



**XXI SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO - I

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

NOVA ABORDAGEM PARA A ANÁLISE DA RELAÇÃO COTA, ÁREA E VOLUME DE RESERVATÓRIOS

Marcelo A. Cicogna *
ANHANGUERA EDUCACIONAL

João E. G. Lopes
FEC/UNICAMP

Ieda G. Hidalgo
FT/UNICAMP

RESUMO

Este informe técnico tem como objetivo apresentar um método alternativo de representação numérica dos dados de cota do nível d'água, área alagada e volume armazenado para os reservatórios pertencentes ao Sistema Interligado Nacional. Os dados atuais dos reservatórios partem dos estudos de topografia e determinam os valores de volume pelo conceito geométrico de tronco de prisma. Uma alternativa é apresentada para o cálculo do volume baseado na integral algébrica do polinômio que descreve a área em função da cota do nível d'água. O método proposto considera a interdependência não-linear entre a área e o volume do reservatório, ambos em função da cota do nível d'água, ao mesmo tempo que determina polinômios de 4º grau, em sincronia com os padrões do SEB.

PALAVRAS-CHAVE

Reservatórios, Topografia, Interpolação Polinomial, Método dos Quadrados Mínimos.

1.0 - INTRODUÇÃO

Um fato recorrente para os pesquisadores, engenheiros e profissionais em geral do Setor Elétrico Brasileiro (SEB) é a identificação de possíveis divergências nos dados físicos característicos das usinas do Sistema Interligado Nacional (SIN). Este fato também é verificado para os dados que descrevem a geometria dos reservatórios. Esta descrição usualmente adota dois tipos de abordagens, computacional e matemática: tabelas de pontos cota, área e volume ou polinômios ajustados por regressão polinomial. Estas abordagens descrevem a relação entre a cota do nível d'água, a área alagada e o volume armazenado no reservatório.

Cabe salientar que as diferenças encontradas são criadas a partir da existência de critérios distintos de armazenamento dos dados ou por divergências criadas a partir das alterações, correções ou melhorias, sem o devido registro, nos dados dos projetos das barragens. Neste trabalho, as inconsistências apresentadas têm origem em diferenças numéricas determinadas a partir da comparação de leituras interpoladas das tabelas e do cálculo direto dos polinômios em pontos característicos do reservatório.

Outro aspecto relevante contido nos dados em formato de tabelas é que o volume armazenado é calculado pelo conceito geométrico de *tronco de prisma*. Embora simples, este conceito impõe a restrição implícita de variação linear da área alagada em função da cota do nível d'água. A interpolação linear também é uma fonte de problemas para os ajustes polinomiais, principalmente se for criada uma colinearidade entre os pontos característicos.

Este trabalho apresenta uma análise matemática simples e um método alternativo que elimina a diferença numérica entre as duas abordagens de representação dos pontos característicos de um reservatório, impondo unicidade numérica na descrição da geometria dos reservatórios e tornando as tabelas e polinômios apenas opções de apresentação, uso e armazenamento de dados. Os resultados apontam para uma melhoria na qualidade dos dados

tabulados, ao mesmo tempo que se correlaciona a aplicação do método com o impacto no desempenho computacional, visando prever a resposta das ferramentas de *software* que se utilizam de tabelas ou polinômios.

2.0 - O MÉTODO ATUAL

A geometria de um reservatório é determinada por técnicas de topografia aplicadas em estudos de aerofotogrametria, nos quais se calcula a área alagada da região de influência do reservatório para valores discretos de cotas (CRUZ, 1981). Geralmente este estudo determina uma tabela de pontos, com espaçamento variando entre 2 e 5m, que têm início no valor da cota do nível d'água do rio antes da construção do reservatório, terminando com valores associados ao máximo nível de alagamento ou à elevação da barragem. O limite máximo pode estar associado à operação ou segurança do reservatório, fixado no nível máximo *maximorum*, ou associados aos limites físicos, como a cota de coroamento da barragem. Neste informe técnico, denomina-se a cota do nível d'água de *cota* ou *cota do NA* por simplicidade de notação.

