

UHE  
Mascarenhas

# Relatório Técnico

## Atualização das Curvas Cota x Área x Volume



Contratante: EDP/ENERGEST S.A.

Contratado: RURAL TECH COMÉRCIO E SERVIÇOS EIRELI

CONTRATO DE SERVIÇOS PROFISSIONAIS  
ESPECIALIZADOS PARA ATUALIZAÇÕES DA CURVAS  
COTA X ÁREA X VOLUME EM ATENDIMENTO A  
RESOLUÇÃO CONJUNTA ANA/ANEEL Nº 03, DE 10 DE  
AGOSTO DE 2010.

**UHE MASCARENHAS**

MSC-CAV-03-RT-AC-R03

ELABORAÇÃO:

Eng. Lucas Amorim de Sá

Geofísico Kayque Bergamashci

REVISÃO:

Eng. Sergio Vieira Ballarin

JULHO - 2020

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONTRATADA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 CORPO TÉCNICO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. OBJETIVO .....</b>	<b>5</b>
<b>4. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....</b>	<b>6</b>
<b>5. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA .....</b>	<b>7</b>
<b>6. CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO O POTENCIAL DE ASSOREAMENTO.....</b>	<b>9</b>
<b>6.1 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA (Pss) .....</b>	<b>9</b>
<b>6.2 POSIÇÃO DO RESERVATÓRIO NA CASCATA (PRC) .....</b>	<b>9</b>
<b>6.3 REGIME DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO (ROR) .....</b>	<b>10</b>
<b>6.4 MAGNITUDE E IMPORTÂNCIA DOS EFEITOS DO ASSOREAMENTO (MI) .....</b>	<b>11</b>
<b>6.5 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE CRITICIDADE (NC) .....</b>	<b>11</b>
<b>7. LEVANTAMENTOS REALIZADOS .....</b>	<b>12</b>
<b>7.1 IMPLANTAÇÃO DA REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS - RVG .....</b>	<b>12</b>
<b>7.2 MODELO GEOIDAL LOCAL - MGL .....</b>	<b>15</b>
<b>7.3 MAPEAMENTO DA ÁREA MOLHADA .....</b>	<b>16</b>
<b>7.4 MAPEAMENTO DA ÁREA SECA .....</b>	<b>18</b>
<b>7.5 IMPLANTAÇÃO DAS SEÇÕES DE CONTROLE .....</b>	<b>20</b>
<b>8. PRODUTOS E RESULTADOS .....</b>	<b>21</b>
<b>8.1 MODELO DIGITAL DO TERRENO - MDT .....</b>	<b>21</b>
<b>8.2 CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME .....</b>	<b>23</b>
<b>8.2.1 METODOLOGIA .....</b>	<b>23</b>
<b>8.2.2 CORRELAÇÃO DAS COTAS ENTRE O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO (SGB) E A COTA DA RÉGUA DE OPERAÇÃO (RÉGUA MONTANTE DA UHE MASCARENHAS) .....</b>	<b>25</b>

8.2.3	CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME.....	25
8.2.4	AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME .....	35
8.3	CARTAS TOPOBATIMÉTRICAS .....	36
8.4	SEÇÕES DE MONITORAMENTO DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS .....	38
9.	CONCLUSÃO .....	41

#### **RELAÇÃO DOS DOCUMENTOS TÉCNICOS APRESENTADOS**

**Relatório Técnico - Atualização Das Curvas Cota X Área X Volume**

**ANEXO 01 - Levantamentos Geodésicos**

**ANEXO 02 - Levantamentos Batimétricos**

**ANEXO 03 - Levantamentos Aerofotogramétricos**



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

## 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 Mascarenhas, localizado no município Baixo Guandú, no Estado do Espírito Santo. Os serviços de levantamentos cartográficos, geodésicos e batimétricos foram executados pela empresa Rural Tech, nos meses de abril e maio de 2016, conforme contrato com a ENERGEST S.A., conforme contrato nº 4600018082(ENGT).

A Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, 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 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 pela UHE Mascarenhas.

## 2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONTRATADA

A Rural Tech foi fundada em novembro de 1984, em Brasília – DF, voltada para a área de projetos de irrigação e drenagem. Em 1994, a área de topografia, que sempre existiu dentro da área de projetos agrícolas, ganhou impulso com o uso de equipamentos de posicionamento global por recepção de sinais dos satélites GPS NAVSTAR.

Em 1997 a Rural Tech adquiriu aparelhos GPS de dupla frequência, com portadoras L1/L2 para realizar os serviços de Topografia e Geodésia. A Partir de 1999, iniciou sua atuação na área de batimetria, quando adquiriu o seu primeiro ecobatímetro com registro contínuo em papel térmico da marca Raytheon. Hoje a empresa conta com diversos ecobatímetros digitais monofeixe de simples e dupla frequência, ecobatímetros multifeixe e barcos projetados para uso em projetos de batimetria monofeixe e multifeixe.

Desde 1997, a Rural Tech sempre esteve envolvida com o uso de modernas tecnologias para a execução de levantamentos topográficos e batimétricos de estudos, projetos e obras de engenharia.

## **2.1 Corpo Técnico**

Participaram da realização dos serviços os profissionais listados a seguir:

- Fábio de Novaes Filho – Diretor e Responsável Técnico;
- Sergio Vieira Ballarin – Engenheiro Civil;
- Lizânia Guimarães Trombini – Eng. Cartografa e Responsável Técnico;
- Lucas Amorim de Sá – Engenheiro Cartógrafo;
- Wellington de Oliveira Brito – Técnico em Geomensura e Coordenador de Campo;
- Kayque Bergamaschi Rodrigues Carneiro – Geofísico e Coordenador de batimetria;
- Paulo Kleber Machado Mendes – Geofísico;
- Paulo Henrique Praça de França- Geofísico;
- Reges Roos – Oceanógrafo;
- Alan Soares Martins – Oceanógrafo;
- Raphael Laurindo Bonini – Engenheiro Florestal.

## **3. OBJETIVO**

O objetivo desse trabalho é a atualização das curvas Cota x Área x Volume reservatório da UHE Mascarenhas, em atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL n ° 03 de 2010.

Para isso a contratada executou as seguintes atividades:

- Implantação da Rede de Vértices Geodésicos (RVG) no entorno do reservatório, por nivelamento geométrico e rastreamento GNSS L1/L2, a partir das RN's oficiais do IBGE mais próximas, com leitura dos níveis sobre a régua de operação localizada na barragem.
- Elaboração de um Modelo Geoidal para a região do reservatório da UHE Mascarenhas.
- Mapeamento da área molhada por meio de tecnologia ensonificação do leito com sonar multifeixe e monofeixe de todo o espelho d'água do reservatório e braços.
- Mapeamento da área seca por meio de tecnologia de perfilamento a laser / LIDAR com no mínimo 4 pontos de leitura no terreno por m<sup>2</sup>, para restituição das curvas de cota do reservatório nos níveis normal, máximo normal, maximorum, curvas de nível de 1x1m.
- Implantação de Seções de Controle para o monitoramento do assoreamento.
- Construção do Modelo Digital do Terreno.

#### 4. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Este trabalho é composto por um relatório técnico, denominado “*Atualização das Curvas Cota x Área x Volume*” e 3 (três) 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 topo batimétricas, 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 a 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 e monofeixe, bem como, os produtos resultantes dos levantamentos batimétricos.

O Anexo 03, denominado “Levantamentos Aerofotogramétricos” contém os procedimentos para o mapeamento da área seca do reservatório e controle de qualidade da base cartográfica, bem como, os produtos resultantes do perfilamento a laser – LIDAR e da cobertura aerofotogramétrica.

## 5. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

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

**Quadro 5-1 – Características do Empreendimento (Dados Anteriores a Atualização)**

Localização	Rio Doce
Bacia Hidrográfica	Bacia do Rio Doce
Município margem direita	Baixo Guandú - ES
Município margem esquerda	Baixo Guandú - ES
Tipo	Reservatório operado a fio d'água
Coordenadas geográficas da usina	19°30'04"S / 40°55'08"W
Potência Instalada (MW)	180,50
Entrada em operação	1974
Área de drenagem incremental (km <sup>2</sup> )	11.314
Volume Útil (hm <sup>3</sup> ) – Antes da Atualização	7,415
Área inundada no N.A. Máximo Normal (ha)	419
Extensão do Reservatório (corpo principal), em nível operacional normal (km)	12
Vazão turbinada média (m <sup>3</sup> /s)	448,21

### 5.1 Caracterização da Bacia

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce possui área de drenagem de 86.715 quilômetros quadrados, dos quais 86% estão no Leste mineiro e 14% no Nordeste do Espírito Santo. Em Minas, é subdividida em seis Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRHs), às quais correspondem as seguintes sub-bacias e seus respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs): Rio Piranga (DO1), Rio Piracicaba (DO2), Rio Santo Antônio (DO3), Rio Suaçuí (DO4), Rio

Caratinga (DO5), Rio Manhuaçu (DO6). No Espírito Santo, não há subdivisões administrativas, existindo CBHs dos Rios Santa Maria do Doce, Guandu e São José.

O Rio Doce tem extensão de 879 quilômetros e suas nascentes estão em Minas, nas Serras da Mantiqueira e do Espinhaço. O relevo da bacia é ondulado, montanhoso e acidentado. No passado, uma das principais atividades econômicas foi a extração de ouro, que determinou a ocupação da região e, ainda hoje, o sistema de drenagem é importante em sua economia, fornecendo água para uso doméstico, agropecuário, industrial e geração de energia elétrica. Os rios da região funcionam, ainda, como canais receptores e transportadores de rejeitos e efluentes.

A população da Bacia do Rio Doce, estimada em torno de 3,5 milhões de habitantes, está distribuída em 228 municípios, sendo 202 mineiros e 26 capixabas. Mais de 85% desses municípios têm até 20 mil habitantes e cerca de 73% da população total da bacia concentra-se na área urbana, segundo dados de 2007. Nos municípios com até 10 mil habitantes, 47,75% da população vive na área rural. As bacias do Piranga e do Piracicaba, com o maior Produto Interno Bruto (PIB) industrial, concentram aproximadamente 48% da população total.

