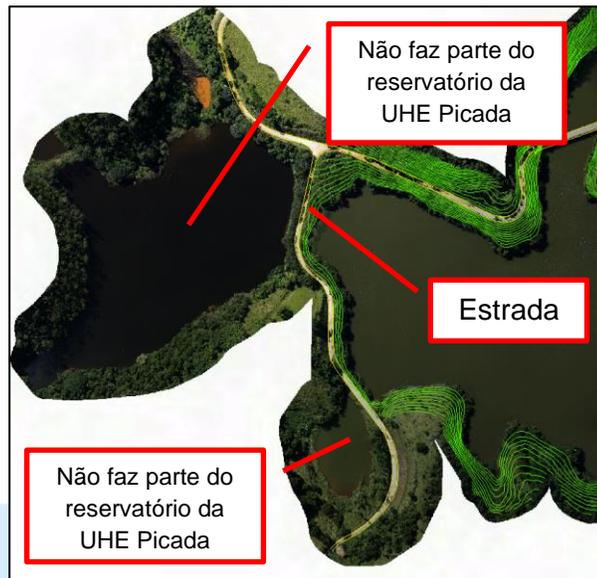


Figura 8.4 - Áreas não contabilizadas devido aterro da estrada.

Finalizada o processo de homogeneização dos dados, ambas as malhas (batimetria e topografia) foram agrupadas em um mesmo *shapefile* para cálculo do MDT (Figura 8.5).

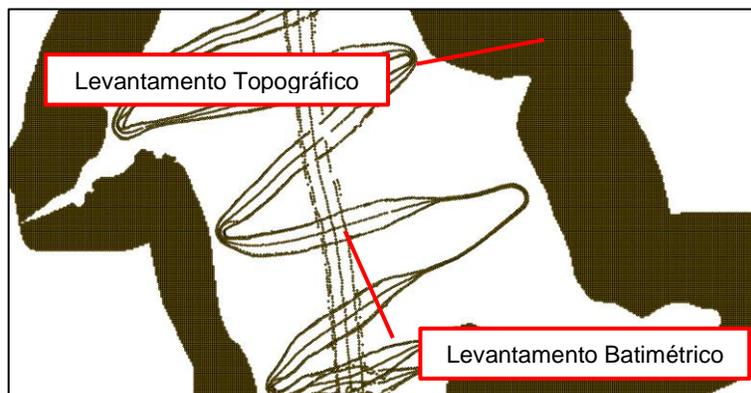


Figura 8.5 – União dos pontos provenientes do MDT topográfico com aqueles do levantamento batimétrico.

### 8.1.1 Processamento do MDT

Inicialmente procedeu-se com a geração de um modelo empregando-se o método de interpolação denominado Krigagem. Esse é um procedimento geoestatístico que gera uma superfície estimada a partir de um conjunto espalhado de pontos com valores z (altitude no caso). O referido método tende a apresentar resultados melhores do que aqueles que consideram apenas as equidistâncias entre as entidades avaliadas. Como é o caso com IDW, onde a interpolação que estima os valores das células pela média dos valores dos pontos de dados da amostra na vizinhança de cada célula de processamento. No entanto, dos vários modelos testados empregando-se ambas as técnicas, as curvas de nível resultantes mostraram-se pouco naturais, proporcionando uma falsa impressão de quebras abruptas no modelo. Na Figura 8.6 são apresentadas as curvas de nível resultantes de metodologias (Krigagem e IDW).

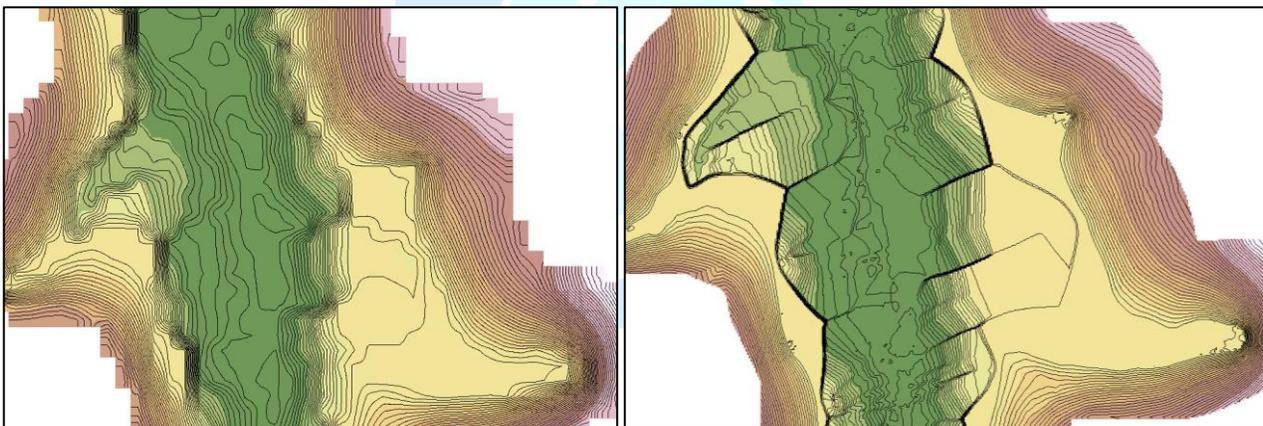


Figura 8.6 – Curvas de nível dos diferentes modelos testados. Krigagem (direita) e IDW (esquerda).

Como sugestão dos próprios profissionais da ANA empregou-se uma metodologia denominada *Topo to Raster* para cálculo do modelo. Essa ferramenta é um método de interpolação projetado especificamente para a criação de modelos digitais de elevação voltados para hidrologia. O procedimento de interpolação foi projetado para tirar vantagem dos tipos de dados de entrada comumente disponíveis e as características conhecidas das superfícies de elevação. Este método usa uma técnica iterativa de interpolação de diferenças finitas. É otimizado para ter a eficiência computacional de métodos de interpolação local, como interpolação ponderada por distância inversa (IDW), sem perder a continuidade de superfície dos métodos de interpolação global, como Kriging e Spline. É essencialmente uma técnica de

Spline de placa fina discretizada, para a qual a penalidade de rugosidade foi modificada de modo a permitir que o DEM ajustado siga mudanças abruptas no terreno (ArcGIS – ESRI).

O modelo resultante da metodologia sugerida apresentou curvas mais atenuadas indicando condições mais naturais dos desníveis. No entanto, uma nova bateria de testes teve de ser iniciada com a aplicação de ajustes dentro da própria ferramenta. Atenta-se para a escolha do tipo de cálculo a ser considerado como entrada de dados primários, tendo as opções para Contour ou Spot. Dos dois resultados considerados observou-se linhas mais atenuadas no primeiro caso. Porém informações de campo foram ponderadas para a escolha do método. Abaixo são apresentados modelos resultantes de ambas as opções (Figura 8.7).



Figura 8.7 – Curvas de nível resultantes de ajustes na ferramenta Topo to Raster e Ortofoto (alta resolução).

No primeiro caso as curvas de nível proporcionam a falsa impressão de que a área indicada tem um formato de vale, induzindo o observador a concluir de que aquele local tem profundidade razoável. Entretanto, conforme exposto em reunião, durante as atividades de campo, e estando evidenciado na imagem acima, a referida área é um banhado. Não sendo esse passível de levantamento batimétrico. Desse modo o ajuste do modelo que melhor se adequou a realidade de campo foi com a opção *Spot*. A escolha pelo ajuste referido acima teve apenas intuito de adequação visual. Ambos os modelos apresentaram resultados

praticamente idênticos na relação cota x área x volume, conforme pode ser observado abaixo na relação cota x área (Figura 8.8).

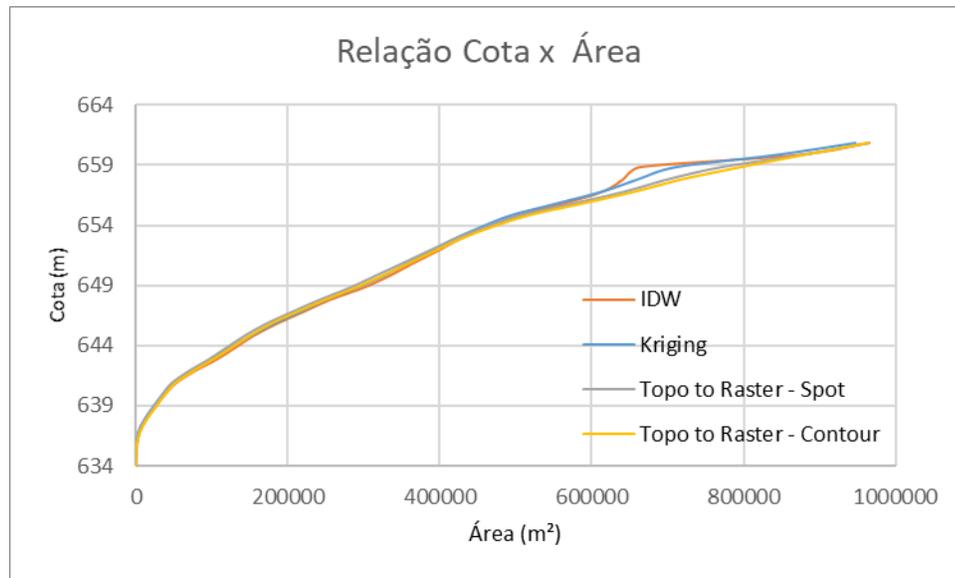


Figura 8.8 – Exemplo de resultados obtidos por tipos de modelos distintos.

