

UHE FOZ DO  
RIO CLARO

# Relatório Técnico

Atualização das Curvas Cota x Área x Volume



Contratante: Alupar - Foz do Rio Claro

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 RIO CLARO  
FRC-CAV-RT-R01

ELABORAÇÃO:  
Geofísico Kayque Bergamashci

SETEMBRO - 2021

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONTRATADA .....</b>	<b>4</b>
<b>3. OBJETIVO .....</b>	<b>5</b>
<b>4. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....</b>	<b>6</b>
<b>5. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....</b>	<b>6</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA .....	7
<b>6. CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO O POTENCIAL DE ASSOREAMENTO .....</b>	<b>7</b>
6.1 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO EMPREENDIMENTO HIDROÉLETRICO(PSS) .....	8
6.2 POSIÇÃO DO RESERVATÓRIO NA CASCATA (PRC) .....	8
6.3 REGIME DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO (ROR).....	9
6.4 MAGNITUDE E IMPORTÂNCIA DOS EFEITOS DO ASSOREAMENTO.....	9
6.5 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE CRITICIDADE .....	10
6.6 CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO À DISPONIBILIDADE DE DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA.....	11
6.7 ENQUADRAMENTO DO EMPREENDIMENTO NA MATRIZ POTENCIAL DE SEDIMENTOS X DISPONIBILIDADE DE DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA.....	11
<b>7. LEVANTAMENTOS REALIZADOS .....</b>	<b>11</b>
7.1 MAPEAMENTO DA ÁREA MOLHADA.....	12
7.2 MAPEAMENTO DA ÁREA SECA .....	14
7.3 IMPLANTAÇÃO DAS SEÇÕES DE CONTROLE.....	15
<b>8. PRODUTOS E RESULTADOS .....</b>	<b>16</b>
8.1 MODELO DIGITAL DO TERRENO – MDT.....	16
8.1.1 <i>MODELO DIGITAL DO TERRENO</i> .....	16
8.2 CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME.....	19
8.2.1 <i>METODOLOGIA</i> .....	19
8.2.2 <i>CORRELAÇÃO DAS COTAS – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO (SGB) X COTA DE OPERAÇÃO</i> .....	20
8.2.3 <i>CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME</i> .....	20
8.2.4 <i>AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME</i> .....	24
8.2.5 <i>COMPARAÇÃO COM A CURVA ANTIGA</i> .....	25
8.3 CARTAS TOPOBATIMÉTRICAS .....	25
8.4 SEÇÕES DE MONITORAMENTO DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS .....	26

**9. CONCLUSÃO ..... 27****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 e geodésia, executadas para a atualização das curvas Cota x Área x Volume do reservatório da UHE Foz do Rio Claro, localizada entre os municípios de Caçu (margem direita) e São Simão (margem esquerda), no Estado de Goiás. Os serviços de levantamentos geodésicos e topográficos foram executados pela empresa Rural Tech, nos meses de junho e julho de 2021, conforme contrato com a Alupar.

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 Foz do Rio Claro.

## 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 Foz do Rio Claro, em atendimento à resolução conjunta ANA/ANEEL N °3 de 2010.

Para isso a contratada executou as seguintes atividades:

- Avaliação do Modelo Geoidal Brasileiro – MAPGEO 2020.
- 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 verificação da Rede de Vértices Geodésicos – RVG, e elaboração do Modelo Geoidal Local – MGL, bem como as monografias dos marcos da RVG preexistente 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, 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 Rio Claro.

**Quadro 5-1 - Características do Empreendimento**

Localização	Rio Claro
Bacia Hidrográfica	Bacia do Paraná
Sub-bacia	Rio Paraná
Município margem direita	Caçu - GO
Município margem esquerda	São Simão - GO
Tipo	Fio d'água
Coordenadas geográficas da usina	19° 07' 03" S / 50° 38' 45" O
Potência Instalada (MW)	68,4
Entrada em operação	07/2010
Área de drenagem total até a barragem (km <sup>2</sup> )	13,657
<sup>2</sup> NA Máximo Normal (m)	354,00
<sup>2</sup> NA Mínimo Operacional (m)	354,00

<sup>1</sup> Volume N.A. Máximo Normal ( $\times 10^6 \text{m}^3$ )	95,33
Volume N.A. Mínimo Operacional ( $\times 10^6 \text{m}^3$ )	725
Área inundada no N.A. Máximo Normal ( $\text{km}^2$ )	7,69
Nota 1: Volumes antes da presente atualização da curva cota x área x volume. Nota 2: Cotas referenciadas à cota de operação da usina.	