A atividade econômica na área é diversificada. Na agropecuária, lavouras tradicionais, cultura de café, cana de açúcar, criação de gado de corte e leiteiro, suinocultura, dentre outras. Na agroindústria, sobretudo a produção de açúcar e álcool. A região possui o maior complexo siderúrgico da América Latina, ao qual estão associadas empresas de mineração e reflorestadoras. Destacam-se, ainda, indústrias de celulose e laticínios, comércio e serviços voltados aos complexos industriais, bem como geração de energia elétrica, com grande potencial de exploração.

Possuindo rica biodiversidade, a Bacia do Rio Doce tem 98% de sua área inserida no bioma de Mata Atlântica, um dos mais importantes e ameaçados do mundo. Os 2% restantes são de Cerrado. Pode ser considerada privilegiada, ainda, no que se refere à grande disponibilidade de recursos hídricos, mas há desigualdade entre as diferentes regiões da bacia. ([www.cbhdoce.org.br](http://www.cbhdoce.org.br))

## 6. CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO O POTENCIAL DE ASSOREAMENTO

Os dados apresentados, neste item 6, foram obtidos no documento SP-MA-RT-0021/14 – Plano De Trabalho Para Atualização Das Curvas Cota X Área X Volume da UHE Mascarenhas, entregue à Agência Nacional de Águas-ANA pela EDP/ENERGEST, em janeiro de 2014.

### 6.1 Potencial de Produção de Sedimentos da Bacia Hidrográfica (Pss)

A descarga sólida média anual afluyente ao reservatório da UHE Mascarenhas foi avaliada com base no Relatório Anual de Consistência de Dados Fluviométricos da Fundação Espírito Santense – FEST (ano 2012) e no Mapa Sedimentológico do Brasil (Eletrobrás).

A proposta de classificação da ANA com base em Eletrobrás/IPH (1992) foi a seguinte:

- $Pss < 25 \text{ ton/km}^2/\text{ano}$  → Baixo potencial (1)
- $Pss \text{ entre } 25 \text{ e } 100 \text{ ton/km}^2/\text{ano}$  → Médio potencial (2)
- $Pss > 100 \text{ ton/km}^2/\text{ano}$  → Alto potencial (3)

De acordo com o Mapa Sedimentológico do Brasil (Eletrobrás), a UHE Mascarenhas está situada na região E5.

E5 - Classe V -  $75 > Pss > 50 \text{ ton/Km}^2/\text{ano}$

O Quadro 6-1 apresenta a classificação da UHE Mascarenhas quanto ao potencial de produção de sedimentos da bacia hidrográfica do empreendimento hidrelétrico.

**Quadro 6-1 - Classificação do reservatório quanto ao potencial de produção de sedimentos da bacia hidrográfica**

• $Pss < 25 \text{ ton/km}^2/\text{ano}$ → Baixo potencial (1)
• $Pss \text{ entre } 25 \text{ e } 100 \text{ ton/km}^2/\text{ano}$ → Médio potencial (2)
• $Pss > 100 \text{ ton/km}^2/\text{ano}$ → Alto potencial (3)

### 6.2 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 (1)**
- Reservatórios de Jusante com Grande Bacia Incremental → **Média Suscetibilidade (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 Mascarenhas é o 4º (quarto) da cascata do rio Doce. Sendo um reservatório de jusante com Pequena Bacia Incremental é classificado como de Baixa Suscetibilidade ao Assoreamento (1) em relação à posição do reservatório na cascata.

**Quadro 6-2 - Classificação do reservatório quanto a Posição do Reservatório na Cascata**

• Reservatórios de Jusante com Pequena Bacia Incremental → <b>Baixa Suscetibilidade (1)</b>
• Reservatórios de Jusante com Grande Bacia Incremental → <b>Média Suscetibilidade (2)</b>
• Reservatórios de Cabeceira → <b>Alta Suscetibilidade ao Assoreamento (3)</b>

### 6.3 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:

$$IR = \frac{Volume\acute{u}til}{Vaz\tilde{a}oTurbinadaM\acute{e}dia}$$

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 5-1.

O Quadro 6-3 apresenta a classificação da UHE Mascarenhas quanto ao regime de operação do reservatório.

**Quadro 6-3 - Classificação do reservatório quanto ao regime de operação do reservatório**

Volume Útil (hm³) =	7,415
Vazão Turbinada Média (m³/s) =	448,21
IR (dias) =	0
Baixa suscetibilidade	1

#### 6.4 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 Externalidade (2)**.
- Demais Reservatórios – **Baixa Externalidade (1)**.

O Quadro 6-4 apresenta os municípios que tiveram área inundada pelo reservatório, à população correspondente estimada pelo IBGE para o ano de 2013 e a classificação do reservatório quanto à magnitude e importância dos efeitos do assoreamento.

**Quadro 6-4 – Municípios Atingidos**

Baixo Guandú	31.126 hab
Aimorés	25.675 hab
Média externalidade	2

#### 6.5 Determinação do Nível de Criticidade (NC)

Segundo a equação proposta para a determinação do nível de criticidade, tem-se:

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

$$NC = \frac{Pss + Prc + MI + 4 \times Ror}{21}$$

Os enquadramentos possíveis são os seguintes:

- **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 de com pouca produção de sedimento, onde o risco de assoreamento é muito baixo.

No caso da UHE Mascarenhas **NC = 0,43** o que classifica o reservatório como classe **3 – Nível de Criticidade Baixo**.

## 7. LEVANTAMENTOS REALIZADOS

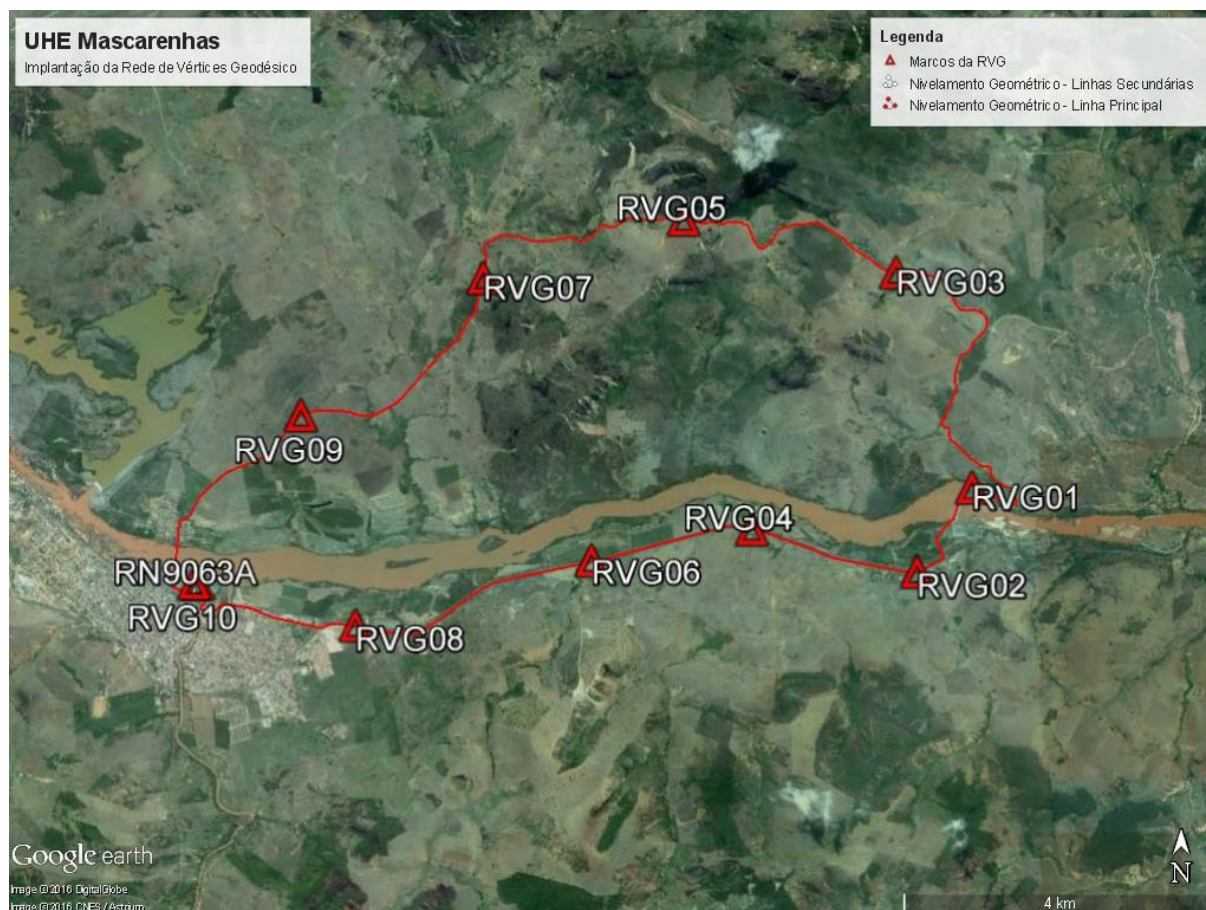
Os levantamentos realizados atendem aos requisitos da Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, conforme o enquadramento do reservatório apresentado no item anterior. Maiores detalhes sobre os procedimentos de execução desses serviços se encontram nos volumes Anexo 01, Anexo 02 e Anexo 03, conforme organização 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 Mascarenhas, composta por um total de 10 vértices principais distribuídos uniformemente ao longo do reservatório. Seus vértices tiveram suas coordenadas planas determinadas, por GNSS, com receptores de dupla frequência e suas elevações foram determinadas por nivelamento geométrico de alta precisão.

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 MapGeo e elaboração do Modelo Geoidal Local.