### 8.1.2 Cálculo da Cota x Área x Volume

Uma vez definido o modelo idealizado, o MDT foi submetido a extração das relações entre as cotas e seus respectivos volumes e área. Para esse processo empregou-se o um script em Python fornecido pelos profissionais da ANA, pois de acordo com eles, este apresenta resultados melhores que o emprego do suplemento para ArcGIS, *Storage Capacity*. O referido script foi rodado dentro do próprio programa, sendo as superfícies limites inseridas para processamento. Conforme mencionado, devido requisição da ANA, os respectivos resultados de área e volume foram calculados para todos os centímetros dentro da abrangência do reservatório. Desse modo, iniciando-se na cota Máxima Maximorum (661,86m) até a que apresentou volume menor ou igual a zero (633,28m).

## 8.2 Curva Cota Área Volume

O resultado obtido foi uma Tabela, em anexo, com as respectivas áreas e volumes para 2657 cotas. Iniciando-se com uma área máxima de 963.648 m<sup>2</sup>, e um volume total de 7.940.532 m<sup>3</sup>, para uma cota 660,86. Ressalta-se para a ocorrência de disparidade entre a cota de operação e a cota atrelada ao sistema SGB. Desse modo a tabela resultado apresenta as duas referências. A imagem abaixo indica o início da tabela resultado apontando a relação entre as duas referências Figura 8.9. Na sequência é apresentado o gráfico da curva Cota X Área X Volume Figura 8.10

| Tabela Cota X Área X Volume - UHE Picada |                  |                          |                            |
|--|------------------|--------------------------|----------------------------|
| Cota de Operação (m) ▾                   | Cota - SGB (m) ▾ | Área (m <sup>2</sup> ) ▾ | Volume (m <sup>3</sup> ) ▾ |
| 660.30                                   | 660.86           | 963,468.6                | 7,940,532.4                |
| 660.29                                   | 660.85           | 962,703.4                | 7,930,901.9                |
| 660.28                                   | 660.84           | 961,936.1                | 7,921,277.7                |
| 660.27                                   | 660.83           | 961,168.0                | 7,911,664.8                |
| 660.26                                   | 660.82           | 960,397.3                | 7,902,058.4                |
| 660.25                                   | 660.81           | 959,623.6                | 7,892,460.1                |

Figura 8.9 – Início da Tabela Cota X Área X Volume resultante.

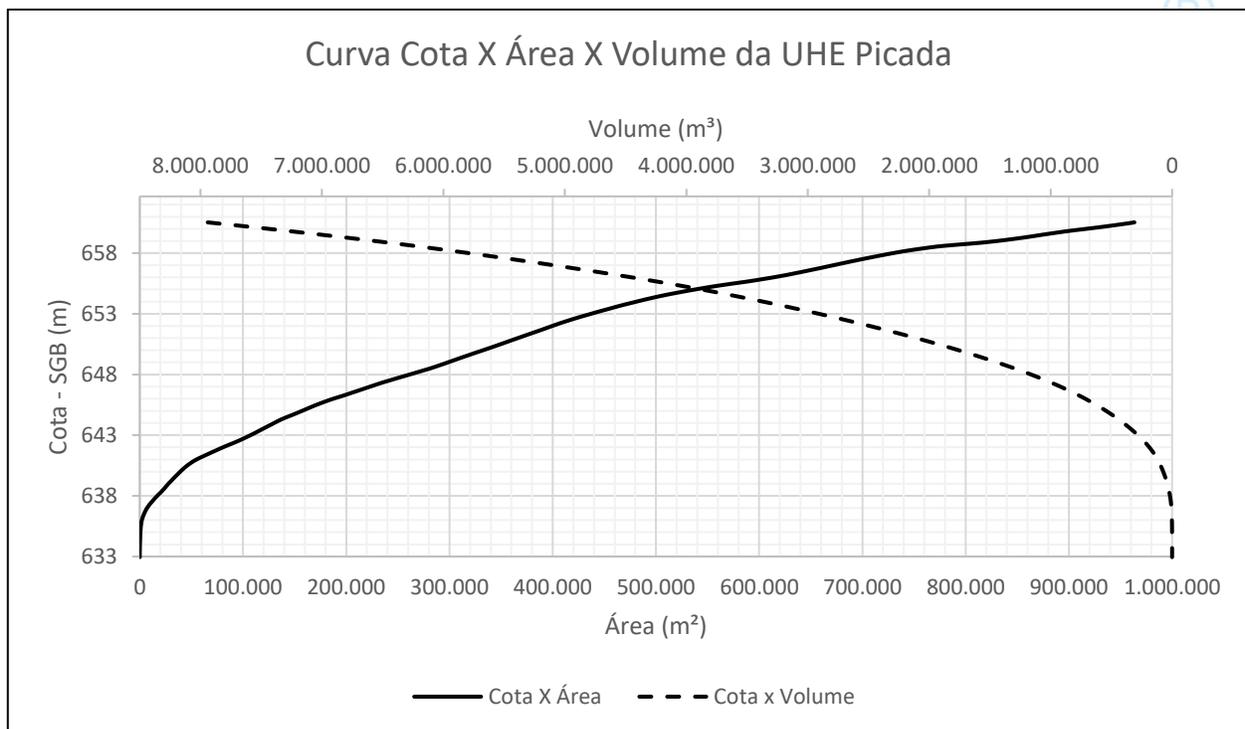


Figura 8.10 – Curva Cota X Área X Volume obtidos do levantamento do reservatório da UHE Picada.

### 8.3 Organização do Geoprocessamento

A título de padronização todas as informações de cunho espaciais foram organizadas e inseridas em um único banco de dados Geodatabase (CAV\_UHE\_Picada.gdb), inclusive imagens e modelos processados, inseridos como *Raster Datasets*. Estes devem ser considerados como produto final do processamento. Conforme apresentado na Figura 8.11, no Geodatabase em anexo, procurou-se manter todas as informações referente a Elevação com a mesma nomenclatura (Elevation) e em um sistema único (Artométrico). Dados empregados para a análise, brutos ou semiprocessados, foram inclusos nos anexos como formato Shapefile (\*.shp) ou Raster (\*.tif).

| OBJECTID * | Shape *  | N           | E           | Elevation |
|------------|----------|-------------|-------------|-----------|
| 1          | Point ZM | 7584351.846 | 647924.1096 | 655.446   |
| 2          | Point ZM | 7584352.808 | 647922.0998 | 655.407   |
| 3          | Point ZM | 7584349.753 | 647923.1092 | 655.492   |
| 4          | Point ZM | 7584350.988 | 647925.9272 | 656.07    |
| 5          | Point ZM | 7584353.861 | 647925.0887 | 655.561   |
| 6          | Point ZM | 7584351.859 | 647924.0519 | 655.45    |
| 7          | Point ZM | 7584352.912 | 647922.0914 | 655.397   |
| 8          | Point ZM | 7584349.817 | 647922.9558 | 655.499   |
| 9          | Point ZM | 7584350.987 | 647925.7122 | 656.321   |
| 10         | Point ZM | 7584353.746 | 647925.0638 | 655.775   |
| 11         | Point ZM | 7584351.826 | 647923.9802 | 655.438   |
| 12         | Point ZM | 7584352.977 | 647922.0786 | 655.379   |

Figura 8.11 - Nuvem de pontos após retirada dos ruídos.

No esquema abaixo (Figura 8.12) é apresentada a organização geral das informações disponibilizadas no Geodatabase. Alguns dos *Feature Classes* ali apresentados não tem caráter de dado final como é o caso do *LimiteArea*, *Limite661* ou *TopoBatAll*, mas são partes importante empregadas no processamento dos dados e poderão ser empregadas para reproduzir o MDT proposto nesse relatório.

