

UHE Funil

Relatório Técnico

Atualização das Curvas Cota x Área x Volume



Contratante: Furnas Centrais Elétricas 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 FUNIL
FL-CAV-RT-R03

ELABORAÇÃO:

Eng. Lucas Amorim de Sá

Geofísico Kayque Bergamaschi

ABRIL- 2021

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	4
2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONTRATADA	4
3. OBJETIVO	5
4. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	6
5. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	6
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	7
6. CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO O POTENCIAL DE ASSOREAMENTO	7
6.1 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO POTENCIAL ASSOREAMENTO	7
6.2 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA (Pss)	8
6.3 POSIÇÃO DO RESERVATÓRIO NA CASCATA (PRC)	8
6.4 REGIME DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO (ROR)	10
6.5 MAGNITUDE E IMPORTÂNCIA DOS EFEITOS DO ASSOREAMENTO (MI)	10
6.6 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE CRITICIDADE (NC)	11
7. LEVANTAMENTOS REALIZADOS	11
7.1 IMPLANTAÇÃO DA REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS - RVG	12
7.2 MODELO GEODAL LOCAL	15
7.3 MAPEAMENTO DA ÁREA MOLHADA	15
7.4 MAPEAMENTO DA ÁREA SECA	16
7.4.1 <i>CONTROLE DE QUALIDADE DA BASE CARTOGRÁFICA</i>	16
7.5 VETORIZAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE	17
7.6 IMPLANTAÇÃO DAS SEÇÕES DE CONTROLE	18
8. PRODUTOS E RESULTADOS	19
8.1 MODELO DIGITAL DO TERRENO – MDT	19
8.1.1 <i>MODELO DIGITAL DO TERRENO</i>	19
8.2 CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME	22
8.2.1 <i>METODOLOGIA</i>	22
8.2.2 <i>CORRELAÇÃO DAS COTAS – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO (SGB) X COTA DE OPERAÇÃO</i>	23
8.2.3 <i>CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME</i>	23
8.2.4 <i>AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME</i>	26
8.2.5 <i>COMPARAÇÃO COM A CURVA ANTIGA</i>	27
8.3 CARTAS TOPOBATIMÉTRICAS	28
8.4 SEÇÕES DE MONITORAMENTO DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS	28

9. CONCLUSÃO..... 29

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 topografia, geodésia, cartografia e batimetria executadas para a atualização das curvas Cota x Área x Volume do reservatório da UHE Funil, localizado no município de Itatiaia, no Estado do Rio de Janeiro. Os serviços de levantamentos geodésicos e batimétricos foram executados pela empresa Rural Tech, no mês de maio 2018, conforme contrato com a Furnas Centrais Elétricas S.A., nº 8000010239.

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.

Dessa forma, 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 pela UHE Funil.

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 Topografia, Batimetria e Geomensura, 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 Funil, em atendimento à resolução conjunta ANA/ANEEL N °3 de 2010.

Para isso a contratada executou as seguintes atividades:

- Implantação da Rede de Vértices Geodésicos (RVG) no entorno do reservatório, por rastreamento GNSS L1/L2;
- 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.
- Implantação de Seções de Controle para o monitoramento do assoreamento.
- Integração de Dados e Construção do Modelo Digital do Terreno.
- Definição das Curvas Cota x Área x Volume.
- Elaboração de Relatório Final para ser entregue a ANA.

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 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 todos os serviços realizados para a implantação da Rede de Vértices Geodésicos – RVG e utilização 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 todos os procedimentos para o mapeamento da área molhada do reservatório por meio da tecnologia multifeixe e monofeixe, bem como os produtos resultantes do levantamento batimétrico.

5. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O Quadro 5-1 a seguir apresenta as características da Usina Hidrelétrica Funil.

Quadro 5-1 - Características do Empreendimento

Localização	Rio Paraíba do Sul
Bacia Hidrográfica	Rio Paraíba do Sul
Sub-Bacia Hidrográfica	Paraíba do Sul
Município margem direita	Itatiaia – RJ
Município margem esquerda	Resende - RJ
Tipo	Regularização de Vazão
Coordenadas geográficas da usina	22° 31' 49" S- 44° 34' 01" W
Potência Instalada (MW)	216
Entrada em operação	21/03/1970
Área de drenagem total até a barragem (km ²)	13.457
Área incremental do aproveitamento (km ²)	7.235
² NA Máximo Normal (m)	466,50

² NA Mínimo Operacional (m)	444,00
¹ Volume N.A Máximo Normal (x10 ⁶ m ³)	888,30
Volume N.A. Mínimo Operacional (x10 ⁶ m ³)	282,60
Área inundada no N.A. Máximo Normal (km ²)	39,73
Nota 1: Volumes antes da presente atualização da curva cota x área x volume.	
Nota 2: Cotas referenciadas a cota de operação da usina.	

5.1 Caracterização da Bacia

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul tem uma área de drenagem total de cerca de 55.500 km² e está distribuída pelos estados de São Paulo (13.900 km²), Rio de Janeiro (20.000 km²) e Minas Gerais (20.700 km²). A partir da nascente do Paraitinga, o rio Paraíba do Sul possui mais de 1.100 km de comprimento.

Os principais afluentes do rio Paraíba do Sul pela margem esquerda são os rios Jaguari, Paraibuna, Pomba e Muriaé. Pela margem direita, os principais afluentes são Piraí, Piabanha e Dois Rios.

Entre as décadas de 1930 a 1960 foram construídas as barragens de Paraibuna/Paraitinga, Santa Branca, Santa Cecília e Ilha dos Pombos e Funil, que são as principais barragens ao longo do rio.

