

UHE Luiz  
Gonzaga,  
Apolônio  
Sales, Paulo  
Afonso I, II, III,  
IV

# Relatório Técnico

Atualização das Curvas Cota x Área x Volume  
Produto 13

Contratante: Companhia Hidrelétrica do São Francisco  
Contratado: Rural Tech Comércio E Serviços Eireli

CONTRATO DE SERVIÇOS ESPECIALIZADOS NA ÁREA DE, TOPOGRAFIA, GEODÉSIA, BATIMETRIA E CARTOGRAFIA PARA ATUALIZAÇÃO DAS CURVAS COTA x ÁREA x VOLUME EM ATENDIMENTO DO ARTIGO 8 DA RESOLUÇÃO CONJUNTA ANA/ANEEL Nº 03/2010 CONFORME ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA ET – DCG 078/2015 REV1.

Reservatórios Luiz Gonzaga, Apolônio Sales,  
Delmiro Gouveia e Paulo Afonso IV  
P13-CAV-RT-R06

ELABORAÇÃO:  
Eng. Lucas Amorim de Sá  
Geofísico Kayque Bergamaschi

JANEIRO - 2021

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONTRATADA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. OBJETIVO .....</b>	<b>4</b>
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS .....</b>	<b>5</b>
<b>4.1 UHE LUIZ GONZAGA .....</b>	<b>5</b>
<b>4.2 RESERVATÓRIO DELMIRO GOUVEIA.....</b>	<b>5</b>
4.2.1 PAULO AFONSO I .....	5
4.2.2 PAULO AFONSO II .....	6
4.2.3 PAULO AFONSO III .....	6
<b>4.3 UHE PAULO AFONSO IV .....</b>	<b>7</b>
<b>4.4 UHE APOLÔNIO SALES.....</b>	<b>8</b>
<b>4.5 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA .....</b>	<b>8</b>
<b>5. METODOLOGIA .....</b>	<b>9</b>
<b>6. CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME .....</b>	<b>10</b>
<b>6.1 UHE LUIZ GONZAGA .....</b>	<b>10</b>
<b>6.2 UHE APOLÔNIO SALES.....</b>	<b>13</b>
<b>6.3 RESERVATÓRIO DELMIRO GOUVEIA – UHES PAULO AFONSO I, II E III .....</b>	<b>16</b>
<b>6.4 UHE PAULO AFONSO IV .....</b>	<b>18</b>
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>20</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta as atividades técnicas de topografia, geodésia, cartografia e batimetria executadas para a atualização das curvas Cota x Área x Volume dos reservatórios da UHE Luiz Gonzaga, localizada no município de Petrolândia – PE, Delmiro Gouveia e Paulo Afonso IV, localizados no município de Paulo Afonso – BA, e da UHE Apolônio Sales, localizada no município de Delmiro Gouveia - AL . Os serviços de levantamentos geodésicos e batimétricos executados pela empresa Rural Tech, nos meses de dezembro de 2018, janeiro e fevereiro de 2019, conforme contrato com a Companhia Hidrelétrica do São Francisco, nº 92.2016.1500.00.

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 pelas Usinas Hidrelétricas de Luiz Gonzaga, Apolônio Sales, Paulo Afonso IV e Delmiro Gouveia.

## 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 dos reservatórios Luiz Gonzaga, Apolônio Sales, Delmiro Gouveia e Paulo Afonso IV em atendimento à resolução conjunta ANA/ANEEL N °3 de 2010.

Para isso a CONTRATADA executou as seguintes atividades:

- Implantação da Rede de Vértices Geodésicos (RVG) no entorno do reservatório, por rastreo GNSS L1/L2;
- Mapeamento da área molhada por meio de tecnologia de ensonificação do leito com sonar multifeixe e monofeixe de todo o espelho d'água do reservatório e braços;

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

## 4. CARACTERIZAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS

### 4.1 UHE Luiz Gonzaga

O Quadro 4-1 a seguir apresenta as características da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga.

**Quadro 4-1 - Características do Empreendimento**

Localização	Rio São Francisco
Bacia Hidrográfica	Bacia do Rio São Francisco
Município margem direita	Petrolândia – PE
Município margem esquerda	Glória – BA
Coordenadas geográficas da usina	09° 06' 00" S- 38° 19' 00" W
Potência Instalada (MW)	1.479,6
Entrada em operação	13/06/1988
Área de drenagem total até a barragem (km²)	828
Volume total do reservatório (Hm³)	10.782
Volume útil do reservatório (Hm³)	3.549
Vazão regularizada	Adotado 2.060 m³/s com o reservatório de Sobradinho
NA Máximo Operativo Normal (m)	304,00
NA Mínimo Operativo Normal (m)	299,00

### 4.2 Reservatório Delmiro Gouveia

#### 4.2.1 Paulo Afonso I

O Quadro 4-2 a seguir apresenta as características da Usina Paulo Afonso I.