Uma representação esquemática dos níveis de operação e limites físicos de um reservatório é apresentada na Figura 1. Nesta ilustração, z^c faz referência à cota de coroamento da barragem e z_{tr} faz referência ao nível de jusante ou canal de fuga (do inglês, *tailrace*).

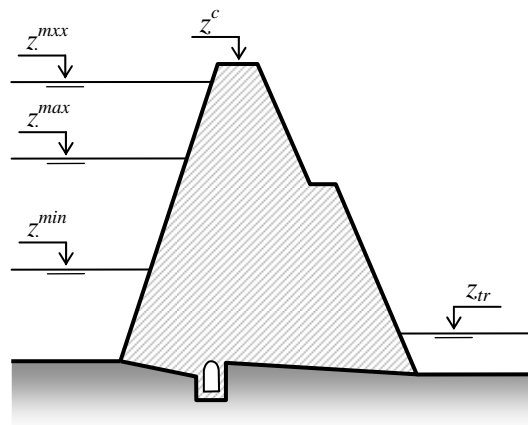


FIGURA 1 – Representação esquemática dos níveis de operação de um reservatório (Adaptado de CICO GNA et al., 2009).

A notação utilizada neste informe técnico segue os símbolos a seguir.

z : cota do nível d'água [msnm].

A : área alagada [km²].

x : volume [hm³].

2.1 Pontos Característicos

A descrição do perfil ou da variação da área alagada da região de influência de um reservatório, em função da cota do nível d'água, é um processo que depende de um estudo baseado em técnicas de topografia. Este levantamento determina, usualmente, uma tabela de pontos (cota, área), a qual será denominada TAC. Para estes pontos, e seguindo o padrão de dados do SEB, pode-se determinar um polinômio de (até) quarto grau, denominado aqui de $P_A(z)$ (área em km² como uma função da cota em m).

A partir da TAC e fazendo uso do conceito de tronco de prisma, pode-se calcular o volume entre dois pontos (cota, área), obtendo-se uma nova tabela do volume em função da cota do nível d'água, pontos (cota, volume), a qual será denominada TVC (volume em hm³ como uma função da cota em m). Como resultado, uma TAC com N pontos resulta em N pontos (cota, volume), contando-se da referência ($z_0, 0$) de volume associado ao ponto (z_0, A_0).

Assim como descrito para a área do reservatório, um polinômio $P_x(z)$ pode ser ajustado aos pontos calculados de volume. No entanto, é o inverso desta relação que se verifica nos dados e modelos do SEB, uma vez que os modelos necessitam determinar a cota do nível d'água para um certo valor de armazenamento, sendo este normalmente definido como uma variável de decisão nos modelos de operação. Portanto, é comum um polinômio de até quarto grau ajustado nos pontos (cota, volume) calculados a partir dos valores de volume por tronco de prisma, denominado $P_z(x)$ para o qual se tem a relação da cota em m como uma função do volume em hm³.

A seguir, na Tabela 1, apresenta-se o que pode ser considerada uma descrição geral e ideal para os pontos característicos de um reservatório, tendo como foco os dados e modelos de operação de usinas hidrelétricas do SIN. Nesta representação, dá-se destaque aos valores mínimos e máximos operativos.

TABELA 1 – Representação Ideal dos Pontos Característicos de um Reservatório.

Cota [m]	Área [km ²]	Volume [hm ³]
z_0	A_0	$x_0 = 0$
...
z^{\min}	A^{\min}	x^{\min}
z_k	A_k	x_k
z_{k+1}	A_{k+1}	x_{k+1}
...
z^{\max}	A^{\max}	x^{\max}
z^{mxx}	A^{mxx}	x^{mxx}
z^c	A^c	x^c

Conforme mencionado, a partir da relação entre a cota e a área alagada, pode-se calcular o volume entre duas cotas consecutivas pelo conceito de tronco de prisma. Desta forma, o volume é determinado pela Equação (1).

$$x_{k+1} = \frac{A_{k+1} + A_k}{2} (z_{k+1} - z_k) \quad k \geq 0 \quad (1)$$

Um exemplo real dos pontos característicos de um reservatório, para o qual não se faz a identificação por não ser objetivo deste trabalho, é apresentado na Tabela 2. Neste exemplo, são conhecidos os valores característicos do nível máximo operativo e máximo *maximorum*. Para estes níveis, a respectiva área alagada, e por consequência direta, também o volume armazenado, não fizeram parte do levantamento topográfico. Portanto, faz parte dos objetivos do método a ser apresentado determinar tais valores representativos do limite superior da faixa de operação e de segurança do reservatório.