## 5.1 Caracterização da Bacia

O Rio Claro banha o estado de Goiás e é um dos principais afluentes do rio Paranaíba no sudoeste goiano. Esse rio percorre aproximadamente 400 km, de sua nascente à foz, passando pelos municípios de Jataí, Perolândia, Aparecida do Rio Doce, Caçu, Paranaiguara e São Simão. O Rio Claro Nasce na serra do Caiapó, entre os municípios de Jataí e Caiapônia.

A Bacia Hidrográfica do Rio Claro possui uma área de 13.675,193  $\text{km}^2$ , ocupando 6,14% da área da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

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

Em um reservatório, o curso d'água tem as áreas das seções transversais aumentadas, ao passo que a velocidade da corrente diminui o que favorece a deposição de sedimentos. À medida que a deposição sedimentar cresce, a capacidade de armazenamento do reservatório reduz, a influência do efeito de remanso à montante aumenta, juntamente com as velocidades de escoamento, levando assim maior quantidade de sedimentos à jusante e reduzindo a eficiência da retenção de partículas.

Sendo assim, é de extrema importância a classificação do reservatório quanto ao potencial de assoreamento. De acordo com o “*Plano de Trabalho para Atualização da Curva Cota-Área-Volume da UHE Foz do Rio Claro*”, o reservatório da UHE Foz do Rio Claro foi classificado como sendo de média criticidade quanto ao processo de assoreamento.

Os reservatórios serão classificados em relação aos seguintes parâmetros: Potencial de Produção de Sedimentos, Posição Relativa na Cascata, Regime de Operação do Empreendimento e Magnitude e Importância dos Efeitos do Assoreamento.

## 6.1 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO EMPREENDIMENTO HIDROÉLETRICO(PSS)

A descarga sólida média anual afluyente ao reservatório da UHE FRC foi estimada a partir do “Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros” (Eletrobrás/IPH, Agosto de 1992) e da publicação “Produção de Sedimentos na América do Sul (Revista Brasileira de Geomorfologia – Ano 7, nº 1, 2006”, conforme indicação das “Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume”, publicado pela ANA/ANEEL, em dezembro de 2013.

A proposta de classificação da ANA/ANEEL 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)

A UHE Foz do Rio Claro possui produção específica de  $142 \text{ t/km}^2/\text{ano}$ .

Segundo esse critério, portanto, a UHE Foz do Rio Claro está classificada, quanto ao potencial de produção de sedimentos da bacia hidrográfica, como **Alto Potencial (3)**.

$$PSS = 3$$

## 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 Foz do Rio Claro é classificado como de **ALTA SUSCETIBILIDADE AO ASSOREAMENTO (3)** em relação à posição do reservatório na cascata.

$$Prc = 3$$

### 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:

$$IR = \frac{Volume\acute{u}til}{Vaz\tilde{a}o\,Turbinada\,M\acute{e}dia}$$

Para a UHE Foz Rio Claro

$$IR = \frac{95330000}{292 * 86400} = 4 \text{ dias}$$

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)**

Com isso, de acordo com os critérios acima apresentados, o reservatório da UHE Foz do Rio Claro pode ser enquadrado como sendo de **BAIXA SUSCETIBILIDADE (1).**

$$Ror = 1$$

### 6.4 MAGNITUDE E IMPORTÂNCIA DOS EFEITOS DO ASSOREAMENTO

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)**.

Considerando que o reservatório da UHE Foz do Rio Claro possui municípios ribeirinhos com mais de 50.000 habitantes, e que pelo menos um dos demais parâmetros analisados anteriormente enquadraram-se como Alta Suscetibilidade, o reservatório em análise é classificado como de **ALTA EXTERNALIDADE (3)**.

$$MI = 3$$

## 6.5 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE CRITICIDADE

O nível de criticidade foi calculado empregando-se a seguinte fórmula:

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

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

No caso da UHE Foz do Rio Claro, **NC = 0,62** o que classifica o reservatório como:

**Classe 2 – Nível de criticidade Médio**

## 6.6 CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO À DISPONIBILIDADE DE DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA

Quanto à disponibilidade de documentação cartográfica a ANA sugeriu os seguintes cenários:

**Cenário 01:** Não possui nenhum material cartográfico de Projeto, mapeamento da área seca e batimétrica da área do reservatório.