**Quadro 4-2 - Características do Empreendimento**

Localização	Rio São Francisco
Bacia Hidrográfica	Bacia do Rio São Francisco
Município margem direita	Delmiro Gouveia – AL

Município margem esquerda	Paulo Afonso – BA
Coordenadas geográficas da usina	09° 22' 00" S- 38° 16' 00" W
Potência Instalada (MW)	180,001
Entrada em operação	12/1954
Área de drenagem total até a barragem (km²)	4,8
Volume total do reservatório (Hm³)	26
Volume útil do reservatório (Hm³)	9,8
Vazão regularizada	Fio d'água
NA Máximo Operativo Normal (m)	230,30
NA Mínimo Operativo Normal (m)	228,30

#### 4.2.2 Paulo Afonso II

O Quadro 4-3 a seguir apresenta as características da Usina Paulo Afonso II.

**Quadro 4-3 - Características do Empreendimento**

Localização	Rio São Francisco
Bacia Hidrográfica	Bacia do Rio São Francisco
Município margem direita	Delmiro Gouveia – AL
Município margem esquerda	Paulo Afonso – BA
Coordenadas geográficas da usina	09° 22' 00" S- 38° 16' 00" W
Potência Instalada (MW)	443
Entrada em operação	12/1954
Área de drenagem total até a barragem (km²)	4,8
Volume total do reservatório (Hm³)	26
Volume útil do reservatório (Hm³)	9,8
Vazão regularizada	Fio d'água
NA Máximo Operativo Normal (m)	230,30
NA Mínimo Operativo Normal (m)	228,30

#### 4.2.3 Paulo Afonso III

O Quadro 4-4 a seguir apresenta as características da Usina Paulo Afonso III.

**Quadro 4-4 - Características do Empreendimento**

Localização	Rio São Francisco
Bacia Hidrográfica	Bacia do Rio São Francisco

Município margem direita	Delmiro Gouveia – AL
Município margem esquerda	Paulo Afonso – BA
Coordenadas geográficas da usina	09° 22' 00" S- 38° 16' 00" W
Potência Instalada (MW)	794,2
Entrada em operação	1971
Área de drenagem total até a barragem (km²)	4,8
Volume total do reservatório (Hm³)	26
Volume útil do reservatório (Hm³)	9,8
Vazão regularizada	Fio d'água
NA Máximo Operativo Normal (m)	230,30
NA Mínimo Operativo Normal (m)	228,30

### 4.3 UHE Paulo Afonso IV

O Quadro 4-5 a seguir apresenta as características da Usina Hidrelétrica Paulo Afonso IV.

**Quadro 4-5 - Características do Empreendimento**

Localização	Rio São Francisco
Bacia Hidrográfica	Bacia do Rio São Francisco
Município	Paulo Afonso - BA
Coordenadas geográficas da usina	09° 22' 00" S- 38° 16' 00" W
Potência Instalada (MW)	2.462,4
Entrada em operação	1979
Área de drenagem total até a barragem (km²)	12,9
Volume total do reservatório (Hm³)	127,5
Volume útil do reservatório (Hm³)	29,5
Vazão regularizada	Fio d'água
NA Máximo Operativo Normal (m)	252,00
NA Mínimo Operativo Normal (m)	250,00



#### 4.4 UHE Apolônio Sales

O Quadro 4-6 a seguir apresenta as características da Usina Hidrelétrica Apolônio Sales.

**Quadro 4-6 - Características do Empreendimento**

Localização	Rio São Francisco
Bacia Hidrográfica	Bacia do Rio São Francisco
Município margem direita	Delmiro Gouveia – AL
Município margem esquerda	Paulo Afonso – BA
Coordenadas geográficas da usina	09° 17' 00" S- 38° 11' 00" W
Potência Instalada (MW)	400
Entrada em operação	04/1977
Área de drenagem total até a barragem (km <sup>2</sup> )	98
Volume total do reservatório (Hm <sup>3</sup> )	1.150
Volume útil do reservatório (Hm <sup>3</sup> )	180
Vazão regularizada	Regularização semanal
NA Máximo Operativo Normal (m)	252,00
NA Mínimo Operativo Normal (m)	250,00

#### 4.5 Caracterização da Bacia

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), a Região Hidrográfica do São Francisco abrange, em seis estados, 521 municípios. Os Estados são Pernambuco, Minas Gerais, Bahia, Sergipe, Alagoas e Goiás, além do Distrito Federal. Uma das mais importantes atividades econômicas é a agricultura, mas a regularização das vazões do rio São Francisco proporcionada pelos grandes reservatórios também tem proporcionado maior segurança operacional de diversas captações para abastecimento de água.