TABELA 2 – Exemplo de Pontos Característicos de um Reservatório.

#	Cota [m]	Área [km ²]	Volume* [hm ³]
1	514,20	0,6	0,00
2	519,20	6,6	18,00
3	524,20	30,8	111,50
4	529,20	61,5	342,25
5	534,20	114,7	782,75
6	539,20	188,4	1540,50
7	544,20	270,6	2688,00
8	549,20**	356,3	4255,25
9	554,20	464,8	6308,00
10	559,20	586,5	8936,25
11	564,20	734,5	12238,75
12	569,20	908,6	16346,50
13	572,50	-	-
14	573,40***	-	-
15	574,20	1141,6	21472,00

* Valores calculados por geometria de tronco de prisma. ** Cota do nível d'água mínimo operativo.
*** Cota de coroamento da barragem.

2.2 Polinômios

A partir da Tabela 2, é usual encontrar dois polinômios associados ao reservatório que descrevem matematicamente as relações de *área x cota* e *cota x volume*. A primeira condição que deve ser observada é se tais polinômios levam em consideração todos os pontos da TCA, ou se restringem o ajuste à faixa de operação do reservatório entre a cota do nível d'água mínimo e máximo operativo. Neste trabalho, o foco será a faixa de operação do reservatório até o limite máximo *maximorum*, viabilizando modelos que simulam a operação do reservatório em situações de grandes cheias. Usualmente, no SEB, um polinômio $P_A(z)$ pode ser ajustado aos pontos cartesianos (cota, área), dentro da faixa operativa, resultando na Equação (2).

$$P_A(z) = a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + a_3 z^3 + a_4 z^4 \quad (2)$$

Ou de forma genérica para um polinômio de grau J :

$$P_A(z) = \sum_{j=0}^J a_j z^j \quad (3)$$

De forma semelhante, pode-se calcular o volume a partir da cota e da área alagada, determinando-se um segundo polinômio $P_z(x)$ para os pontos cartesianos (volume, cota):

$$P_z(x) = \sum_{j=0}^J a_j x^j \quad (4)$$

2.3 Exemplo de Ajuste Polinomial e de Divergências nos Dados

Para ilustração do ajuste dos polinômios $P_A(z)$ e $P_z(x)$, considerou-se os 6 pontos da Tabela 2 entre os valores 549,20 m e 574,20 m (Tabela 3). Para demonstração das possíveis divergências do registro de alterações mencionadas na introdução, apresentam-se também os polinômios que pertencem ao *deck* de arquivos do sistema Newave para determinação dos preços de comercialização de energia do mês de março de 2011 (CCEE, 2011). Pode-se notar que existem diferenças em todos os coeficientes. Este fato pode ser justificado por divergência dos pontos considerados no ajuste polinomial. Em outras palavras, embora não haja informações nos arquivos do Newave, pode-se estimar que o polinômio do *deck* foi determinado numa faixa operativa diferente da Tabela 2.

TABELA 3 – Exemplo de Ajuste Polinomial para a Relação Área x Cota NA.

Coeficientes	P_A		P_z	
	TAC	Deck* Newave	TVC	Deck* Newave
a_0	6,251276E+07	1,207500E+07	5,343542E+02	5,303318E+02
a_1	-4,500336E+05	-8,934369E+04	4,423312E-03	6,075960E-03
a_2	1,215133E+03	2,479890E+02	-2,574205E-07	-4,836150E-07
a_3	-1,458517E+00	-3,060890E-01	9,574065E-12	2,203479E-11
a_4	6,566667E-04	1,417750E-04	-1,469136E-16	-3,846580E-16

Fonte: CCEE (2011).