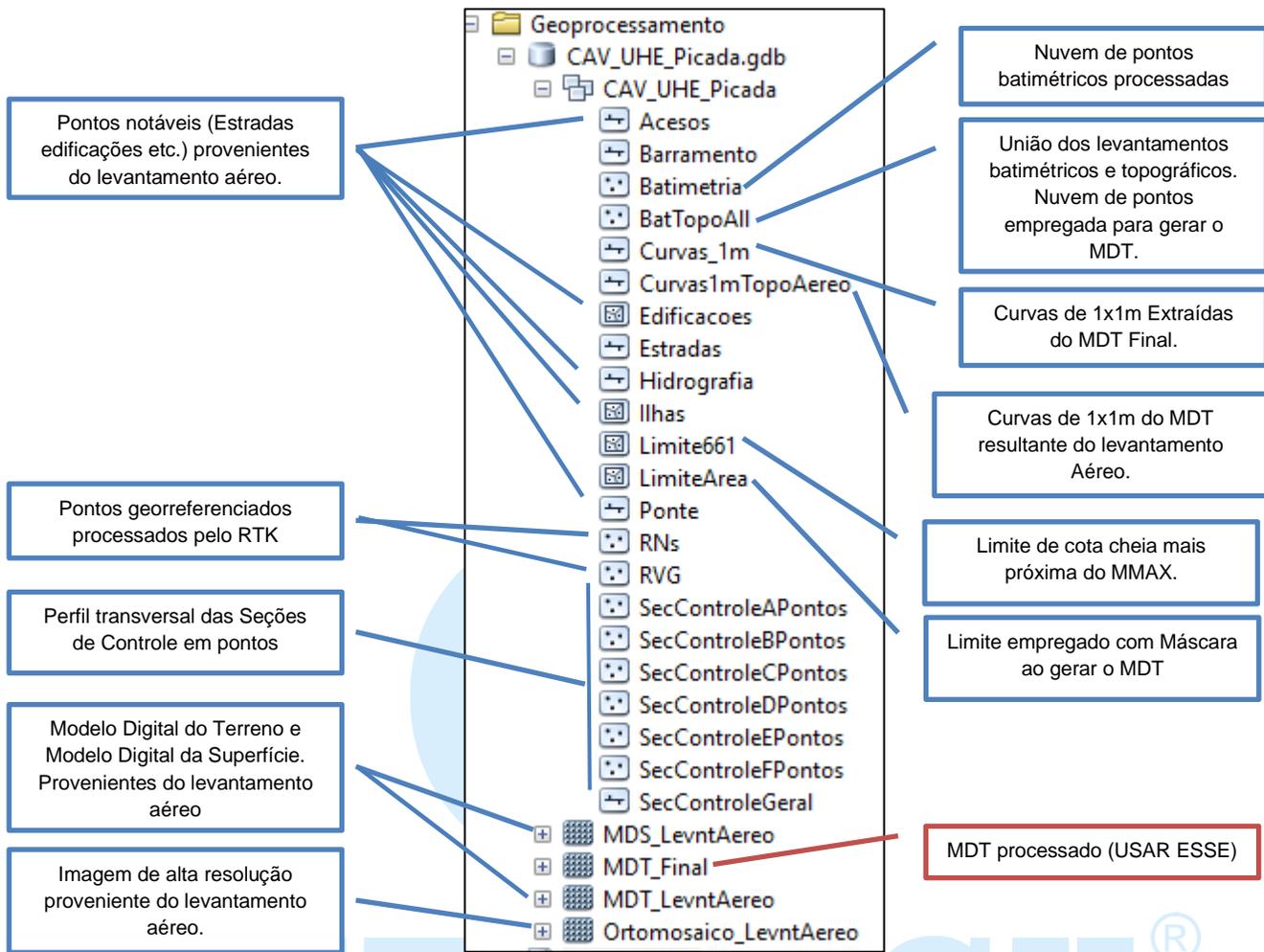


Figura 8.12 – Organização das informações disponibilizadas dentro do geodatabase.

Com relação às informações a serem disponibilizadas em formato DWG com os elementos do reservatório da UHE Picada, estas podem ser visualizadas em 2 arquivos distintos. Ambos se encontram na pasta Geoprocessamento/DWG. O primeiro nomeado CAV\_UHE\_Picada\_Final apresenta todos elementos os requisitados separados por Layers. O segundo (CAV\_UHE\_Picada\_Visual) é exatamente igual ao primeiro. A única diferença é que, para alguns elementos, cujas feições apresentam apenas precisão de caráter planimétrico (acesos, estradas, pontes e edificações), estes tiveram sua posição altimétrica aproximada. Desse modo, tem-se uma noção geral da rugosidade do relevo para o todo. Assim sendo este não deve ser considerado para fins cartográficos.

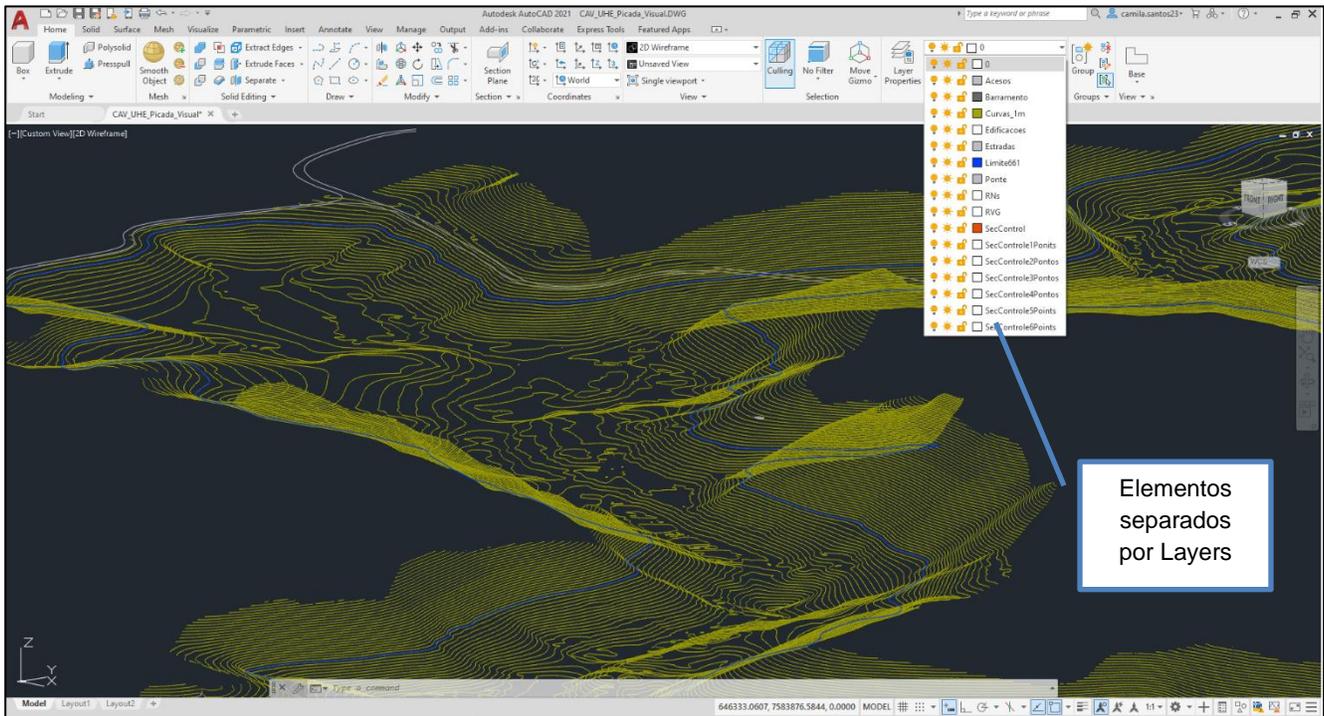


Figura 8.13 – Arquivo em formato DWG requisitado contendo todos os elementos do contorno do reservatório bem como as curvas de nível 1 em 1m, seções de controle, RNs e RVG.

## 8.4 Modelo Rede Triangular Irregular (TIN)

A título de apresentação de resultados, para visualização do modelo tridimensional, foram calculados também os modelos de elevação por meio de triangulação (TIN). A partir destes, caso de interesse para comparação, é possível realizar também a extração das áreas e volumes por meio da ferramenta *Surface Volume* (Figura 8.14).

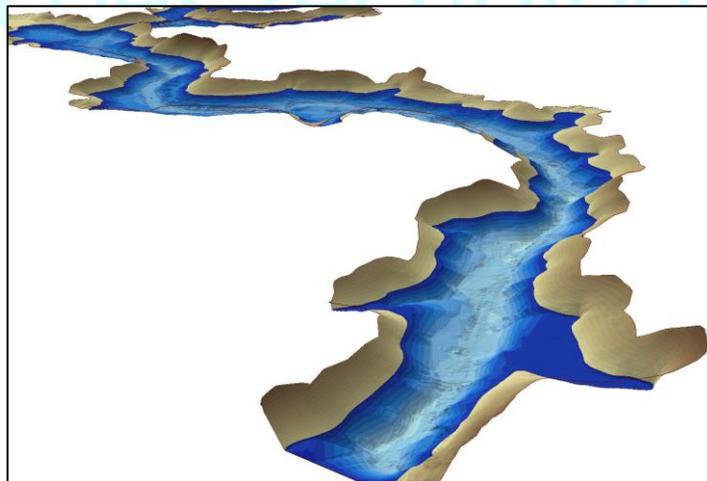


Figura 8.14 – Visualização do modelo TIN resultante dos levantamentos da UHE Picada.

## 9 Seções de Controle

A curva de remanso é definida como: local onde os níveis da água aumentam decorrente de uma obstrução. A identificação do remanso é importante porque, onde o nível da água aumenta, as velocidades decrescem, diminuindo a capacidade do transporte de sedimentos.

Assim a identificação deste local é importante, pois é onde se inicia a deposição do material mais pesado. No entanto, não é fácil identificar onde inicia o remanso e suas influências. Teoricamente falando, a curva de remanso se estende indefinidamente para montante, logo não havendo um ponto final. Para propósitos práticos o ponto final é onde a elevação do nível da superfície da água começa a causar estragos. (Chow V.T., 1959)

No caso de hidrelétricas, este ponto é onde começa ser formado depósitos de materiais, normalmente mais pesados. No caso da UHE Picada este local se desloca para jusante conforme aumenta a vazão.

De modo a permitir o acompanhamento da evolução dos sedimentos depositados no leito do reservatório, o documento da ANA “Orientações Para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume” de dezembro de 2013, descreve a necessidade de materialização de Seções de Controle (SC), variando em número conforme a definição do reservatório como baixa, média ou alta criticidade.

As seções de controle de sedimentos servem para monitorar a morfometria do canal do rio ou reservatório, no local onde estão implantadas e, permitir verificar efeitos de assoreamento ou erosão que eventualmente podem comprometer, em qualquer escala, o funcionamento normal da usina.

A disposição das referidas seções deve ser no quartil superior, incluindo zona de remanso, e prevê serem materializados um par de marcos de concreto (RN), um em cada margem, se possível fora da cota máxima maximorum, com espaçamento 5 vezes a largura do rio em condições naturais.

Com intuito de nortear as atividades exigidas pelo órgão requerente foram sugeridos no plano de trabalho, que antecedeu os levantamentos em campo (Documento Técnico DT- VE-O&M-101/19), a definição de 6 seções de controle distribuídas uniformemente ao longo do reservatório da usina UHE Picada. Conforme apresentado na Tabela 9.1, com sua distribuição disposta na Figura 9.1. Na Figura 9.15 é apresentado um mapa das referidas seções.