A Região do São Francisco tem importante papel na geração de energia elétrica, com potencial instalado, em 2013, de 10.708 MW (12% do total do País). Entre as usinas presentes na Bacia do rio São Francisco, destacam-se as de Xingó (3.162 MW), Paulo Afonso IV (2.462 MW), Luiz Gonzaga (1.479 MW) e Sobradinho (1.050 MW). O aproveitamento hidrelétrico do Rio São Francisco representa a base de suprimento de energia do Nordeste.

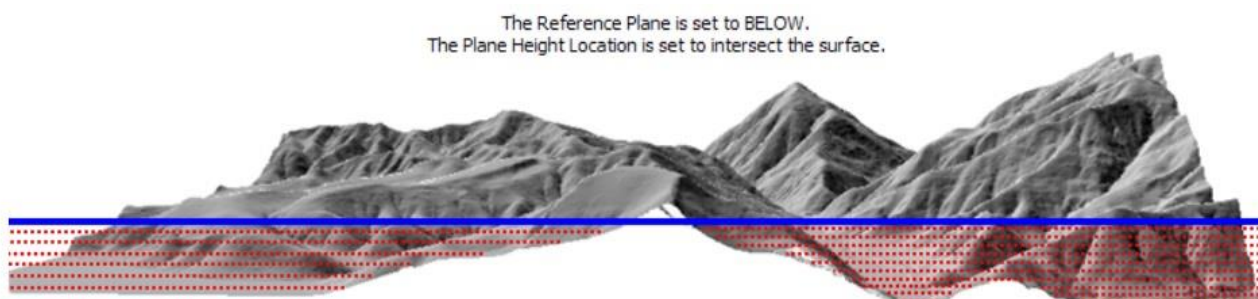
O principal rio dessa Bacia Hidrográfica é o rio São Francisco, que nasce na Serra da Canastra em Minas Gerais, percorre 2.700km e chega ao Oceano Atlântico através da divisa entre Alagoas e Sergipe.

## 5. 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.

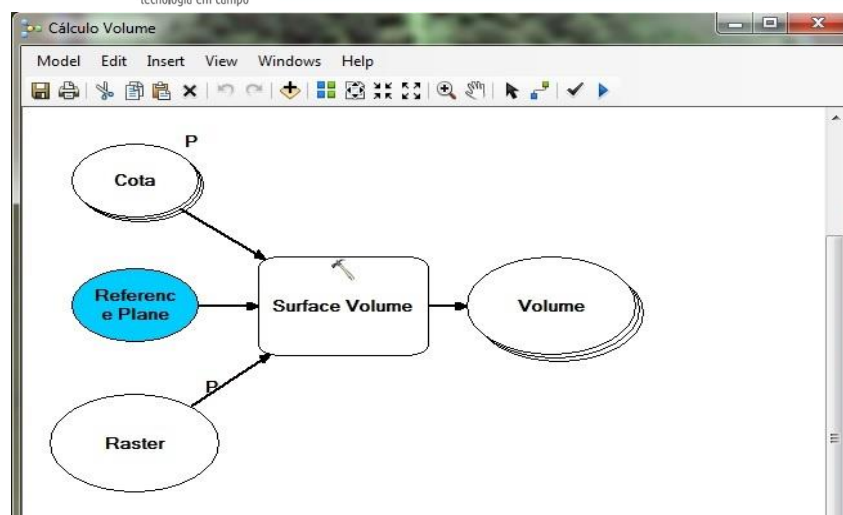
É necessário determinar se os cálculos serão realizados acima ou abaixo do plano de referência. Quando se define que os cálculos serão realizados abaixo do plano de referência, a área projetada e a área da superfície são calculadas no intervalo entre a superfície do MDE e a altitude desejada, como pode ser observado na Figura 5-1.



**Figura 5-1 - Exemplo de área e volume calculados abaixo do plano de referência**

Portanto, 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 5-2 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 5-2 - 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 dos reservatórios Luiz Gonzaga, Apolônio Sales, Delmiro Gouveia e Paulo Afonso IV.

## 6. 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. Nos tópicos abaixo os valores das curvas são apresentados em formato de tabela, de maneira resumida, e em formato de gráfico. As planilhas completas com valores de 1cm em 1cm para o volume útil e de 50cm em 50cm para o volume morto são apresentados no documento em meio digital, disponibilizado junto a este relatório.