O desvio médio entre o polinômio $P_A(z)$ ajustado na faixa operativa e os pontos da TAC é de 1,19 km². Este erro é pequeno e pode ser considerado adequado à precisão dos estudos da topografia da área de influência do reservatório (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994). Da mesma forma, o ajuste do $P_z(x)$ nos pontos TVC demonstra um erro médio em relação aos pontos característicos de 0,012 m. Embora pequeno, este erro cria divergências na análise de resultados de modelos matemáticos ao desfigurar os pontos característicos do reservatório relativos à comparação do volume e a cota do nível d'água, criando inconsistências entre o resultado de modelos matemáticos e a medição real dos níveis dos reservatórios.

2.4 Considerações sobre o Método Atual

Para o processo e exemplos apresentados nesta seção, verifica-se que o método atual de cálculo de volumes por tronco de prisma, seguido de um ajuste polinomial, impõe os seguintes resultados e constatações:

- quando usado o método dos mínimos quadrados, verifica-se uma discrepância numérica entre os pontos característicos dos dados do estudo topográfico e os polinômios P_A e P_z ;
- a variação do volume armazenado entre dois pontos (cota, área) é linear;
- o ajuste de um polinômio sobre os pontos (cota, volume) calculados por tronco de prisma impõe uma inconsistência de segunda ordem pela diferença entre variação linear (tabela) e não linear (polinômio);
- nos modelos de operação, o cálculo da cota do NA, em função do volume e usando polinômios $P_z(x)$ determinados por regressão, resultará em divergência com os pontos característicos do reservatório.

Como conclusão intermediária, nota-se que é possível determinar os polinômios $P_A(z)$ e $P_z(x)$ a partir dos pontos de TAC e TVC, com o risco de incorporar inconsistências nos dados caso o ajuste seja por meio de regressão polinomial. Este estudo apresentará uma análise do uso de interpolação ou regressão polinomial, demonstrando-se os impactos numéricos que se obtêm a partir desta decisão.

3.0 - REFERENCIAL TÉCNICO E TEÓRICO

Nesta seção são descritas algumas constatações simples sobre cálculo numérico e a faixa operativa dos reservatórios do SIN. O objetivo é fundamentar algumas das conclusões apresentadas nos próximos tópicos.

3.1 Interpolação e Regressão Polinomial

Um dos aspectos simples de cálculo numérico que deve ser considerado nos ajustes polinomiais é a diferença entre interpolação polinomial e regressão polinomial pelo método dos quadrados mínimos (HAMMING, 1986).

A primeira técnica, interpolação polinomial, descreve um método de determinação de coeficientes polinomiais de modo que a função criada descreva matematicamente um conjunto de pontos cartesianos (x, y) . De modo geral, N pontos não colineares determinam um polinômio de grau $N-1$. A segunda técnica, regressão polinomial, determina a função polinomial cujos coeficientes são calculados para minimizarem os desvios quadráticos dos pontos fornecidos como parâmetros. Um exemplo comparativo de polinômios do 2º grau é apresentado na Figura 2.

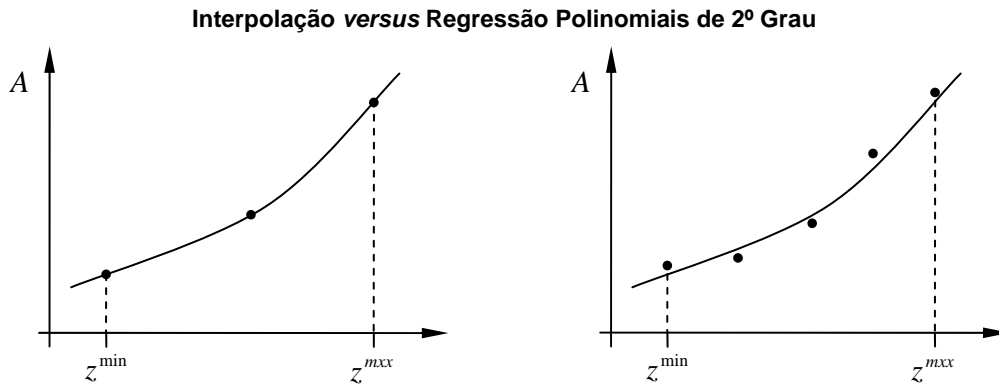


FIGURA 2 – Ilustração comparativa da interpolação e regressão polinomiais.