Tabela 9.1 – Seções de controle sugeridas no plano trabalho inicial

| CONJUNTO | SEÇÃO | MARCO | CORDENADAS    |               |
|----------|-------|-------|---------------|---------------|
|          |       |       | LATITUDE      | LONGITUDE     |
| C1       | S1    | MD1   | 21°51'15.41"S | 43°33'55.30"O |
|          |       | ME1   | 21°51'15.05"S | 43°33'54.17"O |
|          | S2    | MD2   | 21°51'22.43"S | 43°33'48.02"O |
|          |       | ME2   | 21°51'21.04"S | 43°33'46.70"O |
|          | S3    | MD3   | 21°51'34.67"S | 43°33'24.17"O |
|          |       | ME3   | 21°51'33.92"S | 43°33'24.09"O |
| C2       | S4    | MD4   | 21°52'28.74"S | 43°32'53.29"O |
|          |       | ME4   | 21°52'24.29"S | 43°32'56.50"O |
|          | S5    | MD5   | 21°52'37.06"S | 43°32'28.94"O |
|          |       | ME5   | 21°52'36.05"S | 43°32'24.58"O |
|          | S6    | MD6   | 21°52'58.69"S | 43°32'28.06"O |
|          |       | ME6   | 21°52'58.17"S | 43°32'23.78"O |



Figura 9.1 – Distribuição das seções de controle sugeridas no Plano de trabalho.

No entanto, as seções de controle aprovadas no mencionado plano de trabalho não contemplavam as orientações exposta pelo órgão requerente. Visto que a zona de monitoramento sedimentométrico das seções de controle devem obrigatoriamente ser na área de influência de remanso de cada reservatório. Note-se claramente que as seções sugeridas, não apenas estavam a jusante da área de remanso, como no caso da seção 6, estava no barramento da usina.

Posto isso, dada as condições observadas em loco, fez-se necessário adequar, de modo mais apropriado, os pontos a serem monitorados. Conforme já exposto, uma particularidade encontrada em campo, foi a existência de charcos ao longo de quase toda a margem esquerda, exatamente na zona cuja necessidade de monitoramento faz-se necessária.

Dada as dificuldades expostas acima não foi possível realizar a materialização dos marcos em ambas as margens para 4 das 6 seções. Como alternativa, nas seções com apenas um marco, assume-se um rumo partindo do marco georreferenciado. No caso este rumo é dado pelo Azimute, ângulo formado entre o norte verdadeiro e a linha de caminhamento a ser levantado. Azimutes orientados pelo norte magnético devem ser compensados a cada novo levantamento.

Na Tabela 9.2 são apresentados os conjuntos de seções de controle definidas para UHE Picada. As seções A e B apresentam marcos materializados em ambas as margens. Preferindo-se as margens esquerdas como pontos iniciais para levantamento. As demais seções estendem-se da margem direita do rio do Peixe até o charco da margem oposta.

Tabela 9.2 – Seções de controle definidas para UHE Picada

| Conjunto | Seção | RN  | Ponto | Azimute | Coordenadas   |               |
|----------|-------|-----|-------|---------|---------------|---------------|
|          |       |     |       |         | Latitude      | Longitude     |
| C1       | A     | RN1 | ME1   | 292°    | 21°50'18.58"S | 43°34'08.06"W |
|          |       | RN2 | MD1   |         | 21°50'17.93"S | 3°34'08.37"W  |
|          | B     | RN3 | ME2   | 268°    | 21°50'28.70"S | 43°34'07.51"W |
|          |       | RN4 | MD2   |         | 21°50'28.77"S | 43°34'09.10"W |
|          | C     | RN8 | MD3   | 83°     | 21°50'35.66"S | 43°33'57.95"W |
|          |       | -   | ME3   |         | -             | -             |
| C2       | D     | RN5 | MD4   | 40°     | 21°50'52.01"S | 43°34'00.08"W |
|          |       | -   | ME4   |         | -             | -             |
|          | E     | RN6 | MD5   | 65°     | 21°51'11.51"S | 43°34'01.75"W |
|          |       | -   | ME5   |         | -             | -             |
|          | F     | RN7 | MD6   | 55°     | 21°51'20.13"S | 43°33'50.98"W |
|          |       | -   | ME6   |         | -             | -             |

A Tabela 9.3 apresenta a descrição dos marcos materializados para monitoramento das seções de controle da UHE Picada. Na sequência são apresentadas imagens obtidas durante a definição das seções com seus respectivos marcos materializados.

Tabela 9.3 – RRNN definidos como referência de seção de controle (Sirgas 2000 UTM 23S)

| Marco | Latitude    | Longitude  | Alt. Geométrica | Alt. Ortométrica |
|-------|-------------|------------|-----------------|------------------|
| RN1   | 7584361,896 | 647938,693 | 661,71 m        | 665,60 m         |
| RN2   | 7584382,106 | 647887,855 | 660,19 m        | 664,08 m         |
| RN3   | 7584050,794 | 647909,597 | 657,36 m        | 661,26 m         |
| RN4   | 7584049,019 | 647863,886 | 659,49 m        | 663,39 m         |
| RN5   | 7583331,854 | 648116,228 | 658,52 m        | 662,44 m         |
| RN6   | 7582732,694 | 648062,704 | 657,79 m        | 661,71 m         |
| RN7   | 7582464,571 | 648369,432 | 658,71 m        | 662,64 m         |
| RN8   | 7583840,762 | 648182,029 | 657,11 m        | 661,04 m         |



Figura 9.2 – Rastreio dos marcos materializados.



Figura 9.3 - RN1 e RN2 da seção de controle A.



Figura 9.4 - RN3 e RN4 seção de controle B.



Figura 9.5 – RN8 seção de controle C, RN5 da seção de controle D.



Figura 9.6 - RN6 seção de controle E, RN7 seção de controle F

## 9.1 Levantamento das Seções de Controle

As seções de controle foram levantadas empregando-se o conjunto ADCP/RTK, porém fazendo uso do programa *RiverSurveyor*, também fornecido pelo fabricante do M9. Como este programa é empregado para medição de vazões em canais fluviais, seu uso para este tipo de atividade foi adequado. Pois além de proporcionar um perfil mais detalhado, tem a capacidade também de registrar as velocidades ao longo da seção (Figura 9.7). Os respectivos dados levantados por esse programa foram disponibilizados nos anexos (Pasta Seções de Controle).

As margens foram levantadas, posteriormente, empregando-se nível topográfico, partindo do respectivo marco materializado até o nível da água. As informações das leituras batimétricas levantadas pelo ADCP e os levantamentos da parte seca das seções foram então agregadas proporcionando assim os respectivos perfis, conforme apresentados nas Figura 9.8 a Figura 9.13.

Um dos itens requisitados para as seções de controle foi a apresentação dos levantamentos em formato de pontos em *Shapefile*. Conforme já exposto no item 8.3 estes foram inseridos no banco de dados final. Estes podem também ser visualizados em formato DWG, unificado, no arquivo CAV\_UHE\_PicadaFinal.dwg (Figura 9.14), ou separados por seção inseridos na pasta Batimetria/Seções de Controle.

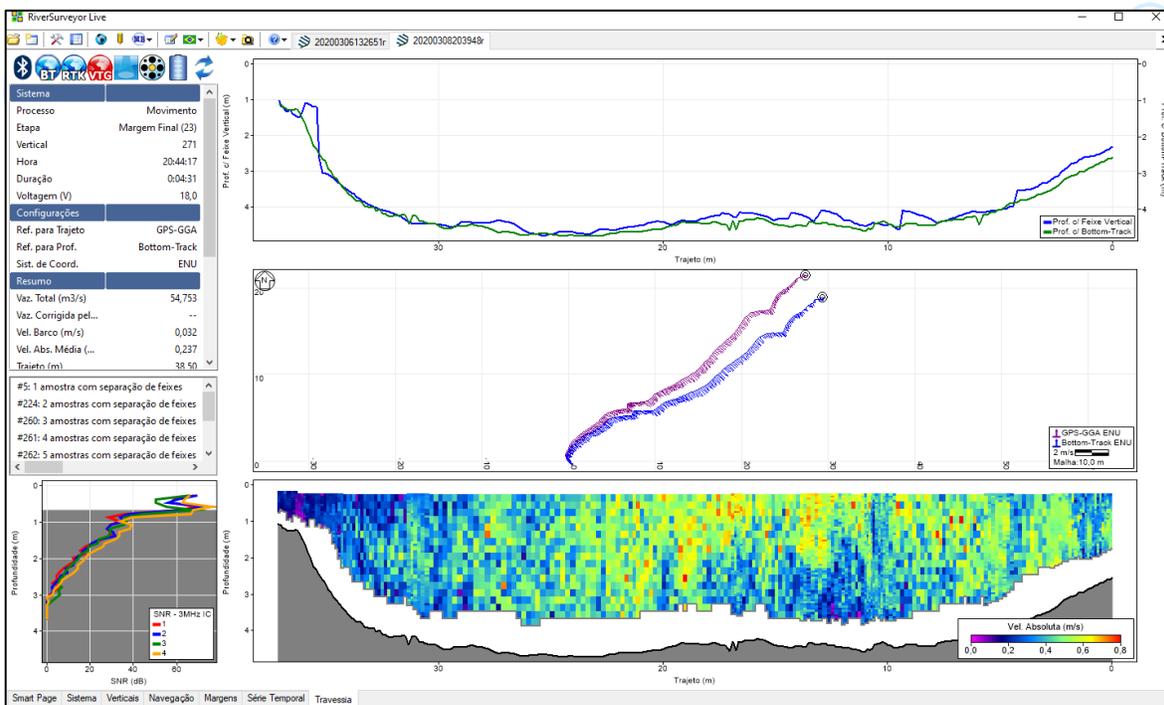


Figura 9.7 – Imagem do levantamento de perfil transversal empregando-se o ADCP corrigido pelo GNSS através do programa RiverSurveyor.

