

UHE Foz
do Areia

Relatório Técnico

Atualização das Curvas Cota x Área x Volume



Contratante: COPEL Geração e Transmissão S.A.
Contratado: Rural Tech Comércio E Serviços Eireli

CONTRATO DE SERVIÇOS ESPECIALIZADOS NA ÁREA DE
CARTOGRAFIA, BATIMETRIA, TOPOGRAFIA E
GEOPROCESSAMENTO PARA ATUALIZAÇÃO DAS CURVAS
COTA x ÁREA x VOLUME PARA ATENDIMENTO DA
RESOLUÇÃO CONJUNTA ANA/ANEEL Nº 03/2010
CONFORME SEGUNDA VERSÃO DO DOCUMENTO
ORIENTATIVO DA ANA "ORIENTAÇÕES PARA
ATUALIZAÇÃO DAS CURVAS COTA x ÁREA x VOLUME".

UHE FOZ DO AREIA

FAR-CAV-LG-A01-R03

ELABORAÇÃO:

Eng. Lucas Amorim de Sá
Geofísico Kayque Bergamashci

REVISÃO:

Eng. Sergio Vieira Ballarin

JUNHO - 2017

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	3
2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONTRATADA	3
3. OBJETIVO	4
4. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....	5
5. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	5
6. ENQUADRAMENTO DO RESERVATÓRIO QUANTO AO POTENCIAL DE ASSOREAMENTO E AO CENÁRIO CARTOGRÁFICO.....	6
7. LEVANTAMENTOS REALIZADOS	7
7.1 IMPLANTAÇÃO DA REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS - RVG	7
7.2 MODELO GEODAL BRASILEIRO – MAPGEO 2015.....	11
7.3 MAPEAMENTO DA ÁREA MOLHADA	13
7.4 MAPEAMENTO DA ÁREA SECA	18
7.5 IMPLANTAÇÃO E LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES DE CONTROLE	18
8. PRODUTOS E RESULTADOS	20
8.1 MODELO DIGITAL DO TERRENO – MDT	20
8.1.1 MODELO DIGITAL DO TERRENO	20
8.2 CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME.....	23
8.2.1 METODOLOGIA	23
8.2.2 CORRELAÇÃO DAS COTAS – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO (SGB) X COTA DE OPERAÇÃO (RÉGUA DA UHE FOZ DO AREIA).....	24
8.2.3 CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME	24
8.2.4 AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME	27
8.2.5 COMPARAÇÃO COM A CURVA ANTIGA	28
8.3 CARTAS TOPOBATIMÉTRICAS	29
8.4 SEÇÕES DE MONITORAMENTO DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS.....	29
9. CONCLUSÃO	32

RELAÇÃO DOS DOCUMENTOS TÉCNICOS APRESENTADOS

Relatório Técnico - Atualização Das Curvas Cota X Área X Volume

ANEXO 01 - Levantamentos Geodésicos

ANEXO 02 - Levantamentos Batimétricos

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta as atividades técnicas de cartografia, batimetria e geodésia, executadas para a determinação das Curvas Cota x Área x Volume do reservatório da UHE Foz do Areia, localizada no município de Pinhão, no Estado do Paraná. Os serviços de levantamentos geodésicos, topográficos e batimétricos foram executados pela empresa Rural Tech, no período entre os dias 04/03/2017 e 28/03/2017, conforme contrato da Copel Geração e Transmissão S.A. nº 4600011979.

A Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 3/2010, em seu Artigo 8º, determina que para as usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, o processo de assoreamento do reservatório deve ser avaliado com base na atualização das curvas Cota x Área x Volume. Este estudo deve ser realizado 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 o deverá ser realizada a cada 10 anos, contados a partir do início de sua operação comercial.

Este relatório contempla os materiais e métodos empregados nos levantamentos realizados pela equipe da Rural Tech, na atualização das curvas cota x área x volume, para atendimento dessa resolução para a UHE Foz do Areia.

2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONTRATADA

Fundada em 1984, a Rural Tech iniciou suas atividades como fabricante de máquinas e equipamentos de irrigação.

Após mais de duas décadas atuando em áreas relacionadas à produção agrícola, levantamentos em campo e projetos agrônômicos e de irrigação, a empresa concentrou suas atividades na área de levantamentos topográficos, hidrométricos e geológicos para subsidiar projetos de geração de energia hidrelétrica.

Com a resposta positiva do mercado e suas expectativas de crescimento, a Rural Tech ampliou seus limites geográficos, atendendo seus clientes em toda parte do território nacional.

O ingresso na área de batimetria multifeixe trouxe à Rural Tech novas experiências e muito conhecimento agregado aos ativos organizacionais. Atualmente, possuímos uma história de parceria e trabalhos bem-sucedidos com grandes empresas, o que lhe garante o conhecimento das boas práticas específicas deste mercado, principalmente nos quesitos de qualidade.

Na busca constante da prestação de melhores serviços, a Rural Tech cada vez mais procura adquirir e incorporar ao seu acervo, profissionais e tecnologias atuais, além de manter um trabalho constante junto aos clientes e fornecedores no sentido de aprimorar continuamente seus processos.

A “Rural Tech” é uma empresa de prestação de serviços, com atividades voltadas ao campo de Cartografia, Topografia, Batimetria, Geomensura e Geoprocessamento, desenvolve levantamentos de forma rápida e precisa de forma integrada para atendimento das necessidades de seus clientes.

3. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é a atualização das curvas cota x área x volume da UHE Foz do Areia, em atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL Nº 03 de 2010.

A Rural Tech executou as seguintes atividades:

- Implantação e medição da Rede de Vértices Geodésicos (RVG) no entorno do reservatório, por nivelamento geométrico e rastreo GNSS L1/L2, a partir das RNs oficiais do IBGE mais próximas, inclusive a leitura dos níveis na régua de operação, localizada na barragem;
- Elaboração do Modelo Geoidal Local para a região do reservatório;
- Avaliação do Modelo Geoidal Brasileiro – MAPGEO 2015;
- Mapeamento da área molhada por meio de tecnologia de ensonificação do leito com sonar multifeixe e monofeixe de todo o espelho d'água do reservatório e braços entre os níveis 725,361m e 721,791m;

- Implantação de Seções de Controle para o monitoramento do assoreamento;
- Integração de Dados e Construção do Modelo Digital do Terreno; e
- Definição das Curvas Cota x Área x Volume.

4. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Este trabalho é composto por um relatório técnico, denominado “*Atualização das Curvas Cota x Área x Volume*” e 2 (dois) anexos, o primeiro trata dos levantamentos geodésicos e o segundo dos levantamentos batimétricos.

O Relatório Técnico, denominado “*Atualização das Curvas Cota x Área x Volume*” contém a classificação do reservatório quanto ao nível de criticidade, o Modelo Digital do Terreno – MDT, as cartas topobatimétricas, as seções de controle e as curvas Cota x Área x Volume do reservatório.

O Anexo 01, denominado “Levantamentos Geodésicos”, apresenta os serviços realizados para a implantação da Rede de Vértices Geodésicos – RVG e elaboração do Modelo Geoidal Local – MGL, bem como as monografias dos marcos da RVG e a carta geoidal da região do reservatório.

O Anexo 02, denominado “Levantamentos Batimétricos”, inclui os procedimentos para o mapeamento da área molhada do reservatório por meio da tecnologia multifeixe, bem como os produtos resultantes do levantamento batimétrico.

5. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O Quadro 5-1 a seguir apresenta as características da Usina Hidrelétrica Foz do Areia.

Quadro 5-1 - Características do Empreendimento

Localização	Rio Iguaçu
Bacia Hidrográfica	Paraná (6)
Sub-Bacia Hidrográfica	Iguaçu (65)
Município margem direita	Pinhão - PR
Município margem esquerda	Bituruna - PR
Tipo	Regularização de Vazão

Coordenadas geográficas da usina	26° 00'34" S- 51° 39'53" W
Potência Instalada (MW)	1676
Entrada em operação	1980
Área de drenagem total até a barragem (km²)	29.900
Área incremental do aproveitamento (km²)	29.900
² NA Máximo Normal (m)	742,00
² NA Mínimo Operacional (m)	700,00
¹ Volume N.A Máximo Normal (x10 ⁶ m³)	5.779,00
Volume N.A. Mínimo Operacional (x10 ⁶ m³)	1.974,31
³ Área inundada no N.A. Máximo Normal (km²)	139,50
Nota 1: Volumes antes da presente atualização da curva cota x área x volume. Nota 2: Cotas referenciadas a cota de operação da usina. Nota 3: Área antes da presente atualização da curva cota x área x volume.	