**Cenário 02:** Possui material cartográfico de Projeto e/ou levantamentos batimétricos, e possui mapeamento da área seca em escala 1:10.000 ou superior oriundo de recobrimento aerofotogramétrico aprovado no controle de qualidade definido neste documento.

**Cenário 03:** Não possui material cartográfico de Projeto, mas possui mapeamento da área seca em escala 1:10.000 ou superior oriundo de recobrimento aerofotogramétrico aprovado no controle de qualidade definido neste documento.

Tendo em vista estas informações, classificamos o reservatório no **Cenário 01**.

## 6.7 ENQUADRAMENTO DO EMPREENDIMENTO NA MATRIZ POTENCIAL DE SEDIMENTOS X DISPONIBILIDADE DE DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA

Tipologia dos Reservatórios			
	Cenario Cartográfico		
Classes de Criticidade	1	2	3
Classe 01	A	B	C
Classe 02	A	B1	C
Classe 03	A	B2	C

De acordo com o quadro acima, a UHE Foz do Rio Claro é classificada como Classe de Criticidade **A**.

## 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 Mapeamento da Área Molhada

O levantamento cartográfico da área molhada do reservatório da UHE Foz do Rio Claro foi realizado empregando ecobatímetros multifeixe e monofeixe. Neste levantamento mapeou-se de cerca de 98.5% 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 Odom MB1. Esses levantamentos batimétricos realizados no reservatório da UHE Foz do Rio Claro totalizaram aproximadamente 7,58 km<sup>2</sup>.

A redução das profundidades mensuradas às cotas ortométricas ocorreu por meio da correlação dos dados de nível da água nas estações instaladas pela Rural tech e dados de nível da estação fluviométrica presente no barramento, fornecidos pela contratante. O levantamento batimétrico do reservatório da UHE Foz do Rio Claro foi realizado entre os dias 27 de junho a 04 de julho de 2021. 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 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 *Odom MB1* foi utilizado o software Qimera, versão 2.3.1, produzido pela QPS. Para o conjunto monofeixe, foi utilizado o software Hypack, versão 2018, produzido pela Hypack Inc.

O produto final do levantamento batimétrico é um grid de pontos processados e reduzidos, e é representado na Figura 7-1 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.