### 6.1 UHE Luiz Gonzaga

**Quadro 6-1 – Curvas Cota x Área x Volume**

TABELA - COTA X ÁREA X VOLUME - UHE LUIZ GONZAGA			
Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Volume (hm <sup>3</sup> )
305,40	305,40	858,46	12239,456
305,00	305,00	834,38	11901,351
304,50	304,50	814,61	11489,378
304,00	304,00	791,27	11086,919
303,50	303,50	765,51	10698,600
303,00	303,00	747,31	10320,524
302,50	302,50	732,53	9950,694
302,00	302,00	719,82	9587,651
301,50	301,50	707,70	9230,802

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

301,00	301,00	695,89	8879,907
300,50	300,50	683,81	8534,960
300,00	300,00	669,44	8196,404
299,50	299,50	653,06	7865,804
299,00	299,00	628,26	7544,082
298,00	298,00	585,01	6938,106
297,00	297,00	549,09	6371,678
296,00	296,00	518,04	5838,291
295,00	295,00	488,48	5334,717
290,00	290,00	347,17	3253,234
285,00	285,00	219,61	1840,510
280,00	280,00	124,58	998,059
275,00	275,00	79,10	501,819
270,00	270,00	37,61	212,044
265,00	265,00	11,57	99,055
260,00	260,00	4,81	63,532
255,00	255,00	3,30	43,898
250,00	250,00	2,28	30,024
245,00	245,00	1,46	20,887
240,00	240,00	1,08	14,635
235,00	235,00	0,77	10,025
230,00	230,00	0,54	6,784
225,00	225,00	0,36	4,564
220,00	220,00	0,24	3,082
215,00	215,00	0,16	2,100
210,00	210,00	0,10	1,462
205,00	205,00	0,07	1,046
200,00	200,00	0,05	0,743
195,00	195,00	0,04	0,511
190,00	190,00	0,03	0,346
185,00	185,00	0,02	0,226
180,00	180,00	0,02	0,135
175,00	175,00	0,01	0,070
170,00	170,00	0,01	0,031
165,00	165,00	0,00	0,010
160,00	160,00	0,00	0,001

