# **UHE ITAPEBI** – REVISÃO DO RELATÓRIO DE ATUALIZAÇÃO DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME EM ATENDIMENTO A RESOLUÇÃO CONJUNTA Nº 03 DE 2010 ANA / ANEEL

**PORTO ALEGRE - RS**

**FEVEREIRO 2026**

## QUADRO DE IDENTIFICAÇÃO

| | |
|---|---|
| **Código do Documento** | CEDRH-UHE ITAPEBI-CAV RC03 2010_R1 |
| **Título** | UHE ITAPEBI – REVISÃO DO RELATÓRIO DE ATUALIZAÇÃO DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME EM ATENDIMENTO A RESOLUÇÃO CONJUNTA Nº 03 DE 2010 ANA / ANEEL |

| **Controle de Revisões** | | | |
|---|---|---|---|
| **Revisão Nº** | **Natureza** | **Data** | **Elaboração** |
| 00 | Emissão Inicial | 19/08/2022 | Alceu de Almeida Correa e CONSTRUSERV |
| 01 | Revisão 01 | 23/08/2022 | Alceu de Almeida Correa e CONSTRUSERV |
| 02 | Revisão 02 | 25/02/2026 | ENG. CF |

# SUMÁRIO

1. Introdução ..... 5

2. Métodos ..... 6

**2.1. Classificação do Reservatório quanto ao Potencial de Assoreamento ..... 6**

**2.2. Execução do Serviço ..... 10**

3. Modelo digital de terreno – reprocessamento dos dados originais ..... 21

**3.1. Dados brutos e refinamento dos dados ..... 21**

**3.2. Conversão para Nuvem de Pontos ..... 22**

**3.3. Complementação dos dados ..... 22**

**3.4. Levantamento de conferência para validação ..... 24**

**3.5. Verificação e correção dos dados ..... 25**

**3.6. Modelo topobatimétrico ..... 28**

4. Resultados ..... 29

**4.1. Modelo digital do terreno (MDT) ..... 29**

**4.2. Curvas Cota x Área x Volume ..... 32**

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Registro fotográfico Estações Geodésicas do IBGE ..... 11
Figura 2. Localização dos pontos da rede de vértices geodésicos ..... 12
Figura 3. Marco de apoio topográfico implantado (RVG) ..... 13
Figura 4. Delimitação da área seca com base nas cotas 110 m e 111 m. ..... 15
Figura 5. Ilustração da posição dos equipamentos na embarcação ..... 18
Figura 6. Aferição da temperatura da água ..... 18
Figura 7. Georreferenciamento do levantamento batimétrico ..... 19
Figura 8. Registro de macrófitas aquáticas no reservatório ..... 19
Figura 9. Verificação da correlação entre o sistema Altimétrico Local e o SGB ..... 20
Figura 10. Dados batimétricos obtidos pela Construserv (2016). ..... 21
Figura 11. Tabela com os dados brutos refinados. ..... 22
Figura 12. Nuvem de pontos gerada a partir dos dados refinados. ..... 22
Figura 13. Arquivos utilizados para complementar a área do barramento. ..... 23
Figura 14. Nuvem de pontos após a conversão e integração dos dados. ..... 24
Figura 15. Locais onde foram realizadas seções de conferência. ..... 24
Figura 16. Comparação entre os perfis das seções de conferência e dados de 2016. ..... 25
Figura 17. Comparação entre os perfis das seções de conferência e dados de 2016. ..... 25
Figura 18. Comparação entre os perfis das seções de conferência e dados de 2016. ..... 26
Figura 19. Comparação entre os perfis. ..... 26
Figura 20. Comparação entre os perfis. ..... 27
Figura 21. Perfis após a padronização da campanha 03/02. ..... 27
Figura 22. Perfis após a padronização da campanha 03/02. ..... 28
Figura 23. Modelo Digital do Terreno gerado. ..... 29
Figura 24. Seções de controle. ..... 31
Figura 25. Comparação CAV Original x Atualizada. ..... 32

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Enquadramento do reservatório quanto a sua tipologia ..... 7
Tabela 2. Produtos referentes conforme as orientações para a atualização da curva cota x área e cota x volume – ANA/ANEEL 2010 ..... 9

Tabela 3. Discrepância da ondulação geoidal hgeoHNOR2020 x Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) ..... 12
Tabela 4. Informações geográficas da rede de vértices geodésicos implantada ..... 13
Tabela 5. Resumo dos dados encontrados nos Metadados. ..... 16
Tabela 6. Informações geográficas Seções de Controle PI/PF ..... 30

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Nível de criticidade (NC) ..... 6
Equação 2. Índice de operação do reservatório ..... 8
Equação 3. Valor de referência para o espaçamento entre as linhas de sondagem ..... 17
Equação 4: Determinação da cota de fundo. ..... 21
Equação 5: Equação de conversão. ..... 23

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Art. 8º[1] da Resolução Conjunta ANA ANEEL nº 03, de 10 de agosto de 2010, tem-se que:

> *"Para as usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, o processo de assoreamento do reservatório deverá ser avaliado com base na atualização das curvas cota-área-volume realizada pelo concessionário ou autorizado. [...] O concessionário ou autorizado deverá encaminhar à ANA, para avaliação, um relatório técnico detalhado contendo o método e os procedimentos utilizados, bem como as tabelas cota x área e cota x volume, e os respectivos dados eletrônicos e polinômios".*

Assim, em atendimento ao descrito acima, a empresa **Itapebi Geração de Energia S.A.**, portadora do CNPJ 02.397.080/0002-77 detentora do direito de exploração do potencial hidráulico da **UHE ITAPEBI**, juntamente com as empresas **CONSTRUSERV SERVIÇOS GERAIS LTDA.**, inscrita no CNPJ sob o nº 02.412.787/0001-24 e **CEDRH** - Confluência Engenharia de Recursos Hídricos Ltda. inscrita no CNPJ sob o nº 44.658.568/0001-70, apresentam o **Relatório de Atualização das Curvas Cota x Área x Volume da UHE Itapebi** em atendimento a Resolução Conjunta nº03 ANA ANEEL 2010.

Como anexos ao relatório, será apresentada a seguinte estrutura de pastas e arquivos que terão seus arquivos descritos em maiores detalhes ao longo do texto:

| | |
|---|---|
| 01_DADOS | |
| | 01_BAT |
| | 02_RVG |
| | 03_RAN |
| | 04_CARTOGRAFIA |
| | 05_SC |
| | 06_SL X SGB |
| 02_GEODATABASE | |
| 03_PEÇAS GRÁFICAS | |
| 04_ARQUIVOS ASCII | |
| 05_COMPARAÇÃO CAV PROJETO | |
| 06_DOCUMENTOS | |

[1] https://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/ResolucaoConjunta_n_003-2010.pdf

## 2. MÉTODOS

Os serviços de campo, assim como o processamento dos dados em escritório foram realizados em concordância com o documento publicado[2] pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) intitulado "**Orientação para atualização das curvas cota x área x volume, ANA 2013**". Abaixo serão apresentados os métodos, apresentados previamente a Agência conforme o parecer técnico nº 212/2016/SGH disponibilizado como anexo junto a pasta "*02_ANEXOS\06_DOCUMENTOS\02_PARECER*".

### 2.1. Classificação do Reservatório quanto ao Potencial de Assoreamento

O planejamento e execuções dos trabalhos de campo e escritório dependeram de um enquadramento do empreendimento. Tal enquadramento é função da disponibilidade da documentação cartográfica existente e do nível de criticidade (NC) do reservatório. O NC mensura o impacto das externalidades ao empreendimento; ele é um índice que varia de 0 a 1 e é função do potencial de produção de sedimentos da bacia, posição relativa do empreendimento na cascata de reservatórios e da magnitude e importância dos efeitos de assoreamento para o setor elétrico e para os outros usos dado ao reservatório.

$$NC = \frac{P_{SS} + P_{RC} + MI + 4.R_{OR}}{21}$$ Equação 1. Nível de criticidade (NC)

Onde:

$N_C$ – Nível de criticidade;
$P_{ss}$ – Potencial de produção de sedimentos;
$P_{RC}$ – Posição do reservatório na cascata;
$R_{OR}$ – Regime de operação do reservatório;
MI – Magnitude e importância dos efeitos do assoreamento

Definido o NC, é possível enquadrar o empreendimento em uma das seguintes classes:

- Classe 1 – Nível de Criticidade Alto (NC > 0,75): Reservatório onde há risco de assoreamento e onde esse processo pode trazer efeitos negativos a geração de energia ou a outros usos da água.
- Classe 2 – Nível de Criticidade Médio (0,50 ≤ NC ≤ 0,75): Reservatório onde o risco de assoreamento é menor ou onde os efeitos esperados não são tão importantes.
- Classe 3 – Nível de Criticidade Baixo (NC < 0,5): Reservatório situado em bacias hidrográficas com pouca produção de sedimento, onde o risco de assoreamento é muito baixo.

Definida a classe de criticidade e verificada a documentação cartográfica existente, o reservatório é enquadrado conforme as tipologias apresentadas na Tabela 1.

[2] https://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesParaAtualizacaoDasCurvas_Cota_Area_Volume_Versao_Dez2013.pdf

Tabela 1. Enquadramento do reservatório quanto a sua tipologia

| Classes de criticidade | Cenário cartográfico | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| Classe 1 | **A** | **B** | **C** |
| Classe 2 | **A** | **B1** | **C** |
| Classe 3 | **A** | **B2** | **C** |

Através da definição da classe do reservatório e da verificação do material cartográfico existente, concluiu-se, conforme apresentado no plano de trabalho entregue a Agência, que o reservatório da **UHE Itapebi** se enquadra como **tipo A**. Abaixo será ilustrado o memorial de cálculo, já apresentado e aprovado pela Agência no plano de trabalho.

### 2.1.1. Potencial de produção de sedimentos da bacia hidrográfica do empreendimento hidrelétrico (PSS)

Neste parâmetro foi utilizado como referência bibliográfica a publicação "Diagnóstico das condições sedimentológicas dos principais rios Brasileiros" (Eletrobrás/IPH agosto de 1992); onde foi observado que a região em estudo possui um potencial de produção de sedimentos maior que 25 t/km².ano e menor que 100 ton/km².ano enquadrando assim o empreendimento como **Médio Potencial** de produção de sedimentos (2).

- 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);

### 2.1.2. Posição do reservatório na cascata (PRC)

Parâmetro de extrema importância para avaliar a vulnerabilidade do reservatório ao assoreamento, a posição relativa do reservatório na cascata ilustra o quão exposto e suscetível está o reservatório a produção de sedimentos da bacia e ao assoreamento.

Possuindo uma área de drenagem total de 68.100km² e localizado a jusante da bacia hidrográfica, classificou-se o reservatório da UHE Itapebi como sendo de **Média Suscetibilidade** (2).