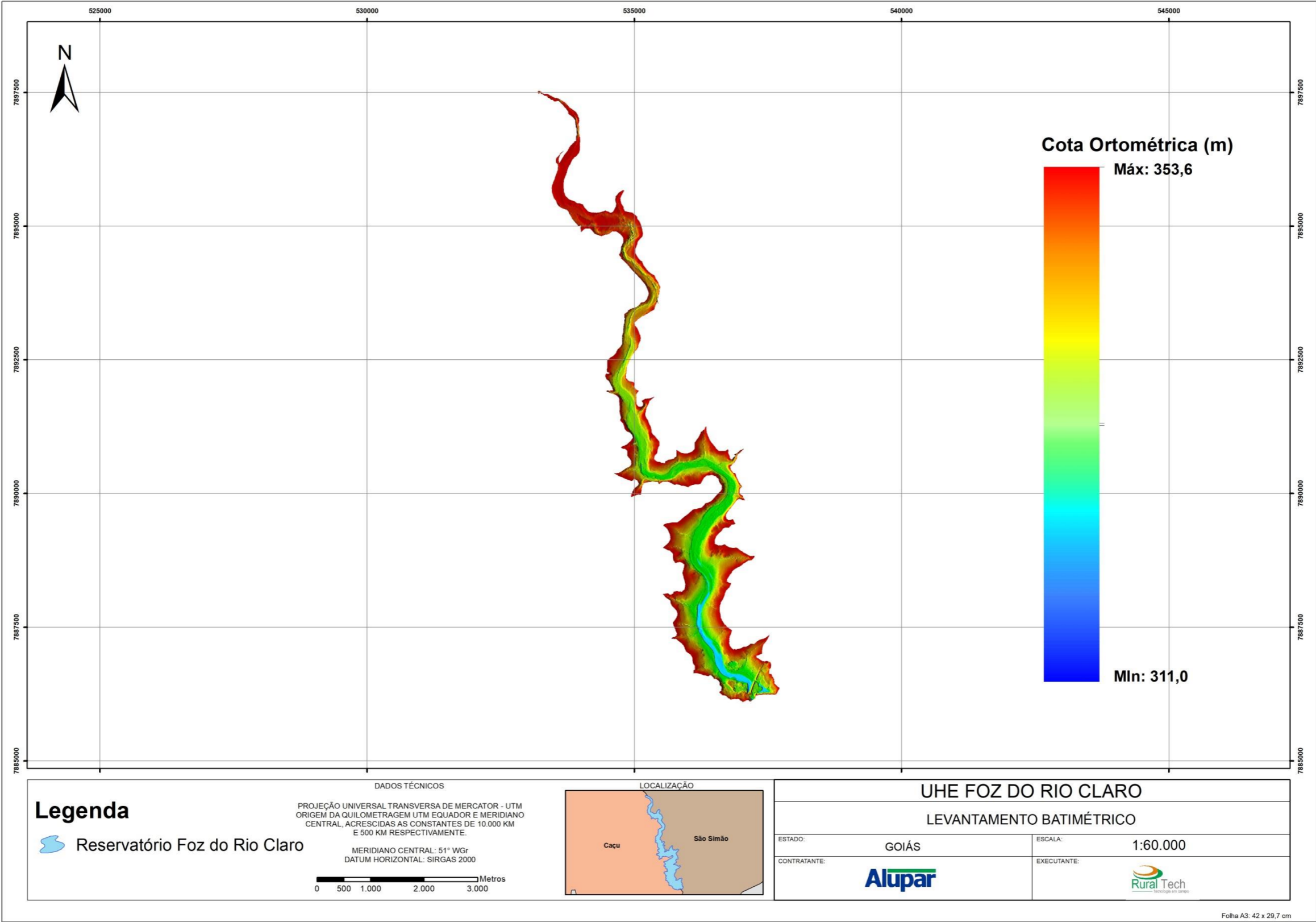


Figura 7-1 - Grid final da batimetria do reservatório da UHE Foz do Rio Claro.

## 7.2 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 de 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 de Foz do rio Claro, optou-se pela realização do mapeamento da área seca utilizando o sistema de Laser Scanner aerotransportado por Drone.

Esse sistema está baseado na emissão de um feixe de Laser, pulso eletromagnético, em determinada frequência no espectro infravermelho, em direção à superfície terrestre. Na superfície em que estes feixes incidem, são refletidos por obstáculos (construções, vegetação ou o próprio terreno) e captados pelo sensor. Para cada feixe emitido é registrado o tempo de percurso entre a aeronave, o obstáculo e aeronave. A partir do tempo de percurso do pulso eletromagnético é possível determinar a distância percorrida utilizando para tal a velocidade do deslocamento do pulso (velocidade da luz, aproximadamente 300.000.km/s).

A aquisição dos dados da área seca foi realizada com o Laser Scanner AlphaAir da CHC com alcance de 450m e câmera de 24Mpx, que proporciona linhas unidirecionais paralelas, precisão em torno de 5cm.



**Figura 7-2 – Laser Scan CHCNAV - Livox**

### 7.3 Implantação das Seções de Controle

Em função do reservatório da UHE Foz do Rio Claro estar classificado com um nível de criticidade médio, foram instalados dois conjuntos com três seções de controle topobatimétrico cada.

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:

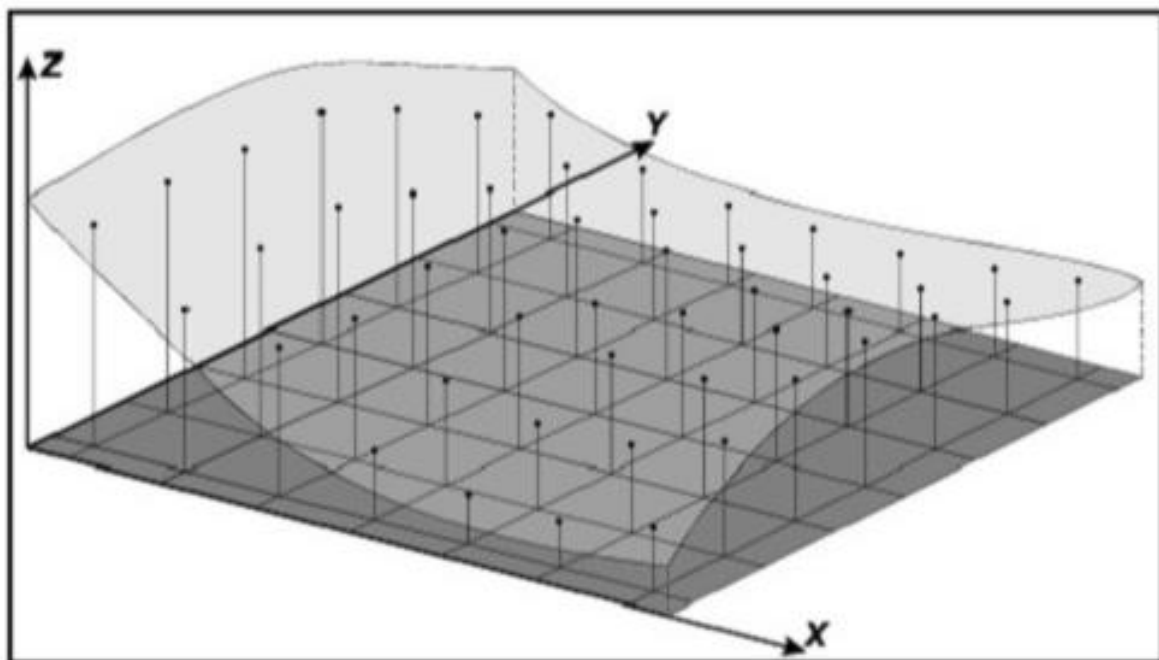
- O posicionamento dos marcos foi definindo buscando locais de baixa obstrução do sinal, minimizando os efeitos de multicaminhamento nos dados GNSS e de forma a garantir que todo o levantamento da seção de monitoramento seja efetuado sempre da mesma referência;
- A implantação dos marcos seguiu as especificações 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 Foz do Rio Claro 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

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 Foz do Rio Claro a breakline foi formada pela menor curva levantada pelo aerolevanteamento e o polígono externo foi formado pelo limite dos dados de aerolevanteamento fornecidos.