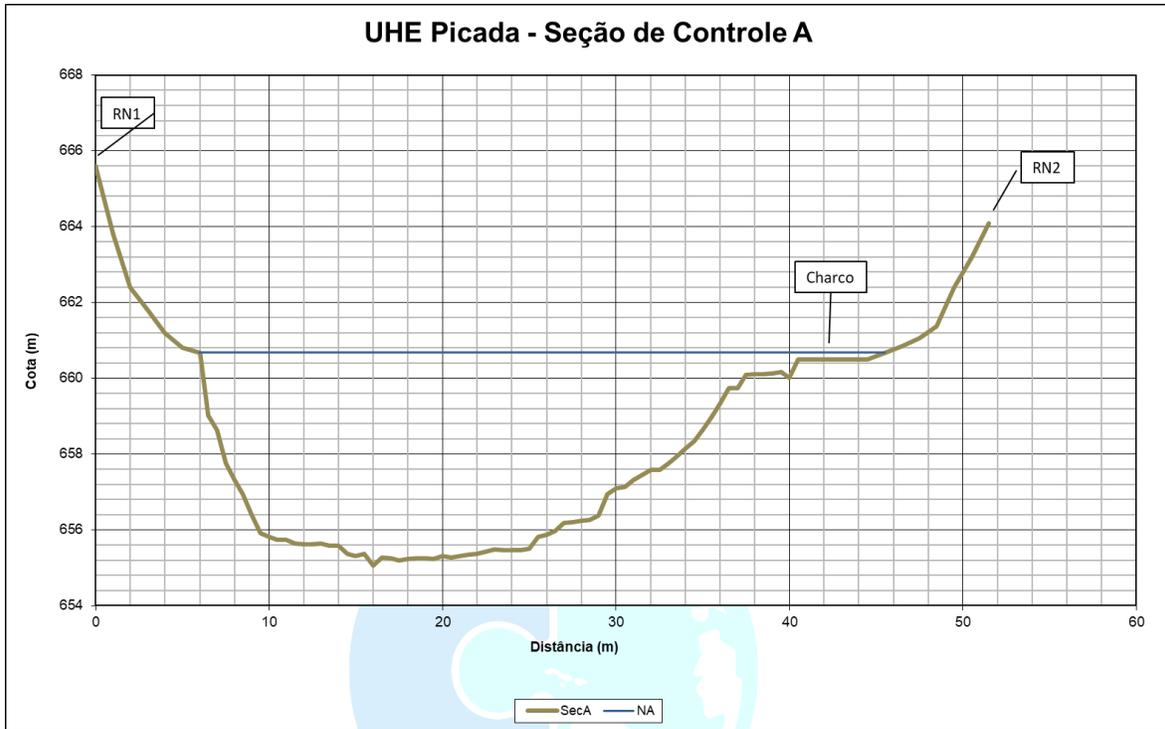


Figura 9.8 - Perfil Topobatimétrico da seção de controle A, junto a ponte de montante.

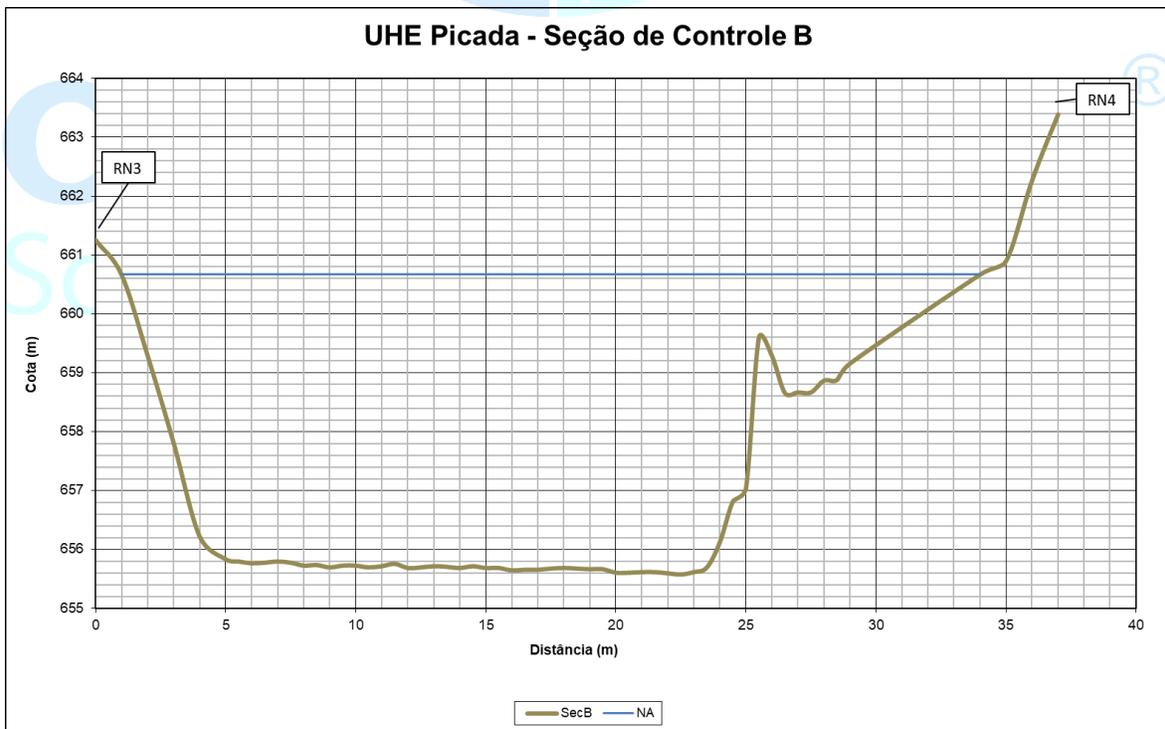


Figura 9.9 - Perfil Topobatimétrico da seção de controle B.

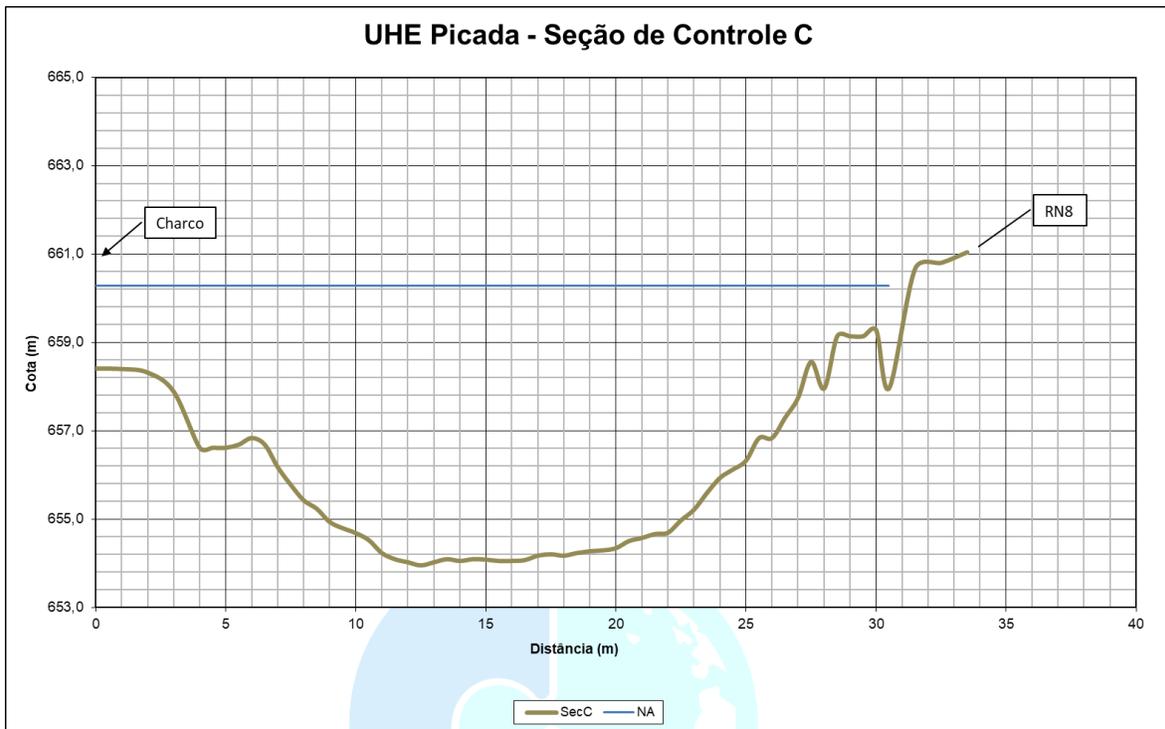


Figura 9.10 - Perfil Topobatimétrico da seção de controle C.