- Reservatórios de jusante com pequena bacia incremental – Baixa Suscetibilidade ao Assoreamento (1);
- Reservatório de jusante com grande bacia incremental – Média Suscetibilidade ao Assoreamento (2);
- Reservatório de cabeceira – Alta Suscetibilidade ao Assoreamento (3);

### 2.1.3. Regime de Operação do Reservatório ($R_{OR}$)

Segundo as orientações das Agências reguladoras "*Os reservatórios de regularização proporcionam benefícios à geração de energia local e de outros aproveitamentos situados a jusante, além de beneficiar também outros usos potenciais da água. O assoreamento de seu volume útil acarreta na perda de capacidade de regularização, com perda de energia local e na cascata. Já os reservatórios operados a fio d'água, mesmo que não utilizem diretamente o seu*

*volume armazenado, podem ser afetados pelo assoreamento por meio da elevação de níveis de remanso a montante por exemplo*."

Assim, para avaliar tal suscetibilidade, calcula-se o índice de operação do reservatório através da Equação 2 e o enquadra conforme exposto abaixo.

$$IR = \frac{V_{útil}}{Q_{Tmédia}}$$

Equação 2. Índice de operação do reservatório

Onde:

IR – Índice de operação [dias];
$V_{útil}$ – Volume útil do reservatório [m³];
$Q_{Tmédia}$ – Vazão turbinada média [m³/dia];

- IR < 30 dias – Baixa Suscetibilidade (1);
- IR entre 30 e 150 dias – Média Suscetibilidade (2);
- IR maior que 150 dias – Alta Suscetibilidade (3);

Possuindo um volume útil estimado em 188,29 hm³ e uma vazão turbinada média de 639,0 m³/s, em concordância ao disposto acima, estimou-se o índice de regularização em 3 dias. Com isso, pôde-se enquadrar o IR como sendo de **Baixa Suscetibilidade** (1).

### 2.1.4. Magnitude e Importância dos Efeitos de Assoreamento (MI)

Este parâmetro ilustra a relevância e a magnitude das externalidades em caso de assoreamento do reservatório. Sua mensuração é de extrema importância pois ele avalia não somente o empreendimento em si, mas também a ocupação do entorno do reservatório e outros possíveis impactos devido a interrupção da sua disponibilidade hídrica. Sua classificação é dada da seguinte forma:

- Alta Externalidade (3) – Reservatórios nos quais pelo menos um dos parâmetros anteriores, (Pss) e (Pcr), seja considerado 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;
- Média Externalidade (2) – 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;
- Baixa Externalidade (1) – Demais reservatórios;

Como pelo menos um dos parâmetros exposto já apresentados é de média suscetibilidade, classificou-se como **Média Externalidade** (2) a magnitude e importância dos efeitos de assoreamento ao reservatório.

### 2.1.5. Nível de Criticidade

Após a classificação e mensuração dos parâmetros expostos, calculou-se através da Equação 1 o NC, obtendo-se assim o valor de **NC = 0,48** cujo enquadramento é referente a **Classe 03** (Criticidade baixa).

### 2.1.6. Classificação dos Reservatórios quando à Disponibilidade de Documentação Cartográfica

Para a classificação do reservatório quanto à disponibilidade de documentação cartográfica, as orientações propõem os três cenários expostos abaixo.

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.

Considerando o disposto acima, enquadrou-se o empreendimento no **Cenário 01** – Não possui nenhum material cartográfico de projeto, mapeamento da área seca e batimetria da área do reservatório.

Assim, após definido o cenário quanto a classificação da disponibilidade de documentação cartográfica e o NC do reservatório, consultou-se as classificações apresentadas nas Orientações técnicas disponibilizadas pela ANA / ANEEL e concluiu-se que o empreendimento possui tipologia tipo A. Definida a tipologia, definiu-se as seguintes ações apresentadas na Tabela 2 a serem realizadas e os produtos a serem entregues.

Tabela 2. Produtos referentes conforme as orientações para a atualização da curva cota x área e cota x volume – ANA/ANEEL 2010

| Reservatório Tipo | Situação | Ações a serem realizadas |
|---|---|---|
| **A** | Não possui nenhuma informação cartográfica ou batimétrica (Cenário 01).<br><br>No que se refere ao aporte de sedimentos aos reservatórios é | **1.** Implantar RVG. |
| | | **2**. Construir MGL ou validar MapGeo 2010. |
| | | **3.** Realizar Voo ou Scan Laser Fotogramétrico (ou outra metodologia equivalente) gerando uma nuvem de pontos que suporte a interpolação de curvas de nível. |
| | | **4.** Executar a Restituição na escala 1:10.000, com curvas de nível de 5 em 5 metros, PECD Classe A, sendo possível a interpolação das curvas de nível, de metro em metro, com PECD Classe B |
| | | **5.** Executar o levantamento batimétrico, utilizando o número de seções dados pela fórmula presente no item 3.4.7. |

| Reservatório Tipo | Situação | Ações a serem realizadas |
|---|---|---|
| | classificado como Classe 1, 2 ou 3. | **6.** Implantar, conforme especificado no item 3.2, as seções topobatimétricas de controle para o monitoramento do carreamento de sedimentos para os reservatórios. Estas deverão ser monitoradas anualmente quanto o reservatório ter um nível de criticidade alta, a cada 2 anos quando possuir nível de criticidade média e a cada 3 anos quanto aquele nível for baixo. |
| | | **7.** Efetuar análise das campanhas de monitoramento. |
| | | **8.** A partir da análise do histórico de sedimentação, será definida a necessidade de realização de uma batimetria completa do reservatório. |

## 2.2. Execução do Serviço

Após a classificação do reservatório, segundo as orientações das Agências reguladoras, observou-se, conforme exposto na Tabela 2, as ações a serem desempenhadas e os produtos a serem entregues, os quais serão descritos abaixo.

### 2.2.1. Modelo de ondulação geoidal

Na análise da discrepância da ondulação geoidal, em relação ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), foi utilizado o modelo de ondulação geoidal MAPGEO2015.

Para realizar a verificação se o desvio vertical da representação do modelo na área de interesse estava dentro dos limites estabelecidos pela Resolução |0,20| m, buscaram-se referências de nível do IBGE que fazem parte da atual rede altimétrica nacional (RAN). As RRNN encontradas foram ocupadas por receptor GNSS (Trimble R4) por no mínimo duas horas consecutivas; a duas distintas alturas de antena; onde observaram-se no mínimo 06 satélites de forma simultânea e PDOP inferior a 4.

No total, encontraram-se 03 (três) RRNN em bom estado de conservação (1093M, 1094G e 3266U), evidenciadas na Figura 1, que puderam ser rastreadas de forma confiável. Os arquivos brutos do receptor GNSS, em formato nativo e rinex, juntamente com os registros fotográficos dos rastreios e relatórios de pós processamento estão disponíveis junto a pasta anexa "*01_DADOS\02_GNSS\02_RAN*".

Na análise da discrepância da ondulação geoidal, conforme apresentado na Tabela 3, observou-se uma discrepância absoluta média de |0,09 m| para o MAPGEO2015, valor este dentro do limite estabelecido pela Agência de |0,20 m|. Assim, utilizou-se o modelo de ondulação geoidal MAPGEO2015 na transformação da altitude elipsoidal em altitude ortométrica em todos os registros topográfico e batimétricos do trabalho.

Figura 1. Registro fotográfico Estações Geodésicas do IBGE

**Estação Geodésica 1093M**






**Estação Geodésica 1094G**





**Estação Geodésica 3266U**



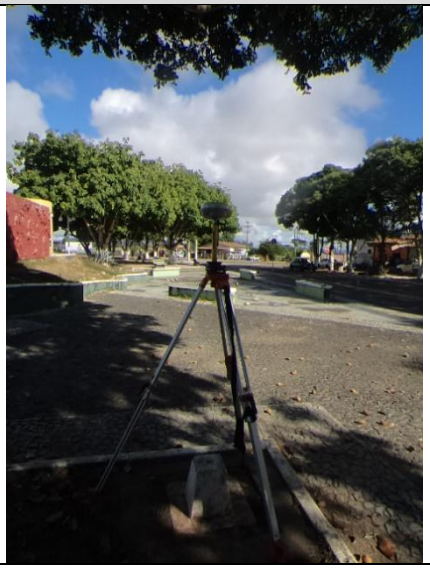


Tabela 3. Discrepância da ondulação geoidal hgeoHNOR2020 x Sistema Geodésico Brasileiro (SGB)

| # | Precisão horizontal (m) | Precisão vertical (m) | PDOP | Altitude ortométrica GNSS (m) | Altitude normal SGB (m) | Discrepância da ondulação geoidal (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Estação Geodésica 1093M** | | | | | | |
| 1093M_AI=4,380_2021.07.17 | 0,009 | 0,036 | 1,785 | 130,676 | 130,7136 | -0,03 |
| 1093M_AI=4,300_2021.07.17 | 0,017 | 0,062 | 1,628 | 130,671 | 130,7136 | -0,04 |
| **Estação Geodésica 1094G** | | | | | | |
| 1094G_AI=1,435_2021.07.18 | 0,014 | 0,028 | 1,43 | 193,021 | 193,1598 | -0,14 |
| 1094G_AI=1,534_2021.07.18 | 0,014 | 0,045 | 1,642 | 193,008 | 193,1598 | -0,15 |
| **Estação Geodésica 3266U** | | | | | | |
| 3266U_AI=1,535_2022.08.12 | 0,078 | 0,051 | <4 | 188,652 | 188,7832 | -0,13 |
| 3266U_AI=2,000_2022.08.12 | 0,075 | 0,075 | <4 | 188,72 | 188,7832 | -0,06 |
| | | | | | \|Média\| (m) | **-0,09** |

### 2.2.2. Rede de vértices geodésicos

A rede de vértices geodésicos (RVG) se caracteriza na rede de apoio topográfico cuja finalidade é a de servir como base em solo ao georreferenciamento das atividades topográficas e batimétricas realizadas.

Neste trabalho, não foram encontrados vértices remanescentes da fase de implantação da UHE Itapebi. Assim, foram implantadas 44 RVG ao longo da extensão do reservatório conforme distribuição espacial ilustrada na Figura 2; valor superior aos 10 vértices recomendado pela Agência no plano de trabalho.

Figura 2. Localização dos pontos da rede de vértices geodésicos




Os marcos de apoio topográfico implantados, Figura 3, possuem formato retangular, prismático e são feitos de concreto. Eles foram pintados de branco e na face superior possuem uma placa de identificação metálica.