6. ENQUADRAMENTO DO RESERVATÓRIO QUANTO AO POTENCIAL DE ASSOREAMENTO E AO CENÁRIO CARTOGRÁFICO

Os dados apresentados neste item 6 foram obtidos no documento “*Plano De Trabalho Para Atualização Da Curva Cota-Área-Volume da UHE Foz do Areia*”, plano de trabalho da UHE Foz do Areia entregue a ANA pela Copel Geração e Transmissão S.A., em fevereiro de 2014 e revisado em dezembro de 2015.

Os trabalhos apresentados neste relatório foram planejados para atender o enquadramento do reservatório da UHE Foz do Areia definido através do documento de referência “Orientações para atualização das curvas cotas x área x volume” em relação ao potencial ao assoreamento e à disponibilidade de material cartográfico de projeto.

O reservatório da UHE Foz do Areia foi classificado com Nível de Criticidade Alta (classe 1), em função dos parâmetros apresentados nos subitens seguintes, resumidos no Quadro 6-1.

Quadro 6-1 – Quadro resumo dos parâmetros de classificação do reservatório quanto ao potencial de assoreamento

Potencial de produção de Sedimentos na Bacia (Pss)	Médio - 2
--	-----------

Posição do Reservatório na cascata (Prc)	Alto - 3
Regime de Operação do reservatório (Ror)	Média – 2
Magnitude e Importância dos efeitos do assoreamento (MI)	Alto - 3
Nível de Criticidade	Classe 1 (Alta)

Quanto a cartografia, o empreendimento é enquadrado no cenário 03: não possui material cartográfico de projeto, mas possui material da área seca em escala 1:10.000 ou superior oriundo de recobrimento aerofotogramétrico aprovado no controle de qualidade.

Desta forma, o reservatório da UHE Foz do Areia é enquadrado na **tipologia A** segundo as orientações da ANA.

7. LEVANTAMENTOS REALIZADOS

Neste item são descritos os levantamentos realizados, que atendem aos requisitos da Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, conforme o enquadramento do reservatório apresentado no item anterior. Maiores detalhes sobre os procedimentos de execução dos serviços se encontram nos volumes Anexo 01 e Anexo 02, conforme organização dos documentos apresentados no *Item 4*.

7.1 Implantação da Rede de Vértices Geodésicos - RVG

Foi implantada uma Rede de Vértices Geodésicos - RVG para a UHE Foz do Areia, composta por um total de 13 vértices principais distribuídos uniformemente ao longo do reservatório. Os vértices tiveram suas coordenadas planas determinadas por posicionamento GNSS com receptores de dupla frequência, e suas elevações determinadas por nivelamento geométrico de primeira ordem.

A RVG implantada serviu de base para o georreferenciamento das seções de controle topobatimétrico e adensamento de pontos para o apoio ao levantamento batimétrico, bem como para a avaliação e validação do MapGeo 2015.

A Figura 7-1 ilustra todos os serviços executados para a implantação da RVG do reservatório da UHE Foz do Areia e o Quadro 7-1 apresenta as coordenadas dos vértices da RVG implantados.



Figura 7-1 – Implantação da Rede de Vértices Geodésicos

Quadro 7-1 – Rede de Vértices Geodésicos da UHE Foz do Areia

Nome	Latitude	Longitude	Norte (m)	Este (m)	Cota Elipsoidal (m)	Cota Ortométrica (m)
RVG-01	26°00'19,61279"S	51°40'07,33340"W	7.123.541,601	433.079,837	755,119	749,567
RVG-02	25°58'03,45780"S	51°35'42,09635"W	7.127.765,805	440.434,133	840,662	835,095
RVG-03	25°57'23,54755"S	51°31'13,77735"W	7.129.025,360	447.890,607	859,683	854,240
RVG-04	25°55'46,11791"S	51°25'52,95817"W	7.132.054,971	456.802,771	780,234	774,750
RVG-05	26°01'11,43429"S	51°36'33,39455"W	7.121.976,485	439.034,588	811,009	805,437
RVG-06	26°00'46,28049"S	51°32'20,75414"W	7.122.781,165	446.053,673	794,583	788,916
RVG-07	26°04'33,48090"S	51°31'51,13930"W	7.115.795,139	446.905,313	817,654	812,013
RVG-08	26°03'33,64046"S	51°23'51,97357"W	7.117.683,424	460.211,887	774,681	769,060
RVG-09	26°06'39,81146"S	51°19'40,74071"W	7.111.975,704	467.206,988	859,038	853,348
RVG-10	26°05'56,61646"S	51°14'55,76288"W	7.113.322,036	475.119,246	762,546	756,946
RVG-11	26°11'50,66693"S	51°16'23,78470"W	7.102.425,488	472.697,230	801,102	795,261

Nome	Latitude	Longitude	Norte (m)	Este (m)	Cota Elipsoidal (m)	Cota Ortométrica (m)
RVG-12	26°10'16,08650"S	51°10'40,34972"W	7.105.351,632	482.224,547	749,861	744,274
RVG-13	26°13'00,86601"S	51°05'43,59118"W	7.100.291,189	490.465,994	750,095	744,664
<p>1-Coordenadas UTM no Datum Sirgas 2000, referidas ao M.C.51° WGr;</p> <p>2-Altitudes ortométricas obtidas por nivelamento geométrico de primeira ordem.</p>						

7.2 Modelo Geoidal Brasileiro – MapGeo 2015

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 sem o uso do nivelamento geométrico, ou seja, através do levantamento de uma linha de base por GPS 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 especificado para o presente trabalho foram selecionados vinte por cento (20%) dos pontos totais rastreados e nivelados durante a implantação da RVG para avaliar o MapGeo. Após análise foi observado que o MapGeo 2015 apresentou na região do reservatório da UHE Foz do Areia, a qualidade exigida no documento orientativo da ANA, e não se fez necessária a utilização do Modelo Geoidal Local elaborado.

A superfície que representa o MapGeo2015 na região do reservatório bem como os pontos utilizados para a validação do mesmo é apresentada na Figura 7-2 e Quadro 7-2 a seguir.