3.2 Faixas Operativas do SIN

Uma constatação importante para algumas das derivações técnicas da aplicação do método apresentado neste trabalho tem origem na distribuição de frequência da faixa operativa dos reservatórios do SIN, conforme apresentado na Figura 3. A construção desta distribuição teve como dados de entrada o arquivo Hidr.dat do deck de arquivos do Newave disponíveis para a formação do preço de mercado do mês de março de 2011 (CCEE, 2011). Foram desconsideradas as usinas fictícias e o arquivo de atualizações de dados (Modif.dat).

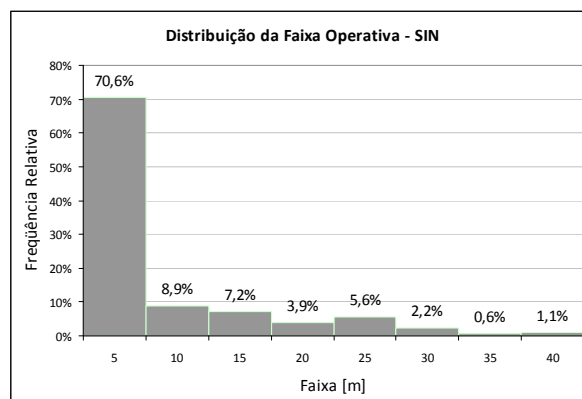


FIGURA 3 – Distribuição de frequência da faixa operativa de reservatórios do SIN. Fonte: CCEE (2011).

A observação que se destaca da distribuição da Figura 3 é que a grande maioria dos reservatórios, 90,6% do total, possuem sua faixa operativa abaixo dos 20 m. Considerando que a maioria dos estudos topográficos foram realizados com discretização de 5 m, pode-se concluir que mais de 90% dos reservatórios podem possuir 5 pontos característicos, ou menos, para a relação entre a cota do nível d'água e a área alagada. A aplicação direta do método proposto determinará o volume armazenado em função da variação não-linear da área com cota do NA, criando novos valores de volume para a TVC. Além disso, para estes 90% dos reservatórios, o método determina $P_x(z)$ por interpolação polinomial de, até, 4º grau.

4.0 - UMA NOVA ABORDAGEM

O método proposto neste informe técnico tem como premissa a integração analítica do polinômio $P_A(z)$ para obtenção de um polinômio $P_x(z)$. A partir deste e de pontos característicos a serem selecionados na TAC, pode-se

obter um polinômio $P_z(x)$ de, até, 4º grau. O polinômio $P_x(z)$ será, então, resultado da integral analítica definida do polinômio $P_A(z)$, mantendo a variação não-linear da área alagada com a cota do NA. A integral definida de $P_A(z)$ é dada pela Equação (5) e uma ilustração deste cálculo é apresentada na Figura 4.

$$P_x(z) = \int_{z^{\min}}^z P_A(z) dz = \left[c + \sum_{j=0}^J \frac{a_j}{j+1} z^{j+1} \right]_{z^{\min}}^z \quad z \leq z^{\max} \quad (5)$$

A constante c pode ser calculada para $P_x(z = z^{\min}) = x^{\min}$, ou seja, c será numericamente igual ao volume abaixo da cota do nível d'água mínimo operativo, também denominado de *volume morto* do reservatório.