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



**Figura 7-1 – Implantação da Rede de Vértices Geodésicos da UHE Mascarenhas**

**Quadro 7-1 – Rede de Vértices Geodésicos da UHE Mascarenhas**

Nome	Norte (m)	Este (m)	Latitude	Longitude	Cota Elipsoidal (m)	Cota Ortométrica (m)
<b>RVG01</b>	7.842.882,180	298.830,880	19°29'54,84211"S	40°55'00,65869"W	65,575	74,140
<b>RVG02</b>	7.841.803,270	298.137,511	19°30'29,67106"S	40°55'24,84799"W	63,949	72,532
<b>RVG03</b>	7.845.608,289	297.826,313	19°28'25,83561"S	40°55'34,05503"W	130,371	138,941
<b>RVG04</b>	7.842.320,194	296.018,132	19°30'12,08633"S	40°56'37,32098"W	61,029	69,665
<b>RVG05</b>	7.846.249,429	295.099,820	19°28'03,98831"S	40°57'07,27712"W	133,967	142,584
<b>RVG06</b>	7.841.900,504	293.968,428	19°30'24,97347"S	40°57'47,76744"W	63,930	72,604
<b>RVG07</b>	7.845.476,246	292.540,965	19°28'28,17705"S	40°58'35,30215"W	87,215	95,926
<b>RVG08</b>	7.841.040,010	290.954,377	19°30'51,82172"S	40°59'31,45886"W	64,370	73,088
<b>RVG09</b>	7.843.703,331	290.225,586	19°29'24,95073"S	40°59'55,38526"W	72,934	81,695
<b>RVG10</b>	7.841.552,536	288.882,523	19°30'34,37101"S	41°00'42,29664"W	97,100	105,854

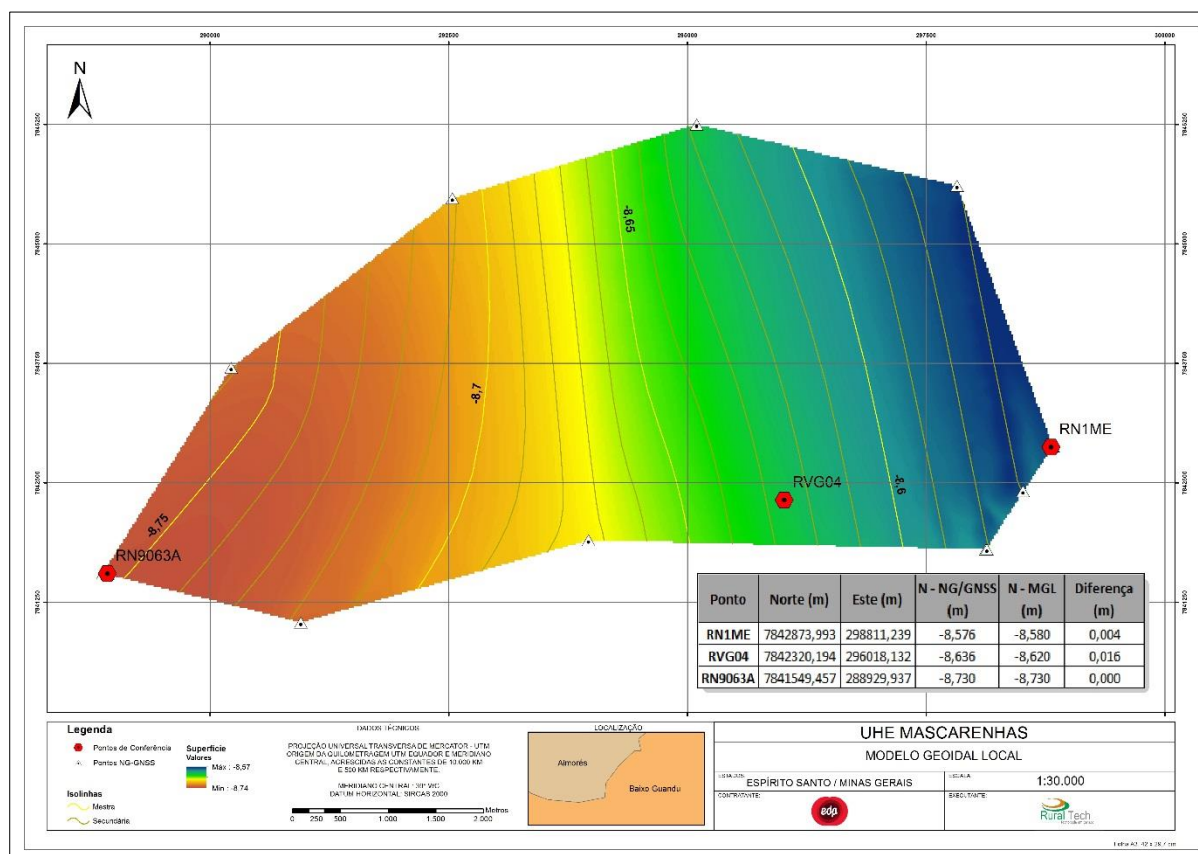
## 7.2 Modelo Geoidal Local - MGL

O objetivo da verificação da qualidade do Modelo Gravitacional Brasileiro MapGeo é para definir um modelo que viabilize a determinação da ondulação 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 base, por GNSS, poder-se-á determinar por interpolação geométrica a altitude ortométrica de um ponto qualquer utilizando suas coordenadas tridimensionais e o modelo geoidal escolhido, seja o MapGeo ou um modelo elaborado exclusivamente para a região, que denominamos de Modelo Geoidal Local - MGL.

Conforme orientações da Especificação Técnica desse trabalho foram selecionados vinte por cento (20%) dos pontos totais rastreados e nivelados durante a implantação da RVG, para também avaliar o MapGeo. Após análise foi observado que MapGeo, tanto o 2010 quanto o 2015, não apresentou na região do reservatório da UHE Mascarenhas, a qualidade exigida no documento orientativo da ANA, sendo necessária a elaboração um Modelo Geoidal Local – MGL.

A superfície que representa o MGL elaborado para a região do reservatório da UHE Mascarenhas, bem como, os pontos utilizados para a validação do desse modelo estão apresentados na Figura 7-2 e Quadro 7-2, a seguir.





**Figura 7-2 – Modelo Geoidal Local (MGL) – UHE Mascarenhas**

**Quadro 7-2 – Pontos de Conferência do MGL da UHE Mascarenhas**

Ponto	Norte (m)	Este (m)	N - NG/GNSS (m)	N - MGL (m)	Diferença (m)
RN1ME	7842873,993	298811,239	-8,576	-8,580	0,004
RVG04	7842320,194	296018,132	-8,636	-8,620	0,016
RN9063A	7841549,457	288929,937	-8,730	-8,730	0,000

### 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, realizando o mapeamento de aproximadamente 90% do reservatório. Para um melhor aproveitamento e melhor produtividade dos levantamentos, foram designados equipamentos

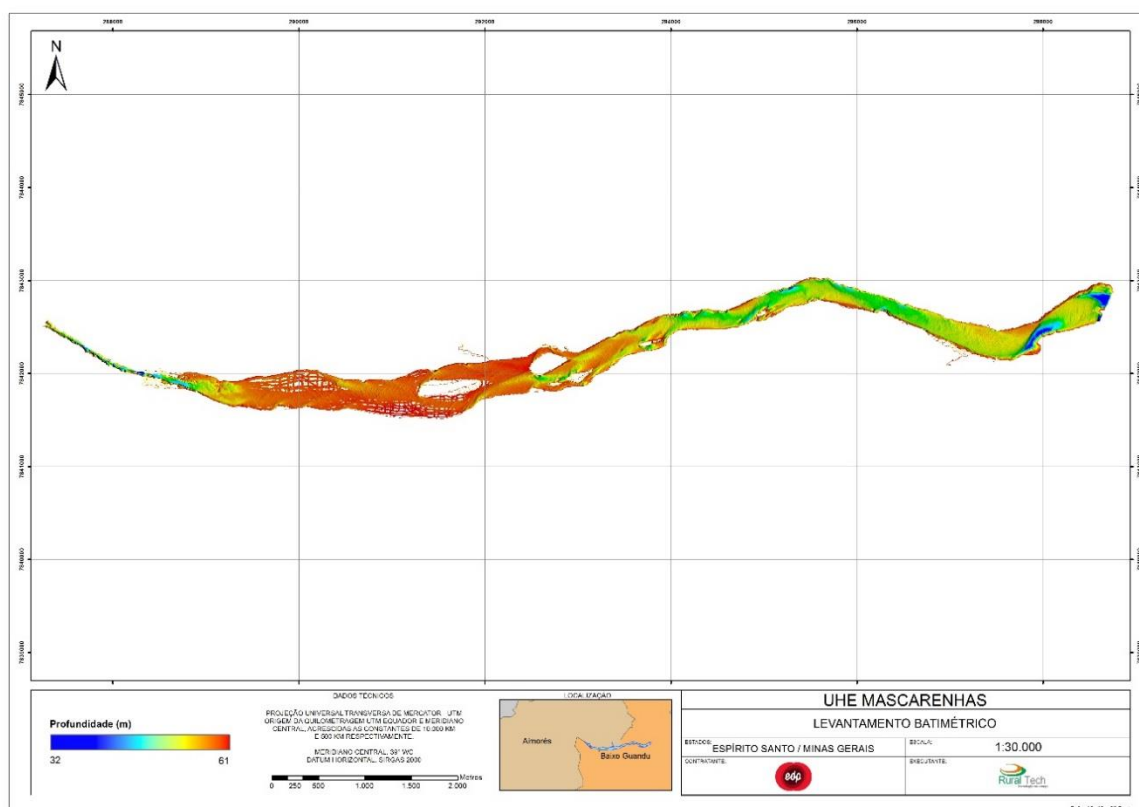
específicos para o tipo de área a ser levantada. Em áreas rasas, com profundidades menores que 7 metros, ou aquelas que impunham maior dificuldade no levantamento (pedreiras) foi empregado ecobatímetro monofeixe. No restante do reservatório, foi empregada batimetria multifeixe com o equipamento Teledyne Odom MB2, que possui boa produtividade em águas de média profundidade (10 a 40 metros) e é um equipamento mais sucinto, o que permite sua instalação em embarcações menores e assim facilita o levantamento de reservatórios de pequeno a médio porte. Esses levantamentos batimétricos realizados no reservatório da UHE Mascarenhas totalizaram aproximadamente 3,5 km<sup>2</sup>.