## UHE Luiz Gonzaga - Curva Cota x Área x Volume

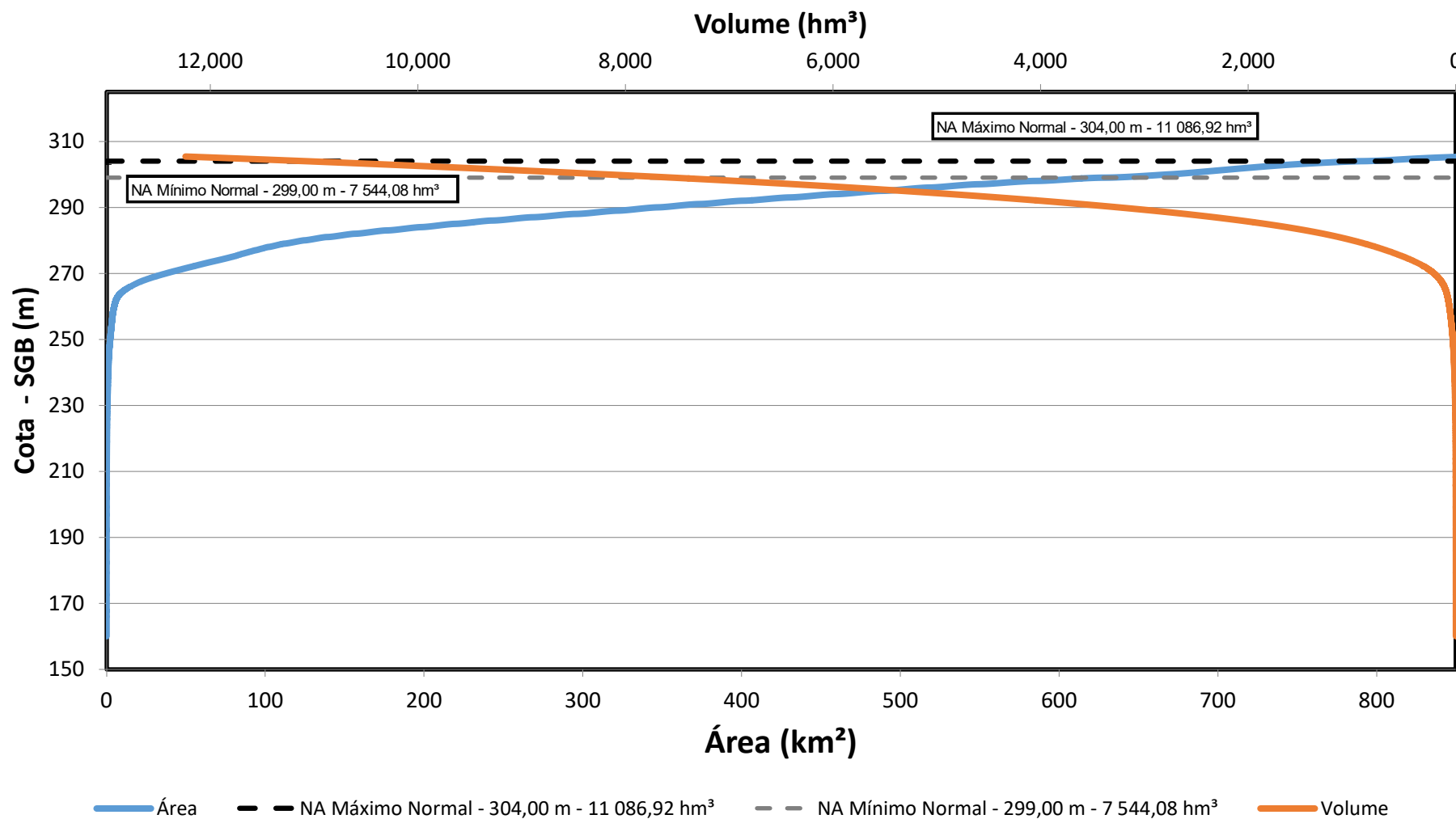


Figura 6-1 – Curvas CxAxV

## 6.2 UHE Apolônio Sales

Quadro 6-2 – Curvas Cota x Área x Volume

TABELA - COTA X ÁREA X VOLUME - UHE APOLONIO SALES			
Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Area (km2)	Volume (hm3)
253,00	253,00	88,532	1 002,694
252,97	252,97	88,320	1 000,036
252,94	252,94	88,127	997,388
252,91	252,91	87,940	994,748
252,88	252,88	87,760	992,114
252,85	252,85	87,585	989,486
252,82	252,82	87,413	986,861
252,79	252,79	87,242	984,242
252,50	252,50	85,726	959,169
252,00	252,00	82,644	916,995
251,50	251,50	77,743	876,978
251,00	251,00	75,135	838,834
250,50	250,50	73,454	801,699
250,00	250,00	71,804	765,382
249,50	249,50	70,102	729,902
249,00	249,00	68,378	695,281
248,50	248,50	66,612	661,531
248,00	248,00	64,825	628,669
247,50	247,50	62,952	596,720
247,00	247,00	60,873	565,750
246,50	246,50	58,602	535,877
246,00	246,00	56,263	507,160
245,50	245,50	54,037	479,594
245,00	245,00	51,978	453,092
244,00	244,00	47,891	403,145
243,00	243,00	43,750	357,337
242,00	242,00	39,842	315,590
241,00	241,00	36,611	277,390
240,00	240,00	33,501	242,333
235,00	235,00	17,594	115,941
230,00	230,00	7,043	56,976
225,00	225,00	3,598	32,628
220,00	220,00	2,266	18,268
215,00	215,00	1,405	9,190
210,00	210,00	0,698	4,034
205,00	205,00	0,271	1,809
200,00	200,00	0,137	0,824
195,00	195,00	0,060	0,374
190,00	190,00	0,036	0,136