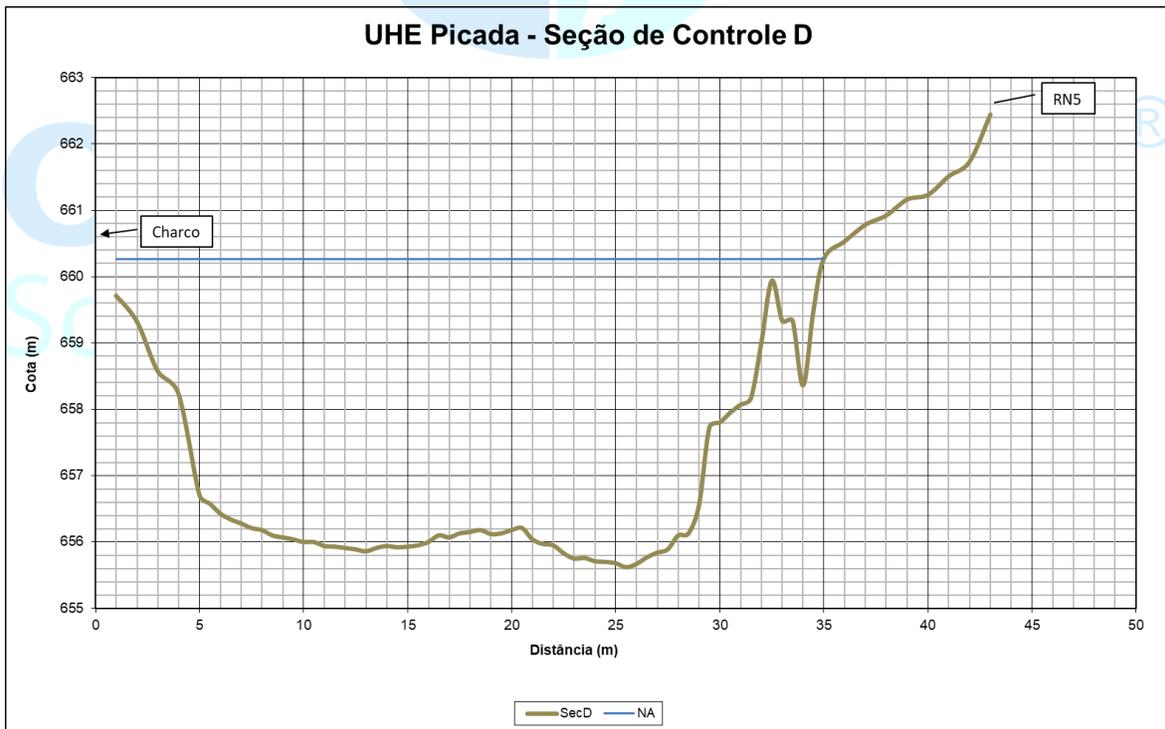


Figura 9.11 - Perfil Topobatimétrico da seção de controle D.

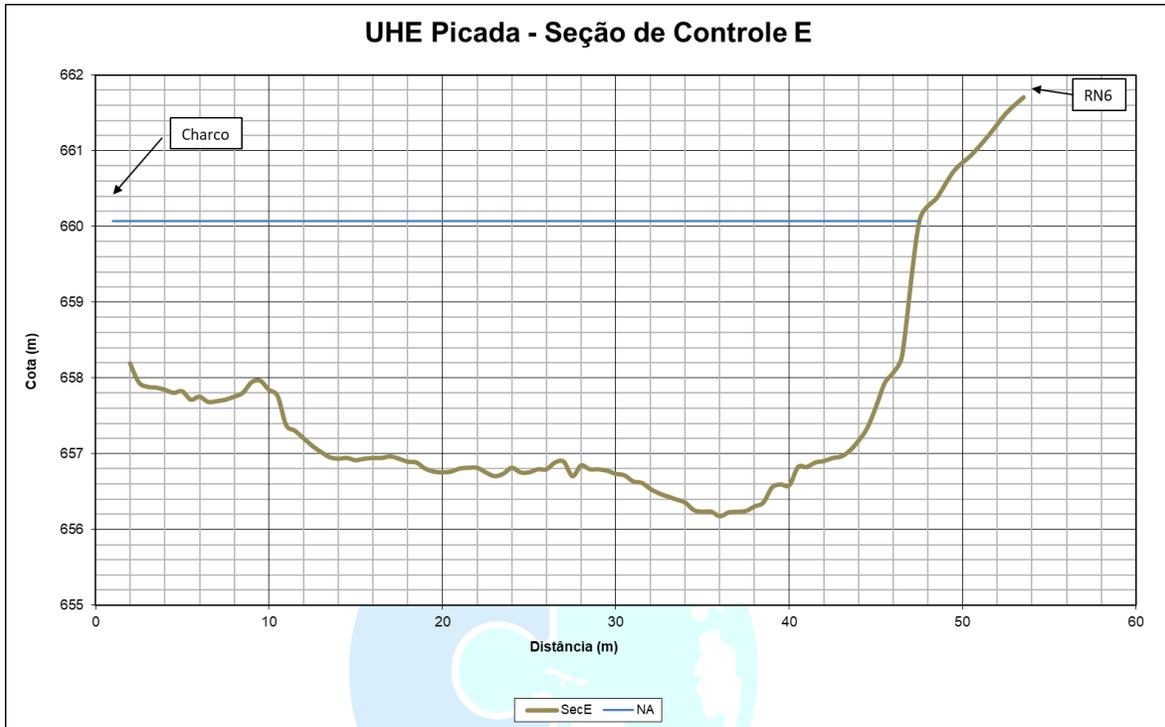


Figura 9.12 - Perfil Topobatimétrico da seção de controle E

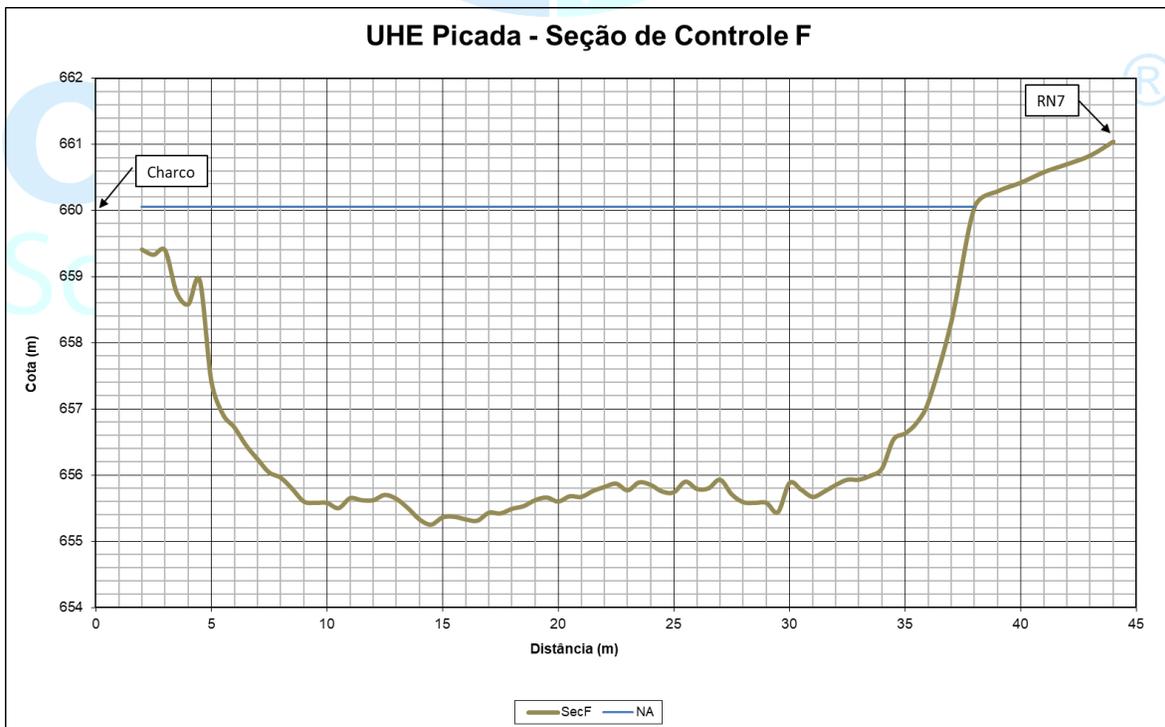


Figura 9.13 - Perfil Topobatimétrico da seção de controle F.

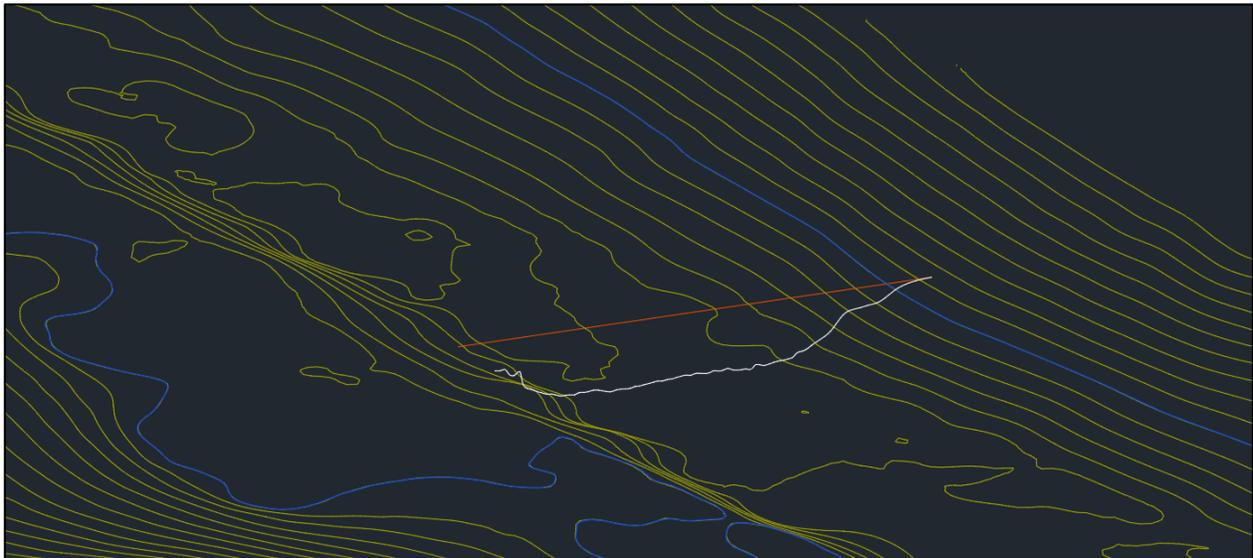


Figura 9.14 – Exemplo de perfil em formato DWG comparado com as curvas de nível.