Figura 3. Marco de apoio topográfico implantado (RVG)




O receptor GNSS utilizado na definição das informações geográficas foi o Trimble R4; cada marco foi ocupado durante duas seções de duração de duas a quatro horas consecutivas com variação de altura de antena; observação mínima e simultânea de 06 satélites e PDOP inferior a 4. Em alguns locais houve a necessidade de aumentar o tempo de ocupação visando o aumento da precisão e diminuição do PDOP.

Na obtenção das informações geográficas, realizou-se o pós-processamento pelo método relativo estático utilizando como base a estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) – BAIL ILHÉUS, código internacional (93313). Na obtenção da altitude ortométrica, conforme descrito no item 2.1.1, o modelo geoidal utilizado foi o MAPGEO2015.

Abaixo, na Tabela 4, são apresentadas as informações geográficas da rede de vértices implantada. Na pasta em anexo "*02_ANEXOS\01_DADOS\02_RVG*" estão disponíveis os dados tabulados contendo todas as informações relevantes, monografias de cada marco, dados brutos em formato nativo e rinex e relatórios de pós processamento.

Tabela 4. Informações geográficas da rede de vértices geodésicos implantada

| Vértice | UTM LESTE (m) | UTM NORTE (m) | Ortométrica (m) |
|---|---|---|---|
| V001 | 436921,286 | 8234237,606 | 113,882 |
| V002 | 435763,393 | 8234432,762 | 112,566 |
| V003 | 434283,375 | 8233981,125 | 111,495 |
| V004 | 433857,356 | 8235684,702 | 112,993 |
| V005 | 432497,073 | 8235311,179 | 112,266 |
| V006 | 430906,423 | 8235600,335 | 114,201 |
| V007 | 428995,147 | 8235773,885 | 114,055 |
| V008 | 427943,821 | 8234594,626 | 113,792 |
| V009 | 426130,096 | 8234036,989 | 115,283 |
| V010 | 426302,882 | 8236203,288 | 113,532 |
| V011 | 426178,573 | 8233185,536 | 113,516 |
| V012 | 424960,299 | 8235377,551 | 114,178 |
| V013 | 424295,824 | 8237416,639 | 112,953 |
| V014 | 423453,628 | 8238906,743 | 113,732 |

| Vértice | UTM LESTE (m) | UTM NORTE (m) | Ortométrica (m) |
|---|---|---|---|
| V015 | 422214,139 | 8239800,036 | 113,015 |
| V016 | 422850,844 | 8235187,356 | 113,489 |
| V017 | 420987,860 | 8234187,971 | 112,968 |
| V018 | 418575,708 | 8233716,579 | 112,830 |
| V019 | 417223,557 | 8232621,596 | 115,841 |
| V020 | 415918,316 | 8234015,264 | 115,222 |
| V021 | 413805,690 | 8232730,285 | 114,116 |
| V022 | 411420,895 | 8232551,315 | 112,755 |
| V023 | 411192,223 | 8233865,384 | 114,780 |
| V024 | 410885,675 | 8235097,178 | 112,661 |
| V025 | 410769,685 | 8232583,474 | 113,756 |
| V026 | 409483,339 | 8233673,884 | 114,298 |
| V027 | 408469,432 | 8234876,036 | 111,896 |
| V028 | 408512,742 | 8233008,265 | 112,490 |
| V029 | 407313,114 | 8232876,068 | 113,274 |
| V030 | 407616,953 | 8231007,920 | 115,580 |
| V031 | 405702,564 | 8233059,775 | 113,333 |
| V032 | 405937,466 | 8231543,064 | 112,255 |
| V033 | 404468,910 | 8229869,691 | 111,582 |
| V034 | 404666,683 | 8230623,924 | 111,867 |
| V035 | 403628,695 | 8230345,309 | 112,830 |
| V036 | 403829,399 | 8229138,423 | 113,512 |
| V037 | 402992,474 | 8230357,218 | 113,008 |
| V038 | 401931,892 | 8230770,773 | 113,678 |
| V039 | 401155,599 | 8231235,475 | 114,614 |
| V040 | 400137,869 | 8231221,610 | 112,123 |
| V041 | 399034,175 | 8231484,101 | 115,269 |
| V042 | 397915,920 | 8231335,189 | 115,788 |
| V043 | 397084,926 | 8231449,908 | 121,045 |
| V044 | 396965,493 | 8230136,376 | 122,038 |

### 2.2.3. Mapeamento da área seca do reservatório

Após o enquadramento do reservatório como classe “Tipo A”, apresentado e aprovado pela Agência o plano de trabalho, observou-se pelo empreendedor que havia um material cartográfico disponível. Conforme relatório técnico em anexo, o material trata-se de um levantamento topográfico aprovado pela ANEEL através da Resolução 501.

A utilização deste material não trouxe alterações técnicas ao dimensionamento do trabalho, dado que foram executadas 100 % das linhas de sondagem previstas. O relatório técnico, anexos e material cartográfico do trabalho se encontram disponíveis junto a pasta “*01_DADOS\04_CARTOGRAFIA*” anexa ao presente relatório.

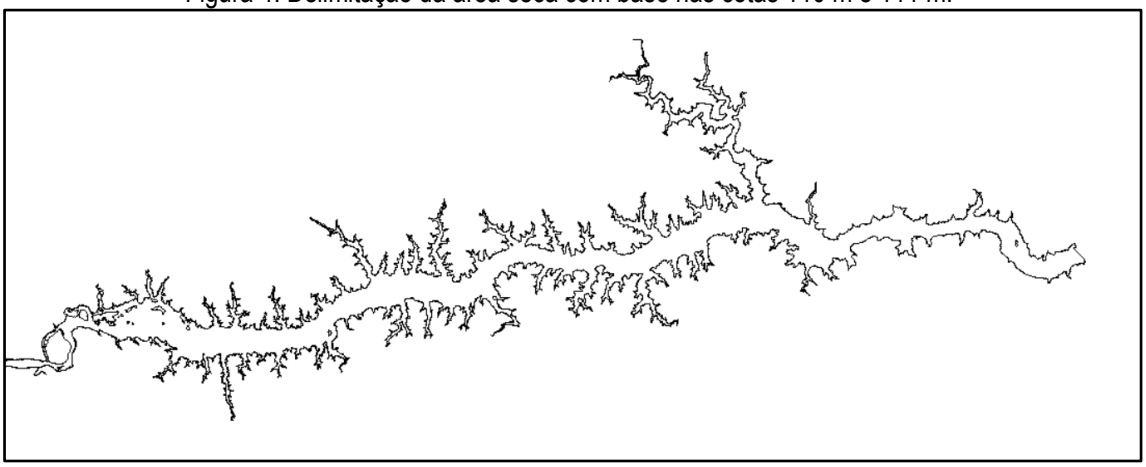
Conforme deliberado na reunião do dia xx/mm/aaa, , realizou-se tentativa de aquisição de imagens orbitais junto à empresa Engesat, especializada na comercialização de banco de imagens de satélite. Foram pesquisadas cenas nas datas indicadas (fevereiro/2017 e novembro/2021), contudo as imagens disponíveis apresentaram elevada cobertura de nuvens sobre a área de interesse, inviabilizando sua utilização técnica e comprometendo a qualidade das análises. Diante da indisponibilidade de cenas adequadas, optou-se pelo uso de imagens de alta resolução disponíveis em plataforma pública (Google), as quais foram submetidas a processo de ortorretificação. A ortorretificação foi adotada com o objetivo de corrigir distorções geométricas decorrentes do relevo e da geometria do sensor, utilizando modelo digital de elevação e pontos de controle, garantindo correção planimétrica, compatibilização com o sistema de referência oficial e precisão posicional adequada para sobreposição com bases cartográficas e vetoriais do projeto.

Com isso, para fins de complementação, ressalta-se que o mapeamento da área seca foi realizado indiretamente, a partir da diferença entre as cotas Máxima Maximorum (111 m) e Máxima Normal (110 m), que delimitam a faixa intermediária de variação do nível do reservatório.

A metodologia aplicada consistiu no processamento e vetorização em ambiente SIG, utilizando como base a imagem de satélite ortorretificada e os dados altimétricos obtidos em campo. O limite superior da área (cota 111 m) foi demarcado por nivelamento geométrico e rastreio GNSS, enquanto o limite inferior (cota 110 m) foi vetorizado sobre o espelho d'água identificado na imagem de satélite. Assim, o mapeamento resultou da interpretação espacial entre as informações levantadas e a base cartográfica existente. Assegurando a coerência geométrica entre as cotas representadas.

Essas delimitações foram empregadas para definir a área seca até o nível máximo maximorum da UHE Itapebi. A Figura 4 apresenta a delimitação da área seca.

Figura 4. Delimitação da área seca com base nas cotas 110 m e 111 m.



Os dados utilizados nesta etapa derivam do acervo técnico da Neoenergia, submetidos a processos de edição, adequação e análise espacial em ambiente SIG, com vistas ao atendimento da Resolução Normativa ANEEL nº 501/2012. O controle de qualidade consistiu na verificação de conformidade das camadas de informação com os parâmetros normativos, garantindo a integridade e a compatibilidade topológica dos dados.

A Tabela 5 apresenta uma versão resumida dados mais relevantes extraídos dos metadados presente na pasta "01_DADOS/04_CARTOGRAFIA/02_MATERIAL CARTOGRÁFICO/Metadados".

Tabela 5. Resumo dos dados encontrados nos Metadados.

| Camada | Sistema de Referência | Precisão Planimétrica (m) | Precisão Altimétrica (m) | Fonte / Método |
|---|---|---|---|---|
| AC3 | SIRGAS2000 / UTM 24S | 1 | 1,5 | Imagem de satélite ortorretificada |
| AC_TOTAL | SIRGAS2000 / UTM 24S | 1 | 1,5 | Imagem de satélite ortorretificada |
| APP | SIRGAS2000 / UTM 24S | 1 | 1,5 | Interpretação entre cotas (SIG) |
| BARR | SIRGAS2000 / UTM 24S | 0,5 | 0,8 | Nivelamento geométrico + GNSS |
| CF | SIRGAS2000 / UTM 24S | 1 | 1,5 | Imagem de satélite ortorretificada |
| CO | SIRGAS2000 / UTM 24S | 1 | 1,5 | Vetorização em SIG |
| DUP | SIRGAS2000 / UTM 24S | 1 | 1,5 | Imagem de satélite ortorretificada |
| OEAAG | SIRGAS2000 / UTM 24S | 1 | 1,5 | Imagem de satélite ortorretificada |
| RES_MMAX | SIRGAS2000 / UTM 24S | 0,5 | 0,8 | Nivelamento geométrico + GNSS |
| RES_NOR | SIRGAS2000 / UTM 24S | 1 | 1,5 | Vetorização sobre imagem de satélite |
| SUB | SIRGAS2000 / UTM 24S | 1 | 1,5 | Imagem de satélite ortorretificada |

Onde: AC3 - Área de cessão de uso para terceiros, AC_TOT - Área total de concessão, APP - Área de preservação permanente, BARR – Barramento, CF - Casa de força, CO - Canteiro de obras / Área industrial, DUP - Área declarada de utilidade pública, OEAAG - Outras estruturas e Áreas associadas à geração, RES_MMAX - Reservatório no nível Máximo Maximorum, RES_NOR - Reservatório no nível Máximo Operacional / Normal e SUB - Subestação Polígono da construção.