<http://gripbsul.ana.gov.br/ABacia.html>

6. CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO O POTENCIAL DE ASSOREAMENTO

Os dados apresentados neste item 6 foram obtidos no documento “*Plano De Trabalho Para Atualização Da Curva Cota-Área-Volume da UHE Funil*”, plano de trabalho da UHE Funil entregue a ANA pela Furnas Centrais Elétricas S.A. em Fevereiro de 2014.

6.1 Classificação Quanto ao Potencial Assoreamento

O reservatório da UHE Funil foi classificado com Nível de Criticidade Médio (classe 2), 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)	Média – 2
Regime de Operação do reservatório (Ror)	Média – 2
Magnitude e Importância dos efeitos do assoreamento (MI)	Média – 2
Nível de Criticidade	Classe 2 (Médio – 0,67)

6.2 Potencial de Produção de Sedimentos da Bacia Hidrográfica (Pss)

A descarga sólida média anual afluyente ao reservatório da UHE Funil foi estimada a partir do “Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros” (Eletrobrás/IPH, Agosto de 1992), conforme indicação das “Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume”, publicado pela ANA/ANEEL, em dezembro de 2013.

Portanto, a descarga sólida média anual afluyente ao reservatório da UHE Funil está na faixa de 10 e 50 t/km²/ano.

De acordo com as Orientações Para Atualização da Curvas Cota X Área X Volume da Agência Nacional de Aguas o potencial de produção de sedimentos, Pss, é classificado como:

- Pss < 25 ton/km²/ano → Baixo potencial (1)
- Pss entre 25 e 100 ton/km²/ano → Médio potencial (2)
- Pss > 100 ton/km²/ano → Alto potencial (3)

Desta forma, a UHE Funil está classificada, quanto ao potencial de produção de sedimentos da bacia hidrográfica, como **Médio Potencial (2)**.

$$PSS = 2$$

6.3 Posição do Reservatório na Cascata (Prc)

A proposta de classificação da ANA quanto à suscetibilidade associada à disposição relativa na cascata foi a seguinte:

- Reservatórios de Jusante com Pequena Bacia Incremental → **Baixa Suscetibilidade ao Assoreamento (1)**

- Reservatórios de Jusante com Grande Bacia Incremental → **Média Suscetibilidade ao Assoreamento (2)**
- Reservatórios de Cabeceira → **Alta Suscetibilidade ao Assoreamento (3)**

No caso especial de um reservatório de jusante apresentar um potencial especialmente elevado de produção de sedimentos (PSS de nível 3), o mesmo deverá ser classificado como de alta suscetibilidade.

O reservatório da UHE Funil não é o primeiro da cascata do rio Paraíba do Sul, porém ele possui uma grande incremental, em relação aos aproveitamentos situados na montante. Portanto, é classificado como de **Media Suscetibilidade (2)** em relação à posição do reservatório na cascata.

Prc = 2

6.4 Regime de Operação do Reservatório (Ror)

A classificação para a suscetibilidade ao assoreamento, em função do regime de operação do reservatório, baseia-se em um índice de regularização (IR, valor expresso em dias) dado pela seguinte expressão:

$$IR = \frac{\text{Volumeútil}}{\text{VazãoTurbinadaMédia}}$$

Ao qual aplica-se o seguinte critério:

- IR < 30 dias → **Baixa Suscetibilidade (1).**
- IR entre 30 e 150 dias → **Média Suscetibilidade (2).**
- IR > 150 dias → **Alta Suscetibilidade (3).**

O valor da vazão turbinada média foi obtido pela relação entre energia garantida e produtividade média disponíveis no quadro 1.

O Quadro 6-2 apresenta a classificação da UHE Funil quanto ao regime de operação do reservatório.

Quadro 6-2 – Classificação quanto ao regime de operação do reservatório

Volume Útil (hm ³) =	605,7
Vazão Turbinada Média (m ³ /s) =	208,66
IR (dias) =	34
Média suscetibilidade	2

6.5 Magnitude e importância dos efeitos do assoreamento (MI)

A classificação para a magnitude e importância dos efeitos do assoreamento indicados pela ANA são os seguintes:

- Reservatórios, nos quais pelo menos um dos parâmetros anteriores seja considerado como de Alta Suscetibilidade ou Potencial, constituem total ou parcialmente hidrovias ou ainda possuam pelo menos três municípios com mais de 50 mil habitantes de forma ribeirinha → **Alta Externalidade (3).**
- Reservatórios, nos quais nenhum dos parâmetros anteriores seja considerado como de Alta Suscetibilidade ou Potencial, e pelo menos um dos parâmetros anteriores seja considerado como de Média Suscetibilidade ou

Potencial, ou ainda possuam pelo menos dois municípios com mais de 50 mil habitantes de forma ribeirinha → **Média Externaldade (2)**.

- Demais Reservatórios → **Baixa Externaldade (1)**.

Considerando que não há municípios ribeirinhos ao reservatório da UHE Funil e considerando que os demais parâmetros analisados anteriormente enquadraram-se como Média Suscetibilidade, o reservatório em análise é classificado como de **Média Externaldade (2)**.

$$MI = 2$$

6.6 Determinação do Nível de Criticidade (NC)

O nível de criticidade é calculado com base nas classificações anteriores e tem o seu enquadramento definido nas seguintes faixas:

- **Classe 1 - Nível de Criticidade Alto ($NC \geq 0,75$)**: reservatório onde há risco de assoreamento e onde este processo pode trazer efeitos negativos à geração de energia ou a outros usos da água.
- **Classe 2 - Nível de Criticidade Médio ($0,50 \leq NC < 0,75$)**: reservatório onde o risco de assoreamento é menor ou onde os efeitos esperados do mesmo não são tão importantes.
- **Classe 3 - Nível de Criticidade Baixo ($NC < 0,50$)**: reservatórios situados em bacias hidrográficas com pouca produção de sedimento, onde o risco de assoreamento é muito baixo.