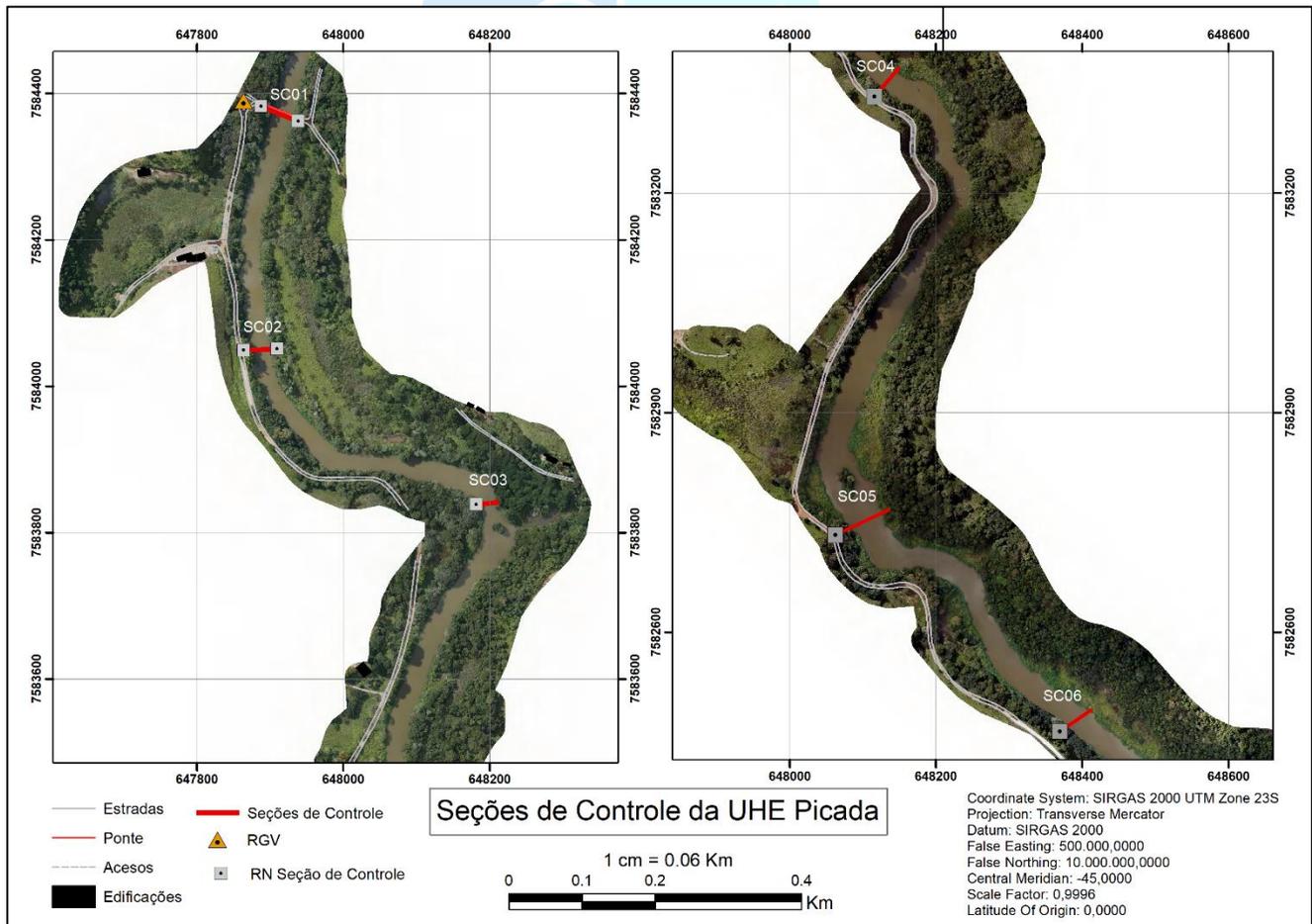


Figura 9.15 – Mapa de localização e distribuição das seções de controle assumidas para a UHE Picada.

## 10 Resultados e Discussões

Os levantamentos batimétricos da UHE Picada realizados no período de cheia, possibilitou a aquisição de uma série de informações que não seriam possíveis em condições normais nem com equipamentos convencionais. Todo o trabalho pôde ser feito com a cota muito próxima da cota máxima operacional (659,86m). Para o levantamento até a cota Máxima Maximorum (660,86) foi necessário realizar levantamento por meio de imageamento aéreo. Os resultados de ambos os dados adquiridos permitiram então a elaboração de uma Curva Cota x Area X Volume dentro de toda a gama de cotas que o reservatório abrange. A pedido do órgão regulador, a tabela das relações de área e volume foram calculadas para as cotas de centímetro em centímetro. Procurou-se também nesse documento enfatizar exatamente os procedimentos realizados para o modelo final assumido. Acredita-se que, com o detalhamento exposto acima, os avaliadores poderão extrair todas as informações necessária. Na XXX procurou-se representar as variações hipsométrias do modelo gerado ao longo de todo o reservatório da UHE Picada.

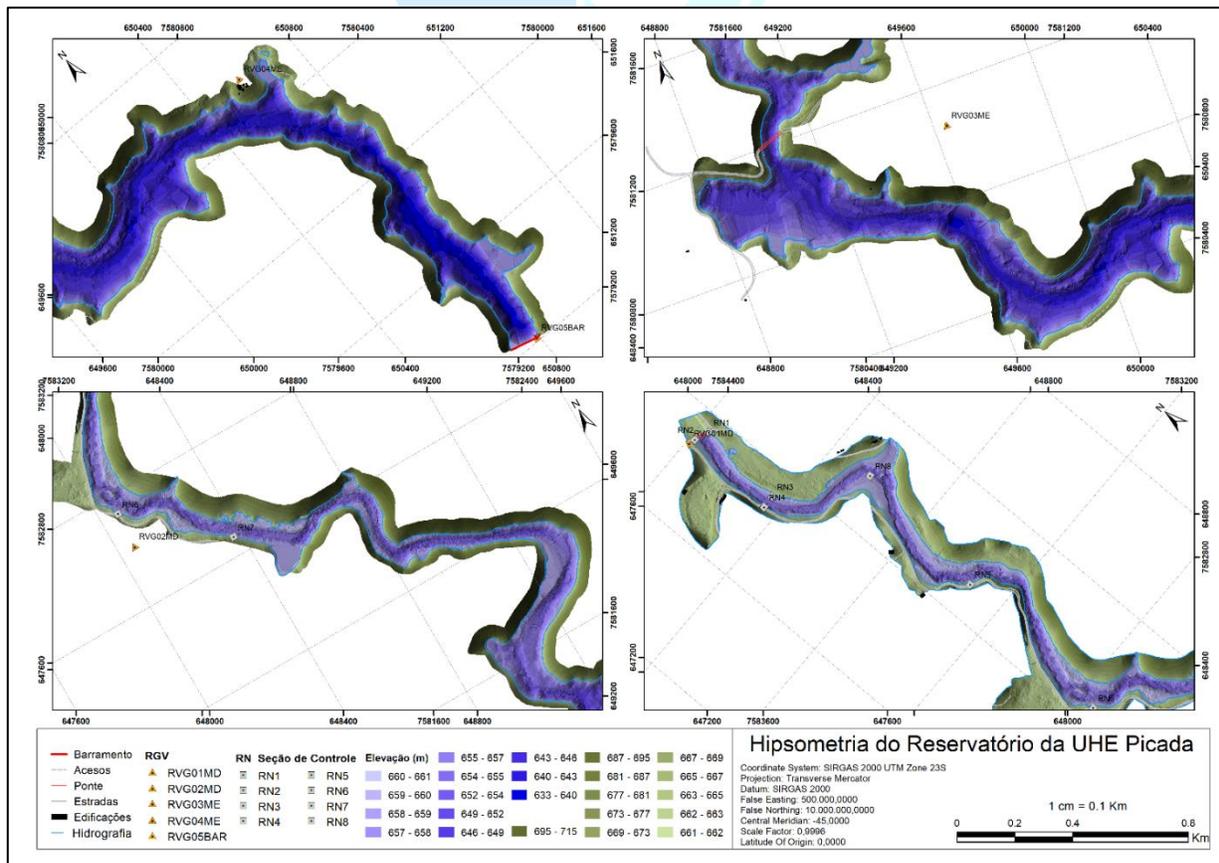


Figura 10.1 – Mapa de hipsométrico do reservatório da UHE Picada.

As informações adquiridas nesse levantamento possibilitam uma prévia de como se comporta o assoreamento do reservatório. A condição de cheia deixou o reservatório em sua forma lótica até aproximadamente o meio do reservatório, deslocando, assim, a área de influência de remanso para jusante.

Também foram identificadas formação de dunas no terço médio do reservatório, indicando que a condição de fluxo lótico acontece com mais frequência do que esperado, pois as dunas requerem certas condições que não se concretizam com a curva de remanso. Por esse motivo optou-se por iniciar o levantamento batimétrico a, aproximadamente, 1Km a montante da teórica cabeceira do reservatório. Procurou-se também obter dados para um futuro monitoramento do deslocamento das dunas e, conseqüentemente, o conhecimento da carga de fundo afluente ao reservatório.