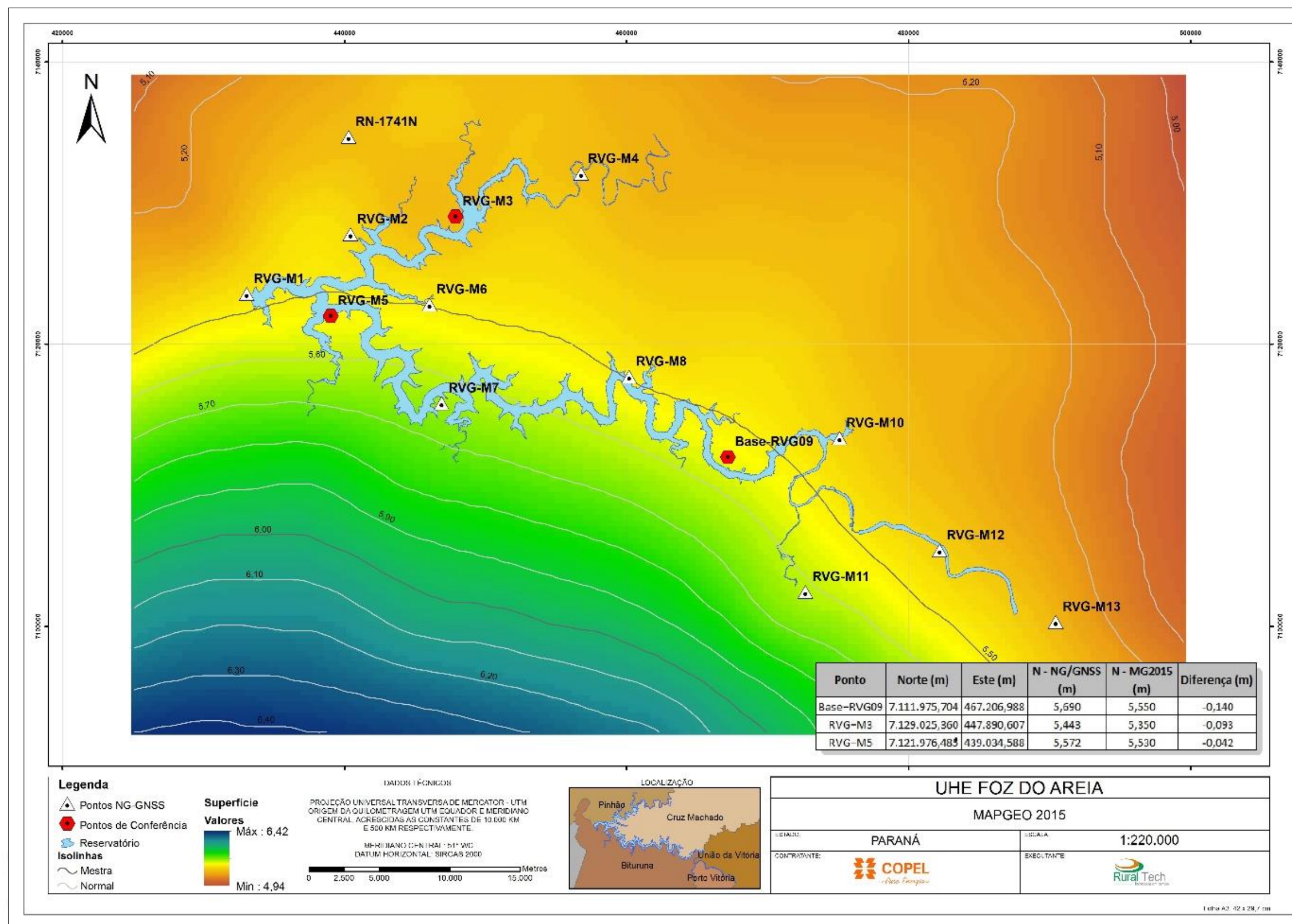


Figura 7-2 – Modelo Gravitacional Brasileiro – MapGeo2015

Quadro 7-2 – Pontos de Conferência do MapGeo 2015

Ponto	Norte (m)	Este (m)	N' - NG/GNSS (m)	N'' – MG2015 (m)	Diferença (m)
Base–RVG09	7.111.975,704	467.206,988	5,69	5,55	0,14
RVG–M3	7.129.025,360	447.890,607	5,44	5,35	0,09
RVG–M5	7.121.976,485	439.034,588	5,57	5,53	0,04

7.3 Mapeamento da Área Molhada

Para o mapeamento da área molhada do reservatório optou-se pela utilização da tecnologia de ensonificação do leito com sonar multifeixe, com complemento do monofeixe no restante do espelho d'água do reservatório. Neste levantamento realizou-se o mapeamento de cerca de 95% exclusivamente da área molhada, ou seja, foi levantado cerca de 95% da área que deveria ser mapeada com a batimetria. Para um melhor aproveitamento e melhor produtividade dos levantamentos, foram designados equipamentos específicos para a o tipo de área que seria levantada. Para as áreas rasas, menores que 10 metros, e áreas de maior risco para a navegação foram empregados ecobatímetros monofeixe. Em áreas de média profundidade e nos braços do reservatório, foi empregado um equipamento mais compacto e que possuía maior rendimento em tais profundidades, Odom MB1 Dual Head. Para águas mais profundas (canal principal e áreas adjacentes), foi designado um equipamento mais robusto, com maior energia e alta precisão, Reson Seabat 7125. Esses levantamentos batimétricos realizados no reservatório da UHE Foz do Areia totalizaram aproximadamente 84 km².

A amarração altimétrica ocorreu por meio de uma integração de dados de nível das três estações fluviométricas presentes no reservatório, além dos dados provenientes do nivelamento geométrico no nível da água Figura 7-2. Todos esses dados foram referenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro através da Rede de Vértices Geodésicos implantada ao longo do reservatório e ao MAPGEO 2015. O levantamento batimétrico do reservatório da UHE Foz do Areia foi compreendido entre os dias 09 a 20 de março de 2017. Não existiram adversidades significativas

que interferissem na produtividade dos levantamentos, com exceção do trecho de corredeiras entre Porto Vitória e União da Vitória, onde não foi possível a navegação e foi necessário interpolar de acordo com a tendência das áreas adjacentes, mapeadas com aerolevantamento e batimetria.



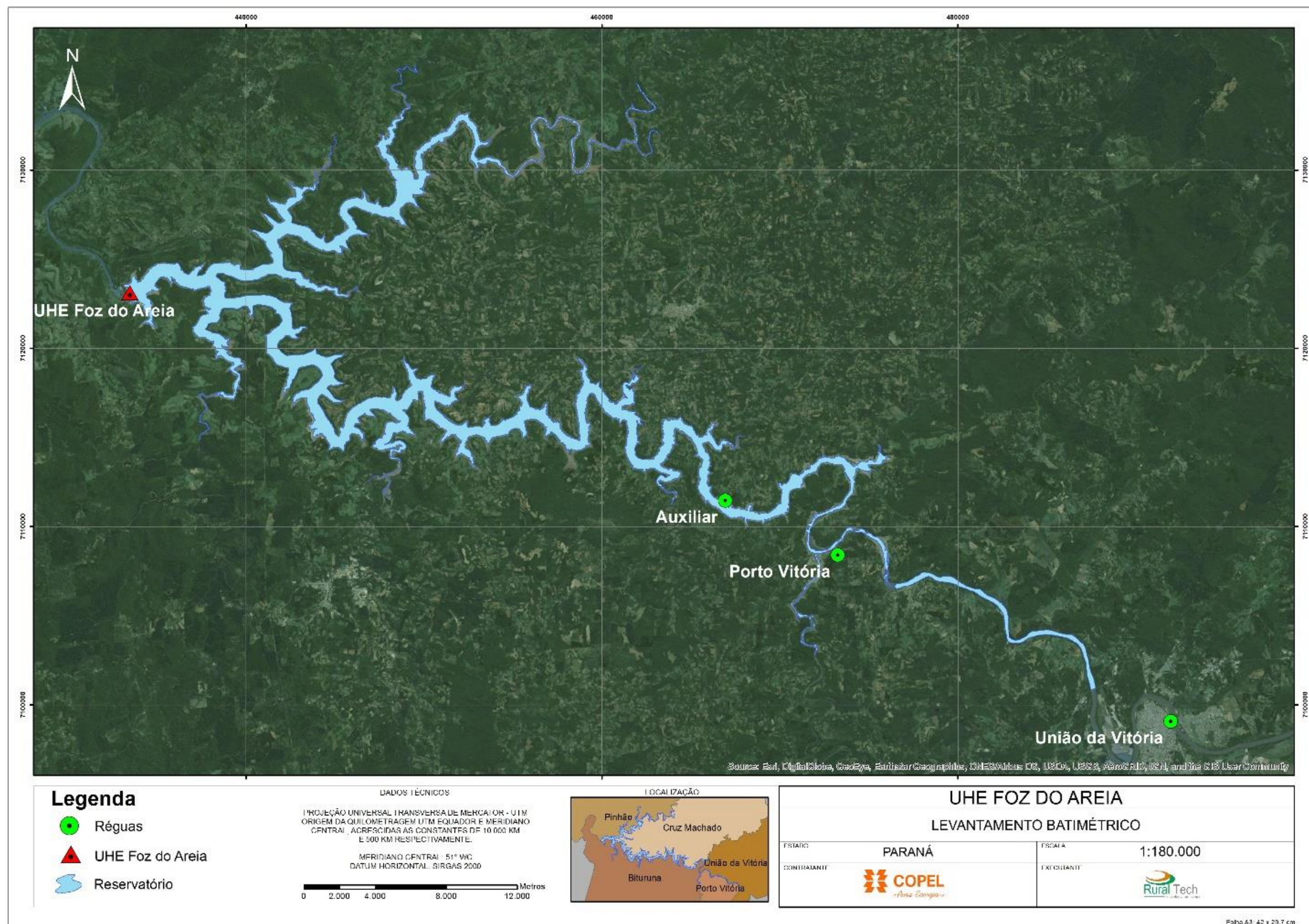


Figura 7-3 Réguas utilizadas no monitoramento de nível

Os softwares utilizados na aquisição dos dados de campo foram os mesmos empregados no processamento final. Para o conjunto Odom MB1 foi utilizado o software Qinsy versão 8.1 produzido pela QPS. Para o conjunto Reson Seabat 7125 foi utilizado o software PDS2000 versão 4.2 produzido pela Teledyne. Para os conjuntos monofeixe, foi utilizado o software Hypack versão 2016.