Para a UHE Funil temos

$$NC = \frac{PSS + PRC + 4.ROR + MI}{21}$$

NC = 0,67 o que classifica o reservatório como **Classe 2 – Nível de criticidade**

Médio ($0,50 \leq NC < 0,75$).

7. LEVANTAMENTOS REALIZADOS

No presente item são descritos os levantamentos realizados, que atendem a todos os requisitos da Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, conforme o

enquadramento do reservatório realizado 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 Funil, composta por um total de 10 vértices principais distribuídos uniformemente ao longo do reservatório. Seus vértices tiveram suas coordenadas planialtimétricas determinadas por posicionamento GNSS com receptores de dupla frequência, e suas cotas ortométricas determinadas por meio da aplicação do Modelo Geoidal Local fornecido pela contratante.

A RVG implantada serviu de base para o georreferenciamento das seções batimétricas e adensamento de pontos para o apoio ao levantamento batimétrico.

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

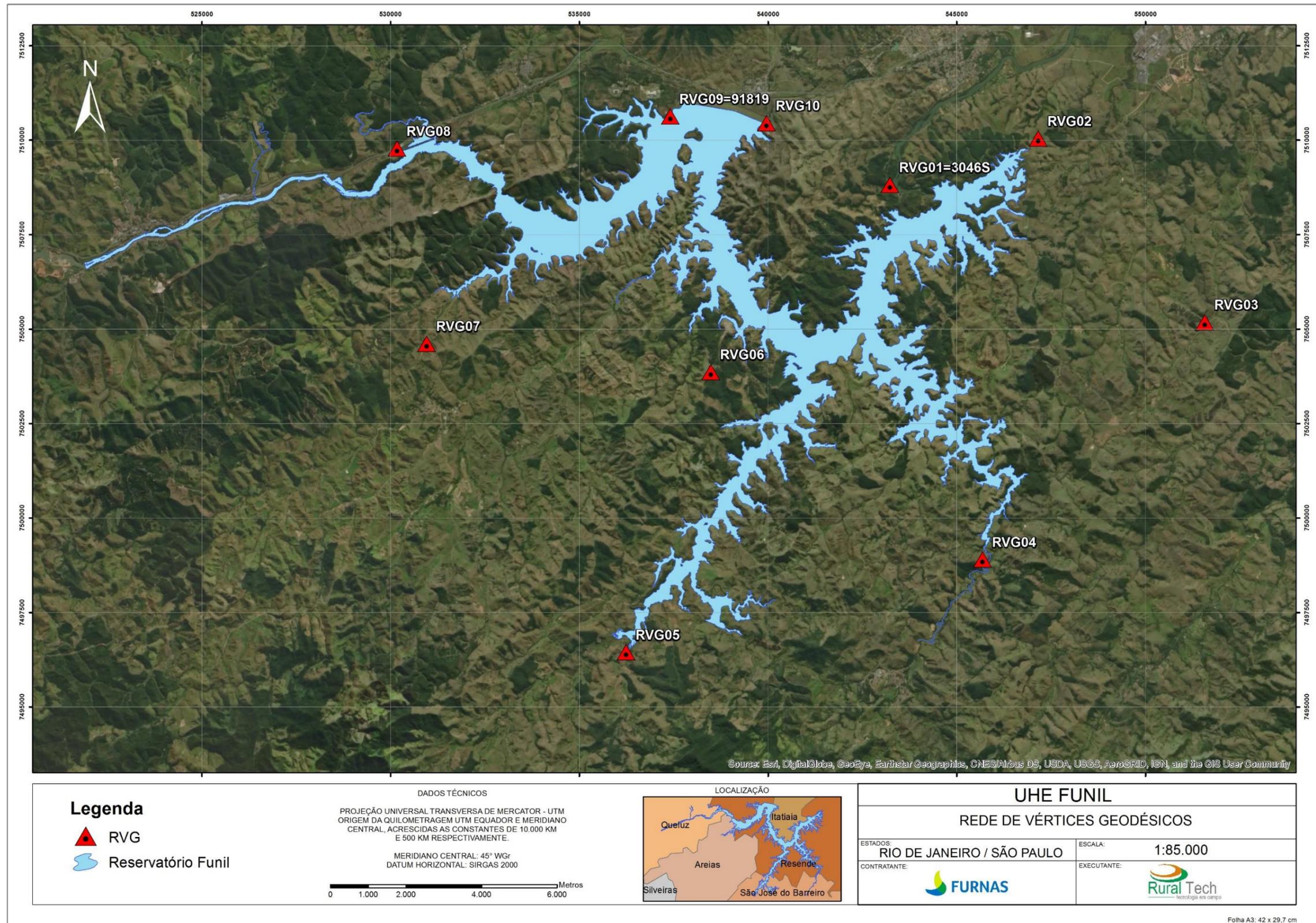


Figura 7-1 – Implantação da Rede de Vértices Geodésicos

Quadro 7-1 – Rede de Vértices Geodésicos

Nome	Latitude	Longitude	Norte (m)	Este (m)	Cota Elipsoidal (m)	Cota Ortométrica (m)
RVG01=3046S	22°31'36,12421"S	44°34'46,76720"W	7 508 811.976	543 226.334	405.782	409.144
RVG02	22°30'55,73707"S	44°32'29,29613"W	7 510 042.292	547 157.135	486.314	489.772
RVG03	22°33'33,40043"S	44°29'54,13932"W	7 505 180.082	551 573.447	526.536	530.054
RVG04	22°36'58,25156"S	44°33'19,72450"W	7 498 899.716	545 683.294	517.805	521.130
RVG05	22°38'18,95194"S	44°38'50,22915"W	7 496 443.512	536 242.358	465.752	468.857
RVG06	22°34'17,57928"S	44°37'32,36147"W	7 503 860.019	538 483.552	548.995	552.226
RVG07	22°33'53,70908"S	44°41'55,84311"W	7 504 611.018	530 960.920	508.812	511.944
RVG08	22°31'05,89558"S	44°42'23,80335"W	7 509 772.611	530 172.567	468.955	472.049
RVG09=91819	22°30'37,58252"S	44°38'10,50750"W	7 510 627.303	537 410.696	464.083	467.304
RVG10	22°30'43,24899"S	44°36'41,31673"W	7 510 446.663	539 958.348	467.735	471.033