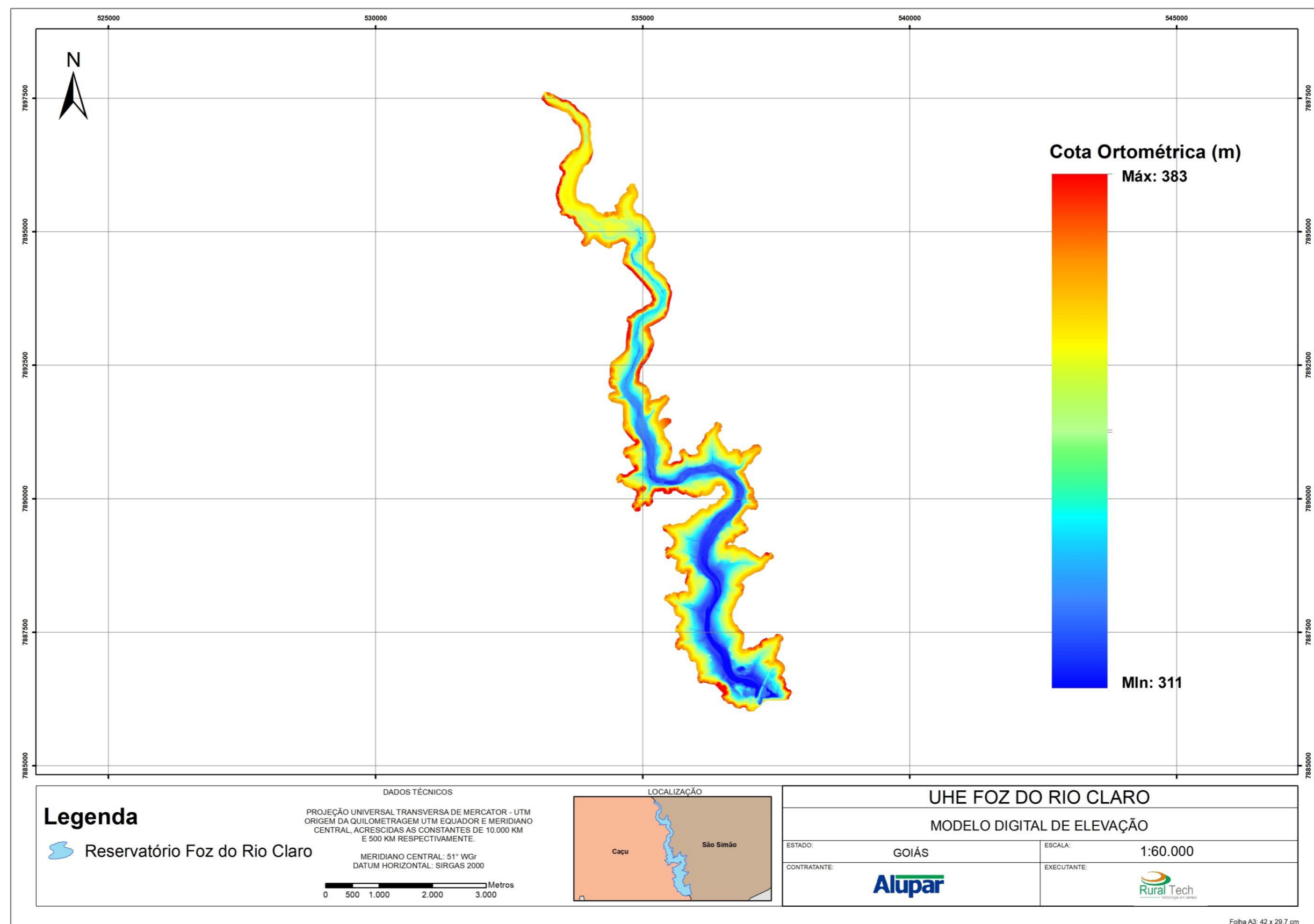


Figura 8-2 – Modelo Digital de Terreno do Reservatório da UHE Foz do Rio Claro.

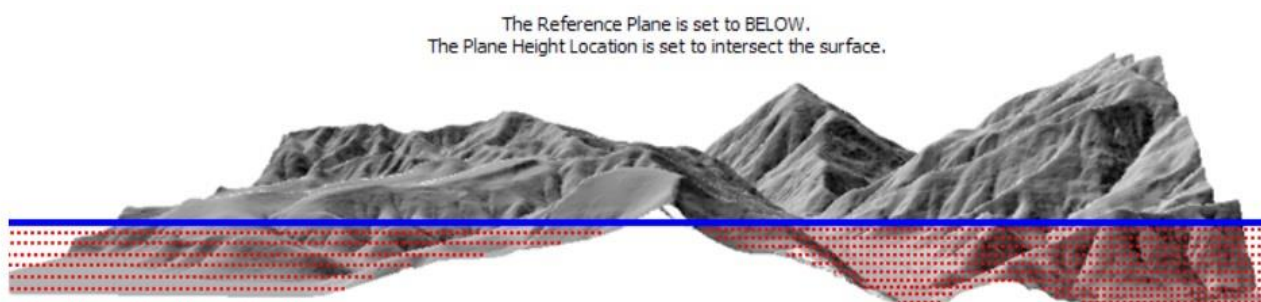
## 8.2 Curvas Cota x Área x Volume

### 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.

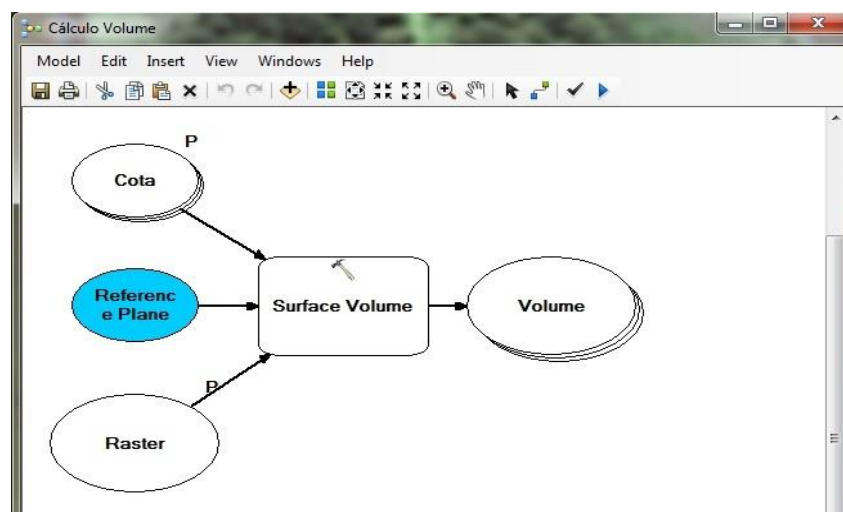
É necessário determinar se os cálculos serão realizados acima ou abaixo do plano de referência. Quando se define que os cálculos serão realizados abaixo do plano de referência, a área projetada e a área da superfície são calculadas no intervalo entre a superfície do MDE e a altitude desejada, como pode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