O produto final do levantamento batimétrico é um grid de pontos processados e reduzidos, e é representado na Figura 7-4 em forma de imagem, em que as cores das células representam as cotas ortométricas, de acordo com a escala na legenda. A descrição completa dos serviços batimétricos está apresentada no volume denominado “Anexo 02”.



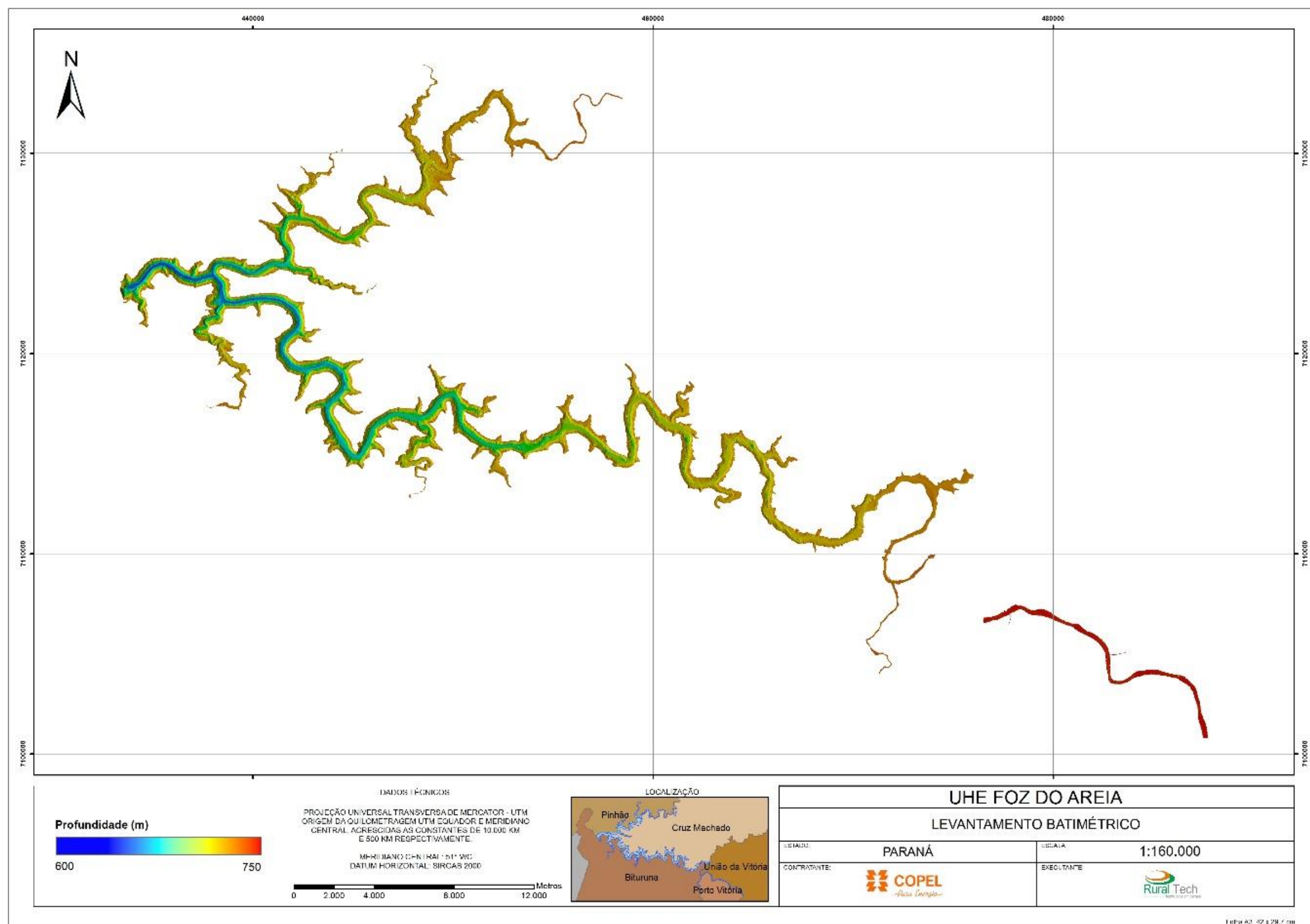


Figura 7-4 - Grid final da batimetria do reservatório da UHE Foz do Areia.

7.4 Mapeamento da Área Seca

O mapeamento da área seca é realizado com o objetivo de complementar o levantamento batimétrico, de forma a construir um Modelo Digital do Terreno – MDT desde o nível d'água observado do reservatório, no momento do levantamento batimétrico, até a sua área de abrangência total.

Para o reservatório da UHE Foz do Areia, optou-se pela utilização de um Modelo Digital de Terreno fornecido pela contratante, proveniente do levantamento aerofotogramétrico executado em 2012, pela empresa FotoTerra.

Estes levantamentos são provenientes de imagens multiespectrais de alta resolução, modelos digitais do terreno, serviços de ortorretificação, mosaico e recorte de acordo com a articulação.

As imagens foram tomadas entre 06/10/2012 a 18/10/2012 e os produtos obtidos foram disponibilizados pela contratante conforme descrição abaixo:

- Ortofotos, formato MrSID, provenientes do levantamento Aerofotogramétrico do ano de 2012;
- Modelo Digital do Terreno, formato ASCII, proveniente do levantamento Aerofotogramétrico do ano de 2012.

Os dados listados acima, fornecidos pela COPEL, estão referenciados ao *Datum* SIRGAS 2000.

Para a utilização dessa base cartográfica preexistente a Copel GeT realizou o controle de qualidade do material e sua classificação quanto ao Padrão de Exatidão Cartográfico Digital da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais Planialtimétrico (PEC-PCD). O Relatório Técnico de Controle de Qualidade de Dados Cartográficos executado pela empresa VisãoGeo em 2015 contendo as análises realizadas segue em anexo digital.

7.5 Implantação e Levantamento das Seções de Controle

Para a UHE Foz do Areia foram implantados 3 conjuntos de 3 seções cada, de acordo com o seguinte exposto.

Em função do reservatório da UHE Foz do Areia estar classificado com um nível de criticidade alto e da presença de um tributário significativo foram instalados três conjuntos, sendo que cada conjunto é composto por três seções de controle topobatimétrico, posicionadas conforme indicação fornecida pela contratante. O espaçamento entre as seções foi da ordem de cinco vezes a largura do Rio Iguaçu, conforme indicado pela Copel na especificação técnica.

Para garantir um maior nível de detalhe nas seções de monitoramento, para a área molhada foram executadas seções em separado das demais segundo um planejamento específico e para o levantamento da área seca foram utilizadas estação total, e/ou GNSS/RTK, de acordo com as condições do local de cada seção.

Essas seções foram materializadas, nas duas margens, por marcos de concreto que estão georreferenciados e documentados, por meio de relação de coordenadas obtidas a partir do processamento dos pontos, de acordo com a seguinte metodologia:

- Os marcos implantados foram amarrados aos vértices da RVG por meio de posicionamento GNSS;
- O posicionamento dos marcos foi definindo buscando locais de baixa obstrução do sinal, minimizando os efeitos de multicaminhamento nos dados GNSS e de forma a garantir que todo o levantamento da seção de monitoramento seja efetuado sempre da mesma referência;
- A implantação dos marcos seguiu as especificações contidas nas “Orientações para atualização da curva CAV” da ANA, assim como as suas monografias;
- A planimetria foi medida por rastreamento executados com receptores GNSS de dupla frequência em todos os marcos que constituem referências nas seções de monitoramento, sendo que tais rastreios foram de pelo menos duas horas. Além disso, os levantamentos GNSS foram executados com observação mínima e simultânea de 6 satélites naqueles períodos de rastreio, PDOP inferior a 4, posicionamento relativo estático, e precisão nominal superior ou igual a 5mm+1ppm; e
- As altitudes ortométricas das seções de controle foram determinadas por meio da compensação geoidal utilizando o MapGeo 2015.