Relação Analítica entre Área e Volume como função da cota NA

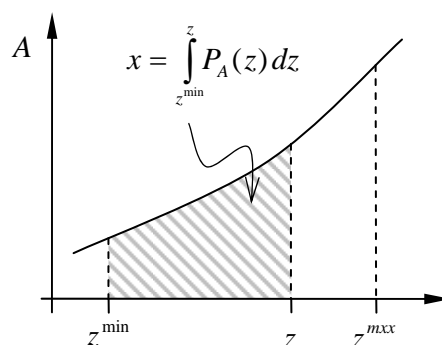


FIGURA 4 – Ilustração da integral do polinômio que relaciona a área com a cota do nível d'água do reservatório.

O polinômio $P_z(x)$ será determinado por interpolação polinomial a partir da aplicação do polinômio $P_x(z)$ em 5 cotas NA selecionadas na TAC, impondo-se esta escolha de maneira que os pontos representem a faixa operativa do reservatório. Um exemplo ilustrativo para estas escolhas é demonstrado na Tabela 4. Esta restrição para cinco pontos se justifica pelo objetivo de que a interpolação resulte num polinômio $P_z(x)$ de 4º grau, compatível com o padrão de dados e modelos do SEB.

TABELA 4 – Seleção de Pontos para o Cálculo da Relação Inversa entre Cota e Volume.

Cota [m]	Volume [hm³]
z^{\min}	$x^{\min} = P_x(z^{\min})$
z_2	$x_2 = P_x(z_2)$
z_3	$x_3 = P_x(z_3)$
z^{\max}	$x^{\max} = P_x(z^{\max})$
z^{\max}	$x^{\max} = P_x(z^{\max})$

Como resultado final deste método, os polinômios $P_A(z)$ e $P_z(x)$ serão de até 4º grau e, devido ao processo de interpolação, não haverá divergências entre volume e cota do NA para os pontos característicos do reservatório.

5.0 - ESTUDO DE CASO

A aplicação do método proposto é possível de ser realizada para mais de 90% dos reservatórios do SIN, considerando os reservatórios com baixa capacidade de regularização e os reservatórios classificados como *fio d'água*. Para estes reservatórios, a faixa operativa é reduzida e bem determinada pelos níveis mínimo, máximo e máximo *maximorum*. Portanto, para esta grande fração de reservatórios do SIN, a aplicação do método resultará em polinômios $P_A(z)$ e $P_z(x)$ de 4º grau determinados por interpolação num conjunto de, no máximo, 5 pontos.

Por limites de espaço para este informe técnico, escolheu-se demonstrar o método para um reservatório com 6 pontos característicos, dentro dos quais está inserida a faixa operativa. Um estudo de caso será apresentado para os dados de um reservatório com faixa operativa de 24,20 m, calculada como a diferença entre os níveis máximo *maximorum* e mínimo operativo. Este estudo demonstra a seleção dos dados para que uma faixa com mais de 5 pontos permita a interpolação do polinômio $P_z(x)$ de 4º grau.

Os dados de entrada são iguais aos apresentados na Tabela 2. Para o polinômio $P_A(z)$, não se faz restrição do número de pontos, fato este que, para o exemplo apresentado, resulta num processo de regressão polinomial sobre 6 pontos disponíveis (pontos #8 a #12 e o #15). Os coeficientes estão apresentados na Tabela 5 e o polinômio grafado à esquerda da Figura 5. O processo de regressão determina desvios entre o polinômio $P_A(z)$ e os 6 pontos da TAC, os quais estão apresentados na Tabela 7 como valores de ε^2 .

Como era esperado, a integral analítica de $P_A(z)$ resulta num polinômio $P_x(z)$ de 5º grau (Tabela 5). Este resultado não é um impedimento para a técnica, uma vez que este polinômio não faz parte dos padrões de dados e de modelos do SEB, servindo apenas como passo intermediário na determinação do polinômio $P_z(x)$.

TABELA 5 – Polinômios de nova Relação Cota NA, Área e Volume.