A título de comparação elaborou-se tabela onde são apresentados os resultados adquiridos nesse trabalho relacionando-os com a curva Cota x Área x Volume definida na criação da usina.

| Cotas de Interesse          | Cota SGB | Cota de Referência Local | Volume (Hm3)     |                | Diferença (%) (b-a) |
|-----------------------------|----------|--------------------------|------------------|----------------|---------------------|
|                             |          |                          | Curva Antiga (a) | Curva Nova (b) |                     |
| N.A. Máximo Excepcional (m) | 660,86   | 660,3                    | 8,39             | 7,94           | 8,39                |
| N.A. Máximo Normal (m)      | 659,76   | 659,2                    | 7,09             | 6,93           | 7,090               |
| N.A. Mínimo Normal (m)      | 659,26   | 658,7                    | 6,54             | 6,51           | 6,54                |

Um ponto importante a ser discutido foi uma observação inferida no Ofício 233SGH2021, item 6; b; IV, onde é questionado a não abrangência do modelo final até o barramento. Conforme exposto em reunião, tal afirmação foi levantada considerando-se as imagens do BaseMap do programa ArcGis. É sabido que, apesar de muito úteis para visualizações gerais, existem pequenas discrepâncias entre tais imagens que devem ser ponderadas. No caso, acreditamos serem mais cabíveis as observações do MDT final comparado com as ortofotos adquiridas por levantamento aéreo, conforme apresentado na Figura 10.2. Na referida imagem pode-se observar ótima aderência dos produtos em outras áreas levantadas.

Dentro desse contexto foi exposto preocupação dos avaliadores uma vez que tal discrepância parecia se restringir área do barramento, enquanto há um enquadramento no restante do reservatório. Para tanto procuramos reproduzir a problemática observada medindo

a aparente diferença e procurando outros pontos notáveis como base, uma vez que os limites do reservatório não fornecem referências tangíveis. Na Figura 10.3 pode-se observar discrepâncias da mesma ordem (3m) no conjunto de edificações, porém, ao invés de estarem deslocados para o norte, conforme observado no barramento, a imagem está deslocada para o leste. Percebe-se desse modo incongruência das imagens do BaseMap.

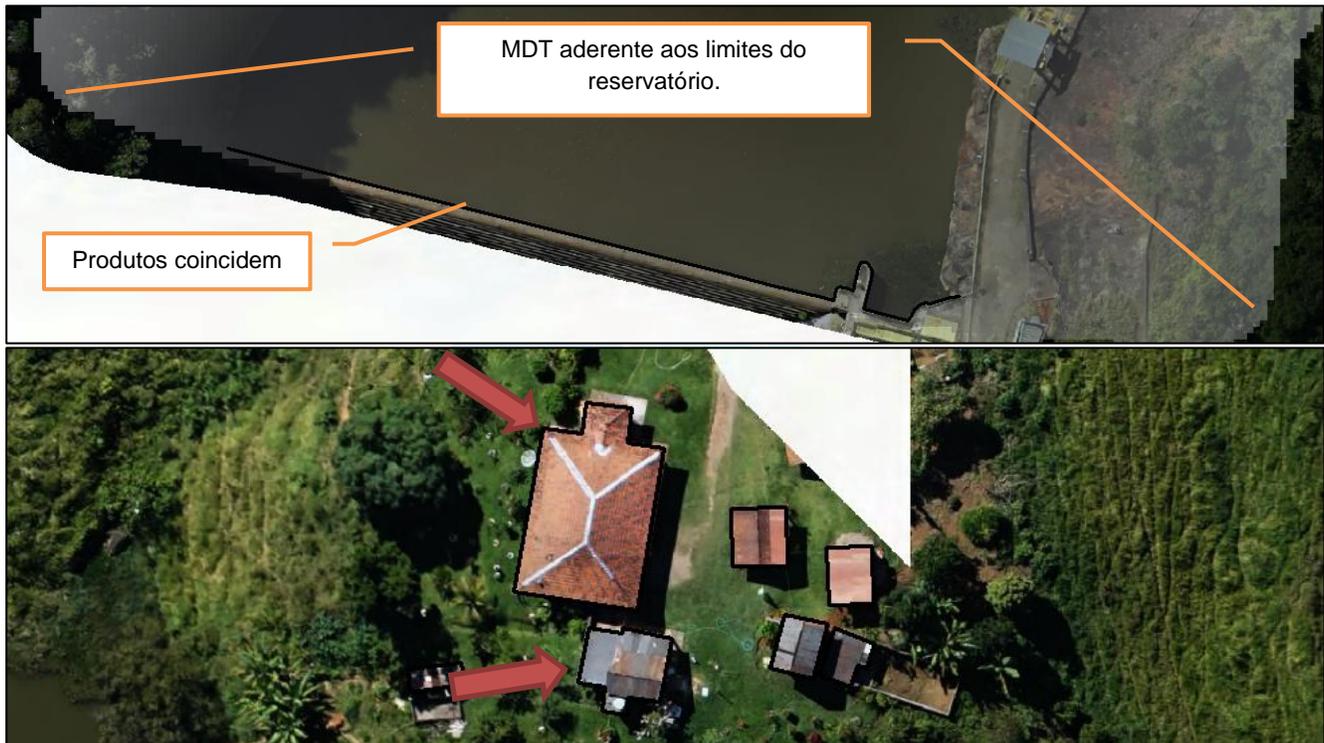


Figura 10.2 – Compatibilidade dos produtos apresentados.

**VERTICHO**  
Soluções Tecnológicas



Figura 10.3 – Diferença entre as imagens quando considerado BaseMap.

## 11 Referências Bibliográficas

AB'SABER. A. N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

BARBOSA ET. AL; Integridade No Posicionamento RTK E RTK Em Rede, 2010. Disponível no site: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1982-21702010000400007](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-21702010000400007)

CARVALHO, N.O. Hidrossedimentologia prática. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

ORIENTAÇÕES PARA ATUALIZAÇÃO DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME - Versão Dez/2013. Disponível no site:

<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/monitoramentohidro.as.px>.

GAMARO et al. 2016. Influence of high Parana's River Dunes variability in Itaipu's reservoir sedimentation, 13rd International Symposium on River Sedimentation, Stuttgart, pg 56.

CHOW V. T. "Open Channel Hydraulics" 1st Edition, New York, Mc Graw-Hill, 1959.

CARVALHO, N.O; FILIZOLA JÚNIOR, N.P; SANTOS, P. M.C; LIMA, J. E. F. W. Guia de Avaliação de assoreamento de reservatórios. Brasília: ANEEL. 2000.

SLOAT J. - Innovative Technologies and Methodologies to Help Solve Complex Problems in Spatial River Studies. Water Club, 2007.

## 12 Anexos e Organização dos Arquivos

Desde o início do projeto de levantamento da CAV UHE Picada ficou evidente a dificuldade dos avaliadores de encontrar as informações desejadas. Para evitar futuros desencontros procura-se com esse tópico, além de listar as informações pertinentes, apontar exatamente onde se encontram e como estão dispostas as informações vinculadas a esse relatório. Os anexos desse projeto são divididos em 6 pastas. Sendo elas:

- **Atualização da Curva CAV.** Pasta contendo relatório final (Word e PDF), planilha da tabela da Curva CAV e Planilha de Comparação (Original x Atual).

- **Topografia:** Pasta composta duas sub-pastas.

- Levantamento Aéreo: Documentação, modelos e nuvem de pontos resultante do levantamento topográfico realizado por VAT (Messen Cartografia).

- RVG e RNs: Pasta contendo informações referentes aos levantamentos com RTK e validação da RVG.

- Dados RTK: Essa pasta contém o processo das bases. Informações coletadas com o Rover e arquivos Rinex (dados Brutos).

- Memórias Descritivos dos Marcos e RVG.

- Validação da RVG: Fichas de Nivelamento e relatório do serviço.

- **Levantamento Batimétrico.** Pasta contendo dados de levantamento batimétrico e seções de controle. Nessa pasta também é apresentado uma planilha com a variação do reservatório.

- **Dados Brutos – HydroSurveyor.** Pasta contendo o levantamento do reservatório dividida em 6 áreas. É possível visualizar os serviços completos no programa *HydroSurveyor*, mas também foram extraídas as planilhas em Excel dos dados brutos.

- **Seções de Controle:** Arquivos *HydroSurveyor* (brutos), DWGs separados por seções, imagens genéricas das seções.

- **Geoprocessamento.** Pasta apresenta o banco de dados Geodatabase e alguns mapas gerados apresentados nesse relatório.

- **DWG:** Pasta contendo dois DWGs. Utilizar o CAV\_UHE\_Picada\_Final.dwg.

- **MTD:** Pasta contendo o MDT utilizado para calcular a Cota x Área x Volume (tem que ser igual ao inserido no Geodatabase) e o resultado dele extraído.

- **Shapefiles:** Pasta contendo arquivos para visualização em SIG. São os mesmos inseridos no Geodatabase.

- **TIN:** Pasta contendo modelos Triangular Irregular para comparação e exploração do produto.

- **ART.** Pasta contendo ART emitida.

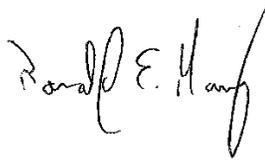
- **Documentos.** Pasta contendo ofícios vinculados a esse levantamento.

OVERTECH®  
Soluções Tecnológicas



---

Edgar Posse Junior  
Eng. Agrícola – CREA-PR 136690/D



---

Ronald E. Manz  
Geógrafo – CREA-PR 132173/D



**OVERTECH**®  
Soluções Tecnológicas