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

185,00	185,00	0,012	0,020
180,00	180,00	0,000	0,000

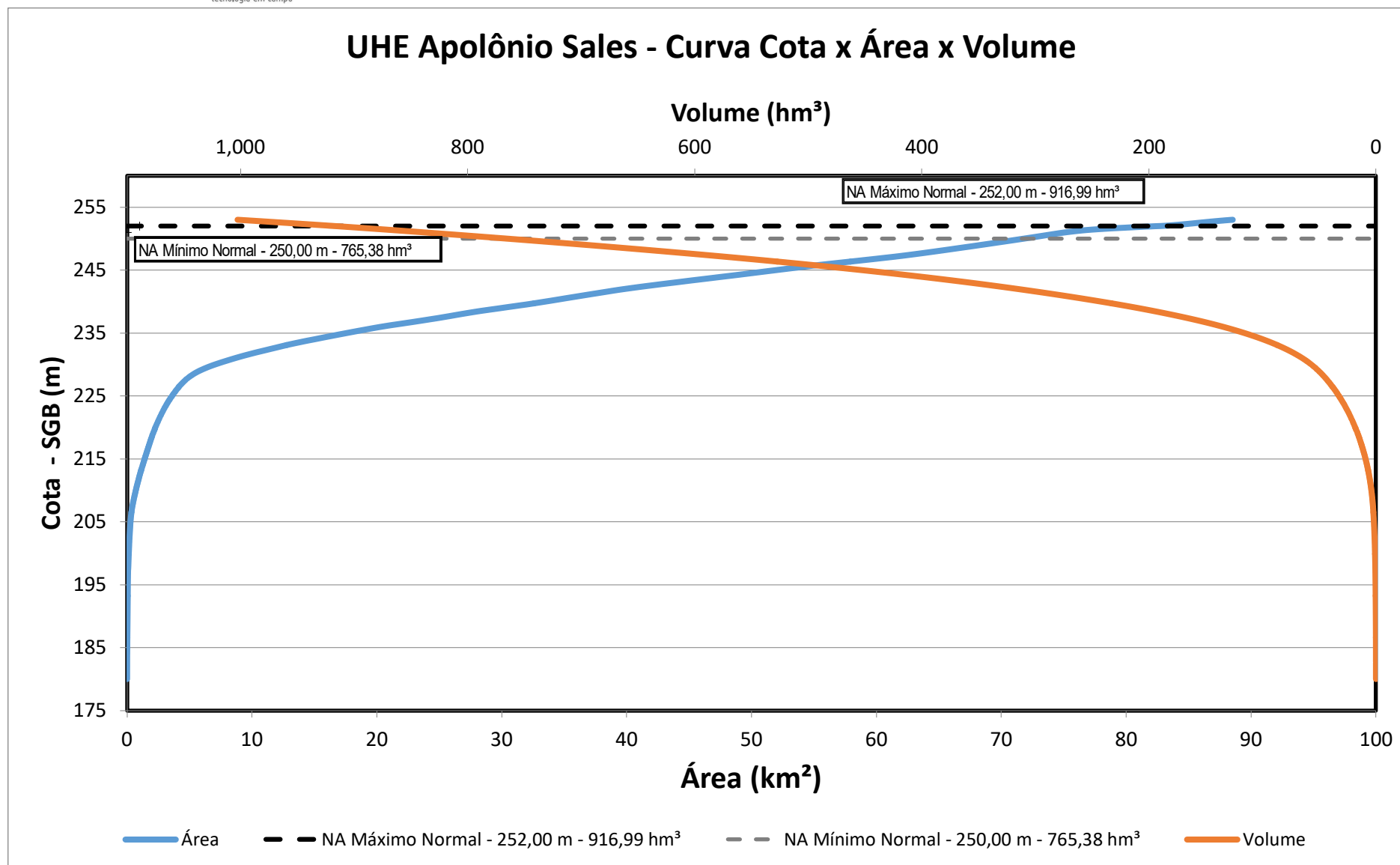


Figura 6-2 – Curvas CxAxV



### 6.3 Reservatório Delmiro Gouveia – UHEs Paulo Afonso I, II e III

**Quadro 6-3 – Curvas Cota x Área x Volume**

<b>TABELA - COTA X ÁREA X VOLUME - RES. DELMIRO GOUVEIA</b>			
<b>Cota de Operação (m)</b>	<b>Cota - SGB (m)</b>	<b>Area (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (hm<sup>3</sup>)</b>
230.80	230.80	4.381	22.535
230.50	230.50	4.254	21.240
230.30	230.30	4.110	20.398
230.00	230.00	3.957	19.197
229.50	229.50	3.857	17.242
229.00	229.00	3.744	15.341
228.50	228.50	3.596	13.504
228.30	228.30	3.526	12.791
228.00	228.00	3.406	11.751
227.50	227.50	3.175	10.103
227.00	227.00	2.905	8.580
226.50	226.50	2.612	7.200
226.00	226.00	2.293	5.973
225.50	225.50	1.969	4.909
225.00	225.00	1.663	4.003
224.50	224.50	1.354	3.249
224.00	224.00	1.043	2.651
223.50	223.50	0.814	2.191
223.00	223.00	0.620	1.833
222.50	222.50	0.456	1.567
222.00	222.00	0.356	1.367
221.50	221.50	0.289	1.207
221.00	221.00	0.240	1.075
220.50	220.50	0.202	0.966
220.00	220.00	0.178	0.872
219.00	219.00	0.141	0.713
218.00	218.00	0.112	0.588
217.00	217.00	0.093	0.487
216.00	216.00	0.078	0.402
215.00	215.00	0.066	0.331
210.00	210.00	0.026	0.117
205.00	205.00	0.008	0.035
200.00	200.00	0.003	0.010
195.00	195.00	0.001	0.001
190.63	190.63	0.000	-