Coeficientes	P_A	P_x	P_z
a_0	6,251276E+07	4,255250E+03	5,342143E+02
a_1	-4,500336E+05	6,251276E+07	4,458605E-03
a_2	1,215133E+03	-2,250168E+05	-2,573961E-07
a_3	-1,458517E+00	4,050444E+02	9,336442E-12
a_4	6,566667E-04	-3,646293E-01	-1,386310E-16
a_5		1,313333E-04	

Para a determinação de $P_z(x)$, escolhem-se 5 pontos conforme a Tabela 6. O resultado da interpolação polinomial determina os coeficientes apresentados na Tabela 5. A eliminação dos pontos #10 e #12 levou em consideração os desvios quadráticos de 3,38 e 0,84 km⁴, respectivamente, obtidos da Tabela 7, sendo este um critério de seleção para redução do número de pontos necessários para uma interpolação de um polinômio do 4º grau.

TABELA 6 – Pontos escolhidos para a Relação Inversa entre Cota e Volume.

	Cota [m]		Volume [hm³]
z^{\min}	549,20	$P_x(z^{\min})$	4255,25
z_2	554,20	$P_x(z_2)$	6298,34
z_3	564,20	$P_x(z_3)$	12214,28
z^{\max}	572,50	$P_x(z^{\max})$	19535,37
z^{\max}	573,40	$P_x(z^{\max})$	20504,48

É importante destacar que $P_x(z)$ determina valores de volume que, implicitamente, descrevem a variação não-linear da área alagada com a cota do nível d'água do reservatório. Embora o polinômio $P_A(z)$ determina valores muito próximos dos originais da TAC, afirmação esta validada pelo baixo desvio médio de 1,19 km², o polinômio $P_x(z)$ apresenta novos valores de volume com um desvio médio de 36,4 hm³ (Tabela 7). Esta diferença se deve ao cálculo não-linear em substituição ao conceito de tronco de prisma. Ao mesmo tempo, verifica-se que o novo volume total de 21.400,658 hm³ é apenas 0,33% inferior ao dado original de 21.472,0 hm³, o que permite atualizações nos dados de cadastro sem grandes impactos para os registros históricos.

TABELA 7 – Comparação dos Pontos Característicos Antes e Depois da Aplicação do Método.

Cota [m]	Área [km²]			Volume [hm³]		
	TAC	$P_A(z)$	ε^2	TVC*	$P_x(z)$	ε^2
549,20	356,3	356,484	0,0338	4255,25	4255,250	0,0
554,20	464,8	463,881	0,8439	6308,00	6298,341	93,3
559,20	586,5	588,337	3,3757	8936,25	8921,947	204,6
564,20	734,5	732,663	3,3757	12238,75	12214,283	598,7
569,20	908,6	909,519	0,8439	16346,50	16302,244	1958,6
572,50	-	1054,591	-	-	19535,369	
573,40	-	1099,398	-	-	20504,475	
574,20	1141,6	1141,416	0,0338	21472,00	21400,658	5089,7
			$\bar{\varepsilon} =$		$\bar{\varepsilon} =$	
			1,1907		36,4	

* Volume calculado por tronco de prisma (variação linear da área em relação à cota).

Faz-se uma observação para os dados da Tabela 7: nesta estão presentes os valores de área e volume para os níveis máximo e máximo *maximorum*, sendo que estes valores não faziam parte dos dados originais da TAC. É importante destacar que estes pontos, pelo método em vigor, seriam calculados por interpolação linear.