A amarração altimétrica foi realizada pelos dados de monitoramento do nível do reservatório, obtidos pela leitura de duas réguas ao longo da extensão do reservatório, além da régua de montante do barramento da UHE Mascarenhas, fornecidas pela EDP num intervalo de 60 em 60 minutos. Todas as réguas foram referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Também foi feita a correlação entre as leituras da régua de operação, obtidas da EDP, com o SGB, utilizando os levantamentos topográficos realizados na fase de implantação da RVG, apresentados no Anexo 01.

O levantamento batimétrico do reservatório da UHE Mascarenhas foi compreendido os dias 20 a 24 de Maio de 2016. A principal adversidade encontrada nos levantamentos desse reservatório foi devido à grande quantidade de afloramentos rochosos submersos e expostos que ofereciam riscos elevados às embarcações, principalmente nas proximidades do canal principal e margens.

Os softwares utilizados na aquisição dos dados em campo foram os mesmos empregados no processamento. Para o conjunto multifeixe Teledyne Odom MB2 foi utilizado o software PDS 2000 versão 4.1.1.

O produto final do levantamento batimétrico é um Grid de pontos processados e reduzidos para a altitude ortométrica. A **Figura 7-3** ilustra o grid gerado a partir dos pontos levantados. A apresentação completa dos serviços batimétricos está apresentada no volume denominado “Anexo 02”.



**Figura 7-3 - Grid final da batimetria do Reservatório da UHE Mascarenhas**

## 7.4 Mapeamento da Área Seca

O mapeamento da área seca foi 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 até a sua área de abrangência imageada. Para o reservatório da UHE Mascarenhas foi realizado o mapeamento da considerando a área até a altitude de 64,00m, já externa ao reservatório, incluindo integralmente as ilhas ou penínsulas, o que equivale a mais de um metro acima do nível máximo maximorum.

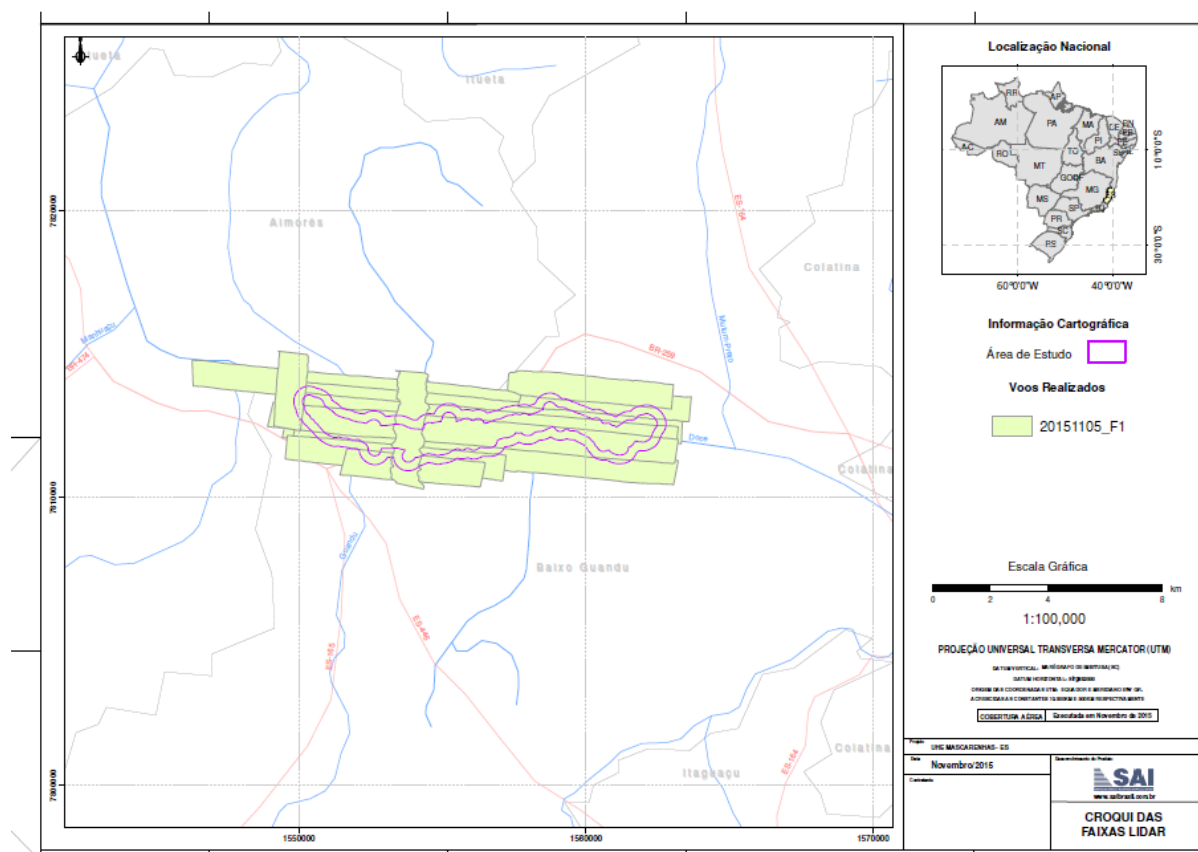
Para mapear a parte seca do reservatório, optou-se pela utilização da tecnologia de Perfilamento a Laser / LIDAR. O sistema de Perfilamento a Laser Aerotransportado (ALS – Airborne Laser Scanning) é um sensor remoto ativo acoplado dentro da aeronave. O feixe emitido pelo sensor permite medir a distância entre o sistema e a superfície dos objetos de maneira eficaz, obtendo dados digitais tridimensionais da superfície e do terreno com grande precisão.

A definição do número de pontos por metro quadrado, a altura do voo, a sobreposição longitudinal das faixas, o tempo de aquisição e a velocidade de voo

são parâmetros definidos no plano de voo. No caso da UHE Mascarenhas foi realizado um voo com altura definida em 1000 metros, ângulo de escaneamento de 25°, largura da faixa de 700 metros e sobreposição longitudinal de 60%. Isso permitiu o levantamento de uma nuvem de pontos com uma densidade mínima de 3 pontos por metro quadrado.

Esses pontos tiveram sua planimetria processada a partir da Rede de Vértices Geodésicos e altimetria processada utilizando o MGL elaborado, validado a partir dos levantamentos geodésicos realizados nesta fase dos trabalhos e apresentado no volume Anexo 01.

As faixas de voo percorridas durante o perfilamento estão apresentadas na Figura 7-4.



**Figura 7-4 – Faixas de Voo - LIDAR**

Foram gerados os seguintes produtos, conforme já descritos no Anexo 03:

- Bases do Voo;
- Curvas de Nível;
- Faixas Laser;
- Malha Regular (*Grid*).

## 7.5 Implantação das Seções de Controle

Para a UHE Mascarenhas foi implantado uma seção, conforme exposto a seguir.

Em função do reservatório da UHE Mascarenhas estar classificado com um nível de criticidade baixo, conforme orientação da Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, foi instalado uma seção topobatimétrica de controle individual, posicionadas no quartil superior (trecho de montante) do reservatório, incluindo a zona de remanso, conforme indicado pela EDP/ENERGEST na Especificação Técnica.

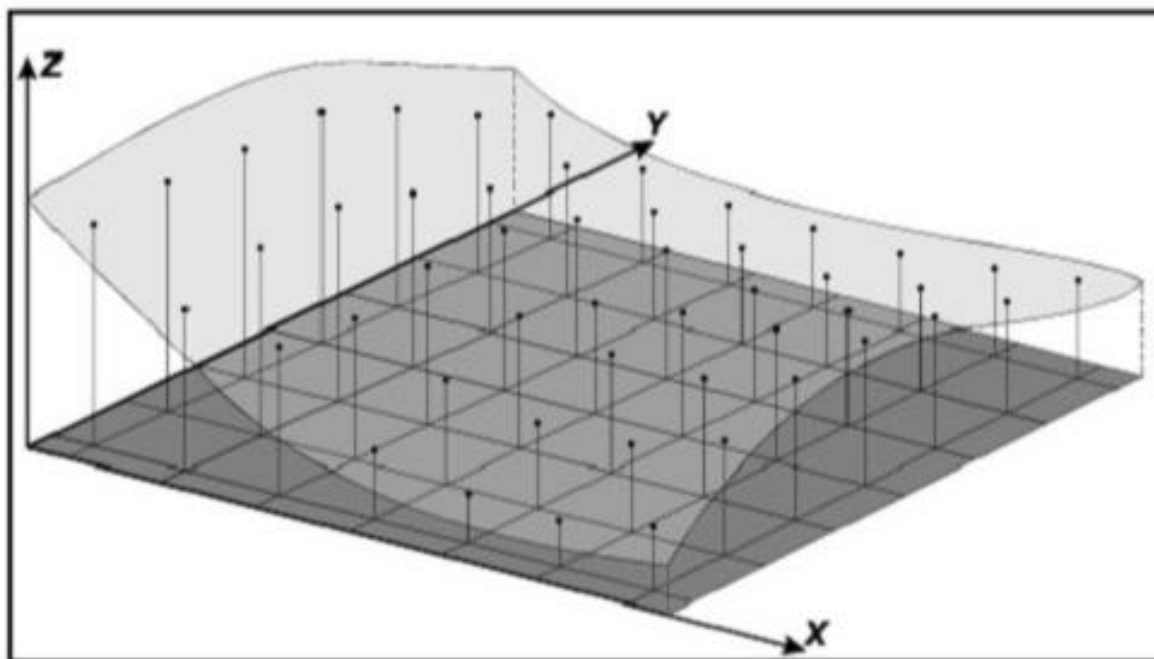
Essa seção foi materializada por marcos de concreto nas duas margens, que estão georreferenciados e documentados, por meio de relação de coordenadas obtidas a partir do processamento dos pontos e suas monografias, de acordo com a seguinte metodologia:

- 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 e suas monografias seguiram as especificações contidas nas Orientações para atualização das Curvas Cota x Área x Volume da ANA;
- Para determinar a planimetria dos marcos foram feitos rastreamentos com receptores GNSS de dupla frequência em todos os marcos das seções de monitoramento, sendo que tais rastreios foram de pelo menos duas horas. Além disso, os levantamentos realizados por GNSS tiveram observações mínimas e simultânea de 6 satélites no período 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

O produto dos levantamentos da área seca e molhada é uma grade regular retangular, em uma estrutura matricial que contém pontos 3D regularmente espaçados no plano XYZ, no modelo da UHE Mascarenhas, esse espaçamento foi de 4 x 4 metros para os dados de batimetria e de 2 x 2 metros para os dados do perfilamento a laser. 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 – Exemplo de Superfície e grade regular correspondente**

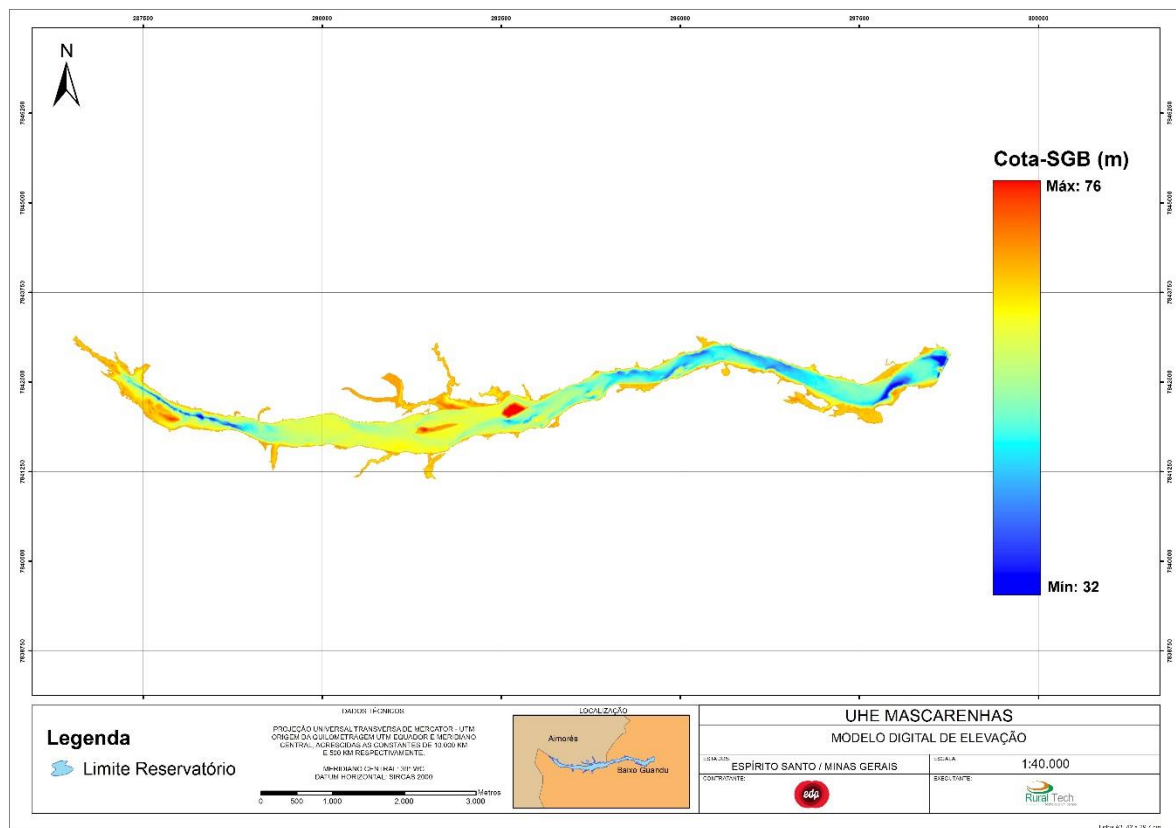
A interpolação dos dados oriundos da batimetria com os dados do aerolevantamento foi realizada no software ArcGIS Pro, por meio da ferramenta *Topo to Raster*, que é um método desenvolvido para a criação de Modelos Digitais de Elevação (MDE), especialmente os hidrológicos.

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 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 da perfilamento a laser, o contorno do reservatório como *breakline* e o polígono de determinação do limite externo do MDT a ser elaborado. Para o reservatório da UHE Mascarenhas a *breakline* foi formada pela menor curva levantada no perfilamento a laser e o polígono externo foi formado pela curva de nível com altitude igual a 64,00m, externa ao reservatório.





**Figura 8-2 – Modelo Digital do Terreno da UHE Mascarenhas**

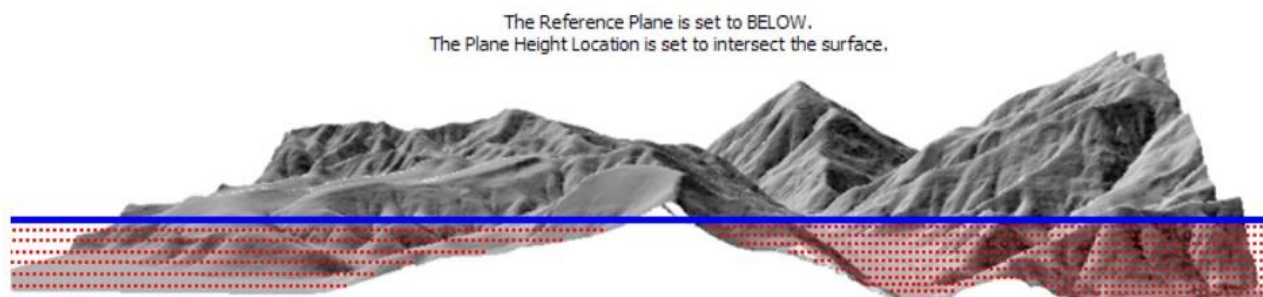
## 8.2 Curvas Cota x Área x Volume

### 8.2.1 Metodologia

Com o MDT gerado foi possível calcular o volume utilizando o 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.

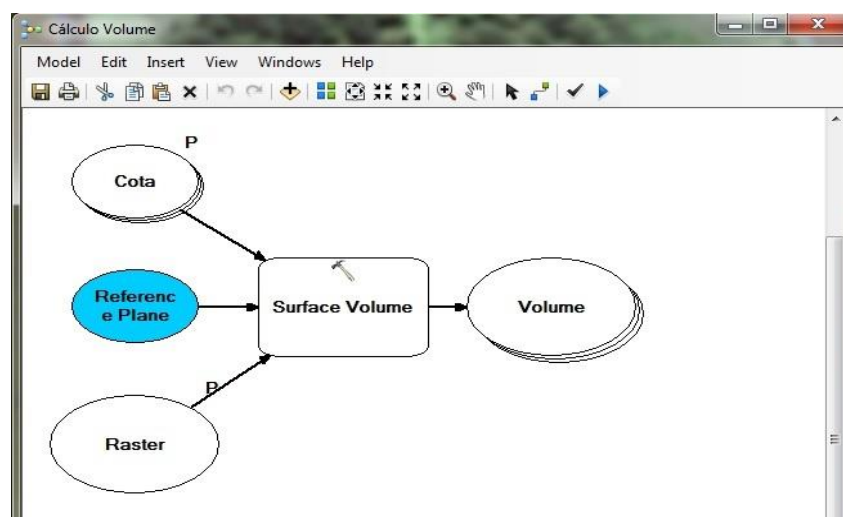
É necessário determinar se os cálculos serão realizados acima ou abaixo do plano de referência. Quando se define que os cálculos serão realizados abaixo do plano de referência, a área projetada e a área da superfície são calculadas no intervalo entre a superfície do MDE e a altitude desejada, como pode 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, conforme indicado na figura 8-4.

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 Mascarenhas.

### **8.2.2 Correlação das Cotas entre o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e a Cota da régua de Operação (Régua montante da UHE Mascarenhas)**

Para efeito de registro deve-se destacar que há uma diferença de 30 cm entre as elevações no Sistema Geodésico Brasileiro e a referência de nível local usada na operação da UHE Mascarenhas.

Dessa forma, os documentos baseados na referência de nível local apresentam o nível máximo normal do reservatório na elevação 60,75m, enquanto na referência do Sistema Geodésico Brasileiro, referência do atual trabalho esse nível corresponde à altitude de 61,05m.

### **8.2.3 Curvas Cota x Área x Volume**

As curvas Cota x Área x Volume do reservatório da UHE Mascarenhas foram elaboradas a partir desses novos levantamentos. Esses levantamentos estão referenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro. Os valores das curvas estão apresentados no Quadro 8-1 e representados graficamente na Figura 8-5.