Os resultados quantitativos apresentados nos metadados indicam que os produtos cartográficos utilizados possuem elevado padrão de qualidade e compatibilidade geométrica. As precisões planimétricas (em torno de 1 m) e altimétrica (aproximadamente 1,5 m) asseguram a confiabilidade necessária para aplicações de caráter cadastral e de gestão territorial em empreendimentos hidrelétricos.

Conforme especificado nos metadados, os produtos atendem ao Padão de Exatidão Cartográfica (PEC), enquadrando-se na escala 1:5.000, Classe A, o que confirma sua adequação às normas técnicas vigentes e à precisão requerida para representação de feições em áreas de reservatório.

O uso do referencial SIRGAS2000 / UTM Zona 24S garante a integridade posicional e a operabilidade com demais bases geoespaciais. Assim, os produtos analisados demonstram adequação técnica e precisão compatível com a escala de trabalho exigida para o mapeamento do reservatório e das áreas associadas.

### 2.2.4. Mapeamento da área molhada do reservatório

O dimensionamento das linhas de sondagem consiste na determinação da equidistância e na locação das linhas de referência que serão navegadas durante o levantamento para a obtenção das profundidades do reservatório. Seu valor de referência é dado pela Equação 3, disposta no documento orientativo[2].

$$E_{st} = \frac{0{,}35A^{0{,}25}}{D}$$

Equação 3. Valor de referência para o espaçamento entre as linhas de sondagem

Onde:

$E_{ST}$ = equidistância das seções topobatimétricas transversais (km);
A = área do reservatório em seu nível operacional normal, (ha) e
D = extensão do reservatório (corpo principal), em nível operacional normal (km)

Para sua aplicação, houve a necessidade de determinar a extensão do reservatório, a qual foi considerada como sendo 56 km lineares a partir do barramento do empreendimento, considerando a extensão de seu tributário; quanto a área alagada, estimou-se em 5.937 hectares.

Aplicando a Equação 3, obteve-se um espaçamento médio de 170 m entre linhas. Entretanto, em concordância com o plano de trabalho aprovado pela Agência, procedeu-se a execução de um espaçamento médio de 131 m entre linhas no corpo principal do reservatório e 65 nos afluentes/tributários.

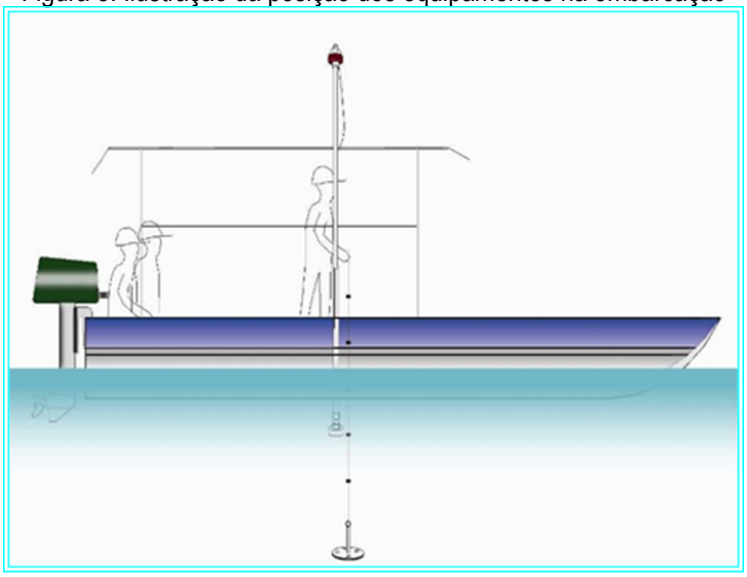
Quanto as linhas longitudinais, é indicado o espaçamento de três vezes o executado nas linhas longitudinais sendo assim executadas três linhas.

Seguindo esta orientação e em conformidade com o enquadramento da tipologia do reservatório, **Tipo A**, executaram-se 100 % das linhas de sondagem com o espaçamento orientado.

Quanto a execução do levantamento, utilizou-se um ecobatímetro monofeixe (Hydrobox). O ecobatímetro opera emitindo pulsos sonoros que são direcionados para o fundo do corpo d'água. As ondas sonoras emitidas pelo transdutor atravessam o meio líquido e atingem o fundo, parte do som é refletido e retorna a superfície, onde é detectada pelo equipamento. O tempo decorrente entre a emissão e recepção do sinal sonoro é então medido pelo ecobatímetro. Conhecendo a velocidade de propagação do som na água, configurada no ecobatímetro, é possível calcular uma medida aproximada da profundidade local, conhecida como sondagem.

Para garantir o georreferenciamento dos pontos, utilizou-se o receptor GNSS Trimble R4 instalado na parte superior de uma haste metálica, colocada na parte central próximo ao centro de massa da embarcação quando todos os técnicos e equipamentos estavam embarcados (Figura 5).

Figura 5. Ilustração da posição dos equipamentos na embarcação



Contínuo a haste que dava suporte ao receptor GNSS, em sua parte inferior, dentro d'água, foi instalada a sonda do ecobatímetro, transdutor, a profundidade de 0,4 metros. O ajuste dos offsets de imersão do transdutor foi realizado durante a exportação dos registros. Sempre no início de cada levantamento foi realizada a medição da temperatura da água e na eco-sonda o teste da placa submersa para garantir a calibração do equipamento (Figura 6).

Figura 6. Aferição da temperatura da água



A morfologia da calha do reservatório foi elaborada através das profundidades dos Níveis de Água (NA), obtidos na régua linimétrica da UHE no momento da coleta.

Referente ao georreferenciamento do levantamento, todas as atividades foram executadas com auxílio de receptor GNSS + rádio externo apoiados sobre os marcos de apoio topográfico que materializam os vértices da RVG, Figura 7.

Figura 7. Georreferenciamento do levantamento batimétrico



O levantamento foi executado no sistema de coordenadas SIRGAS2000 24S e sob o referencial altimétrico em altitude elipsoidal. A conversão da altitude elipsoidal para ortométrica foi realizada posteriormente em escritório através do modelo de ondulação geoidal MAPGEO2015, item 0.

Registra-se que durante a execução do levantamento foram observadas regiões com a presença massiva de macrófitas aquáticas dentro do reservatório, Figura 8; as quais prejudicaram em parte a execução do levantamento batimétrico.

Figura 8. Registro de macrófitas aquáticas no reservatório



### 2.2.5. Correlação entre o sistema altimétrico local e o sistema altimétrico geodésico brasileiro

A verificação da existência de diferença altimétrica entre o sistema de referência altimétrico local e a rede altimétrica de alta precisão do sistema geodésico brasileiro (que referência o modelo de ondulação geoidal MAPGEO2015) foi realizada visando a adequação dos níveis operacionais ao modelo digital de terreno gerado e as respectivas curvas cota x área x volume atualizadas.

A análise foi feita através da comparação entre a altitude registrada pelo limnígrafo instalado junto ao barramento e por um nivelamento geométrico a partir do vértice V001 da RVG, item 2.2.2, até o nível d'água.

Figura 9. Verificação da correlação entre o sistema Altimétrico Local e o SGB



Para representar o referencial altimétrico do SGB, utilizou-se o modelo de ondulação geoidal MAPGEO2015, item 0. Os resultados demonstraram que o referencial altimétrico local estava -21 cm abaixo do SGB, quando utilizado o modelo MAPGEO2015. Assim, fez-se necessário na análise dos resultados o deslocamento dos níveis operacionais do empreendimento em +21 cm a mais do que os do sistema local, resultando nos seguintes valores:

Nível mínimo: 109,00 m SL ; 109,21 m SGB
Nível máximo normal: 110,00 m SL ; 110,21 m SGB
Nível máximo maximorum: 111,00 m SL ; 111,21 m SGB

Registra-se que os resultados da atualização das curvas Cota x Área x Volume serão apresentados nos dois referenciais altimétricos, Local e SGB, e que no caso de operação da usina, deve-se utilizar os resultados do referencial altimétrico local.

Os arquivos brutos, processados e registros fotográficos estão disponibilizados junto a pasta anexa "*02_ANEXOS\01_DADOS\06_SL X SGB*".

## 3. MODELO DIGITAL DE TERRENO – REPROCESSAMENTO DOS DADOS ORIGINAIS

Após a avaliação e validação do MDT, notou-se inconsistências no modelo, tornando-se necessário o reprocessamento dos dados. O reprocessamento visou a elaboração de um MDT da área seca e molhada da UHE de Itapebi, com base em dados batimétricos históricos, arquivos auxiliares e verificações em campo. A metodologia adotada seguiu padrões técnicos nacionais para dados altimétricos, SGB.

### 3.1. Dados brutos e refinamento dos dados

A base de dados principal utilizada no processamento foram os dados batimétricos obtidos no ano de 2016. Os arquivos incluem coordenadas UTM (E, N) e profundidades relativas ao nível d'água (NA) no momento da medição, cota de fundo, distância acumulada, dentre outros. A Figura 10 explicita parcialmente os dados presentes em um dos arquivos.

Figura 10. Dados batimétricos obtidos pela Construserv (2016).

| | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Hora | Coordenada UTM E | Coordenada UTM N | Cota de Fundo | Profundidade | Altura | Distância | Correção | ID | Seção |
| 2 | 04:48,2 | 403638.89m | 8231615.99m | 100.11m | -2.56m | 102.66m | 1258.5m | -1.97m | T.00002 | S 906 (2) |
| 3 | 04:49,2 | 403639.30m | 8231614.78m | 100.05m | -2.61m | 102.66m | 1257.3m | -1.73m | T.00003 | S 906 (2) |
| 4 | 04:50,2 | 403639.62m | 8231613.54m | 99.96m | -2.69m | 102.65m | 1256.0m | -1.57m | T.00004 | S 906 (2) |
| 5 | 04:51,2 | 403640.07m | 8231612.25m | 99.79m | -2.84m | 102.64m | 1254.7m | -1.29m | T.00005 | S 906 (2) |
| 6 | 04:52,2 | 403640.65m | 8231610.82m | 99.73m | -2.95m | 102.68m | 1253.2m | -0.90m | T.00006 | S 906 (2) |
| 7 | 04:53,2 | 403640.72m | 8231609.49m | 99.55m | -3.15m | 102.70m | 1251.8m | -1.01m | T.00007 | S 906 (2) |
| 8 | 04:54,2 | 403640.72m | 8231608.03m | 99.38m | -3.33m | 102.71m | 1250.4m | -1.20m | T.00008 | S 906 (2) |

Para otimizar o processamento dos dados, foram selecionados, a partir dos arquivos brutos, apenas os atributos essenciais à elaboração do MDT. Assim, foi elaborada uma tabela contendo os seguintes campos extraídos diretamente dos dados originais: UTM E, UTM N e Profundidade.