8. PRODUTOS E RESULTADOS

8.1 Modelo Digital do Terreno – MDT

8.1.1 Modelo Digital do Terreno

O produto final dos levantamentos da área seca e molhada é uma grade regular retangular, em uma estrutura matricial que contém pontos 3D regularmente espaçados no plano XY, no caso da UHE Foz do Areia esse espaçamento foi de 2m x 2m. Tal modelo digital aproxima superfícies por meio de um poliedro de faces retangulares, como mostra a Figura 8-1. Esse produto pode ser representado por uma tabela ou por um arquivo de texto com as informações XYZ de cada ponto.

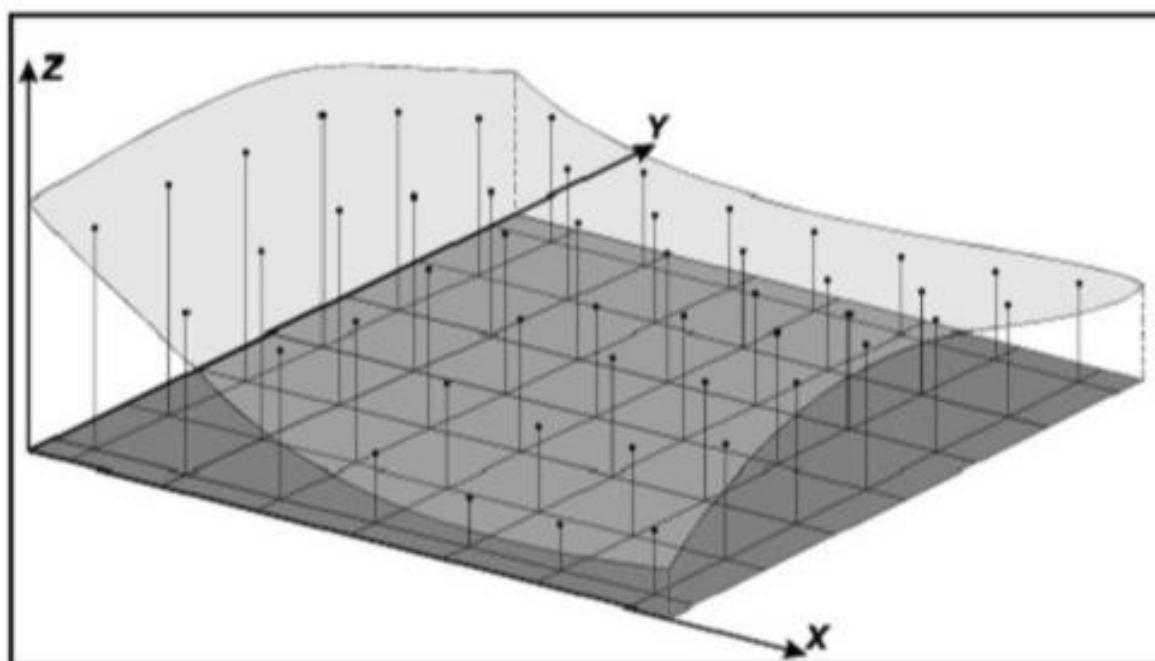


Figura 8-1 – Superfície e grade regular correspondente

A interpolação dos dados oriundos da batimetria com os dados do aerolevantamento foi realizada no software ArcGIS Pro, por meio da ferramenta *Topo to Raster*, que é um método desenvolvido para a criação de Modelos Digitais de Elevação (MDE), especialmente os hidrológicos.

A água é a principal força erosiva e determina a forma geral na maioria das paisagens. Por essa razão as paisagens possuem vários topos de morros (locais de máximo), e uma quantidade menor de depressões (locais de mínimo), fato que resulta em um padrão de drenagem conectado. A ferramenta *Topo to Raster* usa esse

Trabalhe por um Brasil melhor. O país precisa e todos ganham.

conhecimento sobre superfícies e impõe restrições para o processo de interpolação que resulta em uma estrutura de drenagem conectada e em uma correta representação do escoamento superficial. Esse método utiliza uma técnica de interpolação de diferenças finitas, aperfeiçoada para ter eficácia de um método de interpolação global, como o inverso do quadrado da distância (IQD ou IDW), sem perder a continuidade da superfície dos métodos de interpolação globais, como Spline e Krigagem.

Para a elaboração do MDT final foram utilizados 4 insumos, o grid da batimetria, o grid fornecido do mapeamento da área seca, o contorno do reservatório como breakline e o polígono de determinação do limite externo do MDT a ser elaborado. Para o caso da UHE Foz do Areia a breakline foi formada pela menor curva levantada pelo aerolevanteamento e o polígono externo foi formado pela curva máximo normal obtida dos dados de aerolevanteamento fornecidos.

A Figura 8-2 apresenta o modelo elaborado que segue anexo em meio digital, no volume disponibilizado junto a este relatório.



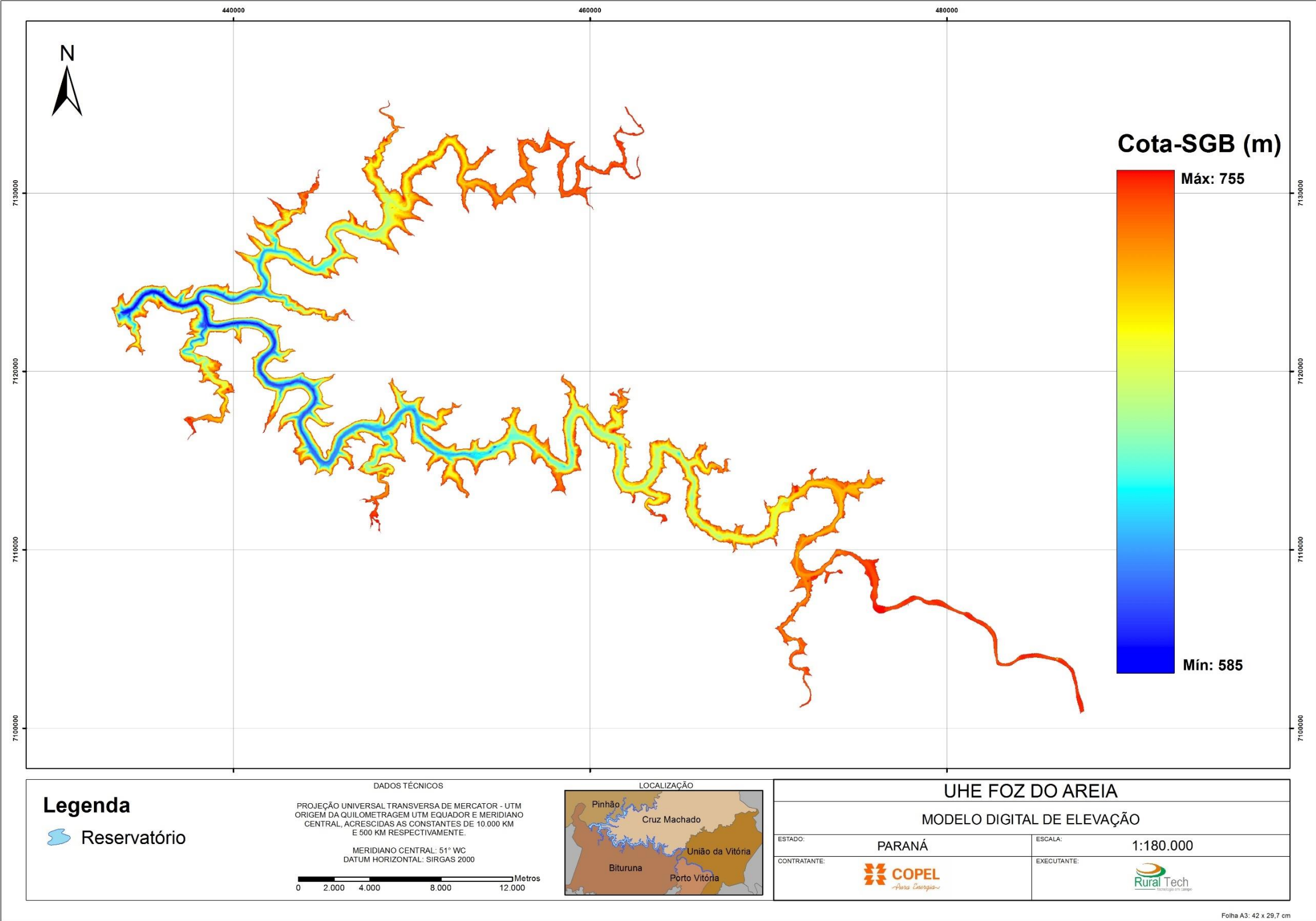


Figura 8-2 - Modelo Digital do Terreno do Reservatório da UHE Foz do Areia

8.2 Curvas Cota x Área x Volume

8.2.1 Metodologia

Com o MDT gerado é possível calcular o volume, no software ArcGis, através da ferramenta *Surface Volume*.