**Quadro 8-1 – Curvas Cota x Área x Volume do reservatório da UHE Mascarenhas**

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Volume (hm <sup>3</sup> )
62,40	62,70	4,81	33,16
62,39	62,69	4,80	33,11
62,38	62,68	4,80	33,06
62,37	62,67	4,79	33,02
62,36	62,66	4,79	32,97
62,35	62,65	4,78	32,92
62,34	62,64	4,78	32,87
62,33	62,63	4,77	32,82
62,32	62,62	4,77	32,78
62,31	62,61	4,76	32,73
62,30	62,60	4,76	32,68
62,29	62,59	4,75	32,63
62,28	62,58	4,75	32,59
62,27	62,57	4,74	32,54
62,26	62,56	4,73	32,49
62,25	62,55	4,73	32,44
62,24	62,54	4,72	32,40
62,23	62,53	4,72	32,35
62,22	62,52	4,71	32,30
62,21	62,51	4,71	32,26
62,20	62,50	4,70	32,21
62,19	62,49	4,70	32,16
62,18	62,48	4,69	32,11
62,17	62,47	4,69	32,07
62,16	62,46	4,68	32,02
62,15	62,45	4,68	31,97
62,14	62,44	4,67	31,93
62,13	62,43	4,67	31,88
62,12	62,42	4,66	31,83
62,11	62,41	4,66	31,79
62,10	62,40	4,65	31,74
62,09	62,39	4,65	31,69
62,08	62,38	4,64	31,65
62,07	62,37	4,64	31,60
62,06	62,36	4,63	31,56
62,05	62,35	4,63	31,51
62,04	62,34	4,62	31,46
62,03	62,33	4,62	31,42
62,02	62,32	4,61	31,37
62,01	62,31	4,61	31,32
62,00	62,30	4,60	31,28
61,99	62,29	4,60	31,23
61,98	62,28	4,59	31,19

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
61,97	62,27	4,59	31,14
61,96	62,26	4,59	31,09
61,95	62,25	4,58	31,05
61,94	62,24	4,58	31,00
61,93	62,23	4,57	30,96
61,92	62,22	4,57	30,91
61,91	62,21	4,57	30,87
61,90	62,20	4,56	30,82
61,89	62,19	4,56	30,77
61,88	62,18	4,55	30,73
61,87	62,17	4,55	30,68
61,86	62,16	4,54	30,64
61,85	62,15	4,54	30,59
61,84	62,14	4,54	30,55
61,83	62,13	4,53	30,50
61,82	62,12	4,53	30,46
61,81	62,11	4,52	30,41
61,80	62,10	4,52	30,37
61,79	62,09	4,52	30,32
61,78	62,08	4,51	30,28
61,77	62,07	4,51	30,23
61,76	62,06	4,50	30,19
61,75	62,05	4,50	30,14
61,74	62,04	4,50	30,10
61,73	62,03	4,49	30,05
61,72	62,02	4,49	30,01
61,71	62,01	4,48	29,96
61,70	62,00	4,48	29,92
61,69	61,99	4,47	29,87
61,68	61,98	4,47	29,83
61,67	61,97	4,47	29,78
61,66	61,96	4,46	29,74
61,65	61,95	4,46	29,69
61,64	61,94	4,45	29,65
61,63	61,93	4,45	29,60
61,62	61,92	4,44	29,56
61,61	61,91	4,44	29,51
61,60	61,90	4,44	29,47
61,59	61,89	4,43	29,43
61,58	61,88	4,43	29,38
61,57	61,87	4,42	29,34
61,56	61,86	4,42	29,29
61,55	61,85	4,41	29,25
61,54	61,84	4,41	29,21

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
61,53	61,83	4,40	29,16
61,52	61,82	4,40	29,12
61,51	61,81	4,40	29,07
61,50	61,80	4,39	29,03
61,49	61,79	4,39	28,99
61,48	61,78	4,38	28,94
61,47	61,77	4,38	28,90
61,46	61,76	4,37	28,85
61,45	61,75	4,37	28,81
61,44	61,74	4,36	28,77
61,43	61,73	4,36	28,72
61,42	61,72	4,35	28,68
61,41	61,71	4,35	28,64
61,40	61,70	4,34	28,59
61,39	61,69	4,34	28,55
61,38	61,68	4,33	28,51
61,37	61,67	4,33	28,46
61,36	61,66	4,32	28,42
61,35	61,65	4,32	28,38
61,34	61,64	4,31	28,33
61,33	61,63	4,31	28,29
61,32	61,62	4,30	28,25
61,31	61,61	4,30	28,20
61,30	61,60	4,29	28,16
61,29	61,59	4,29	28,12
61,28	61,58	4,28	28,08
61,27	61,57	4,28	28,03
61,26	61,56	4,27	27,99
61,25	61,55	4,27	27,95
61,24	61,54	4,26	27,90
61,23	61,53	4,26	27,86
61,22	61,52	4,25	27,82
61,21	61,51	4,25	27,78
61,20	61,50	4,24	27,73
61,19	61,49	4,24	27,69
61,18	61,48	4,23	27,65
61,17	61,47	4,23	27,61
61,16	61,46	4,22	27,57
61,15	61,45	4,22	27,52
61,14	61,44	4,21	27,48
61,13	61,43	4,21	27,44
61,12	61,42	4,20	27,40
61,11	61,41	4,19	27,35
61,10	61,40	4,19	27,31

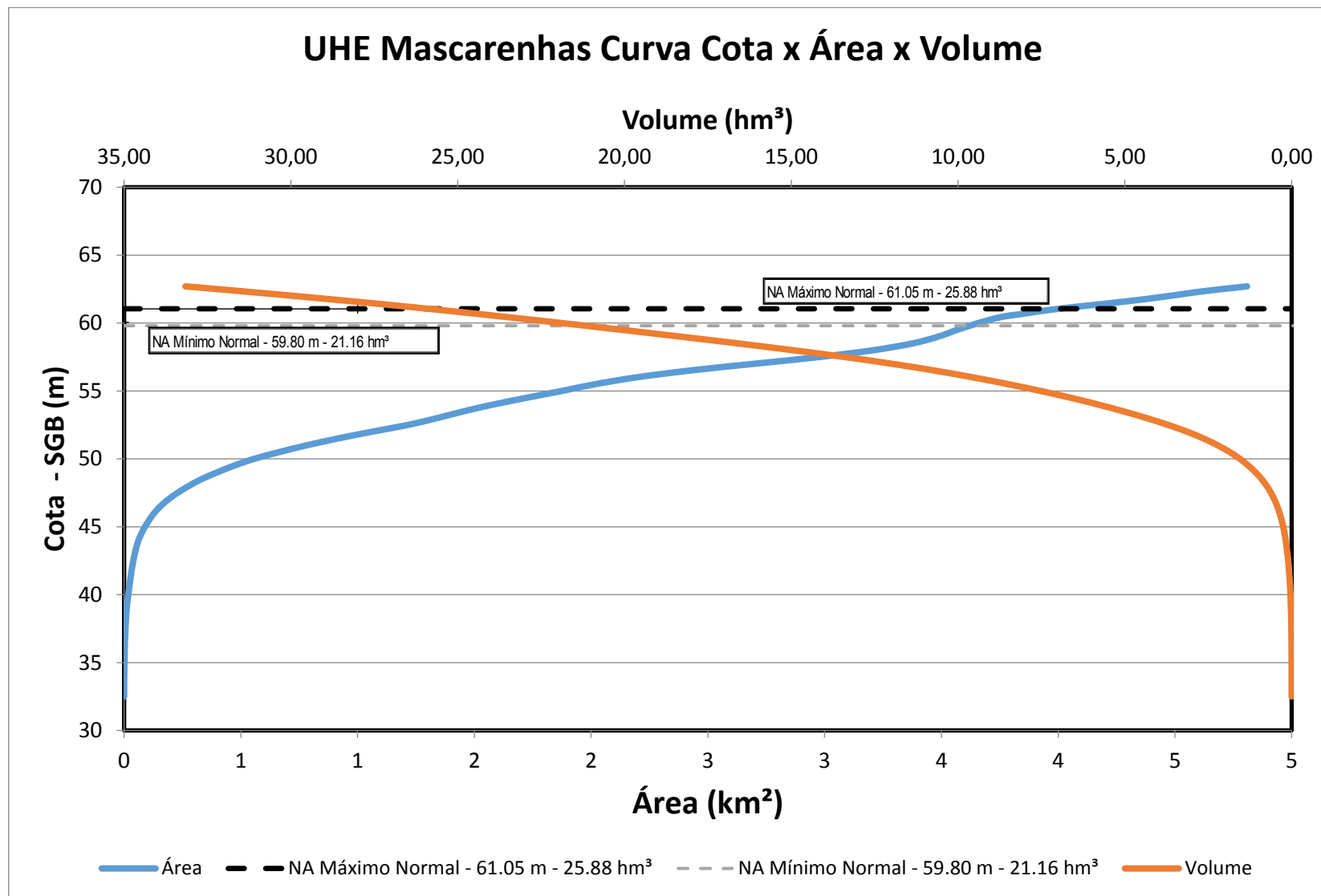
Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
61,09	61,39	4,18	27,27
61,08	61,38	4,18	27,23
61,07	61,37	4,17	27,19
61,06	61,36	4,17	27,15
61,05	61,35	4,16	27,10
61,04	61,34	4,16	27,06
61,03	61,33	4,15	27,02
61,02	61,32	4,14	26,98
61,01	61,31	4,14	26,94
61,00	61,30	4,13	26,90
60,99	61,29	4,13	26,86
60,98	61,28	4,12	26,81
60,97	61,27	4,12	26,77
60,96	61,26	4,11	26,73
60,95	61,25	4,11	26,69
60,94	61,24	4,10	26,65
60,93	61,23	4,10	26,61
60,92	61,22	4,09	26,57
60,91	61,21	4,08	26,53
60,90	61,20	4,08	26,49
60,89	61,19	4,07	26,45
60,88	61,18	4,07	26,41
60,87	61,17	4,06	26,36
60,86	61,16	4,06	26,32
60,85	61,15	4,05	26,28
60,84	61,14	4,05	26,24
60,83	61,13	4,04	26,20
60,82	61,12	4,04	26,16
60,81	61,11	4,03	26,12
60,80	61,10	4,03	26,08
60,79	61,09	4,02	26,04
60,78	61,08	4,02	26,00
60,77	61,07	4,01	25,96
60,76	61,06	4,01	25,92
60,75	61,05	4,00	25,88
60,74	61,04	4,00	25,84
60,73	61,03	3,99	25,80
60,72	61,02	3,99	25,76
60,71	61,01	3,98	25,72
60,70	61,00	3,98	25,68
60,69	60,99	3,98	25,64
60,68	60,98	3,97	25,60
60,67	60,97	3,97	25,56
60,66	60,96	3,96	25,52