Informações como Hora, Altura (que indica a altitude do transdutor durante a sondagem), Distância e Correção (ambos referentes a localização da embarcação em relação à base GNSS no momento da obtenção do ponto), entre outros, foram descartadas no reprocessamento por contribuírem para o objetivo desta etapa.

Para o cálculo das coordenadas altimétricas (cotas) dos pontos, foi utilizado o NA da régua correspondente a cada dia de medição. Esses valores foram obtidos a partir da planilha da caderneta de flutuação de nível da UHE Itapebi.

As cotas de fundo foram determinadas por meio da seguinte equação:

$$\text{Cota do fundo} = \text{NA} - \text{Profundidade}$$

Equação 4: Determinação da cota de fundo.

A Figura 11 mostra parte do arquivo elaborado com os dados brutos já filtrados, deixando apenas os atributos necessários para o reprocessamento.

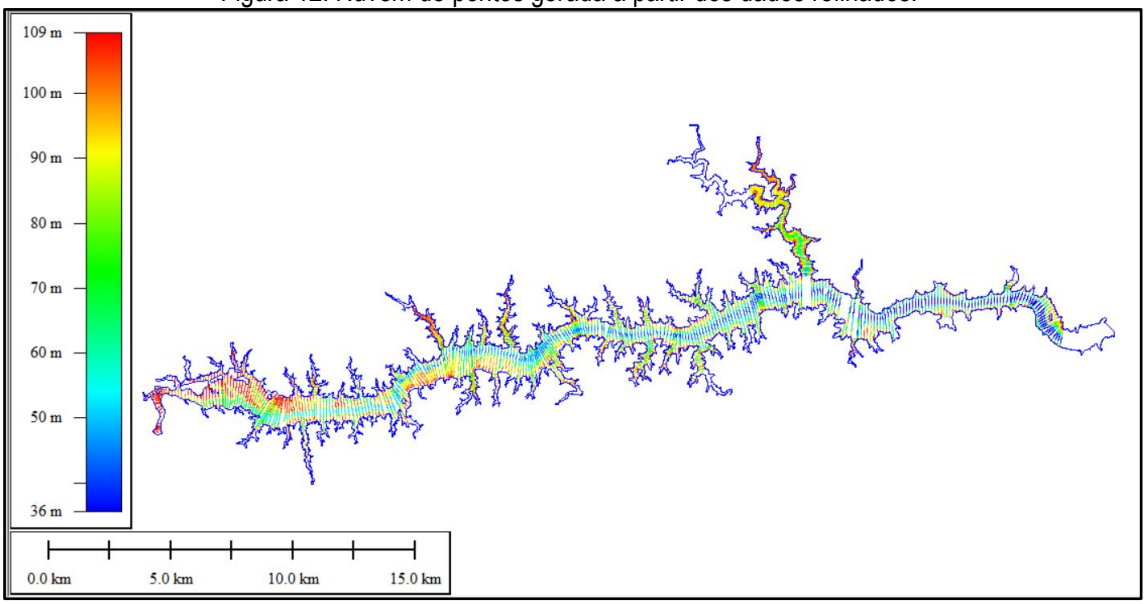
Figura 11. Tabela com os dados brutos refinados.

| ID | X | Y | ELEVATION | PROF | NIVEL_REGU |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 434674.18 | 8234018.34 | 26.86 | -82.95 | 109.81 |
| 2 | 434674.66 | 8234019.88 | 26.75 | -83.06 | 109.81 |
| 3 | 402141.28 | 8231871.02 | 107.21 | -2.66 | 109.87 |
| 4 | 401418.29 | 8231625.53 | 107.17 | -2.70 | 109.87 |
| 5 | 401261.64 | 8232502.17 | 107.14 | -2.73 | 109.87 |
| 6 | 401056.67 | 8232489.02 | 107.21 | -2.66 | 109.87 |
| 7 | 401434.44 | 8232346.8 | 107.26 | -2.61 | 109.87 |
| 8 | 401328.07 | 8232448.79 | 107.24 | -2.63 | 109.87 |
| 9 | 401118.51 | 8231945.72 | 107.18 | -2.69 | 109.87 |
| 10 | 401113.66 | 8231885.88 | 107.17 | -2.70 | 109.87 |

### 3.2. Conversão para Nuvem de Pontos

Utilizando o *software* Global Mapper, foi realizada a importação do arquivo com as cotas calculadas. Assim, foi possível gerar um arquivo *shapefile* representando a calha do reservatório conforme o levantamento de 2016. Este arquivo foi convertido em uma nuvem de pontos no formato .LAS, viabilizando o tratamento, a filtragem de ruídos e a posterior interpolação da superfície. Esta nuvem de pontos está representada na Figura 12.

Figura 12. Nuvem de pontos gerada a partir dos dados refinados.

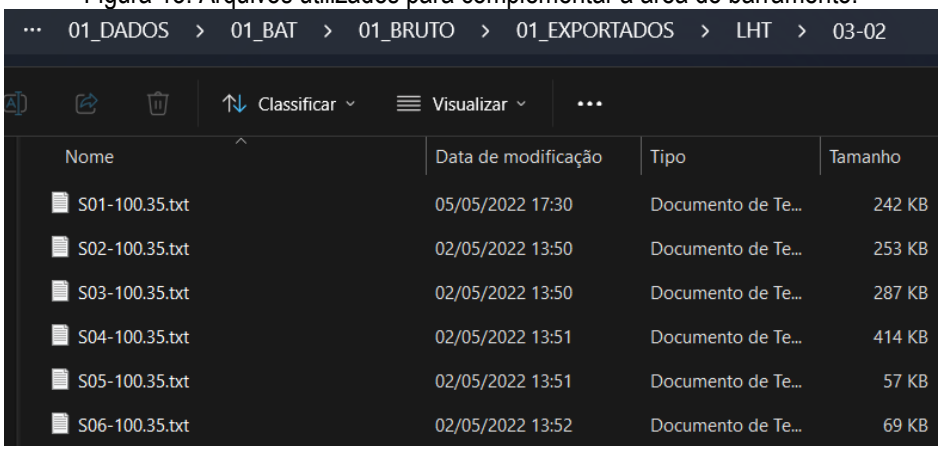



### 3.3. Complementação dos dados

Notou-se que a área próxima ao barramento do reservatório não possuía cobertura nos dados brutos do início do reservatório, o que gerava uma lacuna na representação da área molhada. Para complementar a nuvem de pontos gerada e assegurar a abrangência de toda área, foi

necessário recorrer a arquivos adicionais contendo dados da região ausente. Para preencher essa lacuna, foram utilizados os arquivos contidos no diretório “2022-08-23 – CEDRH UHE ITAPEBI_R1\ 02_ANEXOS\ 01_DADOS\ 01_BAT\ 01_BRUTO\ 01_EXPORTADOS\ LHT\ 03-02”. A Figura 13 apresenta, de forma parcial, os arquivos encontrados nesse diretório.

Figura 13. Arquivos utilizados para complementar a área do barramento.




Os arquivos complementares continham apenas os campos: UTM E, UTM N e Cota de fundo. Como essas cotas de fundo estavam referenciadas ao elipsoide (altitudes geodésicas), por meio de levantamento GNSS, foi necessário convertê-las para altitude ortométrica, referenciadas ao geoide, compatível com o restante da base de dados. A conversão foi feita com base na seguinte equação:

$$\mathrm{NA}_{\mathrm{ortométrico}} = \mathrm{NA} - \alpha + \beta$$

Equação 5: Equação de conversão.

Onde:
α: Ondulação geoidal (m);
β: Correção entre o sistema local ao SGB (m).

A ondulação geoidal foi obtida por meio do MAPGEO2015, ferramenta oficial disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para esta área, o valor de ondulação encontrado foi de -9,14 m. Já a correção local para compatibilização com o SGB encontrada anteriormente foi de aproximadamente -0,20 m. Assim, substituindo os valores na equação anterior, temos que:

NA_ortométrico = NA + 9,14 m - 0,20 m
NA_ortométrico = NA + 8,94 m

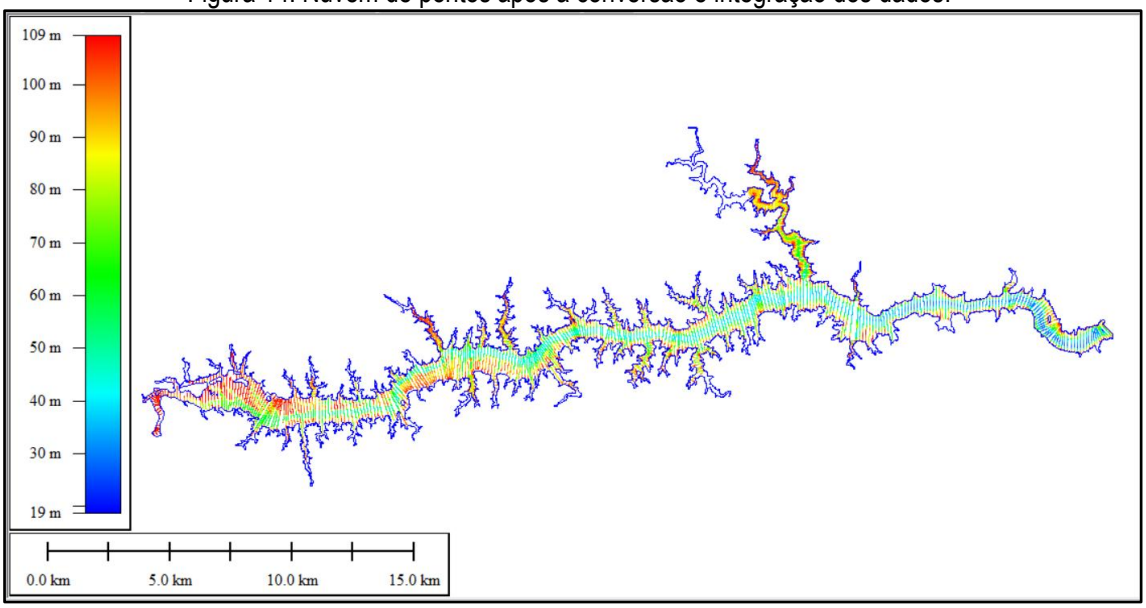
Todos os dados brutos presentes nos arquivos complementares foram levantados em um único dia. O valor de NA apresentado nas seções foi de 100,35 m (altitude geodésica). Dessa forma, o NA ortométrico utilizado, para o reprocessamento da área próxima ao barramento, foi:

NA_ortométrico = 100,35 + 8,94 m
NA_ortométrico = 109,29 m

É importante destacar que o NA informado no arquivo foi adotado como referência para compatibilização dos dados, uma vez que tanto o NA quanto as profundidades foram obtidas via

GNSS. Dessa forma, o uso do mesmo valor geodésico garantiu coerência interna entre as diferentes informações altimétricas levantadas em campo.
Com esse valor de referência, foi possível compatibilizar os dados do barramento com a base de 2016 e complementar a área molhada de interesse. Assim, após a compatibilização, foi possível gerar uma nuvem de pontos, abrangendo toda a área molhada do reservatório, como apresentada na Figura 14.