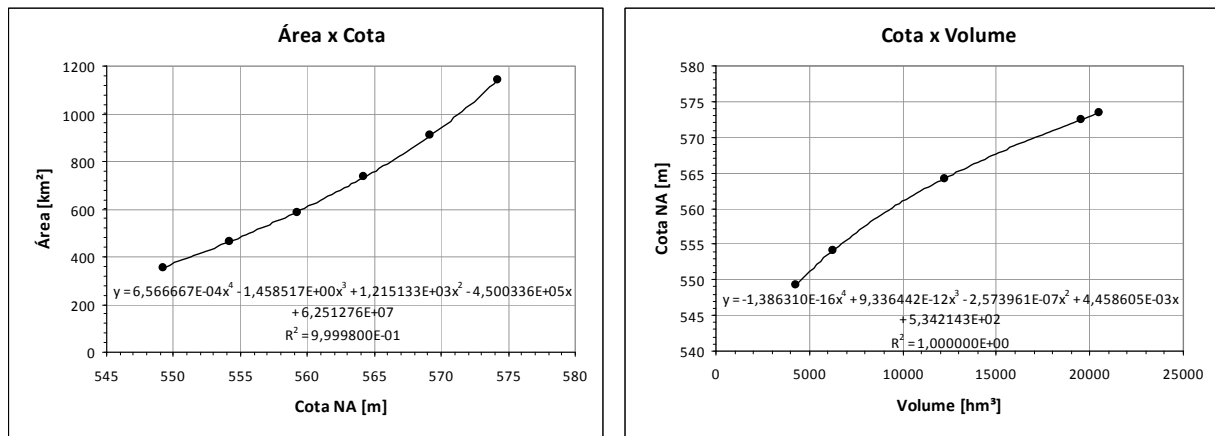


FIGURA 5 – Polinômios $P_A(z)$ e $P_z(x)$ determinados a partir do método alternativo.

A determinação de $P_z(x)$, realizada por regressão polinomial, resulta nos coeficientes apresentados na Tabela 5 e no gráfico à direita da Figura 5. Por construção matemática, não é necessário demonstrar que este polinômio relaciona numericamente os valores de volumes e de cotas do NA da Tabela 6. Desta forma, alcança-se o objetivo de um polinômio $P_z(x)$, de 4º grau, que não cria divergência entre os valores de cota do NA e de volumes característicos do reservatório. Ao mesmo tempo, este método pode ser aplicado na determinação de polinômios de ordem superior ao 4º grau, permitindo que mais pontos característicos sejam adicionados à Tabela 4. Esta mudança afeta marginalmente os dados dos modelos de simulação e otimização da operação de reservatórios.

6.0 - CONCLUSÃO

Neste trabalho, demonstrou-se um método que permite unicidade numérica na descrição da geometria dos reservatórios entre a representação de dados em tabelas ou por polinômios de 4º grau para a relação cota do nível d'água, área alagada e volume armazenado para os reservatórios do SIN. O método é baseado na premissa de que o volume pode ser obtido pela integral analítica de um polinômio ajustado aos dados de área e cota do NA, estes obtidos por estudos de topografia ou aerofotogrametria na região de influência do reservatório.

Foi demonstrado que os polinômios gerados não criam divergências numéricas quando aplicados aos pontos característicos da geometria do reservatório, principalmente no cálculo polinomial de cotas do NA comparado aos níveis mínimo e máximo operativo. Os novos valores calculados para a área e o volume são bastante próximos aos cadastrais, o que permite atualização dos dados sem grandes impactos no uso dessas informações.

Uma constatação importante desenvolvida nos cálculos associados aos exemplos deste IT faz referência à precisão de apresentação e armazenamento dos valores de área e volume com 3 casas decimais, dos coeficientes dos polinômios com 7 dígitos significativos e, sobremaneira, a associação de cada polinômio com sua faixa de validade para os valores da abscissa.

Os resultados permitem concluir que o método é simples e de aplicação direta para mais de 90% dos reservatórios – de pequena regularização – do SIN. Ao mesmo tempo, para os grandes reservatórios, podem-se aplicar técnicas de escolha de dados, limitando os polinômios *cota do NA x volume* ao 4º grau.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Download Deck de Preços**. Disponível em: <www.ccee.org.br>. Acesso em: 7 mar. 2011.
- (2) CICOONA, M.A., FONTANE, D.G., HIDALGO, I.G., LOPES, J.E.G. Multireservoir simulation using multipurpose constraints and object-oriented software design. **World Environmental & Water Resources Congress 2009**, EWRI/ASCE, Kansas City, Missouri, EUA, 2009.
- (3) CRUZ, O. Alguns conhecimentos básicos para fotointerpretação. **Aerofotogeografia**, Geografia-USP, São Paulo, n.25, 1981.
- (4) HAMMING, R.W. **Numerical methods for scientists and engineers** (2nd Edition). Dover Publications, Inc. New York, NY, USA, 1986.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro. 1994. 36 p.