Essa ferramenta calcula a área projetada, a área da superfície e o volume de uma superfície relativo a uma altitude base ou a um plano de referência. A superfície pode ser um *raster*, TIN, ou outra informação de elevação. Os resultados são gerados em forma de texto.

É necessário determinar se os cálculos serão realizados acima ou abaixo do plano de referência. Quando se define que os cálculos serão realizados abaixo do plano de referência, a área projetada e a área da superfície são calculadas no intervalo entre a superfície do MDE e a altitude desejada, como pode ser observado na Figura 8-3.

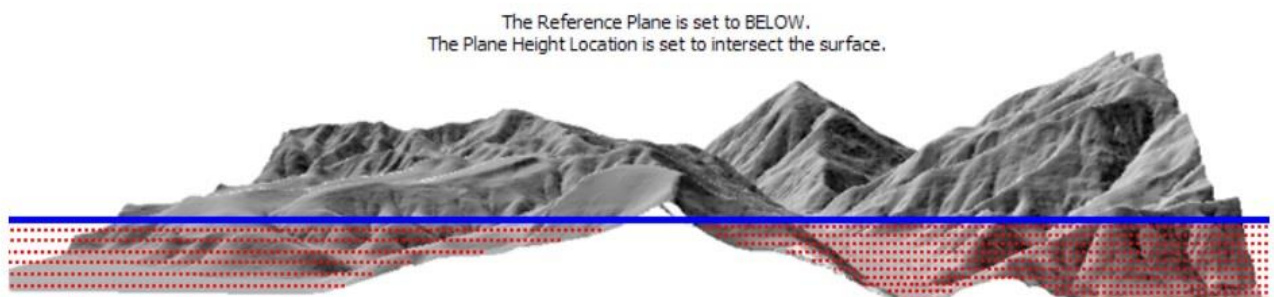


Figura 8-3 - Exemplo de área e volume calculados abaixo do plano de referência

Portanto, como pode-se visualizar na Figura 8-4, para o cálculo do volume do reservatório foi usado o MDE gerado pela ferramenta *Topo to Raster* a partir da cota de interesse e com plano de referência definido como “abaixo”.

Para que o volume e a área de diferentes cotas sejam calculados em um único processamento foi usado o *Model Builder*, uma ferramenta que permite criar um fluxograma de atividades a serem realizadas com parâmetros pré-determinados. A Figura 8-4 exemplifica o fluxograma criado através do *Model Builder* com a possibilidade do cálculo de área e volume para diferentes cotas em um único processamento.

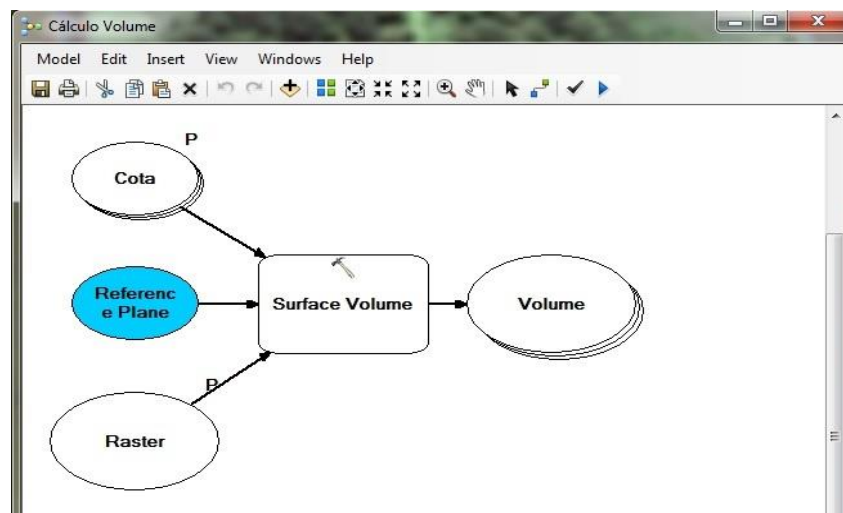


Figura 8-4 - Representação esquemática da ferramenta *Surface Volume* no *Model Builder*

Dessa forma foram obtidos os dados necessários para a elaboração das curvas Cota x Área x Volume do reservatório da UHE Foz do Areia.

8.2.2 Correlação das Cotas – Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) x Cota de Operação (Régua da UHE Foz do Areia)

Para efeito de registro deve-se destacar que durante os trabalhos de implantação da Rede de Vértices Geodésicos e nivelamento da régua de operação localizada na barragem notou-se que há uma diferença de 0,12m entre as elevações no Sistema Geodésico Brasileiro e a referência de nível local usada nos desenhos da usina e referência da operação da UHE Foz do Areia.

Dessa forma, os documentos baseados na referência de nível local apresentam o nível máximo normal do reservatório na elevação 742,00 m, enquanto na referência do Sistema Geodésico Brasileiro esse nível corresponde à elevação 742,12m.

No presente trabalho, todas as amarrações topográficas estão referenciadas ao SGB, incluindo a RVG e as seções de controle.

8.2.3 Curvas Cota x Área x Volume

As curvas cota x área x volume, elaboradas a partir desses novos levantamentos, foram referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro. Os valores das curvas são apresentados de maneira resumida no Quadro 8-1 e representados graficamente na Figura 8 -7. A tabela completa com valores de 1 e 1 cm no volume útil e de 50 em 50 cm no volume morto encontra-se no anexo digital.

Quadro 8-1 – Curvas Cota x Área x Volume

Altitude da Régua de Operação (m)	Altitude - SGB (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
742,00	742,12	126,440	5.447,324
741,00	741,12	124,462	5.321,891
740,00	740,12	122,507	5.198,410
735,00	735,12	110,216	4.616,408
730,00	730,12	99,208	4.093,868
725,00	725,12	89,964	3.621,462
720,00	720,12	81,239	3.193,601
715,00	715,12	74,653	2.805,348
710,00	710,12	67,705	2.448,703
705,00	705,12	60,908	2.127,613
700,00	700,12	54,967	1.838,059
695,00	695,12	49,145	1.577,735
690,00	690,12	43,555	1.346,163
685,00	685,12	38,008	1.142,009
680,00	680,12	33,280	964,445
675,00	675,12	29,165	807,937
670,00	670,12	25,229	672,092
665,00	665,12	21,910	554,700
660,00	660,12	18,954	452,473
655,00	655,12	16,186	365,049
650,00	650,12	14,136	289,322
645,00	645,12	12,179	223,598
640,00	640,12	10,288	167,391
635,00	635,12	8,510	120,463
630,00	630,12	6,494	82,798
625,00	625,12	4,749	55,135
620,00	620,12	3,587	34,393
615,00	615,12	2,469	19,242
610,00	610,12	1,462	9,585
605,00	605,12	0,811	4,032
600,00	600,12	0,359	1,140
595,00	595,12	0,079	0,170
590,00	590,12	0,004	0,004