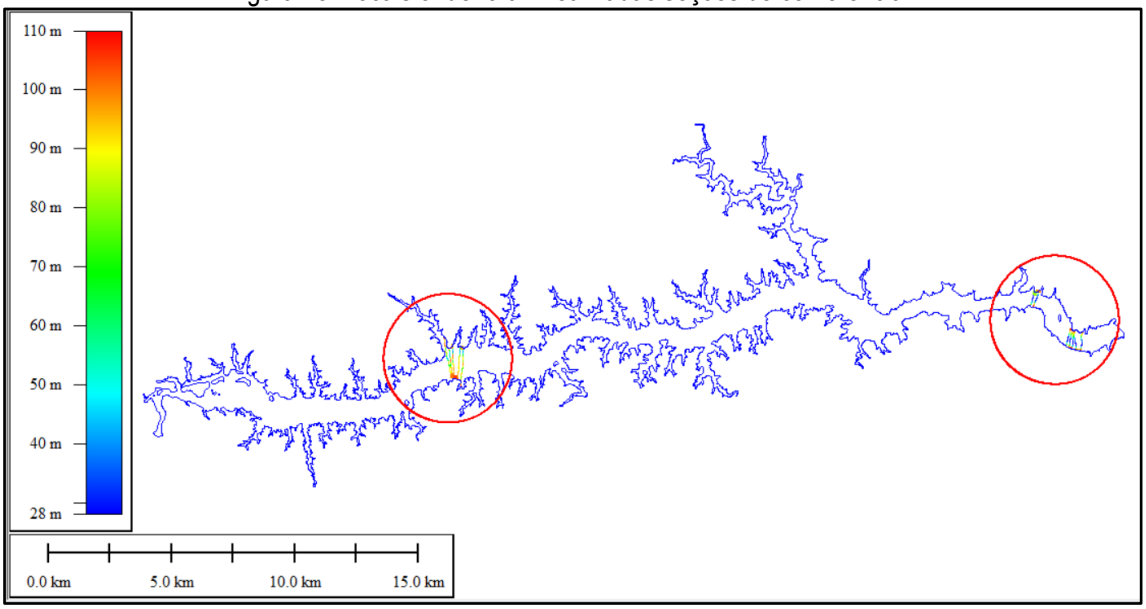
Figura 14. Nuvem de pontos após a conversão e integração dos dados.




### 3.4. Levantamento de conferência para validação

Para garantir a coerência dos dados reprocessados, foi realizada uma batimetria pontual em algumas seções originalmente levantadas. Nessas seções de conferência, foram utilizados os mesmos procedimentos de cálculo, ou seja, as profundidades foram subtraídas do NA obtido na régua linimétrica da UHE no momento da coleta. A Figura 15 apresenta a localização das seções de conferência.

Figura 15. Locais onde foram realizadas seções de conferência.



### 3.5. Verificação e correção dos dados

As seções de conferência foram processadas utilizando a mesma metodologia aplicada ao reprocessamento dos dados brutos, assegurando a comparabilidade entre os conjuntos. A partir disso, foram gerados perfis comparativos entre os dados da conferência (em verde) e os dados da campanha de 2016 (em laranja), conforme apresentado nas Figuras 16, 17 e 18.

Figura 16. Comparação entre os perfis das seções de conferência e dados de 2016.

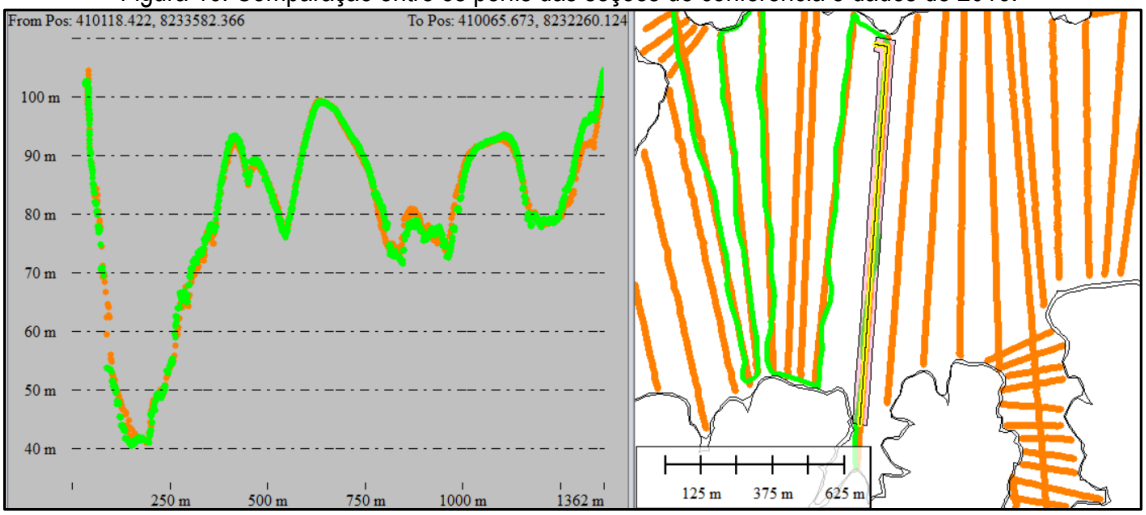



Figura 17. Comparação entre os perfis das seções de conferência e dados de 2016.

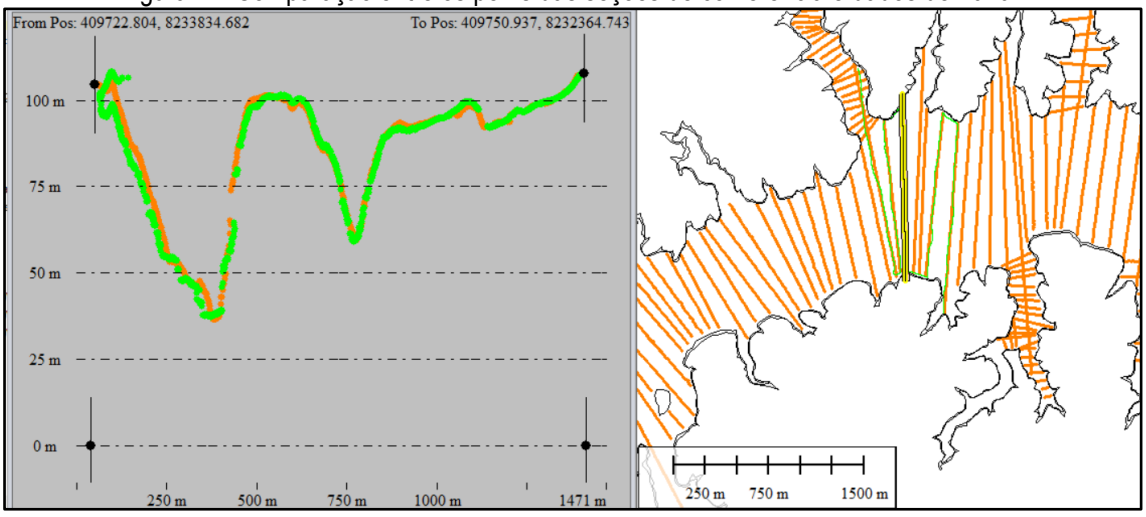
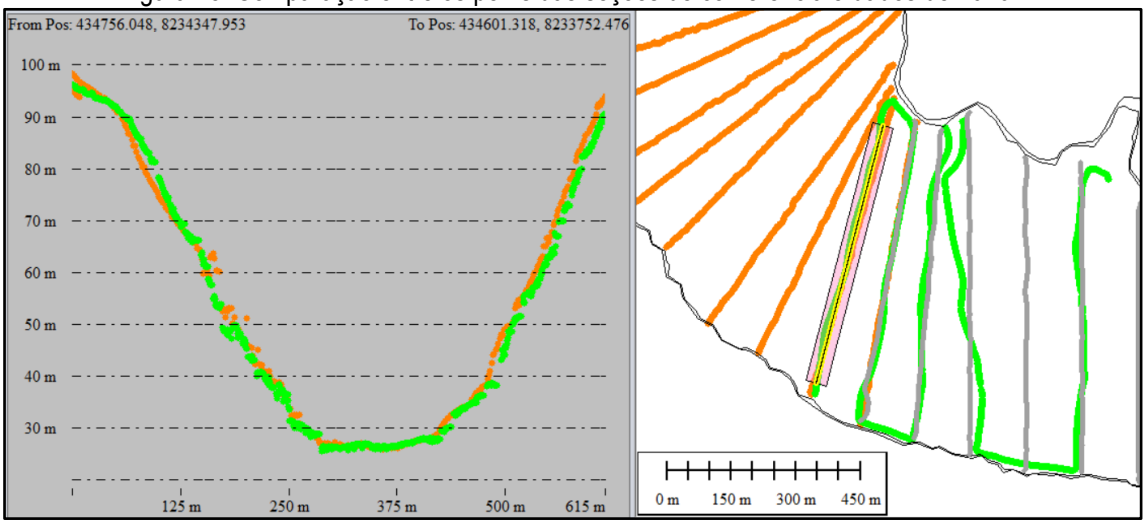


Figura 18. Comparação entre os perfis das seções de conferência e dados de 2016.




Ao incluir os dados da região do barramento, oriundos da campanha de 03/02 (representados em cinza), observou-se um desvio vertical médio de aproximadamente 0,40 m em relação aos perfis das demais bases de dados. Esse desvio é evidenciado nas Figuras 19 e 20 que demonstram a discrepância altimétrica entre os conjuntos.

Figura 19. Comparação entre os perfis.