## Res. Delmiro Gouveia - Curva Cota x Área x Volume

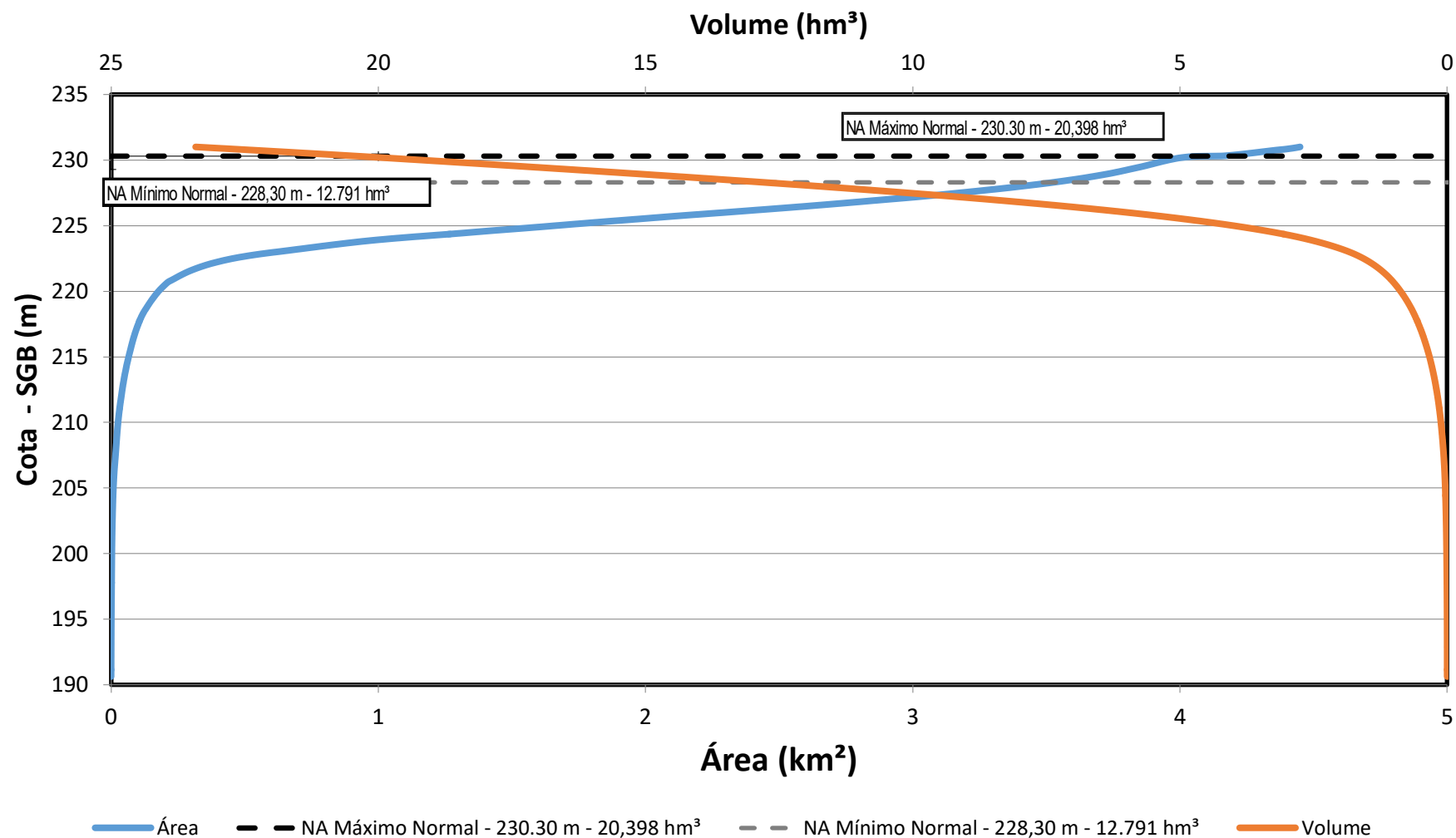


Figura 6-3 – Curvas CxAxV

## 6.4 UHE Paulo Afonso IV

**Quadro 6-4 – Curvas Cota x Área x Volume**

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Volume (hm <sup>3</sup> )
253,00	253,00	18,535	152,351
252,50	252,50	17,503	143,362
252,00	252,00	16,391	134,849
251,50	251,50	15,149	127,021
251,00	251,00	14,639	119,584
250,50	250,50	14,238	112,363
250,00	250,00	13,719	105,370
249,50	249,50	13,173	98,646
249,00	249,00	12,646	92,193
248,50	248,50	12,120	86,001
248,00	248,00	11,599	80,071
247,50	247,50	11,075	74,401
247,00	247,00	10,543	68,997
246,50	246,50	10,025	63,855
246,00	246,00	9,510	58,972
245,50	245,50	9,003	54,344
245,00	245,00	8,534	49,962
244,00	244,00	7,659	41,877
243,00	243,00	6,852	34,627
242,00	242,00	6,103	28,152
241,00	241,00	5,370	22,420
240,00	240,00	4,647	17,414
235,00	235,00	1,190	3,576
230,00	230,00	0,220	0,478
225,00	225,00	0,018	0,014