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
60,65	60,95	3,96	25,48
60,64	60,94	3,95	25,44
60,63	60,93	3,95	25,40
60,62	60,92	3,94	25,36
60,61	60,91	3,94	25,33
60,60	60,90	3,94	25,29
60,59	60,89	3,93	25,25
60,58	60,88	3,93	25,21
60,57	60,87	3,92	25,17
60,56	60,86	3,92	25,13
60,55	60,85	3,91	25,09
60,54	60,84	3,91	25,05
60,53	60,83	3,91	25,01
60,52	60,82	3,90	24,97
60,51	60,81	3,90	24,93
60,50	60,80	3,89	24,89
60,49	60,79	3,89	24,86
60,48	60,78	3,89	24,82
60,47	60,77	3,88	24,78
60,46	60,76	3,88	24,74
60,45	60,75	3,88	24,70
60,44	60,74	3,87	24,66
60,43	60,73	3,87	24,62
60,42	60,72	3,86	24,58
60,41	60,71	3,86	24,55
60,40	60,70	3,86	24,51
60,39	60,69	3,85	24,47
60,38	60,68	3,85	24,43
60,37	60,67	3,85	24,39
60,36	60,66	3,84	24,35
60,35	60,65	3,84	24,31
60,34	60,64	3,83	24,28
60,33	60,63	3,83	24,24
60,32	60,62	3,82	24,20
60,31	60,61	3,82	24,16
60,30	60,60	3,81	24,12
60,29	60,59	3,81	24,09
60,28	60,58	3,80	24,05
60,27	60,57	3,80	24,01
60,26	60,56	3,80	23,97
60,25	60,55	3,79	23,93
60,24	60,54	3,79	23,90
60,23	60,53	3,78	23,86
60,22	60,52	3,78	23,82

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
60,21	60,51	3,78	23,78
60,20	60,50	3,77	23,74
60,19	60,49	3,77	23,71
60,18	60,48	3,77	23,67
60,17	60,47	3,76	23,63
60,16	60,46	3,76	23,59
60,15	60,45	3,76	23,56
60,14	60,44	3,76	23,52
60,13	60,43	3,75	23,48
60,12	60,42	3,75	23,44
60,11	60,41	3,75	23,41
60,10	60,40	3,74	23,37
60,09	60,39	3,74	23,33
60,08	60,38	3,74	23,29
60,07	60,37	3,74	23,26
60,06	60,36	3,73	23,22
60,05	60,35	3,73	23,18
60,04	60,34	3,73	23,14
60,03	60,33	3,73	23,11
60,02	60,32	3,73	23,07
60,01	60,31	3,72	23,03
60,00	60,30	3,72	22,99
59,99	60,29	3,72	22,96
59,98	60,28	3,72	22,92
59,97	60,27	3,71	22,88
59,96	60,26	3,71	22,85
59,95	60,25	3,71	22,81
59,94	60,24	3,71	22,77
59,93	60,23	3,71	22,74
59,92	60,22	3,70	22,70
59,91	60,21	3,70	22,66
59,90	60,20	3,70	22,62
59,89	60,19	3,70	22,59
59,88	60,18	3,69	22,55
59,87	60,17	3,69	22,51
59,86	60,16	3,69	22,48
59,85	60,15	3,69	22,44
59,84	60,14	3,69	22,40
59,83	60,13	3,68	22,37
59,82	60,12	3,68	22,33
59,81	60,11	3,68	22,29
59,80	60,10	3,68	22,26
59,79	60,09	3,68	22,22
59,78	60,08	3,67	22,18

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
59,77	60,07	3,67	22,14
59,76	60,06	3,67	22,11
59,75	60,05	3,67	22,07
59,74	60,04	3,67	22,03
59,73	60,03	3,66	22,00
59,72	60,02	3,66	21,96
59,71	60,01	3,66	21,92
59,70	60,00	3,66	21,89
59,69	59,99	3,66	21,85
59,68	59,98	3,66	21,82
59,67	59,97	3,65	21,78
59,66	59,96	3,65	21,74
59,65	59,95	3,65	21,71
59,64	59,94	3,65	21,67
59,63	59,93	3,65	21,63
59,62	59,92	3,64	21,60
59,61	59,91	3,64	21,56
59,60	59,90	3,64	21,52
59,59	59,89	3,64	21,49
59,58	59,88	3,64	21,45
59,57	59,87	3,63	21,41
59,56	59,86	3,63	21,38
59,55	59,85	3,63	21,34
59,54	59,84	3,63	21,31
59,53	59,83	3,63	21,27
59,52	59,82	3,63	21,23
59,51	59,81	3,62	21,20
59,50	59,80	3,62	21,16
59,20	59,50	3,57	20,08
58,70	59,00	3,49	18,32
58,20	58,50	3,38	16,60
57,70	58,00	3,21	14,95
57,20	57,50	2,98	13,40
56,70	57,00	2,70	11,98
56,20	56,50	2,42	10,70
55,70	56,00	2,19	9,55
55,20	55,50	2,02	8,50
54,70	55,00	1,88	7,53
54,20	54,50	1,72	6,63
53,70	54,00	1,58	5,80
53,20	53,50	1,45	5,04
52,70	53,00	1,34	4,35
52,20	52,50	1,22	3,71
51,70	52,00	1,06	3,14

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
51,20	51,50	0,92	2,64
50,70	51,00	0,78	2,22
50,20	50,50	0,66	1,86
49,70	50,00	0,56	1,55
49,20	49,50	0,47	1,30
48,70	49,00	0,40	1,08
48,20	48,50	0,33	0,90
47,70	48,00	0,28	0,75
47,20	47,50	0,23	0,62
46,70	47,00	0,19	0,52
46,20	46,50	0,16	0,43
45,70	46,00	0,13	0,36
45,20	45,50	0,11	0,30
44,70	45,00	0,09	0,25
44,20	44,50	0,07	0,21
43,70	44,00	0,06	0,18
43,20	43,50	0,05	0,15
42,70	43,00	0,05	0,13
42,20	42,50	0,04	0,11
41,70	42,00	0,03	0,09
41,20	41,50	0,03	0,07
40,70	41,00	0,03	0,06
40,20	40,50	0,02	0,05
39,70	40,00	0,02	0,04
39,20	39,50	0,01	0,03
38,70	39,00	0,01	0,02
38,20	38,50	0,01	0,02
37,70	38,00	0,01	0,01
37,20	37,50	0,01	0,01
36,70	37,00	0,00	0,01
36,20	36,50	0,00	0,00
35,70	36,00	0,00	0,00
35,20	35,50	0,00	0,00
34,70	35,00	0,00	0,00
34,20	34,50	0,00	0,00
33,70	34,00	0,00	0,00
33,20	33,50	0,00	0,00
32,70	33,00	0,00	0,00
32,20	32,50	0,00	0,00



**Figura 8-5 – Curvas Cota x Área x Volume do Reservatório da UHE Mascarenhas**

#### 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 em algumas regiões, principalmente nas proximidades das margens e, também nas regiões com a grande presença de aglomerados de troncos (paliteiros), principalmente no quartil superior do reservatório.

Foi realizado o levantamento integral de 3,51 km<sup>2</sup>, de um total de 3,91 km<sup>2</sup>, correspondente a cota máxima normal igual a 61,05 (SGB). Portanto, 0,4 km<sup>2</sup> ou 10% do reservatório não puderam ser mapeados devido as interferências citadas e, para a geração do Modelo Digital do Terreno (MDT) essas áreas foram interpoladas.

Os resultados obtidos com essa metodologia, utilizando ecobatímetros multifeixes, apresentam uma incerteza menor que quando se utiliza a metodologia do levantamento de seções batimétricas com ecobatímetros monofeixes ou linhas de sondagens, espaçadas 105 m uma da outra, em média, requisito mínimo especificado na Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, para o reservatório da UHE Mascarenhas.

Neste item, avalia-se os limites de incerteza que essa interpolação pode trazer aos valores das curvas Cota x Área x Volume desse reservatório.

- Características das áreas não levantadas:

As áreas que não foram levantadas estão todas em locais com baixas profundidades, da ordem de até 3m, onde a navegação foi prejudicada pelos motivos já expostos.

- Volume contido sob essa área:

Analisando em favor da segurança, que toda essa área não levantada tenha 3m de profundidade (seria razoável considerar uma profundidade média de 1,5m), o volume contido nessa área seria de 1,2 hm<sup>3</sup>, ou seja, menos de 5% 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 59,80 e 61,05m) estão apresentadas no Quadro 8 -3.

**Quadro 8-2 - Incertezas da Curva Cota x Área x Volume do Reservatório da UHE Mascarenhas**

Diferenças na área interpolada	Variação de volume (hm³)	Porcentagem do Volume Total	Porcentagem do Volume de regulação da operação
0%	0	0,00%	0,00%
5%	0,06	0,23%	1,27%
10%	0,12	0,46%	2,54%
15%	0,18	0,70%	3,81%
20%	0,24	0,93%	5,08%
25%	0,3	1,16%	6,36%

Esses valores mostram que mesmo para situação em que a interpolação das profundidades tivesse uma diferença de 25% em relação às profundidades reais, isso representaria aproximadamente 1% do volume total e 7% do volume na faixa de operação da usina.