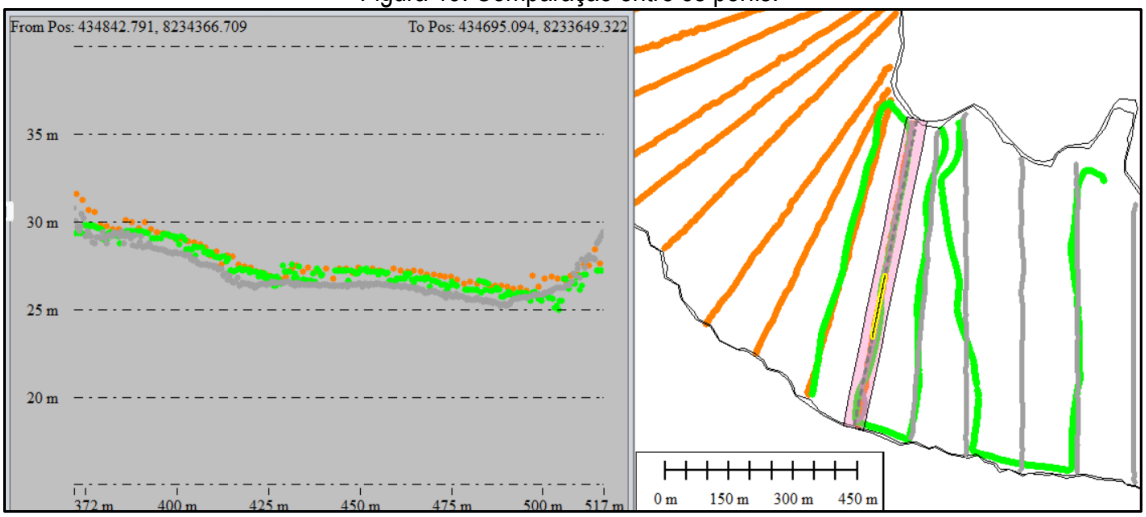
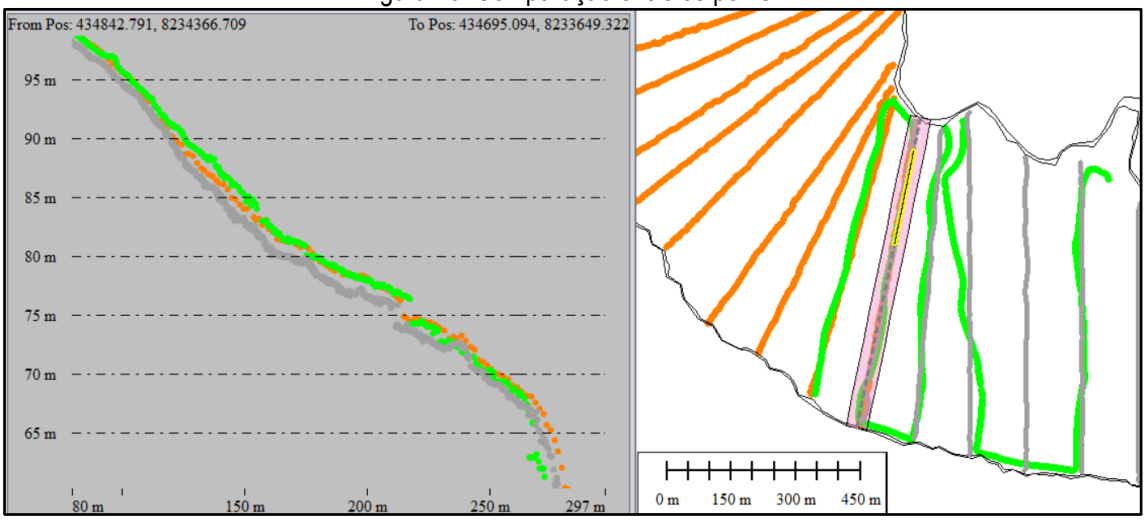


Figura 20. Comparação entre os perfis.




Para garantir a padronização altimétrica e a integração coerente dos dados, foi aplicado um ajuste vertical de +0,40 m em todos os pontos da campanha de 03/02. Esse ajuste permitiu alinhar os dados ao mesmo referencial utilizado na base de 2016 e nos perfis de conferência, eliminando descontinuidades artificiais. Os resultados, após a correção, são apresentados nas Figuras 21 e 22, que mostram perfis praticamente sobrepostos.

Figura 21. Perfis após a padronização da campanha 03/02.

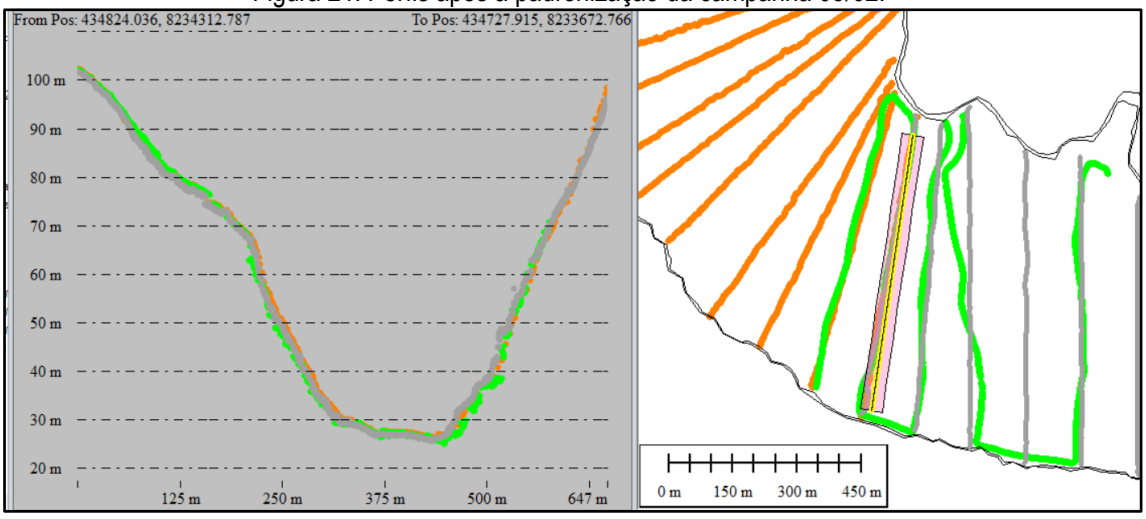
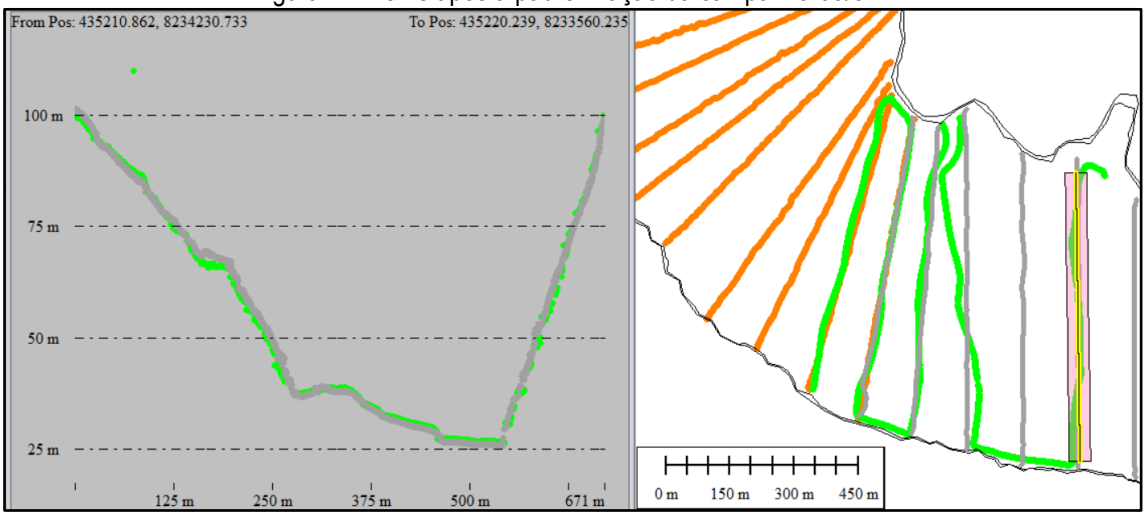


Figura 22. Perfis após a padronização da campanha 03/02.




A realização dessa correção foi tecnicamente indispensável para assegurar a coerência, compatibilidade e precisão do modelo final. No contexto deste processamento da UHE Itapebi, a padronização foi ainda mais importante por envolver dados provenientes de diferentes campanhas, anos distintos e referenciais altimétricos variados. Ao alinhar todos os conjuntos em um mesmo sistema de referência, garantiu-se a integridade espacial do modelo e a confiabilidade dos produtos gerados.

### 3.6. Modelo topobatimétrico

O MDT do reservatório foi gerado a partir da integração de todos os pontos batimétricos e topográficos previamente tratados, corrigidos e validados, representando tanto a área submersa quanto a seca até a cota de máxima cheia. Inicialmente, a delimitação das margens foi realizada com base nas curvas de nível de 110 m e 111 m, derivados da área seca.

Porém, na porção mais a montante do barramento, no trecho do remanso, foram identificadas anomalias nessas curvas próximas às cotas de 110 e 111 m, nas quais determinados contornos faziam com que algumas ilhas fossem interpretadas como áreas inundadas. Em razão dessas inconsistências, optou-se por redefinir a delimitação do reservatório por meio da vetorização da linha d'água observada em uma imagem de satélite obtida no Google, datada de 18/10/2019, previamente ortorretificada para compatibilização geométrica com os demais dados do projeto. Na referida data, a cota local do reservatório era de 109,8 m, correspondente à média das leituras da régua limnimétrica registradas no mesmo dia.

Após o redesenho da margem com base na imagem ortorretificada, a delimitação foi conferida e analisada com o apoio do ANADEM, a fim de determinar de forma mais consistente o limite entre as áreas secas e submersas. O ANADEM é um MDT desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) em parceria com a ANA, disponível para toda a América do Sul, com resolução espacial de 30 metros, elaborado a partir do reprocessamento de modelos digitais de elevação e da aplicação de correções voltadas à representação do terreno "nu", com remoção do efeito da vegetação e ajustes hidrológicos. Por apresentar maior coerência geomorfológica e melhor adequação a estudo hidrológicos, o ANADEM mostrou-se apropriado como base auxiliar para verificação de inconsistências altimétricas e apoio à modelagem do terreno em áreas de relevo

suave e regime de remanso.

Todo o processamento foi realizado no Global Mapper, que possibilitou a manipulação eficiente da nuvem de pontos, das breaklines e das superfícies modeladas. Durante a construção do modelo, foi dada atenção especial à interface entre as áreas submersa e seca, uma vez que transições bruscas podem gerar artefatos, como picos e vales ou descontinuidades. Nessa zona de transição, foram aplicados algoritmos de interpolação espacial, como a krigagem, que permitem uma estimativa suave e estatisticamente consistente, reduzindo ruídos e garantindo continuidade topográfica e coerência altimétrica entre os diferentes domínios que compõem o MDT.