7.2 Modelo Geoidal Local

Para o presente trabalho, foi utilizado Modelo Geoidal Local fornecido pela contratante. Em todos os vértices da RVG e demais pontos auxiliares que foram obtidos por meio de rastreamento GNSS, foi empregado o supracitado Modelo Geoidal para a obtenção das cotas Ortométricas.

7.3 Mapeamento da Área Molhada

O levantamento cartográfico da área molhada do reservatório da UHE Funil foi realizado empregando ecobatímetros multifeixe e monofeixe. Neste levantamento realizou-se o mapeamento de cerca de 93,5% da área molhada. Para um melhor aproveitamento e melhor produtividade dos levantamentos, foram designados equipamentos específicos para cada tipo de área a ser levantada. Para áreas mais profundas (canal principal e áreas adjacentes), foi designado o equipamento multifeixe – Teledyne SeaBat 7125. Esses levantamentos batimétricos realizados no reservatório da UHE Funil totalizaram aproximadamente 28,71 km².

A redução das profundidades mensuradas às cotas ortométricas ocorreu por meio da correlação dos dados de nível da estação fluviométrica presente no barramento, fornecidos pela contratante. O levantamento batimétrico do reservatório da UHE Funil foi realizado entre os dias 15 e 27 de maio. Durante os levantamentos batimétricos deste reservatório foram encontrados os mais diversos cenários, principalmente relacionados à presença de áreas extremamente rasas que dificultavam a navegação da embarcação, além de alguns afloramentos rochosos na porção montante dos principais contribuintes e vegetações flutuantes que atrapalhavam o andamento dos levantamentos e aquisição adequada dos dados.

Os softwares utilizados no processamento dos dados foram os mesmos empregados na aquisição. Para o conjunto SeaBat 7125 foi utilizado o software PDS2000, versão 4.2, produzido pela Teledyne. Para o conjunto monofeixe, foi utilizado o software Hypack, versão 2016, produzido pela Hypack Inc.

O produto final do levantamento batimétrico é um grid de pontos processados e reduzidos, e é representado na Figura 7-2 em forma de imagem, em que as cores das células representam as cotas ortométricas, de acordo com a escala na legenda. Os pontos em formato ASCII são utilizados na elaboração do Modelo Digital de

Elevação final juntamente com os dados da vetorização da linha d'água, e integrados por meio de interpolação que será explicada melhor no relatório de elaboração das Curvas Cota x Área x Volume.