## Res. Paulo Afonso IV - Curva Cota x Área x Volume

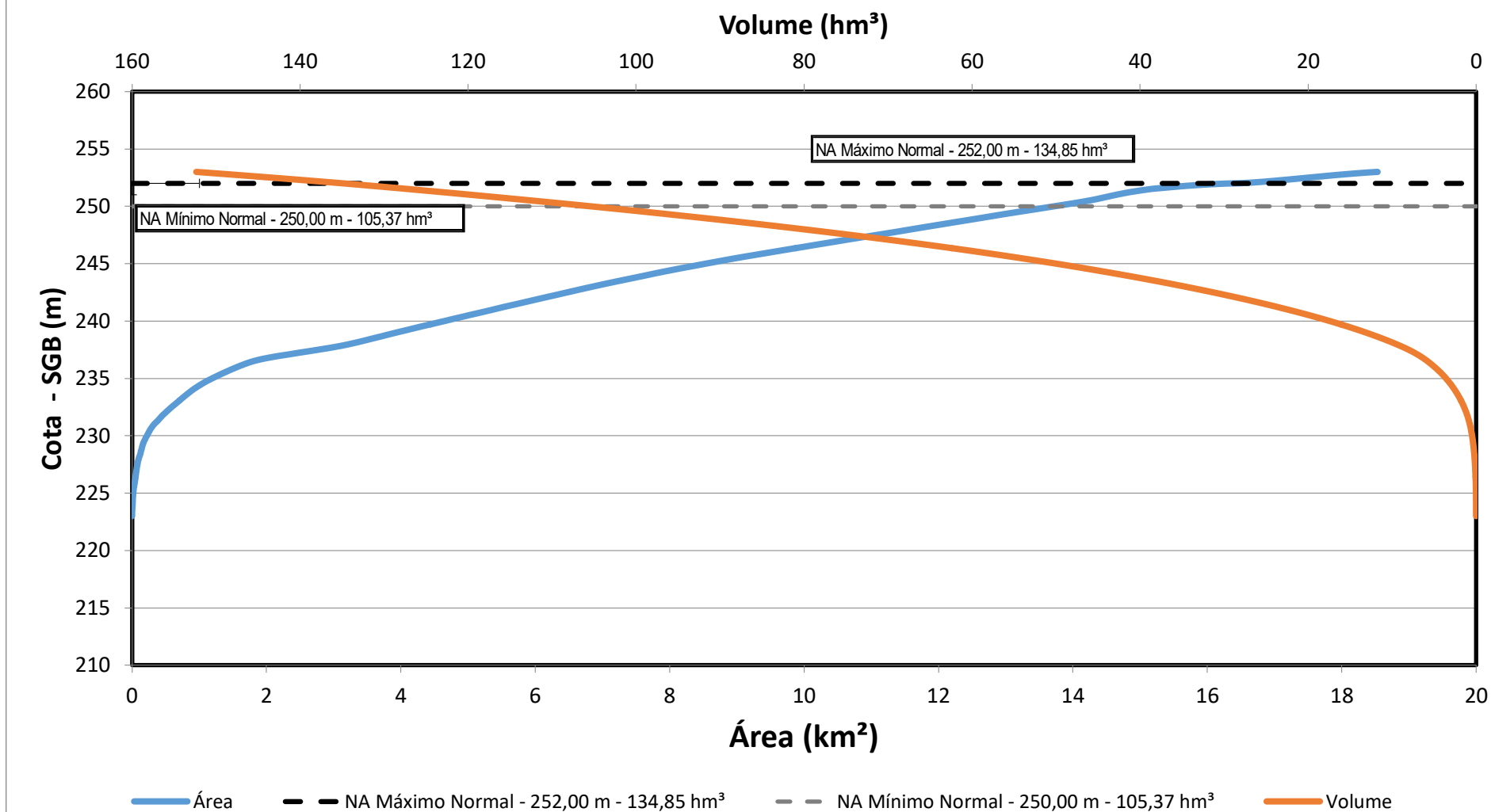


Figura 6-4 – Curvas CxAxV

## 7. 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 CHESF, ANA, ANEEL, ONS, ou outras entidades.

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

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



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