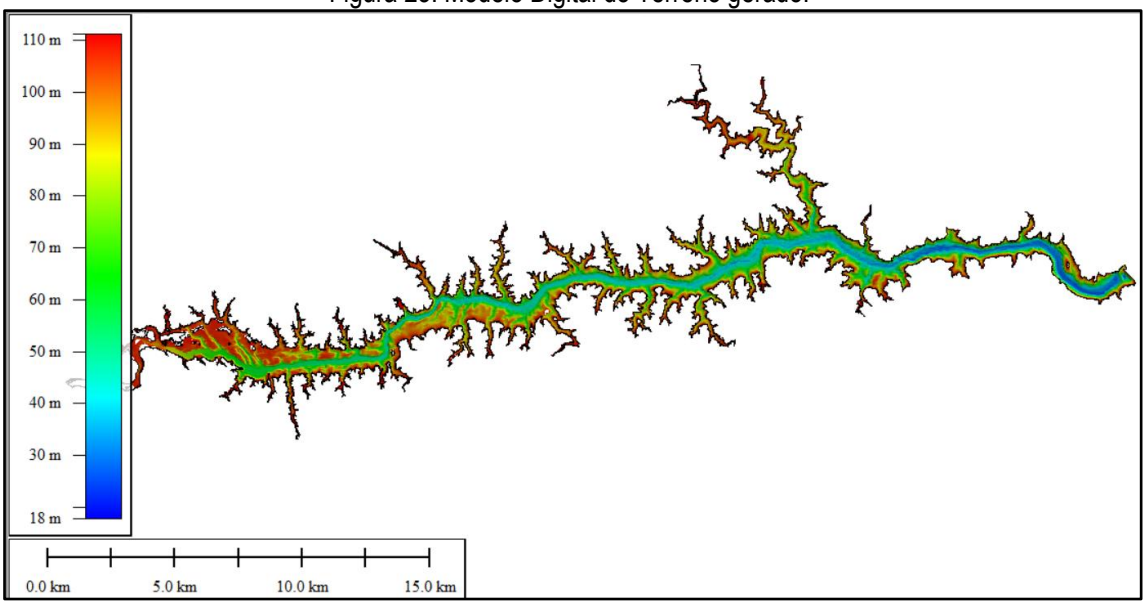
# 4. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas as análises realizadas e os resultados obtidos.

## 4.1. Modelo digital do terreno (MDT)

A Figura 23 representa o produto final gerado a partir da consolidação e interpolação dos dados brutos, integrados com os pontos adicionais da campanha de 03/02 e do levantamento de conferência. O modelo obtido reflete a aplicação de procedimentos de correção altimétrica, padronização de sistemas de referências geodésicos e interpolação topográfica contínua, com especial atenção à suavização de transições entre áreas secas e molhadas. Como resultado, foi obtida uma superfície tridimensional contínua, consistente e compatível com os padrões técnicos e normativos exigidos para produtos em ambientes de reservatórios.

Figura 23. Modelo Digital do Terreno gerado.




### 4.1.1. Seções de controle

Em conformidade com o nível de criticidade (baixa criticidade), instalou-se um conjunto de seções topobatimétricas compostas por três seções de controle no quartil superior do reservatório.

Na obtenção das informações geográficas, realizou-se o pós-processamento pelo método relativo estático utilizando como base um ponto de apoio ocupado por longo período receptor GNSS. Esse ponto foi ajustado pelo método relativo estático utilizando como base de apoio a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) – BAIL ILHÉUS, código internacional (93313). Na obtenção da altitude ortométrica, conforme descrito no item 2.2.1, o modelo geoidal utilizado foi o MAPGEO2015.

Abaixo, na Tabela 6, é apresentada as informações planialtimétricas das RRNN que delimitam o ponto inicial e final de cada seção implantada.

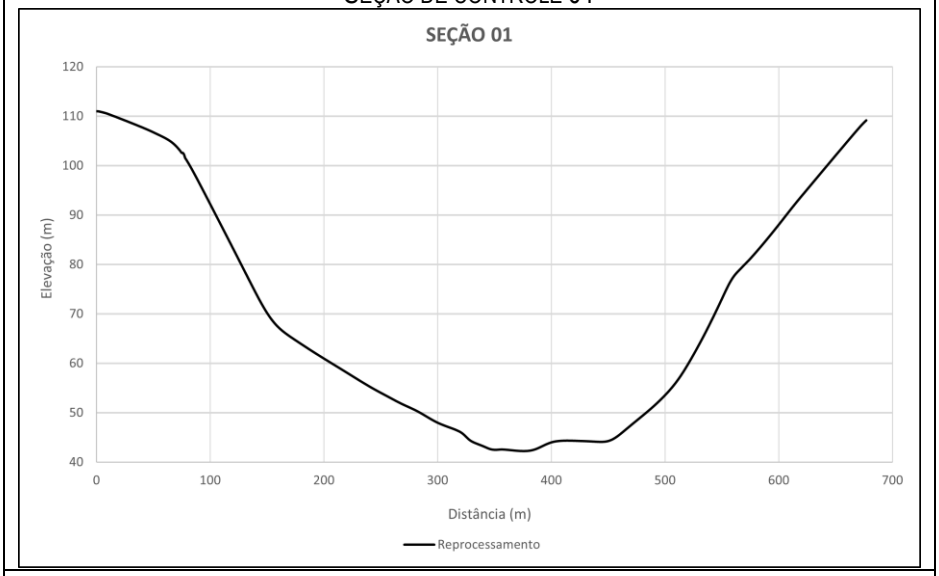
Tabela 6. Informações geográficas Seções de Controle PI/PF.

| # | UTM X | UTM Y | Latitude | Longitude | Altitude ortométrica (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| SC01MD | 416665,746 | 8233844,731 | 15°58'24,44741"S | 39°46'43,54554"W | 118,023 |
| SC01ME | 416852,274 | 8234539,157 | 15°58'01,87165"S | 39°46'37,18459"W | 112,201 |
| SC02MD | 412774,309 | 8232425,419 | 15°59'10,14973"S | 39°48'54,64121"W | 112,911 |
| SC02ME | 412759,191 | 8233399,536 | 15°58'38,44845"S | 39°48'55,02086"W | 113,568 |
| SC03MD | 410943,379 | 8232740,472 | 15°58'59,66214"S | 39°49'56,19372"W | 111,407 |
| SC03ME | 410797,851 | 8233665,876 | 15°58'29,52822"S | 39°50'00,96591"W | 115,850 |

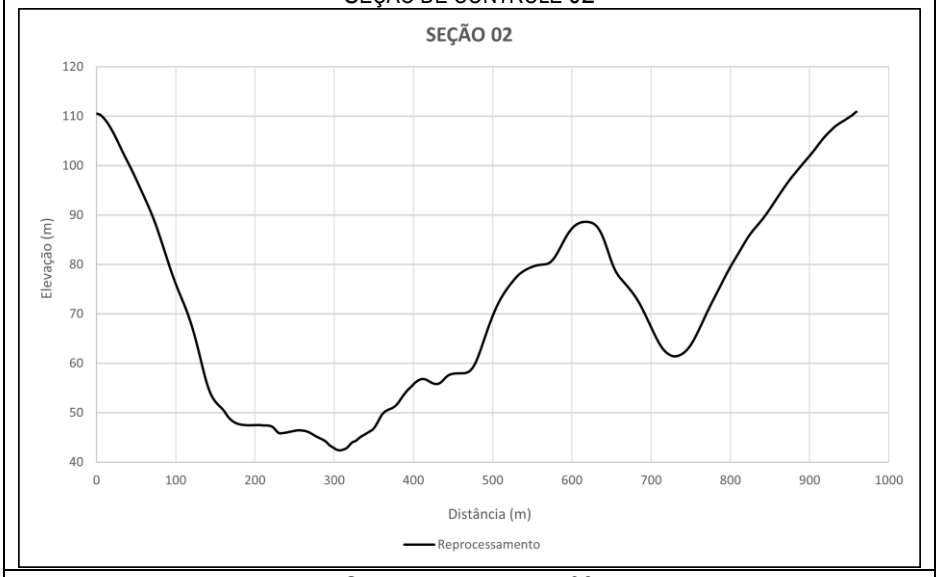
Conforme descrito na Resolução, é previsto que o levantamento dessas seções topobatimétricas seja realizado a cada 2 anos com a finalidade de avaliar a evolução morfológica do leito e volumétrica do reservatório. Abaixo, na Figura 24 é apresentado as seções transversais levantadas.

Figura 24. Seções de controle.

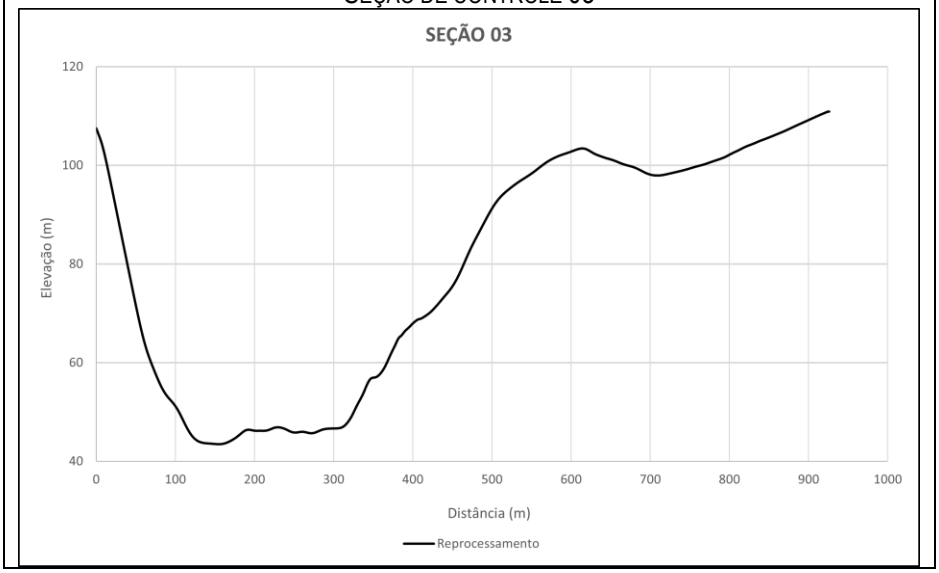
SEÇÃO DE CONTROLE 01




SEÇÃO DE CONTROLE 02




SEÇÃO DE CONTROLE 03



## 4.2. Curvas Cota x Área x Volume

Na análise dos resultados de área e volume obtidos, fez-se a comparação entre os dados atualizados e os registros existentes e que caracterizam a curva cota x área x volume da UHE Itapebi. A Figura 25 apresenta a comparação entre a CAV original x atualizada, cuja área e volume foram calculados através do software Global Mapper.

Figura 25. Comparação CAV Original x Atualizada.