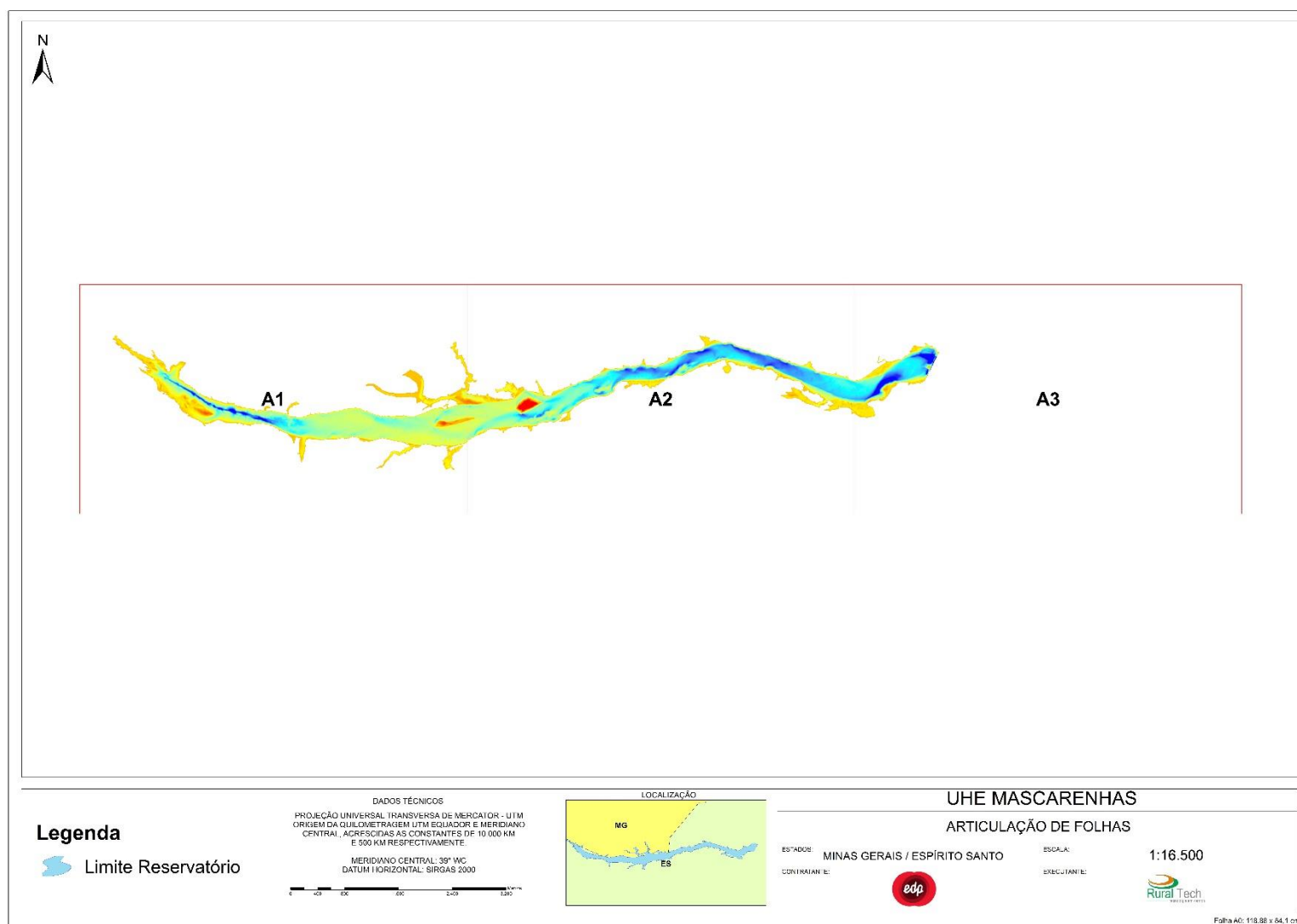
### 8.3 Cartas Topobatimétricas

Após a elaboração do MDT final foram geradas as curvas de nível e o desenho de três cartas topobatimétricas, em escala 1:10.000, que foram articuladas em folhas de tamanho A0, conforme a Figura 8-6.

Os desenhos elaborados possuem coordenadas no Datum SIRGAS 2000, Sistema de Projeção UTM – Universal Transversa Mercator, M.C. 39º WGr.

Os desenhos estão apresentados no formato MPK e PDF, em meio digital, disponibilizados junto com o relatório final deste trabalho.





**Figura 8-6 – Articulação das Cartas Topobatimétricas do Reservatório da UHE Mascarenhas**

#### 8.4 Seções de Monitoramento de Deposição de Sedimentos

A seção de controle de sedimentos serve para monitorar a morfometria do canal do rio, ou reservatório, na região onde foi implantada e permitirá verificar possíveis efeitos de assoreamento ou erosão que eventualmente pode comprometer, em qualquer escala, o funcionamento normal da usina.

No reservatório da UHE Mascarenhas o monitoramento do aporte e sedimentação de sólidos será feito por meio de medição sistemática de profundidades do leito do Rio Doce em 1 (uma) seção topobatimétrica, levantada perpendicularmente ao fluxo. Dada à classificação do nível de criticidade do reservatório, segundo o documento orientativo da ANA, a seção será revisitada em uma frequência mínima de 3 anos.

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) nessa seção topobatimétrica 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.

Após a finalização do levantamento batimétrico e topográfico foi gerado o perfil com o alinhamento criado pelo azimute entre os marcos implantados e medidos.

O Quadro 8-3 apresenta as coordenadas em SIRGAS2000 dos marcos da seção de controle e a Figura 8-7 apresenta a localização da seção. Vale destacar que, os marcos MMDS-01 e MMDS-02 da seção de monitoramento está posicionada no meridiano Central de 39° WGr.

**Quadro 8-3 – Marcos das Seções de Controle do Reservatório da UHE Mascarenhas**

Nome	Latitude	Longitude	Norte (m)	Este (m)	Cota Elipsoidal (m)	Cota Ortométrica (m)	Meridiano Central - UTM
<b>MMDS01</b>	19°30'20,75124"S	41°00'18,90444"W	7.841.979,360	289.559,742	55,149	63,587	-39
<b>MMDS02</b>	19°30'33,30520"S	41°00'20,10070"W	7.841.592,893	289.529,372	55,204	63,642	-39

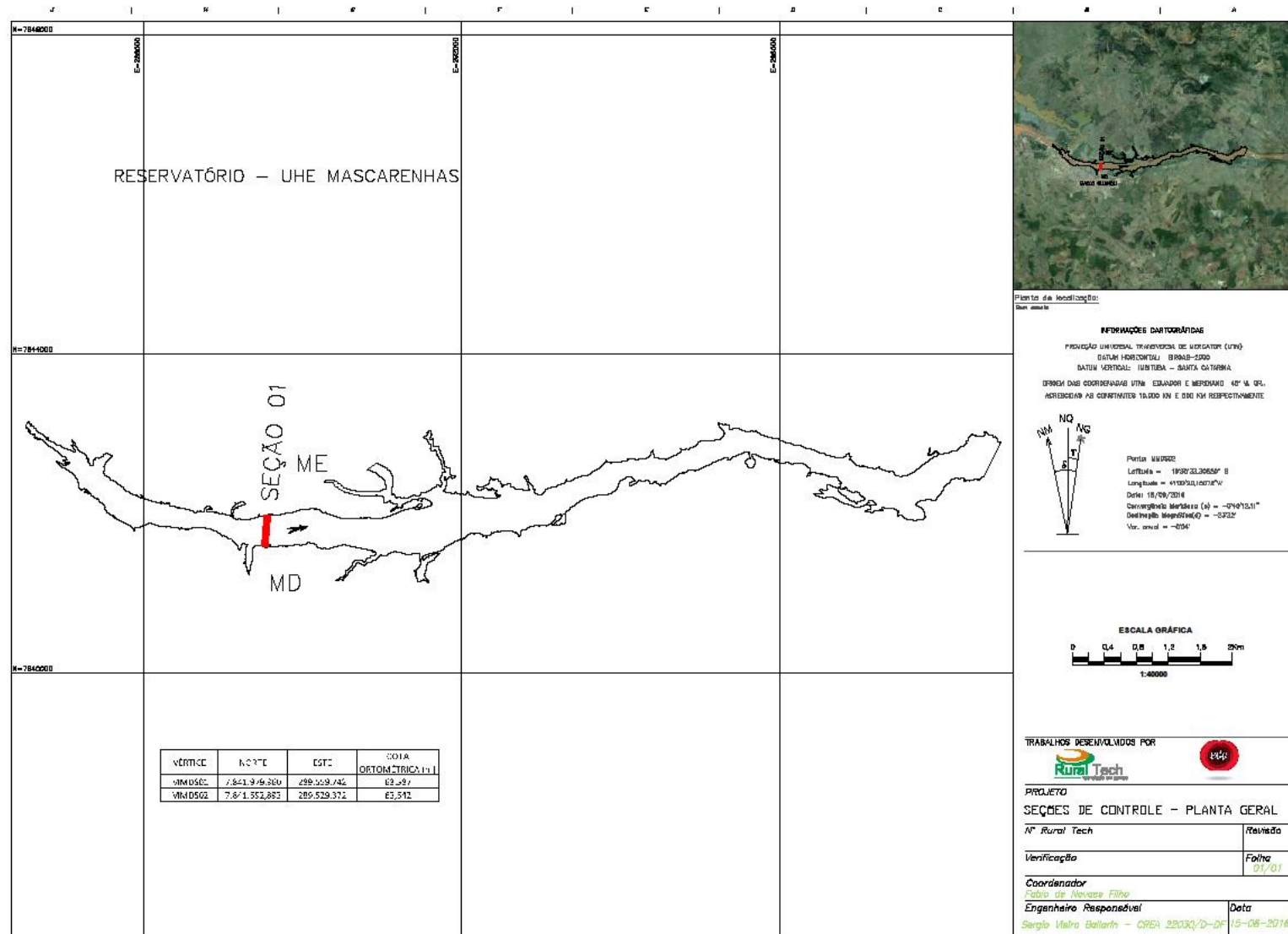


Figura 8-7 – Planta de Localização das Seções de Controle do Reservatório da UHE Mascarenhas

## 9. CONCLUSÃO

Os trabalhos realizados permitiram atender plenamente a Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, 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 EDP/ENERGEST S.A, 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 da ANA/ANEEL, 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.

Da mesma forma, a elaboração do Modelo Geoidal Local - MGL, 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.



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