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

Para efeito de registro deve-se destacar que durante os trabalhos de Posicionamento GNSS da régua de operação localizada na barragem notou-se que há uma diferença de 0,16 m 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 Rio Claro.

Dessa forma, os documentos baseados na referência de nível local apresentam o nível máximo normal do reservatório na elevação 354,00 m, enquanto na referência do Sistema Geodésico Brasileiro esse nível corresponde à elevação 354,16 m.

No presente trabalho, todas as amarrações topográficas estão referenciadas ao SGB, incluindo o MDT, CAV 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 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**

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
354.00	354.16	8.125	105.239
353.00	353.16	7.845	97.257
352.00	352.16	7.432	89.597
351.00	351.16	6.908	82.435
350.00	350.16	6.446	75.764
349.00	349.16	6.057	69.520
348.00	348.16	5.679	63.650
347.00	347.16	5.321	58.152
346.00	346.16	5.003	52.993
345.00	345.16	4.717	48.133
344.00	344.16	4.458	43.549
343.00	343.16	4.235	39.204
342.00	342.16	4.026	35.074
341.00	341.16	3.811	31.155
340.00	340.16	3.587	27.456
339.00	339.16	3.355	23.984
338.00	338.16	3.116	20.750
337.00	337.16	2.887	17.751
336.00	336.16	2.669	14.972
335.00	335.16	2.435	12.417
334.00	334.16	2.185	10.107
333.00	333.16	1.922	8.051
332.00	332.16	1.665	6.267
331.00	331.16	1.453	4.708
330.00	330.16	1.255	3.355
329.00	329.16	1.018	2.212
328.00	328.16	0.674	1.369
327.00	327.16	0.454	0.816
326.00	326.16	0.301	0.445
325.00	325.16	0.184	0.204
324.00	324.16	0.076	0.077
323.00	323.16	0.027	0.029
322.00	322.16	0.007	0.015
321.00	321.16	0.003	0.010
320.00	320.16	0.002	0.008
319.00	319.16	0.002	0.005
318.00	318.16	0.001	0.003
317.00	317.16	0.001	0.002
316.00	316.16	0.001	0.001
315.00	315.16	0.001	0.001
314.00	314.16	0.000	0.000
313.00	313.16	0.000	0.000
312.00	312.16	0.000	0.000