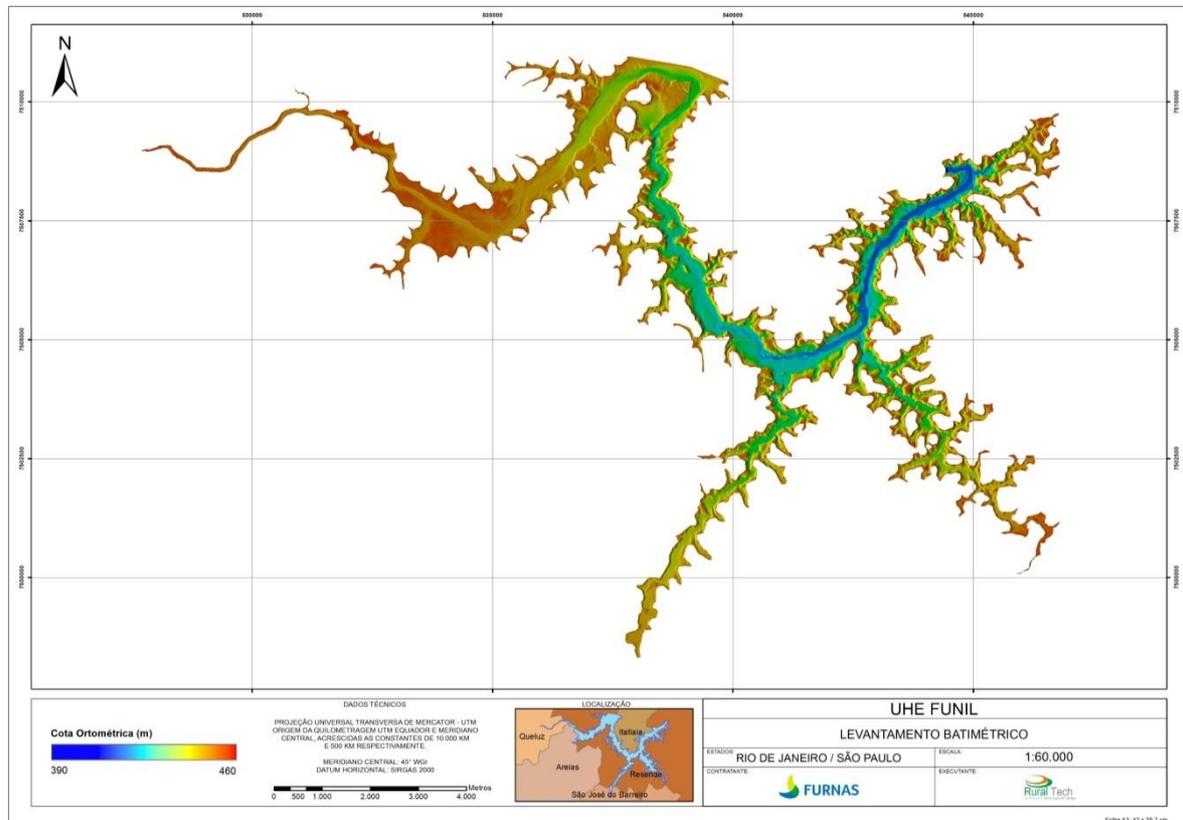


Figura 7-2 - Grid final da batimetria do reservatório da UHE Funil.

7.4 Mapeamento da Área Seca

O mapeamento da área seca deve ser 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 Funil, optou-se pela utilização de uma Base Cartográfica fornecida pela contratante, proveniente de um levantamento aerofotogramétricos executado em 2007 em escala 1:10.000, com equidistância de 5 (cinco) metros.

7.4.1 Controle de Qualidade da Base Cartográfica

O controle de qualidade (CQ) da altimetria da base cartográfica fornecida foi realizada de acordo com a seguinte metodologia:

- Foram coletados 20 (vinte) pontos utilizando posicionamento GNSS de acordo com metodologia descrita no volume Anexo 01 deste documento;
- Estes pontos foram escolhidos de maneira a manter boa distribuição espacial na área de abrangência das curvas de nível fornecidas;
- Para o levantamento dos vértices para o controle de qualidade foram utilizados como referência o marco da RVG mais próximo;
- A partir das coordenadas obtidas foram extraídas da base cartográfica existente as cotas ortométricas a serem testadas;
- A partir das coordenadas obtidas por posicionamento GNSS (Coordenadas de Referência) e das extraídas da cartografia (Coordenadas de Teste) foi feito o enquadramento do PEC-PCD utilizando o software GEOPEC 3.5¹.

Sendo assim, a Base Cartográfica da UHE Funil foi considerada acurada para a equidistância vertical de 5 metros (Escala 1:10.000) e enquadrada no PEC-PCD Classe B. O produto também foi submetido a análise de precisão e tendência em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: É preciso e Não Tendencioso.

O relatório completo da avaliação do padrão de acurácia posicional da base cartográfica é apresentado no volume em meio digital, disponibilizado junto a este relatório.

7.5 Vetorização das Imagens de Satélite

Para a elaboração do MDE, são necessárias informações da área seca (cartografia fornecida) e da área molhada (levantamento batimétrico). Em função da diferença de nível d'água da base cartográfica e do levantamento batimétrico realizado, não houve sobreposição destas informações, e por consequência um intervalo sem dados em toda margem do reservatório. Para suprir esta lacuna, foram realizadas vetorizações de imagens de satélite em níveis d'água que compreendessem esta área.

¹ GeoPEC – Software (livre) científico para avaliação de Acurácia Posicional em dados espaciais, desenvolvido pelo Dr. Afonso de Paula dos Santos, professor do curso de Eng. De Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Viçosa-MG.

Foram fornecidas, pela contratante, duas imagens de níveis distintos que complementassem a área não levantada, que foram vetorizadas no nível da água e atribuídas às mesmas as cotas de operação da data e hora da imagem. Estas curvas vetorizadas foram utilizadas juntamente com os dados da base cartográfica e dos levantamentos batimétricos como insumos para a geração do Modelo Digital de Elevação do reservatório da UHE Funil.

7.6 Implantação das Seções de Controle

Em função do reservatório da UHE Funil estar classificado com um nível de criticidade médio foram instalados dois conjuntos com três seções de controle topobatimétrico cada, posicionadas conforme indicação da contratante.

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 utilizados estação total 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:

- Todos os marcos implantados foram amarrados aos vértices da RVG;
- 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 das contidas nas “Orientações para atualização da curva CAV” da ANA, assim como as suas monografias;
- No que concerne a planimetria, os rastreamentos foram 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.

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 molhada é uma grade regular retangular, em uma estrutura matricial que contém pontos 3D regularmente espaçados no plano XY, no caso da UHE Funil 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.