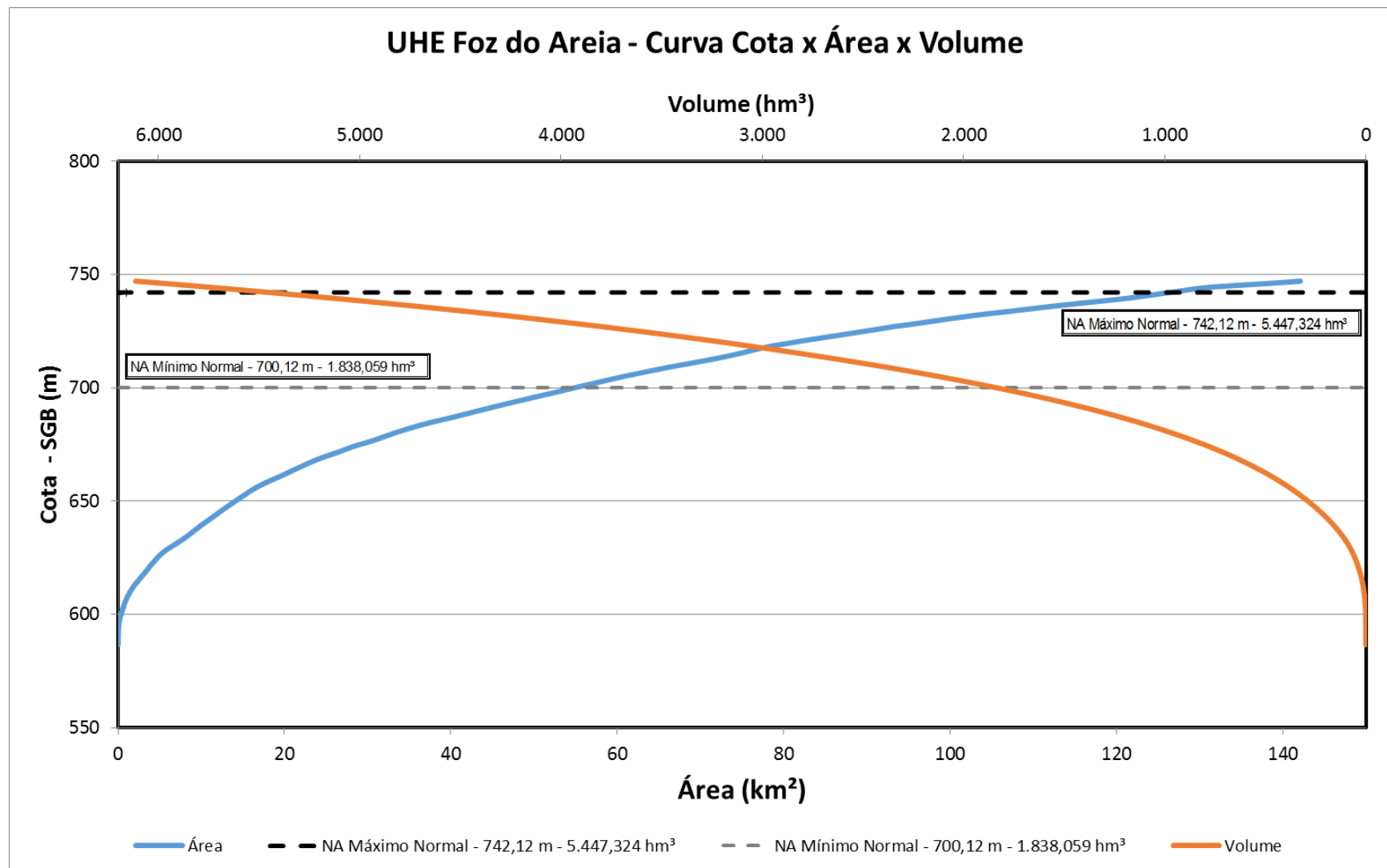


Figura 8-5 – Curvas Cota x Área x Volume da UHE Foz do Areia

8.2.4 Avaliação de Incertezas das Curvas Cota x Área x Volume

Devido ao fator de segurança para a navegabilidade da embarcação, durante a coleta de dados da batimetria não foi possível realizar o mapeamento da área molhada nas regiões muito próximas a margem ou próximos a pedrais e regiões de corredeira, principalmente no quartil superior do reservatório, onde na região mais a montante foi necessária a utilização de embarcação de menor porte com equipamento monofeixe para complementar o levantamento.

Assim, foi realizado o levantamento integral de 123,44 km² do reservatório, de um total de 126,44 km², correspondente a cota máxima normal igual a 742,12 m (SGB), ou seja, 3,0 km² ou 2,4% do reservatório não puderam ser mapeados devido a essas interferências e, essas áreas tiveram que ser interpoladas para a geração do MDT.

Essa interpolação foi realizada em parcela reduzida, de 2,4% do reservatório. Os resultados utilizando a metodologia com ecobatímetros multifeixes apresentam uma incerteza menor que quando se utiliza a metodologia com monofeixes de levantamento de seções batimétrica, ou linhas de sondagens espaçadas a 95 m uma da outra, requisito mínimo especificado na Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 03/2010, para o reservatório da UHE Foz do Areia.

Neste item, apresenta-se uma avaliação dos limites de incerteza que essa interpolação pode trazer aos valores das curvas Cota x Área x Volume.

- Características das áreas não levantadas:

As áreas que não foram levantadas estão todas em locais com profundidades baixas da ordem de até no máximo 5 m, onde a navegação foi prejudicada pelos motivos já expostos.

- Volume contido sob essa área:

Considerando, a favor da segurança que toda essa área não levantada tenha 5m de profundidade (seria razoável considerar uma profundidade média de 2,0m), o volume contido nessa área seria de 15 hm³, ou seja, aproximadamente 0,3% do volume total do reservatório.

- Avaliação da precisão do volume:

Para avaliar o impacto da interpolação no volume do reservatório, pode-se considerar que essa interpolação tenha uma diferença em relação às profundidades reais de zero até uma variação grande da ordem de 25%. As variações que essas diferenças causariam no volume total e no volume usado na regulação da operação da usina (entre as elevações 700,12 m e 742,12 m) são apresentadas no Quadro 8 - 2.

Quadro 8-2 - - Incertezas da Curva Cota x Área x Volume

Diferenças na área interpolada	Varição de volume (hm³)	Porcentagem do Volume Total	Porcentagem do Volume de regulação da operação
0%	0	0,00%	0,00%
5%	0,75	0,01%	0,02%
10%	1,5	0,03%	0,04%
15%	2,25	0,04%	0,06%
20%	3	0,06%	0,08%
25%	3,75	0,07%	0,10%

Esses valores mostram que mesmo para situação em que a interpolação das profundidades represente uma diferença de 25% em relação às profundidades reais, isso representaria apenas 0,07% do volume total ou 0,10% do volume na faixa de operação da usina.

8.2.5 Comparação com a Curva Antiga

Para comparar a nova curva Cota x Área x Volume com a curva antiga, foi elaborado o Quadro 8-3. Os volumes indicados nesse quadro (curva antiga) foram obtidos a partir da tabela Cota x Volume fornecida pela Contratante utilizado na operação da usina.

Quadro 8-3 – Comparação da Curva Cota x Área x Volume

Cotas Operacionais	Cota SGB (m)	Cota referência local (m)	Volume (hm³)		Diferença (%) (b - a)
			Curva antiga (a)	Curva nova (b)	
Mínimo Normal	700,00	700,12	1974,31	1838,06	-6,9%
Máximo Normal	742,00	742,12	5779,00	5447,32	-5,7%

Essa comparação mostra que o volume do reservatório da UHE Foz do Areia no seu nível máximo normal, medido atualmente, é menor do aquele indicado pela curva existente, sendo essa diferença da ordem de 5%. Essa diferença pode ser justificada em função das diferenças metodológicas entre o levantamento atual, realizado com tecnologia multifeixe aliado a aerofotogrametria e o levantamento realizado na época do projeto.

8.3 Cartas Topobatimétricas

Após a elaboração do MDT final, foram geradas as curvas de nível e as cartas topobatimétricas em escala 1:10.000 e curvas de nível com equidistância de 5 metros, que foram articuladas em folhas de tamanho A0. Esses desenhos elaborados estão apresentados no volume em meio digital, disponibilizado junto com o relatório final desse trabalho.

8.4 Seções de Monitoramento de Deposição de Sedimentos

As seções de controle de sedimentos servem para monitorar a morfometria do canal do rio, ou reservatório, na região onde estas foram implantadas, e permitirão verificar efeitos de assoreamento ou erosão que eventualmente podem comprometer, em qualquer escala, o funcionamento normal da usina.