311.00	311.16	0.000	0.000
310.84	311.00	0.000	0.000

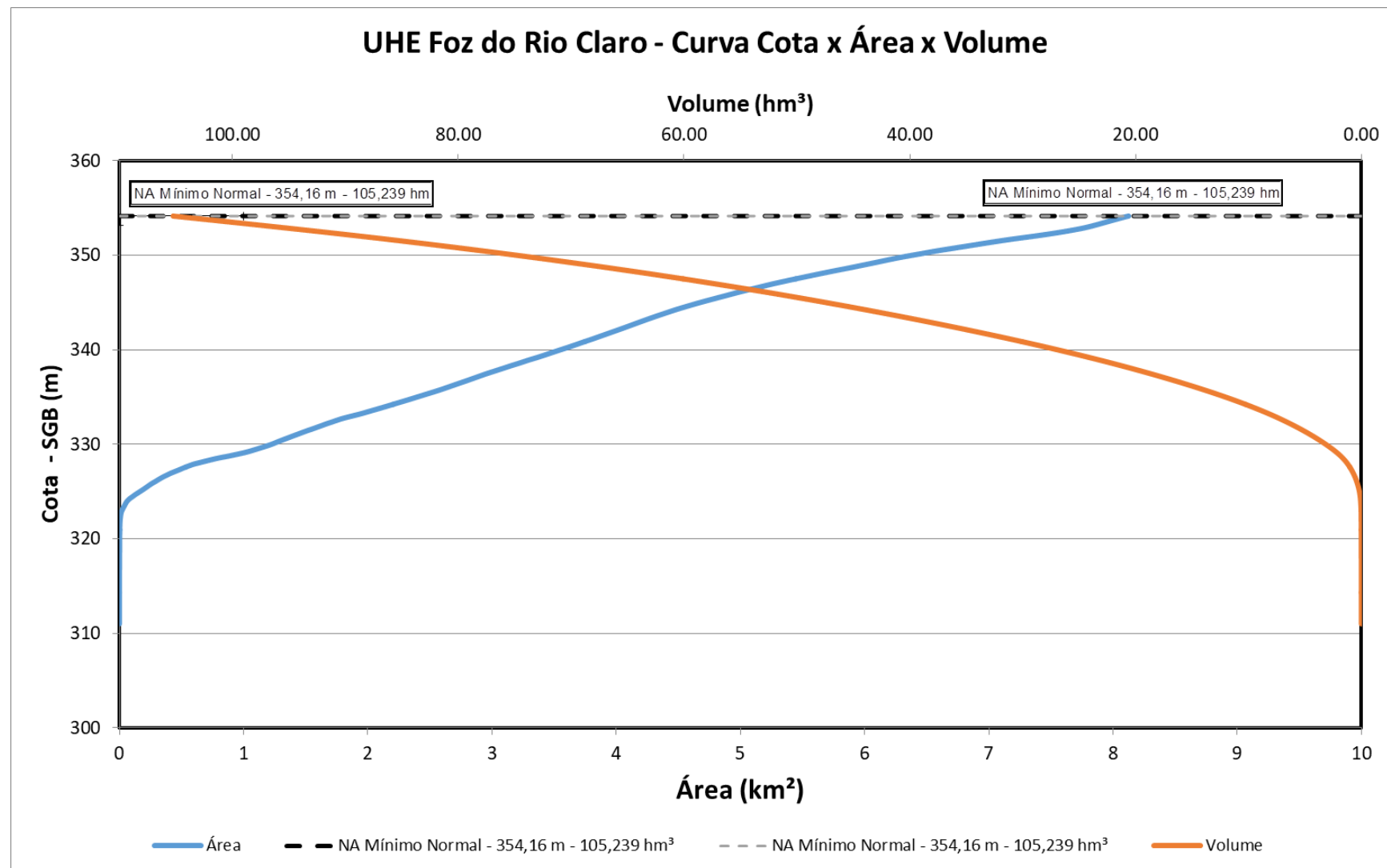


Figura 8-5 - Curvas CxAxV

#### **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 7,58 km<sup>2</sup> do reservatório, sendo que menos de 2% 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 6,7% 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 batimétricas, ou linhas de sondagens espaçadas a 100 m em todo o corpo principal e 50 m nos braços e afluentes, requisito mínimo especificado na Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 03/2010, para o reservatório da UHE Foz do Rio Claro.

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 3m de profundidade (seria razoável considerar uma profundidade média de 1,0m), o volume contido nessa área seria de 0,545 hm<sup>3</sup>, ou seja, aproximadamente 1,0% 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 são apresentadas no Quadro 8 -2.

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

Diferenças na área interpolada	Variação de volume (hm³)	Porcentagem do Volume Total
0%	0.00	0.00%
5%	0.03	0.03%
10%	0.05	0.05%
15%	0.08	0.08%
20%	0.11	0.10%
25%	0.14	0.13%

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 0,13% do volume total.

### 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 referência local (m)	Volume (hm³)		Diferença (%) (b - a)
		Curva antiga (a)	Curva nova (b)	
Mínima Normal	354,00	95,331	105,24	10,4
Máxima Normal				
Maximorum				

Essa comparação mostra que o volume do reservatório da UHE Foz do Rio Claro no seu nível máximo normal, medido atualmente, é maior do aquele indicado pela curva existente, sendo essa diferença da ordem de 10,4%.

### 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 Foz do Rio Claro, o monitoramento do aporte e sedimentação de sólidos no reservatório será feito por meio de medição sistemática de profundidades do leito do rio Paranaíba e seus contribuintes 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 7.4*.

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 azimuth 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.