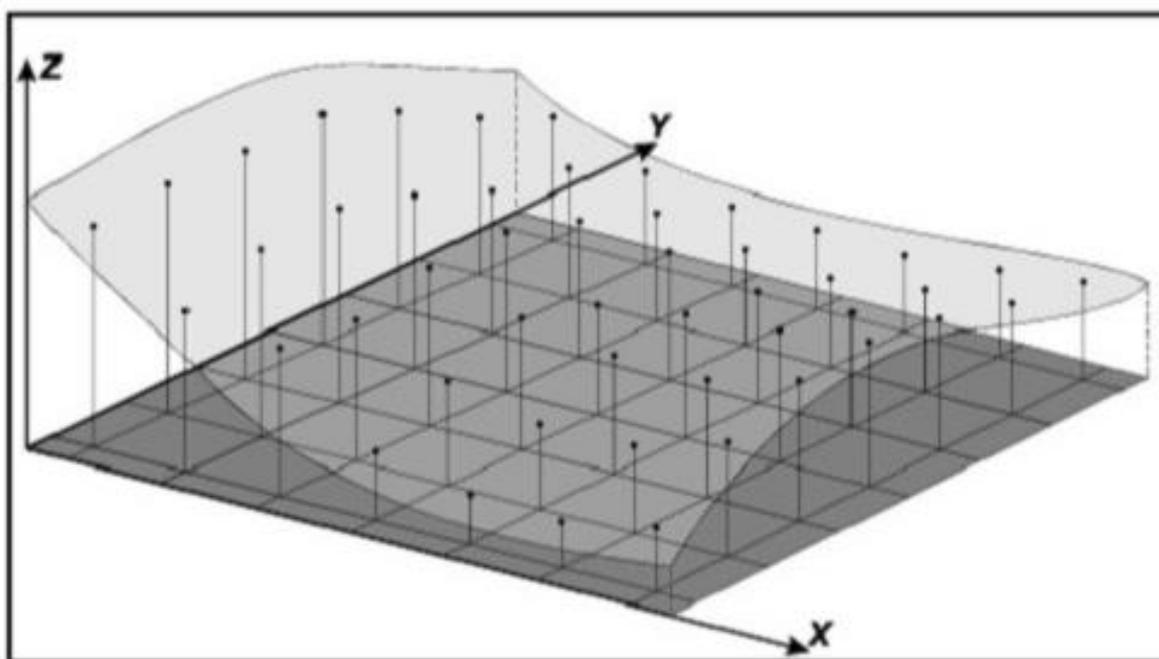


Figura 8-1 – Superfície e grade regular correspondente

A interpolação dos dados oriundos da batimetria com os dados do aerolevanteamento 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 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 diferença finita, 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 Funil a breakline foi formada pela menor curva levantada pelo aerolevanteamento e o polígono externo foi formado pela limite dos dados de aerolevanteamento fornecidos.

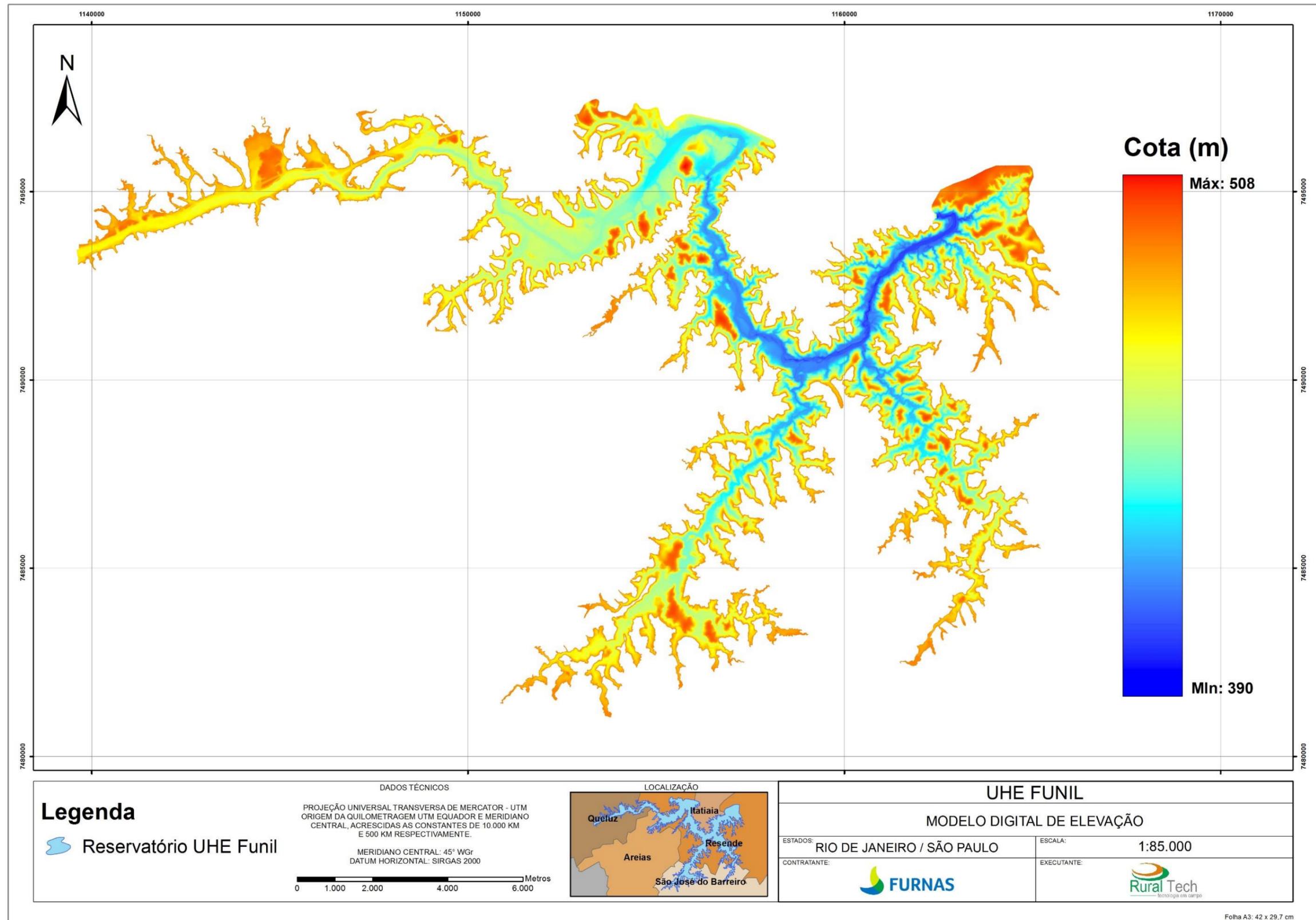


Figura 8-2 – Modelo Digital de Terreno do Reservatório da UHE Funil

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.