No caso da UHE Foz do Areia, o monitoramento do aporte e sedimentação de sólidos no reservatório será feito por meio de medição sistemática de profundidades do leito do rio Iguaçu e seu contribuinte em 9 seções topobatimétricas, sendo 3 conjuntos de 3 seções, levantadas perpendicularmente ao fluxo.

Ao se estabelecer uma periodicidade adequada de repetição desse levantamento, em uma mesma localização, após cada campanha será possível determinar a alteração de área (em relação às medições anteriores) de cada uma dessas seções topobatimétricas, e, conseqüentemente, calcular o volume de sedimentos depositados ou retrabalhados no período. A acumulação e tratamento dos dados gerados pelas sucessivas campanhas permitirá uma análise da dinâmica dos sedimentos que transitam neste trecho do reservatório.

Os conjuntos de seções de controle de sedimentos implantados respeitam o limite mínimo de espaçamento entre elas de cinco vezes a largura do rio em condições naturais, e foram posicionadas onde se espera uma probabilidade maior de deposição de sedimentos no fundo, conforme descrito no *Item 7.5*.

Após a finalização dos levantamentos batimétricos e topográficos da área em que se encontravam localizadas as seções, foram gerados os perfis com o alinhamento criado pelo azimute entre os marcos implantados e medidos.

A Figura 8-6 apresenta a localização das seções de monitoramento e as coordenadas dos marcos de cada seção e o Quadro 8-4 apresenta os quantitativos

Trabalhe por um Brasil melhor. O país precisa e todos ganham.

de cada seção e os perfis elaborados estão apresentados no volume em meio digital, disponibilizado junto a este relatório.

Quadro 8-4 – Seções de Monitoramento - Quantitativos

Nome	Comprimento SMD – SME (m) ¹	Área (m ²) ²	Menor Cota – SGB (m)
Conjunto 01 – Seção 01	757,65	43.083,95	636,07
Conjunto 01 – Seção 02	759,79	41.157,25	634,69
Conjunto 01 – Seção 03	806,09	41.683,61	637,29
Conjunto 02 – Seção 04	666,65	32.440,34	665,01
Conjunto 02 – Seção 05	710,26	30.208,62	660,50
Conjunto 02 – Seção 06	908,92	41.866,68	646,25
Conjunto 03 – Seção 07	683,23	16.087,21	704,83
Conjunto 03 – Seção 08	444,25	11.440,01	705,14
Conjunto 03 – Seção 09	742,353	15.911,61	700,14
<p>1 – Distância horizontal entre os marcos das margens direita e esquerda que materializam a seção. 2 – Área abaixo do nível máximo normal do empreendimento.</p>			



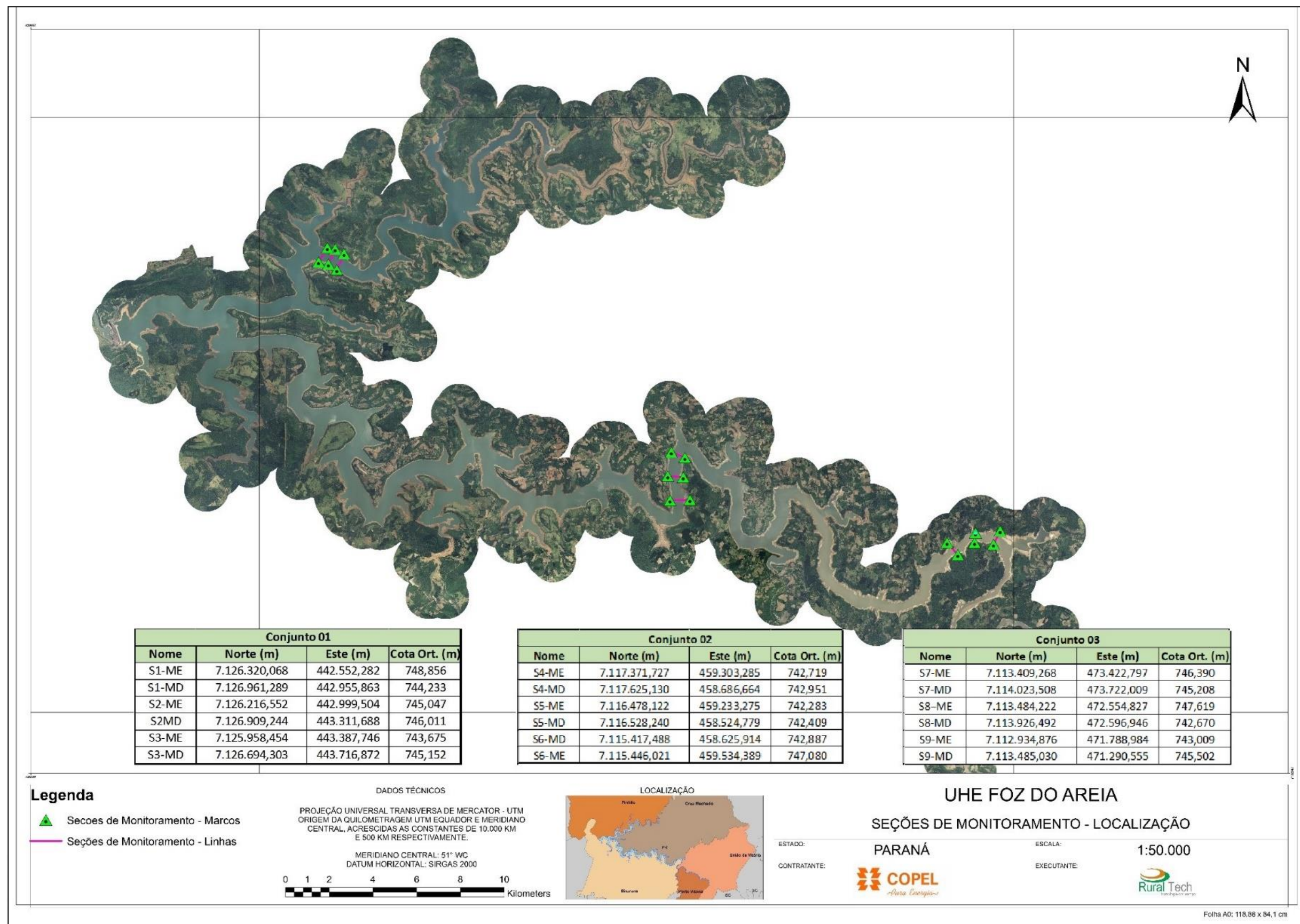


Figura 8-6 – Seções de Monitoramento - Localização

9. CONCLUSÃO

Os trabalhos realizados permitiram atender plenamente a Resolução Conjunta 03/2010 – ANA/ANEEL, obtendo uma nova curva Cota x Área x Volume, garantindo a atualização de importantes informações para o gerenciamento da operação e otimização do uso dos recursos hídricos e energéticos, seja pela Copel Geração e Transmissão SA, ANA, ANEEL, ONS, ou outras entidades.

Os levantamentos de campo executados, notadamente o levantamento batimétrico através da tecnologia multifeixe, excederam os requisitos mínimos da resolução conjunta, uma vez que, ao invés da metodologia de levantamento de seções topobatimétricas espaçadas, foi realizado um levantamento contínuo do fundo do reservatório com tecnologia multifeixe, sem a necessidade de realizar interpolações entre as linhas de sondagem. O emprego desta tecnologia permitiu minimizar consideravelmente o grau de incerteza em levantamentos de extensas áreas de reservatório.

A implantação da rede de vértices geodésicos (RVG), além de servir de apoio aos levantamentos executados, está materializada e servirá de apoio e referência para outros trabalhos que se execute futuramente na região do reservatório.

Da mesma forma, o avaliação e validação do MapGeo 2015, além de servir aos presentes levantamentos, constituirá uma referência para todos os trabalhos geodésicos na região do reservatório, tanto das entidades ligadas ao uso dos recursos hídricos e energéticos, como de outros setores da sociedade brasileira.

Por fim a determinação de uma nova curva Cota x Área x Volume com uma discretização de 1 em 1 centímetro para o volume útil e de 50 em 50 centímetros para o restante do reservatório, muito superior a curva vigente, permite à operação um controle detalhado e em tempo real do reservatório otimizando a utilização dos recursos hidroelétricos.