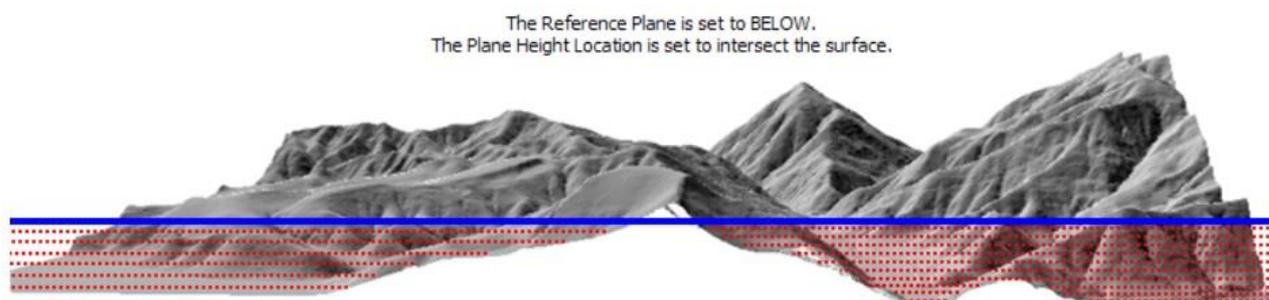


Figura 8-3 - Exemplo de área e volume calculados abaixo do plano de referência

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.

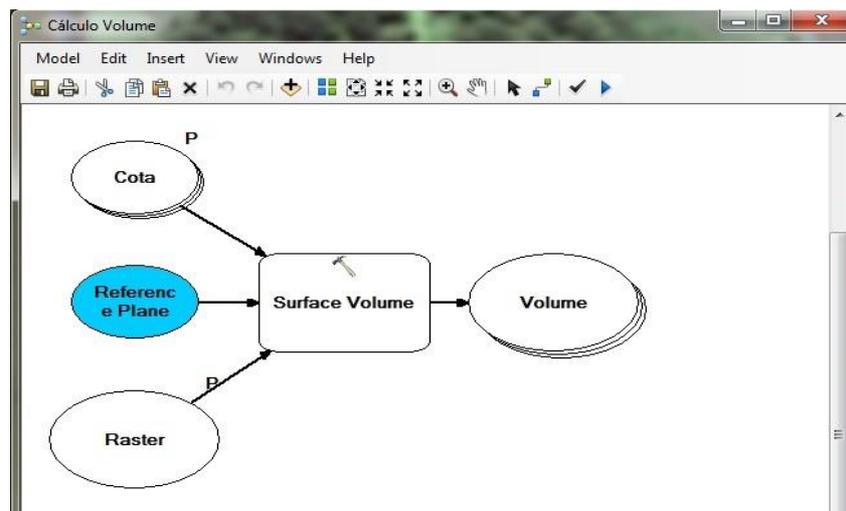


Figura 8-4 - Representação esquemática da ferramenta *Surface Volume* no *Model Builder*

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

8.2.2 **Correlação das Cotas – Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) x Cota de Operação**

Deve-se destacar que há uma diferença de 19,5 cm entre as elevações no Sistema Geodésico Brasileiro, obtidas no levantamento atual e o nível local atualmente utilizado como referência na operação da UHE Funil. Atualmente a referência de nível local, utilizado para operação, o nível máximo normal do reservatório está na elevação 466,500m, enquanto na referência do Sistema Geodésico Brasileiro, com base no atual trabalho, esse nível corresponde à elevação 466,295m

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 planilha completa com valores de 1cm em 1cm são apresentados no volume em meio digital, disponibilizado junto a este relatório

Quadro 8-1 – Curvas Cota x Área x Volume

TABELA - COTA X ÁREA X VOLUME - UHE FUNIL - RJ			
Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km²)	Volume (hm³)
466.50	466.30	37.47	822.46
466.20	466.00	37.12	811.27
465.70	465.50	36.54	792.87
465.20	465.00	35.89	774.75
464.70	464.50	35.21	756.99
464.20	464.00	34.61	739.54
463.70	463.50	34.06	722.38
463.20	463.00	33.55	705.48
462.70	462.50	33.06	688.83
462.20	462.00	32.60	672.42
461.70	461.50	32.17	656.23
461.20	461.00	31.77	640.25
460.70	460.50	31.38	624.47
460.20	460.00	31.00	608.88
459.20	459.00	30.25	578.26
458.20	458.00	29.50	548.40
457.20	457.00	28.68	519.31
456.20	456.00	27.74	491.10
455.20	455.00	26.53	463.94
454.20	454.00	25.21	438.08
453.20	453.00	23.97	413.50
452.20	452.00	22.78	390.14
451.20	451.00	21.59	367.96
450.20	450.00	20.36	346.98
449.20	449.00	19.20	327.22
448.20	448.00	18.06	308.58
447.20	447.00	16.98	291.07
446.20	446.00	16.05	274.58
445.20	445.00	15.29	258.92
444.20	444.00	14.59	244.00
444.00	443.80	14.46	241.09
440.20	440.00	12.31	190.40
435.20	435.00	10.00	134.76
430.20	430.00	7.69	90.46
425.20	425.00	5.84	56.99
420.20	420.00	4.33	31.59
415.20	415.00	2.59	14.27
410.20	410.00	1.13	5.57
405.20	405.00	0.54	1.41
400.20	400.00	0.04	0.05
395.20	395.00	0.00	0.00

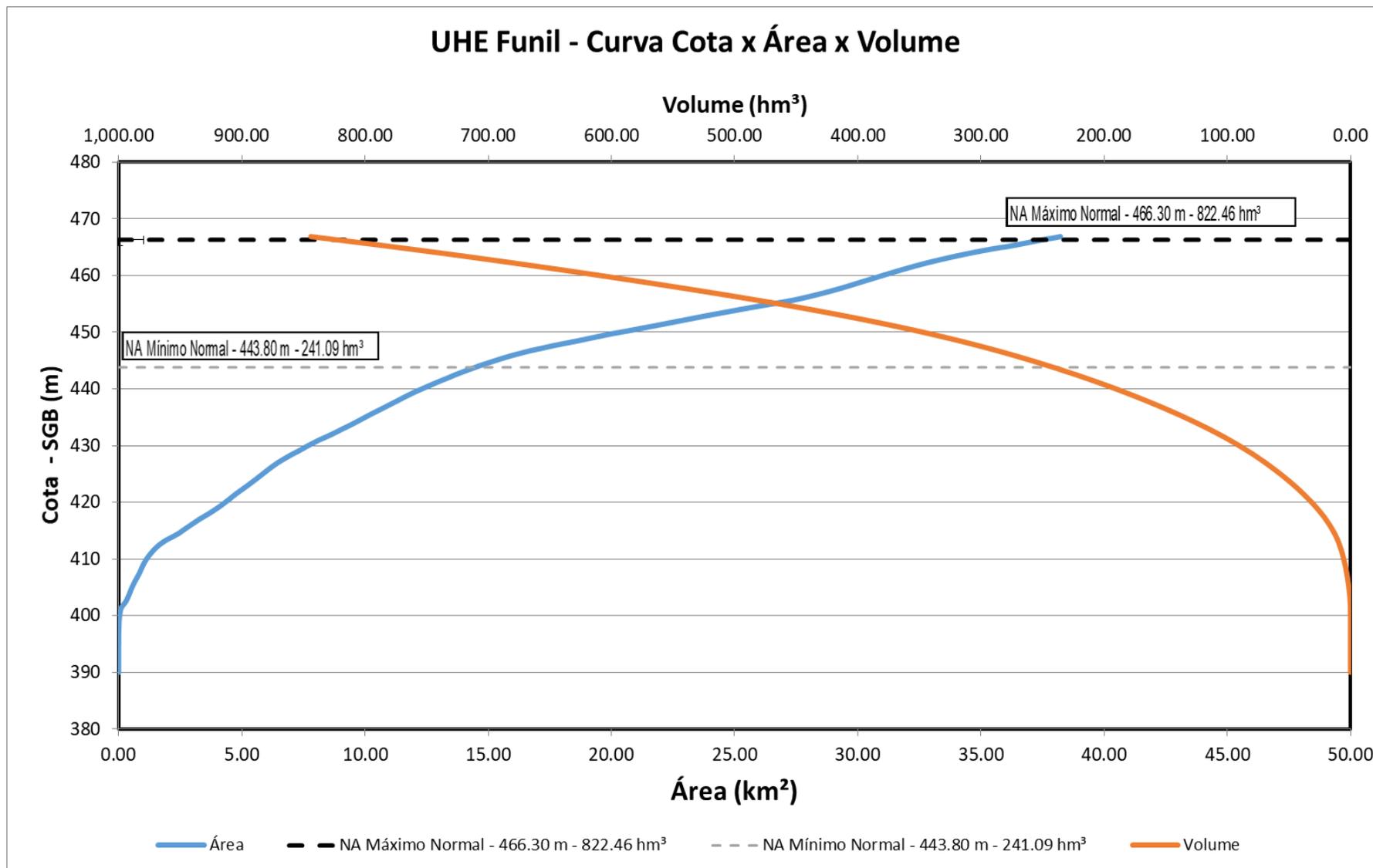


Figura 8-5 – Curvas CxAxV

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, 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 36,02 km² do reservatório, de um total de 38,02 km², correspondente a cota máxima normal igual a 466,50 m, ou seja, 2,00 km² ou 5,3% 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 5% 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 150 m uma da outra, requisito mínimo especificado na Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 03/2010, para o reservatório da UHE Funil.

O presente item faz 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 3 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 3 m de profundidade (seria razoável considerar uma profundidade média de 1,5m), o volume contido nessa área seria de 6 hm³, ou seja, aproximadamente 0,7% 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 444,00 m e 466,50 m) são apresentadas no Quadro 8 - 2.

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

Diferenças na área interpolada	Variação de volume (hm ³)	Porcentagem do Volume Total	Porcentagem do Volume de regulação da operação
0%	0	0.00%	0.00%
5%	0.3	0.04%	0.05%
10%	0.6	0.07%	0.10%
15%	0.9	0.11%	0.15%
20%	1.2	0.15%	0.21%
25%	1.5	0.18%	0.26%

Esses valores mostram que mesmo para situação em que a interpolação das profundidades represente uma diferença de 2% em relação às profundidades reais, isso representaria apenas 0,24% do volume total ou 0,17% 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 curva antiga, foi elaborado o Quadro 8-3. Os volumes indicados nesse quadro foram obtidos a partir do polinômio 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 (hm ³)		Diferença (%) (b - a)
			Curva antiga (a)	Curva nova (b)	
Mínima Normal	443.80	444.00	282.60	241.09	-14.7%
Máxima Normal	466.30	466.50	888.30	822.46	-7.4%
Máxima Maximorum	466.30	466.50	888.30	822.46	-7.4%

Essa comparação mostra que o volume do reservatório da UHE Funil no seu nível máximo normal, medido atualmente, é maior do que aquele indicado pela curva existente, sendo essa diferença da ordem de -7,4%.

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, 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 Funil, o monitoramento do aporte e sedimentação de sólidos no reservatório será feito por meio de medição sistemática de profundidades do leito do rio Paraíba do Sul e seu contribuinte em 2 conjuntos de 3 seções topobatimétricas cada, 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 perda 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.

Os perfis elaborados estão apresentados no volume em meio digital, disponibilizado junto a este relatório.

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 por Furnas, 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 estas 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.